# MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM

## XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# BİLDİRİ KİTABI

## dayanıklılık | dirençlilik | esneklik

**EDİTÖRLER: Gülen ÇAĞDAŞ, Mine ÖZKAR, Leman Figen GÜL, Sema ALAÇAM, Ethem GÜRER, Sevil YAZICI, Burak DELİKANLI, Özlem ÇAVUŞ, Sevgi ALTUN, Gülce KIRDAR**

İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı
Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı
İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Türkiye Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu
28- 29 Haziran 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi

# MSTAS 2021
# Dayanıklılık | Dirençlilik | Esneklik

**Dizi:** İstanbul Teknik Üniversitesi yayınları.
Yayın no. 2021.2KNF/3

## Düzenleyen

İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı
İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Türkiye Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

**Editörler ve Düzenleme Kurulu**
Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ
Prof. Dr. Mine ÖZKAR
Prof. Dr. Leman Figen GÜL
Doç. Dr. Sema ALAÇAM
Dr. Öğr. Üyesi Ethem GÜRER
Dr. Öğr. Üyesi Sevil YAZICI
Araş. Gör. Burak DELİKANLI
Araş. Gör. Özlem ÇAVUŞ
Araş. Gör. Sevgi ALTUN
Gülce KIRDAR

**Editoryal Sekreterya**
Araş. Gör. Burak DELİKANLI
Araş. Gör. Sevgi ALTUN

**Mizanpaj**
Araş. Gör. Özlem ÇAVUŞ
Gülce KIRDAR
Dr. Öğr. Üyesi Sevil YAZICI
Dr. Öğr. Üyesi Ethem GÜRER

**Kapak**
Araş. Gör. Özlem ÇAVUŞ
Gülce KIRDAR

ISBN: 978-975-561-520-2

© İstanbul Teknik Üniversitesi
Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları "İTÜ Rektörlüğü'ne" aittir.
Bu kitabın tamamı yada herhangi bir bölümü yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka teknikle çoğaltılamaz, bilgisayarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm yazı ve görsellerin sorumluluğu yazar/yazarlara aittir.

© Istanbul Technical University
All rights of this book are reserved and all publication rights belong to "ITU Rectorate".
All or any part of this book cannot be published, printed, filmed or used indirectly without the permission of the publisher. It cannot be reproduced by DUPLICATION, PHOTOCOPY or any other technique, and cannot be transferred to an environment that can be processed on computers or typesetting machines. The responsibility of all texts and visuals published in the book belongs to the author(s).

İletişim
İstanbul Teknik Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, 34437
İstanbul Türkiye

## Bilim Kurulu

| | |
|---|---|
| Ahmet Emre DİNÇER | Karabük Üniversitesi |
| Ahu SÖKMENOĞLU SOHTORİK | Bağımsız Araştırmacı |
| Arzu GÖNENÇ SORGUÇ | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Aslı AĞIRBAŞ | Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi |
| Ayşegül AKÇAY KAVAKOĞLU | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Benay GÜRSOY | Pennsylvania State University |
| Can UZUN | Altınbaş Üniversitesi |
| Çağda ÖZBAKİ | Altınbaş Üniversitesi |
| Çetin TÜKER | Işık Üniversitesi |
| Derya Güleç ÖZER | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Elif ENSARİ | New York University's Marron Institute |
| Elif Belkıs ÖKSÜZ | Nişantaşı Üniversitesi |
| Elif Sezen YAĞMUR KİLİMCİ | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Emirhan COŞKUN | Haliç Üniversitesi |
| Esra GÜRBÜZ | Gaziantep Üniversitesi |
| Ethem GÜRER | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Faruk Can ÜNAL | Yeditepe Üniversitesi |
| Gülen ÇAĞDAŞ | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Gülsu HARPUTLUGİL | Çankaya Üniversitesi |
| Güven ÇATAK | Bahçeşehir Üniversitesi |
| Güzden VARİNLİOĞLU | İzmir Ekonomi Üniversitesi |
| İlker ERKAN | Süleyman Demirel Üniversitesi |
| İpek GÜRSEL DİNO | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Kutay KARABAĞ | İstanbul Bilgi Üniversitesi |
| Leman Figen GÜL | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Meltem AKSOY | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Birgül ÇOLAKOĞLU | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Mine ÖZKAR | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Muhammed Ali ÖRNEK | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Mustafa Emre İLAL | İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi |
| Neşe ÇAKICI | Kocaeli Üniversitesi |
| Orkan Zeynel GÜZELCİ | Universidade do Porto |
| Ozan Önder ÖZENER | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Ömer Halil ÇAVUŞOĞLU | Erzurum Teknik Üniversitesi |
| Özgün BALABAN | Technische Universiteit Delft |
| Özgür EDİZ | Uludağ Üniversitesi |
| Özlem ATAK DOĞAN | Erciyes Üniversitesi |
| Pınar ÇALIŞIR ADEM | Yeditepe Üniversitesi |
| Sabri GÖKMEN | Kadir Has Üniversitesi |
| Sema ALAÇAM | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Semra ARSLAN | Gazi Üniversitesi |
| Serbülent VURAL | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Serdar AYDIN | Mardin Artuklu Üniversitesi |
| Sevil YAZICI | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Sibel Yasemin ÖZGAN | MEF Üniversitesi |
| Şebnem YALINAY ÇİNİCİ | İstanbul Bilgi Üniversitesi |
| Şehnaz CENANİ | İstanbul Medipol Üniversitesi |
| Şule TAŞLI PEKTAŞ | Başkent Üniversitesi |
| Tuğrul YAZAR | İstanbul Bilgi Üniversitesi |
| Yazgı AKSOY | İstanbul Medipol Üniversitesi |
| Yüksel DEMİR | İstanbul Teknik Üniversitesi |

# Önsöz

21. yüzyılın çok disiplinli dünyasındaki tasarımcı için hesaplama, diğer disiplinleri anlamak ve disiplinler arası işbirliği için güçlü bir ortam sağlar. Bu ortam, çağın zorlayıcı koşullarına uyum sağlama ve direnç göstererek işlevini koruma becerisini de destekler niteliktedir. Birçok alandaki kabuller geçerliliğini yitirmiş, iletişim kurma yöntemlerinden, eğitim-öğretim modellerine ve çalışma biçimlerine kadar çok sayıda unsurun değişimi kaçınılmaz olmuştur. Tasarım alanında da bu küresel değişime uygun olarak, tasarımda hesaplamanın geleceği için çok disiplinli bir söylemi teşvik eden Sempozyum, yalnızca en son araştırmaları, tasarım uygulamalarını ve pedagojileri bir araya getirmeyi değil, aynı zamanda tasarımı etkileyecek olası fenomenleri, faktörleri ve güçleri keşfedici bir bakış açısıyla ortaya çıkarmayı amaçladı.

Dayanıklılık, dirençlilik ve esneklik (resilience) kavramı sistemlerin karmaşık dinamiklerden oluşan ekolojilerde, ilişkileri koruyarak ve zaman zaman dönüştürerek devamlılığı sağlama kabiliyetini ifade eder. Sistemlerin parça-bütün ilişkileri, sınırları ve algoritmik kurguları ile ilişkilendirilebilir. Mimari ve kentsel tasarım bağlamlarında dayanım; sosyal, kültürel, yapısal, iklimsel olarak ve daha pek çok farklı şekillerde kurgulanabilir. Bu doğrultuda söz konusu kavram, ürün, malzeme, yapı elemanı, strüktürel sistem, kinetik mekanizmalar, mimari form üretimi, kentsel yapılanma, kültürel miras, sosyal ve fenomenolojik analizler gibi farklı ölçek ve kapsamlarda ele alınabilir.

İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı Mimari Tasarımda Bilişim Programı, ve Türkiye Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı tarafından düzenlenen Mimarlıkta Sayısal Tasarım 15. Ulusal Sempozyumu'nda (MSTAS 2021) Dayanıklı / Dirençli / Esnek Tasarım kapsamındaki ilkeler, stratejiler ve kavramın mimari tasarım hesaplaması üzerindeki izdüşümleri farklı açılardan ele alınmıştır. Bildiriler yedi başlık altında gruplandırılmıştır: (1) Sayısal Tasarım Süreci ve Yaratıcılık, (2) Sayısal Tasarım ve Mimarlık Eğitimi, (3) Sayısal Üretim Teknolojileri ve Adaptif Sistemler, (4) Sayısal Yöntemler ve Kültürel Miras, (5) Benzetim ve Değerlendirme, (6) Kent Modelleme ve Sosyo-ekolojiler, (7) Sanal, Artırılmış ve Karma Gerçeklik. 20 üniversiteden toplam 76 bildiri özeti sunulmuştur. Bilim Kurulu'nun değerlendirmesinden sonra 36 bildiri, Sempozyum'da sunulmak ve bildiri kitapçığında yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

Sempozyum Düzenleme Kurulu ve Sempozyum kitabının editörleri olarak, Bilim Kurulunun tüm üyelerine, özenli incelemeleri ve değerli katkıları için teşekkür ederiz. Mimarlıkta Sayısal Tasarım 15. Ulusal Sempozyumu'nu İTÜ'de düzenlemek ve ev sahipliği yapmak büyük bir onur ve zevkti. Bu geniş bildiri seçkisinin Sempozyum'un alana katkısının bir göstergesi olmasını ve kitabı beğeneceğinizi umuyoruz.

MSTAS 2021 Düzenleme Kurulu
Haziran 2021

## İçindekiler

**Oturum 1: Sayısal Tasarım Süreci ve Yaratıcılık**

Mimari Çizimin Fourier Serisi ile Matematiksel Çözümlenmesi 2
Nihat Eyce, Sema Alaçam

Genetik Algoritmalar Kullanılarak 2 Boyutlu Poligon Şekilleri Eğrili Şekillere Dönüştürme Çalışması 14
Nurdan Akman, Ethem Gürer

Geleneksel Tasarımda Yeni Dirençlilik: Eskizin Sayısal Form Bulma Aracına Dönüşümü 25
Berfin Aybike Körükcü, Asena Kumsal Şen Bayram

Modüler Mimarlıkta Hesaplamalı Tasarım Süreçlerine Rastlantısallığın Dahil Edildiği Bir Model Önerisi 35
Fatih Süleyman Deveci, Hakan Tong

Ekstrem Koşullara Dayanıklı Mobil Modüller için Mekan Organizasyon Algoritması 48
Efay İzel Tan, Mustafa Cem Güneş, Ozan Balcı, Pelin Gül Arman

Etmen Tabanlı Modelleme Araçlarıyla Yapıların Strüktürel Sistemlerinin Tasarlanması 60
Berkay Öztürk

**Oturum 2: Sayısal Tasarım ve Mimarlık Eğitimi**

Türkiye'de Sayısal Tasarımın Son 15 Yılı: Yapay Öğrenme ve İçerik Analizi Perspektifinden Bir Değerlendirme 71
Şemsi Barış Terzi, Sema Alaçam, Orkan Zeynel Güzelci, Handan Güzelci

Designing Emotion Animations as Storytelling Element in Video Games 82
Didem Kübra Atila, Leman Figen Gül

Hesaplamalı Tasarımda Disiplinler Ötesi Kavramlar ve Eğitime Yansımaları 93
Burak Delikanlı, Gülen Çağdaş

Sayısal Tasarım Eğitiminde Portfolyo Değerlendirme Yönteminin Kullanımı 105
Selin Oktan, Serbülent Vural

İnsan Hücresi Ölçeğinde Dijital Tasarım: Bir Aşırı Ortam Denemesi 114
Ece Küreli Gülpınar, Emre Kılıçkaya, Efe Şür, Güzden Varınlıooğlu

## İçindekiler

**Oturum 3: Sayısal Üretim Teknolojileri ve Adaptif Sistemler**

Symmetry Groups for Understanding and Interpreting Structural Grids of Kinetic Skins in Architecture 125
Özlem Çavuş, Arzu Gönenç Sorguç

Kinetik Cephe Sistemleri Özelinde İç Mekân İşlevi ile Cephe Yüzeyi İlişkisi Üzerine Bir Üretken Tasarım Yaklaşımı 135
Abdul Samet Engin, Ahmet Emre Dinçer

A Swarm Intelligence Based Framework for Robotic Fabrication Aided Design 147
Özlem Çavuş, Sema Alaçam

Türk Üçgeninin Parametrik Modellenmesi ve Robotik Üretimi Üzerine Bir Yöntem 159
Barış Çağlar, Hakan Oğuz Bor, Serbülent Vural

Üretken Sistemler ile Postür Bozukluğuna Bir Çözüm Önerisi: Exo-Posture 170
Fatih Uzun, Hazal Parlak

**Oturum 4: Sayısal Yöntemler ve Kültürel Miras**

Kayseri Hacı Kılıç Cami Mukarnasının Hesaplamalı Olarak Çözümlenmesi 182
Sabri Gökmen, Sema Alaçam, Altan Başık, Yusuf Aykın

Sinan Camilerinde Kubbelerin Strüktürel Davranışının Hesaplamalı Tasarım Araçlarıyla Değerlendirilmesi 194
Necmettin Sancak, Sema Alaçam

Anadolu Selçuklu Mimarisinde Örgü ve Örüntü İlişkisine Dair Biçimsel İncelemeler 205
Sevgi Altun, Mine Özkar

Revisiting Sedad Hakkı Eldem's Taşlık Coffeehouse and the Amcazade Köprülü Hüseyin Paşa Seaside Mansion: A Numerical Analysis Based on Fractal Dimensions 214
Mario Lionar, Özgür Edİz

## İçindekiler

**Oturum 5: Benzetim ve Değerlendirme**

Artificial Neural Networks to Predict Performance of Classroom Spaces 224
Ayça Duran, İpek Gürsel Dino

Uyum Gösteren Gölgeleme Bileşenlerinin Parametrik Tasarım Araçlarıyla Görsel Performansının Değerlendirilmesi 234
Dilan Öner, Aslıhan Ünlü

Dinamik Cephe Sistemleri ve Esneklik: Çevresel Performans Açısından Bir Değerlendirme 246
İlker Karadağ

Çok Katlı Konut Binaları için Işık Bacası Üzerinden Gün Işığı Performansını Artıracak Bir Parametrik Model Önerisi 256
Hakan Oğuz Bor, Sema Alaçam

Deprem Kaynaklı Tsunami Durumunda Tahliye için Karar Destek Sistemi Önerisi: Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerinde Vaka Analizi 268
Gizem Efendioğlu, Şehnaz Cenani Durmazoğlu

Towards A Local Martian Architecture 281
Burcu Kısmet

**Oturum 6: Kent Modelleme ve Sosyo-Ekolojiler**

Yaşanabilirlik Kapsamında Yerin Ekonomik Değerinin Veri ile Öğrenen Bayes Ağı Üzerinden Değerlendirilmesi: İstanbul Tarihi Yarımada Örneği 291
Gülce Kırdar, Gülen Çağdaş

Kent Gelişimi Senaryolarının Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri ile Hücresel Özdevinim ve Yapay Sinir Ağları Tabanlı Benzetimi 303
Nur Sipahioğlu, Gülen Çağdaş

Measuring Resilience: To Measure the “Unmeasurable” 315
Deniz Oskay, Ethem Gürer

Ön Tasarım Sürecinde Mimari Doku Üretimi: Bursa Örneği 325
Ender Şen, Özgür Mehmet Ediz

İklim Değişikliğinin Kentsel Doku ile İlişkisinin Saptanmasına Yönelik Bir Çalışma: Eski Foça Örneği 336
Fatma Nur Varol, Nurseli Şanlı, Maide Uğur, Mediha Burcu Sılaydın Aydın

Kent Hakkı Sorunu Çözümüne Katkı Sağlayacak Bilgi Tabanlı Bir Dayanıklılık Modeli 349
Şemsi Barış Terzi, Kevser Yıldız

## İçindekiler

**Oturum 7: Sanal, Artırılmış ve Karma Gerçeklik**

Mimari Tasarımın Erken Evresinde Karma Gerçeklik Mecrası Kullanımının Uzman Değerlendirmesi 363
Leman Figen Gül, Sema Alaçam, Süheyla Müge Halıcı

Tasarım Odaklı Düşünce ve Genişletilmiş Gerçeklik ile Uzaktan Eğitimde Birlikte Çalışma Deneyimi 375
Ahmet Fatih Karakaya, Hande Yazıcı, Emre Şahin

Mimari Satın Alma Karar Verme Eyleminde Marka Bazlı Davranışlar: Sinir Bilimleri ile Bir Bakış Açısı 387
İlker Erkan

Sosyal Mesafe Kurallarına Göre Kurgulanmış Bir Oyun Alanı Algoritması 395
Pelin Gül Arman

**Çalıştaylar**

Neo-Mekansal Tasarım Deneyimi 405
Neşe Çakıcı Alp, Sema Alaçam, Süheyla Müge Halıcı

Parametrik Mukarnas 406
Sabri Gökmen, Sema Alaçam, Altan Başık, Yusuf Aykın

Yapı Bilgi Modellemesi Yazılımlarıyla Esnek Tasarım Yöntemlerinden Bir Kesit 407
Nuray Benli Yıldız, Evren Aydemir

## Davetli Konuşmacılar

### Deniz YURET

Koç Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Deniz Yuret aynı zamanda Koç Üniversitesi ve İş Bankası Yapay Zekâ Uygulama ve Araştırma Merkezi'ni yönetmektedir. Geçmişte, Massachusetts Institute of Technology Yapay Zeka Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak, bilgi tabanı yönetimine destek sunan InQuira. Inc'te kurucu ortak ve ar-ge direktörü olarak rol almıştır. Araştırma konuları doğal dil işleme ve özdevimli öğrenmedir. Uçtan uca eğitilmiş sinir ağı modellerine ve doğal dil öğrenme sistemlerine dayanan, dünya çapında yüzlerce araştırmacı ve öğrencinin tercih ettiği bir araç haline gelen Koç Üniversitesi derin öğrenme çerçevesi Knet'i geliştirmiştir. Bunların yanı sıra, programlama, makine öğrenmesi, ve matematik konularında dersler vermekte ve doktora ve yüksek lisans öğrencileri yetiştirmektedir. CHIST-ERA, TÜBİTAK, ve ICT-PSP projelerinde yer almakta olup hesaplamalı dilbilimleri, makine öğrenmesi, hesaplamalı biyoloji, sayısal optimizasyon, hesaplamalı ekonomi ve finans, ve oyun teorisi üzerine yayınları, 2005, 2013 ve 2017 tarihli üç patenti bulunmaktadır.

### Michela TURRIN

Doç. Dr. Michela Turrin, Delft Teknik Üniversitesi (TU Delft) Mimarlık ve Yapılı Çevre Fakültesi Tasarım Bilişimi Kürsüsü'nde görev yapmaktadır. Uzmanlık alanı, mimari tasarım ve yapı teknolojisinin kesişiminde bulunan hesaplamalı tasarımdır. Yeni hesaplama yöntemleri, teknikleri ve araçlarını ele alıp mühendislik performans kriterlerini kullanarak, mimari tasarımda yeniliğin desteklenmesini hedeflemektedir. Çalışmaları, binalar ve bina bileşenleri için tasarım alternatiflerinin performansa dayalı keşfini güçlendirmek, yapılı çevre hakkında bilgi üretmek, bina performansının bilimsel anlayışını kolaylaştırmak için hesaplamalı tasarıma odaklanmak; bütünleşik hesaplama modellerine ve süreçlerine farklı kriterlerin dahil edilmesini arttırmak; erken tasarım aşamasında çok disiplinli bütünleşmeyi güçlendirerek farklı senaryoları karşılaştırmak ve yaratıcı şekilde keşfetmek üzerinedir. Ayrıca, en uygun hale getirilmiş ve özelleştirilmiş bileşenlerin üretimi için eklemeli imalat kullanımını araştırmaktadır. TU Delft Mimari Mühendislik ve Teknoloji Bölümünde Dijital Teknolojiler Grubunu yönetmekte, Mimari Eklemeli Üretim Laboratuvarındaki (LAMA) araştırmalara liderlik etmektedir. Uluslararası ortaklıklar, uygulamayla endüstri kapsamında onaylanmış ve harici olarak finanse edilen araştırma projelerinde yürütücülük yapmaktadır. Doktora ve yüksek lisans araştırmalarının danışmanlıklarıyla beraber, Mimarlık, Yapı Teknolojisi ve İnşaat Mühendisliğine yönelik disiplinler arası tasarım yüksek lisans programı olan MEGA'nın koordinasyonunu yürütmektedir.

# OTURUM 1

## Sayısal Tasarım Süreci ve Yaratıcılık

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Mimari Çizimin Fourier Serisi ile Matematiksel Çözümlenmesi

Nihat Eyce[1]; Sema Alaçam[2]
[1]TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi; [2]Istanbul Teknik Üniversitesi
[1]neyce@etu.edu.tr; [2]alacams@itu.edu.tr

## Özet

*Mimari çizim, tasarım düşüncelerinin dışsallaştırılması, araştırılması, çözümlenmesi, karşılaştırılması, üretilmesi ve aktarılması süreçlerinin vazgeçilmez parçasıdır. İçerdiği öznel ve muğlak nitelikleri sebebiyle yaratıcılığı destekleyen bir araç olarak tanımlanan eskiz, mimari tasarım sürecinde bir fikri geliştirme ve temsil etme açısından önemli yere sahiptir. Çizgi ise bir mimari çizimin temel bileşeni olarak kabul edilmektedir. Bilgisayar ortamında çizginin grafik olarak temsilinde ise, piksel veya vektör tabanlı temsil tekniklerinden yararlanıldığı görülmektedir. Serbest el çizimine kıyasla bilgisayar ortamında çizim, göreceli olarak daha tanımlı, tesadüfe kapalı ve elin mekân içindeki hareketi gibi içkin nitelikleri dışlayan nesnelliktedir. Bu çalışma çizgi-yoğun bir kompozisyonun bilgisayar ortamında temsilinde yaygın kullanılan tekniklerin dışında, bir matematiksel hesaplama tekniği olan Fourier Serisi'nin kullanılabilirliğini sorgulamayı amaçlamaktadır. Fourier serileri üzerinden yapılan matematiksel çözümlemeler günümüzde ses ve görüntüde gürültü temizlemeden karmaşık geometrilerin matematiksel ifadesine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Karmaşık formların biçimsel içeriğinin matematiksel olarak çözümlenmesinde bir yaklaşım olarak kullanılan Fourier Serileri, bu çalışma kapsamında piksel tabanlı bir görselin vektörel temsile çevrilerek görselin içerdiği geometrik bilgiye ulaşma, temsil etme ve yeniden üretme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Çalışmada, Fourier Serisi'nin mimari çizimlerin bilgisayar ortamında temsili ve yeniden üretilmesine yönelik bir çerçeve önerilmiş, bu çerçeve 12 farklı yapıya ait görsellerin yer aldığı bir örnek setinde test edilmiştir. Fotoğraftan kontur çizimine, kontur çizminden Fourier Serisi ile "episaykıl" (epicycle) parametresi ile temsil edilen geometrilere dönüşüm sürecini içeren çerçevenin, test edilebilir bir modele dönüştürülmesinde Javascript (p5.js kütüphanesi) üzerinden betik oluşturulmuştur. Fourier Serisi, matematik kesinlik içeren ve tanımlı bir temsil tekniği olmasına rağmen, çalışmanın sonuçları bilgisayar ortamında Fourier Serisi ile temsil edilen çizgi-yoğun kompozisyonların episaykıl parametrelerinin değiştirilerek alışılmışın dışında varyantlara dönüşebildiğini göstermektedir. Buna ilaveten Fourier Serisi ile temsilin, biçimin karmaşıklığının ve taşıdığı çeşitli niteliklerin çözümlenmesine katkı sunacak bir bilgi üretimi potansiyeli sunduğu görülmüştür. Bu çalışmanın bulgularının mimarların yanı sıra, bilgisayar grafiği, arayüz geliştirme ve biçim araştırmaları alanında çalışma yapan uzmanlara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Mimari çizim, mimari temsil, Fourier Serileri, Episaykıl.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Eyce, N., & Alaçam, S. (2021). Mimari çizimin Fourier Serisi ile matematiksel çözümlenmesi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 2-13). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Mathematical Analysis of Architectural Drawing through Fourier Series

Nihat Eyce[1]; Sema Alaçam[2]
[1]TOBB University of Economics and Technology; [2]Istanbul Technical University
[1]neyce@etu.edu.tr; [2]alacams@itu.edu.tr

## Abstract

*Architectural drawing is a crucial part of the processes of externalizing, exploring, analyzing, comparing, generating and representing design ideas. As an architectural drawing technique, sketching, provides a subjective and ambiguous ground that supports creativity in the architectural design process in terms of developing and representing design ideas. Lines can be considered as major components of architectural drawings. Regarding the graphical representation of lines in a computer environment, pixel and vector base representation techniques are mostly utilized. Drawing in a computer environment is a relatively more defined, determined and objective act that neglects the immanent qualities such as the embodied experience of hand moving in space. This study aims to investigate the usability of the Fourier Series, which is a computable mathematical function, in the representation of line-dense compositions in a computer environment. Mathematical analysis methods utilizing Fourier Series are used in many areas including noise removal in sound and images, as well as mathematical representation of complex geometries. In the scope of this study, Fourier Series is used as a method of extracting, representing and regenerating the geometric information from a vector-based contour representation. This study proposes a framework consisting of the transformation of any given two-dimensional pixel-based photograph into vector-based contour drawing and transformation of vector-based contour drawing into geometries represented by Epicycle parameters of the Fourier Series respectively. A JavaScript script (p5.js) was adopted and utilized to provide a test model for the proposed framework. The model was tested on a sample set containing images of 12 different buildings. Although the Fourier Series is a mathematically precise and defined representation technique, the results of the study show that the line-dense compositions represented by the Fourier Series in the computer environment can be transformed into unexpected variants by changing the epicycle parameters. In addition, the outcomes of the study show that Fourier Series provides the potential to produce new information that will contribute to the analysis of the complexity of a shape and its various qualities. The findings of this study are expected to contribute to experts working in the field of computer graphics, interface development and form research, as well as architects.*

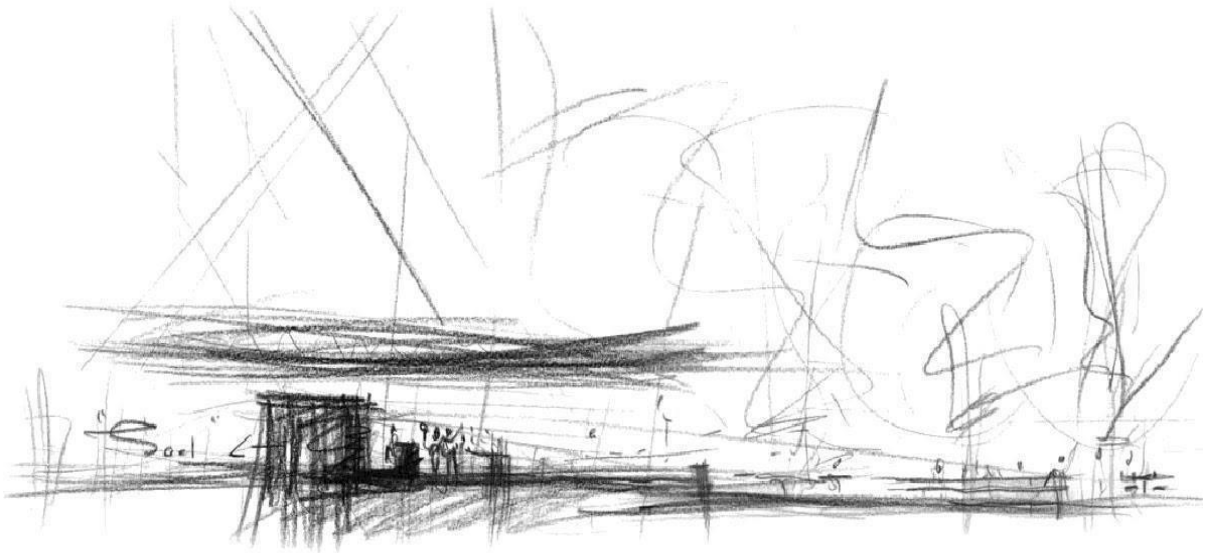
***Keywords:*** *Architectural drawing, architectural representation, Fourier Series, Epicycle.*

**Citation in APA Style:** Eyce, N., & Alaçam, S. (2021). Mathematical analysis of architectural drawing through Fourier Series. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 2-13). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

En genel anlamıyla mimarlıkta temsil, mimarlık nesnesinin tasarım, yapım ve deneyimlenmesine ilişkin veri ve/veya bilgi taşıyan her türlü dışsallaştırmayı içermektedir. Ortografik izdüşümden serbest el çizimine, melez kolajdan yazılı metinlere, hareketli görüntüden fiziksel makete, üç boyutlu modelden çok katmanlı bilgi modellerine kadar değişen bir yelpazede kendine yer bulan mimarlık temsilleri, kullanılan araç, teknik ve yöntem bakımından çeşitlilik göstermektedir. Mimarlıkta temsil kavramına benzer şekilde "mimarlıkta çizim" de ele alındığı bağlama göre yeni anlamlar kazanmakta, eylem olarak çizmek, süreç olarak çizim ve nesne olarak çizim/çizgi gibi farklı vurgularla ele alınabilmektedir (Tanrıverdı Çetin ve Dülgeroğlu Yüksel, 2020). Eylem olarak çizmek ise, çizen özne ile çizilen nesne arasında aktif bir diyaloğu tetiklemektedir. Çeşitli yüzeylerde görünür hale gelen izler ile tasarımcılar arasında başlayan bu diyalog, tasarım kararları tamamlanmış bir mimarlık nesnesinin yapımına ilişkin genel kabul görmüş temsil konvansiyonlarının ötesinde (Frascari ve diğ., 2007), rastgelelik, bitmemişlik ve muğlaklıklar da barındıran bir süreçtir. Binlerce yıl önce taş tablet üzerine kazıyarak çizilen plan taslaklarından günümüze mimarlıkta yapma biçimlerinin gelişimine bağlı olarak, çizimin ifadesi ve tekniği büyük gelişme göstermiştir (Godeaux, 1965). Ancak pek çok temsil arasında eskiz (**Şekil 1**), mimari tasarım sürecinin Modus Operandi'si olarak günümüzde hala geçerliliğini korumaktadır.

Çizme eylemi sonucu yüzeyde bırakılan izlerin biçimsel açıdan ortak paydaları dokular, alanlar ve çizgilerdir. Çizim eyleminin çıktılarından çizgi ise mimari çizimin temel ögesidir. Emmons'a (2014) göre çizgiler, dinamik varlıklardır. Tasarımcı zihninde belirli bir kurgu belirlemiş olsa dahi, çizim aracının malzeme ile karşılaşmasında mimarlık nesnesine ilişkin yeni bilgiler açığa çıkabilmektedir. Bu açığa çıkış ve belirme henüz çizim devam ederken kurgusunu güncellemekte olan çizen-özneden kaynaklanabileceği gibi, aradan zaman geçtikten sonra çizime tekrar bakan algılayan-özneden kaynaklanıyor olabilir. Emmons'a (2014) göre, ilk bilgisayar grafiklerinin mimarlara sunulması ve çizginin iki nokta arasındaki kusursuz doğru parçası olarak tanımlanmasıyla birlikte, elin mekandaki hareketi ve çizginin farklı niteliklerinin arayışı çizim sürecinin dışında kalmıştır. Dolayısıyla ilk dönem bilgisayar grafiklerinde çizgi, Paul Klee'nin (1925/1953) betimlediği gibi "gezintiye çıkan başıboş bir nokta" gibi hareketli ve rastlantısal davranışlar sergilemez. Başka bir ifadeyle ilk dönem bilgisayar ortamında çizginin temsilinde, Paul Klee'nin (1925/1953) işaret ettiği aktif çizgi anlatıları da çizme eyleminin sağladığı sezgisel içgörü potansiyeli de göz ardı edilmiştir. Buna ilaveten bilgisayar programcıları, çizginin bilgisayar ortamında temsili ve dönüştürülmesinde çizimin kartezyen kuramını benimsemişlerdir (Emmons, 2014). Bu bağlamda Emmons (2014), literatürdeki pek çok araştırmanın tersine, bilgisayar ortamında/destekli çizimlerinin kısıtını ve eleştirisini, el çiziminin nitelikleri üzerinden kurar. Bu çalışma ise, Emmons'un bilgisayar ortamındaki çizim konusundaki bütün eleştirilerine yanıt üretmek yerine çizginin temsilinde kartezyen kuram dışındaki tekniklere odaklanmaktadır.



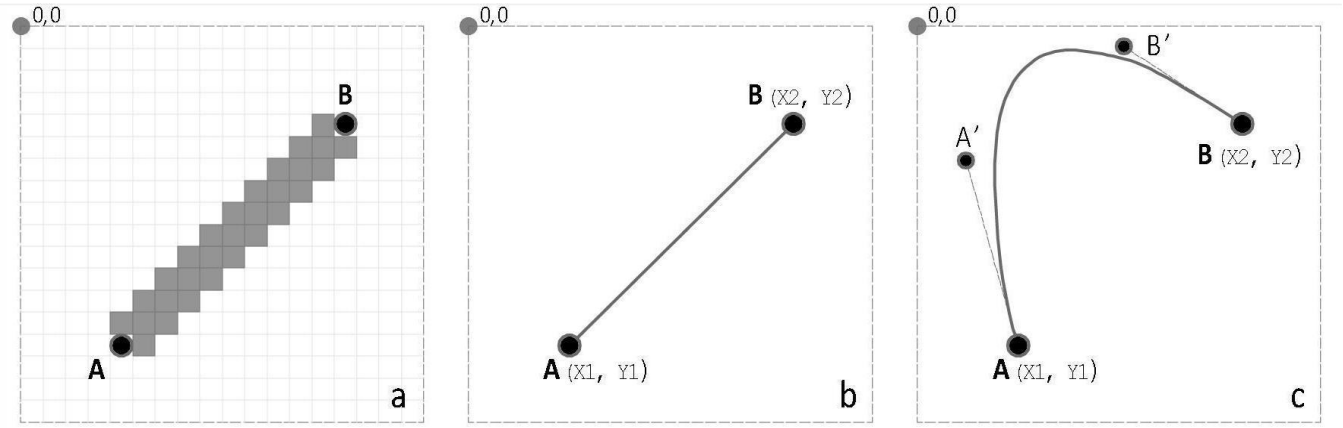
**Şekil 1:** Ufenau Adası'ndaki yaz restoranı, Peter Zumthor (ArchEyes, n.d.)

Çalışma kapsamında seçilen bir görsel setinden yararlanarak, görseli kontur çizimine dönüştüren ve Fourier Serileri ile kontur çizgilerinin çözümlenmesi ve episaykıllar (epicycle, Feyerabend,1991:63) ile temsil edilmesine yönelik bir model geliştirilmiştir. Farklı programların kullanıldığı bir dizi operasyon sürecinde çizimlerin oluşturulması için kullanılan veri seti (12 yapının görseli) önce sürekliliği olan vektörel çizimlere dönüştürülmekte sonrasında Fourier Serisi ile çözümlenerek oluşturulan episaykıllar ile temsil edilmektedir.

## 2. Çizginin İki Boyutlu Matematiksel Temsili

### 2.1. Çizgi

Çizgi-yoğun kompozisyonlardan oluşan iki boyutlu bir görseli, nokta, çizgi, eğri gibi temel geometrik elemanlardan, üçgen, dörtgen, çokgen, daire gibi tanımlı geometrik elemanlara kadar ön tanımlı biçimsel vektörel etiketler ile ifade etmek ya da piksel tabanlı veri ve bilgi kümesi olarak tanımlamak, boyut, yoğunluk ve kümelenme gibi özellikler ile matematiksel hale getirmek mümkündür. Piksel tabanlı yaklaşım, iki boyutlu görseli oluşturan bileşenlerin bağımsız elemanlar olarak tanımlanmadığı (geometrik çizgilerden değil, dolu piksellerin oluşturduğu lekeler) bütüncül bir kompozisyondur. Piksel sayısı sabit olduğu sürece çizim ne kadar karmaşık ve yoğun olursa olsun görseli oluşturan veri kümesinin toplam boyutu değişmemektedir (Kaufman, 1993). Fakat bu durum çizgi-yoğun görsel kompozisyonun geometrisini oluşturan alt elemanları tanımlamayı ve ona müdahale etmeyi zorlaştırmaktadır (**Şekil 2a**). Diğer taraftan ön tanımlı vektörler ile temsil edilen çizimler (**Şekil 2b**), üzerinde geometrik operasyonların uygulanmasına daha açıktır. Vektörel yaklaşımda kullanılan, biçimi oluşturan alt elemanlar (yay, çizgi, üçgen, dörtgen vb.) karmaşık çizimlerin temsil edildiği durumlarda farklı geometrik biçimlerin toplamı şeklinde ifade edilmektedir. Bu durum çizimin (biçimin) yapısal içeriğinin matematiksel olarak temsil edilmesinde, sınıflandırılmasında ve yeniden üretilmesinde zorluklara sebep olmaktadır.




**Şekil 2: a**: A ve B noktaları arasındaki doğru parçasının belirli bir kalınlık niteliği atanarak piksel tabanlı temsili, **b:** A ve B noktaları arasındaki doğru parçasının vektör tabanlı temsili, **c:** A noktasından başlayan ve B noktasında sonlanan bir Bezier eğrisi temsili.

Bilgisayar grafiklerinde ekranın ya da üzerinde çalışılan pencerenin sol üst köşesinin başlangıç noktası olarak kabulü, oldukça yaygın bir uygulama biçimidir (**Şekil 2**). Mimari tasarım ve modellemeye yönelik programlarda çizginin temsilinde, başlangıç ve bitiş noktasının koordinatları, kalınlığı, uzunluğu, sürekli oluşu, kesikli çizgi olması, renk değeri gibi çeşitli nitelikleri tanımlanabilmektedir. Ayrıca çeşitli grafik işleme programları el çizimi, fotoğraf ve bilgisayar çiziminin bir arada geliştirilebileceği karma temsil tekniklerine olanak sağlamaktadır.

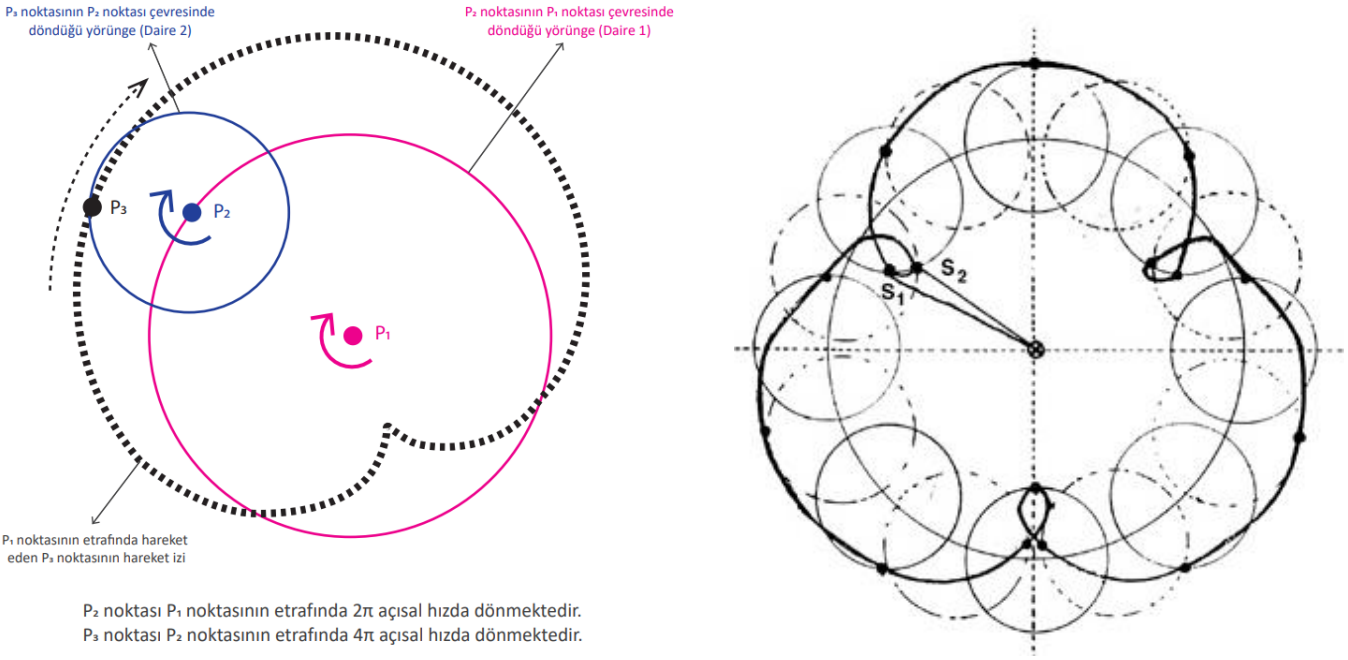
Bu çalışma kapsamında ise, çizginin bilgisayar ortamında temsiline ilişkin yukarıda sıralanmış tekniklerinden farklılaşan yöntem ve yaklaşımlara odaklanılmıştır. Karmaşık biçimlerin çözümlenmesinde kullanılmakta olan Fourier Serileri'nin, çizgi-yoğun bir kompozisyonun çözümlenmesi ve parametrik olarak yeniden üretilebilirliği konusunda potansiyelleri araştırılmıştır.

### 2.2. Episaykıl (Epicycle)

Episaykıl terimi, bir daire üzerinde ya da etrafında hareket eden küçük bir daire anlamına gelmektedir (Online Etymology Dictionary, n.d.). İskenderiyeli bir matematikçi olan Claudius Ptolemy (M.S. 2.yy.) tarafından evreni ve gezegen hareketini anlamaya yönelik bir arayış olarak ortaya çıkmıştır (Brehme, 1974). Temelleri Aristo fiziği, Öklit

geometrisi ve Hiparkus[1]'un dairesel hareket kuramına dayanan "Ptolemik Sistem", sadece kusursuz daire etrafındaki dairesel harekete değil aynı zamanda dairesel hareketlerin toplamından oluşan bileşke geometrilere değinerek, Dünya'dan yapılan gözlemlerdeki düzensizliklere de yanıtlar önermiştir (Brehme, 1974). Dünyanın evrenin merkezinde olduğu varsayımına dayanan Ptolemaik Sistem, 13. yüzyılda İranlı astronomların dikkatini çekmiş, takip eden yüzyıllarda Kopernik ve Kepler'in gezegenlerin hareketini açıkladıkları yasaları etkilemiş (Hetherington & Ronan, 1984) ve çeşitli dönüşümler geçirerek Fourier Serileri gibi ileri matematikte kullanılan birçok yaklaşımın temelini oluşturmuştur.

Ptolemaik Sistem'in temel bileşenleri dairesel bir hareket yörüngesi ("deferent") ile yörünge boyunca dönerek ve sabit hızla hareket eden bir geometriden oluşmaktadır (**Şekil 3**).




**Şekil 3: a:** Dairesel yörüngelerde farklı hızlarda hareket eden noktaların oluşturduğu bileşik hareket izi (güzergâh)
**b:** Ptolemy'nin gezegenlerin hareketini tanımlamak için geliştirdiği Episaykıl bazlı hareket (Hatch, n.d.)

Birbiri üzerine dönen dairelerin hareketlerinin toplamı son dairenin hareket yörüngesini tanımlamaktadır. Bu bağlamda hareketin vektörel toplamının oluşturacağı geometri, bütün dairelerin çapı ve hareket hızına bağlı olarak tanımlanabilmektedir (Liang ve diğ., 2020).

### 2.3. Fourier Serileri

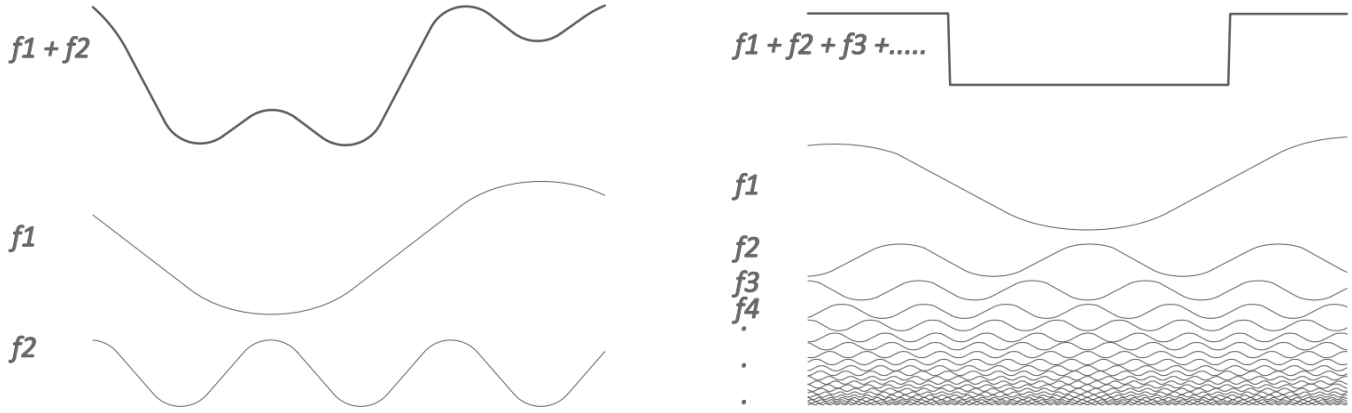
Fourier serisi tekrar eden bir karmaşık eğriyi sinüs ve kosinüs eğrilerinin toplamı olarak ifade edilmesidir. Evrenin modellenmesine yönelik matematiksel bir yaklaşım olarak ortaya çıkan Fourier serileri bugün ileri matematiğin birçok alanında kullanılmaktadır (Schoenberg, 1950). Her türlü karmaşık çizim Fourier serisi şeklinde birleşik bir eğri fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir.

Fourier serisi düzensiz iki boyutlu şekillerin açıklanmasına yönelik matematiksel bir yaklaşım olarak kullanılabilmektedir. Fourier serisi ile matematiksel olarak ifade edilen şekillerin incelenmesi, sınıflandırılması ve içeriğine müdahale edilmesi mümkün hale gelmektedir. Karmaşık her türlü form üst üste toplanan eğrilerden oluşmaktadır (**Şekil 4a**). Toplanan eğrilerin her biri biçimi oluşturan yapı taşı olarak tanımlanabilir ve bu yapı taşı ortak temel özelliklere sahiptir.

[1] Hiparkus (MÖ 190-120) Eski Yunan gökbilimci, matematikçi ve coğrafyacı. Trigonometrinin kurucusu. Trigonometri, sinüs ve kosinüs gibi trigonometrik fonksiyonların üzerine kurulmuştur.

Fourier serileri, yalnızca sinüs ve kosinüsün trigonometrik ilişkilerindeki periyodikliği temel aldığı için diğer her türlü işleve ve anlama bağlı kalmadan biçimi soyutlar (**Şekil 4b**). Biçim, işlevden ve anlamdan bağımsız olarak sınıflandırılabilir, karşılaştırılabilir, sadeleştirme gibi operasyonlara tabi tutulabilir. Fourier serileri ile ulaşılan nesnel bilgi insanın gözle göremeyeceği örtülü biçimsel bilgiyi (örüntüyü) ortaya çıkarmanın ya da başka bir ifadeyle şeklin altında yatan modüler bileşenlerin niceliksel özelliklerini ortaya çıkarmanın aracı olarak kullanılabilir (Gero & Mazzullo, 1984).

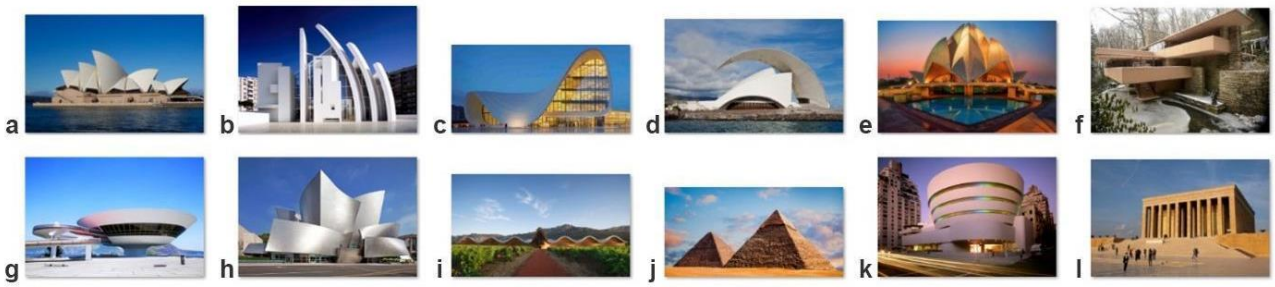
Episaykıllar ile temsil edilen çizim belirli sayıda dairesel hareketin üst üste gelmesinden oluşmaktadır. Her bir daire Fourier serilerindeki bir sinüs ya da kosinüs fonksiyonuna karşılık gelmektedir. Serideki her fonksiyonun sahip olduğu farklı bir frekans değeri vardır ve bu değerin değiştirilmesi ya da fonksiyon sayısının azaltılması ile çizimin içeriğine müdahale edilebilmektedir.




**Şekil 4: a, b:** Fourier Serilerinde geometriyi oluşturan farklı frekanstaki sinüs/kosinüs eğrileri (Swanson, n.d.)
(Uyarlanarak yeniden çizimi yapılmıştır)

## 3. Çizimin Fourier Serisi ile Çözümlenmesi

Bu çalışma kapsamında çizginin bilgisayar ortamında temsilinde kullanılan öklidyen uzayın kavramları (en, boy, yükseklik) yerini Fourier Serisi ile birleşik eğri fonksiyonunu oluşturan çemberlerin (episaykıl) çapına, sayısına, dönüş yönü ve hızına bırakmaktadır. Çizimi farklı frekanslardaki dalgalar üzerinden tanımlamak onun matematiksel olarak ele alınmasını ve temsil edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede çizimin içeriği; karmaşık/ basit, tanımsız/ tanımlı, tekrar edilemez/ tekrar edilebilir, ölçülemez/ ölçülebilir, statik/ dinamik gibi kavramlar üzerinden ele alınabilmekte ve ölçülebilmektedir.

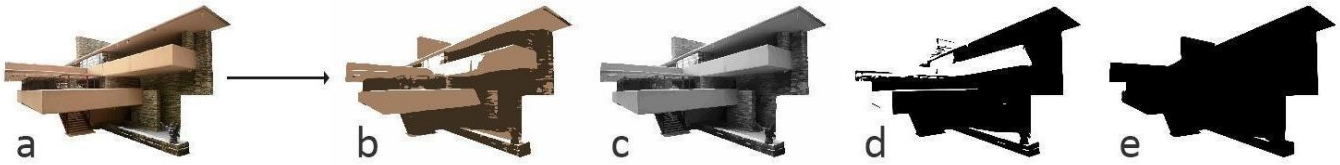



**Şekil 5:** Çizim üretiminde kullanılan 12 yapı görseli(bitmap). **a:** Sidney Opera Binası, (Medium, n.d.); **b:** Jubilee Kilisesi, (Meier, n.d.); **c:** Haydar Aliyev Kültür Merkezi, (Architizer, n.d.); **d:**Tenerife Oditoryumu, (Dagdas, n.d.); **e:** Lotus Tapınağı, (Architizer, n.d.); **f:** Şelale Evi, (Fallingwater, n.d.); **g:** Niteroi Çağdaş Sanat Merkezi, (Architectural Digest, n.d.); **h:** Walt Disney Konser Salonu, (Archdaily, n.d.); **i:** Ysios Şaraphanesi, (Ysios, n.d.); **j:** Giza Nekropolü (Piramitler), (Cloudfront, n.d.); **k:** Solomon Guggenheim Müzesi, (Inexhibit, n.d.); **l:** Anıtkabir, (Anıtkabir, n.d.)

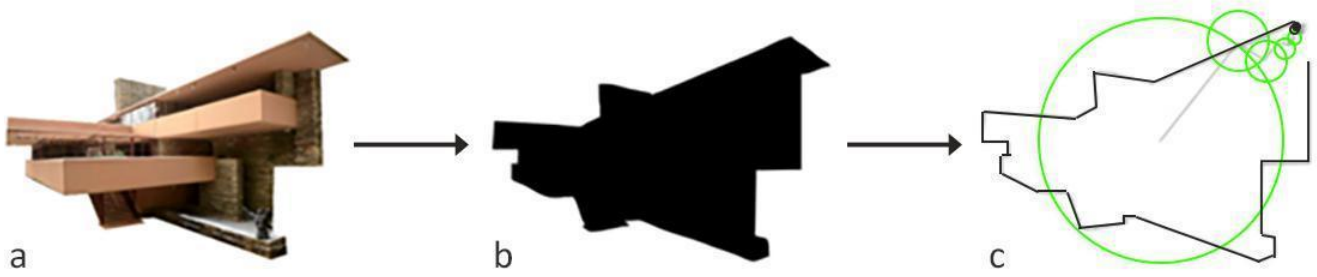
Çalışma kapsamında önerilen modelin değerlendirilebilmesi amacıyla 12 görselden oluşan bir örneklem seti oluşturulmuştur (**Şekil 5**). Model girdi olarak fotoğraf almakta, fotoğraftan kontur çizimine dönüşüm işlemleri ve sonrasında kontur çiziminin Fourier Serisi ile temsilini içermektedir.

### 3.1. Fotoğraftan Kontur Çizimine Dönüşüm

Fotoğraftan kontur çizimine dönüşümde ilk aşamada herhangi piksel tabanlı bir görsel girdi olarak alınarak ölçeklenebilir SVG (Scalable Vector Graphic) formatına dönüştürülmektedir. Bu işlemin diğer bir yapılma sebebi görseldeki detay yoğunluğunu azaltmak ve SVG dönüşümünde olası problemlerin önüne geçebilmektir. Piksel tabanlı bir görselin SVG formatına dönüştürme işlemi Adobe Photoshop ya da Adobe Illustrator gibi programlarda manuel olarak yapılabileceği gibi, Processing ortamında kodlanarak otomatize de edilebilmektedir (**Şekil 6**). Çalışma kapsamındaki vektörel dönüşüm işlemleri, vektörel dönüşüm araçlarının daha güçlü olması sebebiyle Adobe Illustrator yazılımında gerçekleştirilmiştir. Vektörel dönüşüm işlemlerinde Adobe Illustrator, Adobe Photoshop'a kıyasla daha fazla seçenek barındırmakta bu bağlamda daha detaylı ve doğru sonuçlar verebilmektedir.




**Şekil 6:** Adobe Illustrator uygulamasında dört farklı detayda (a: Bitmap, b-c-d-e: SVG) yapılan vektörel dönüşüm (Şekil 5f 'deki görsel)

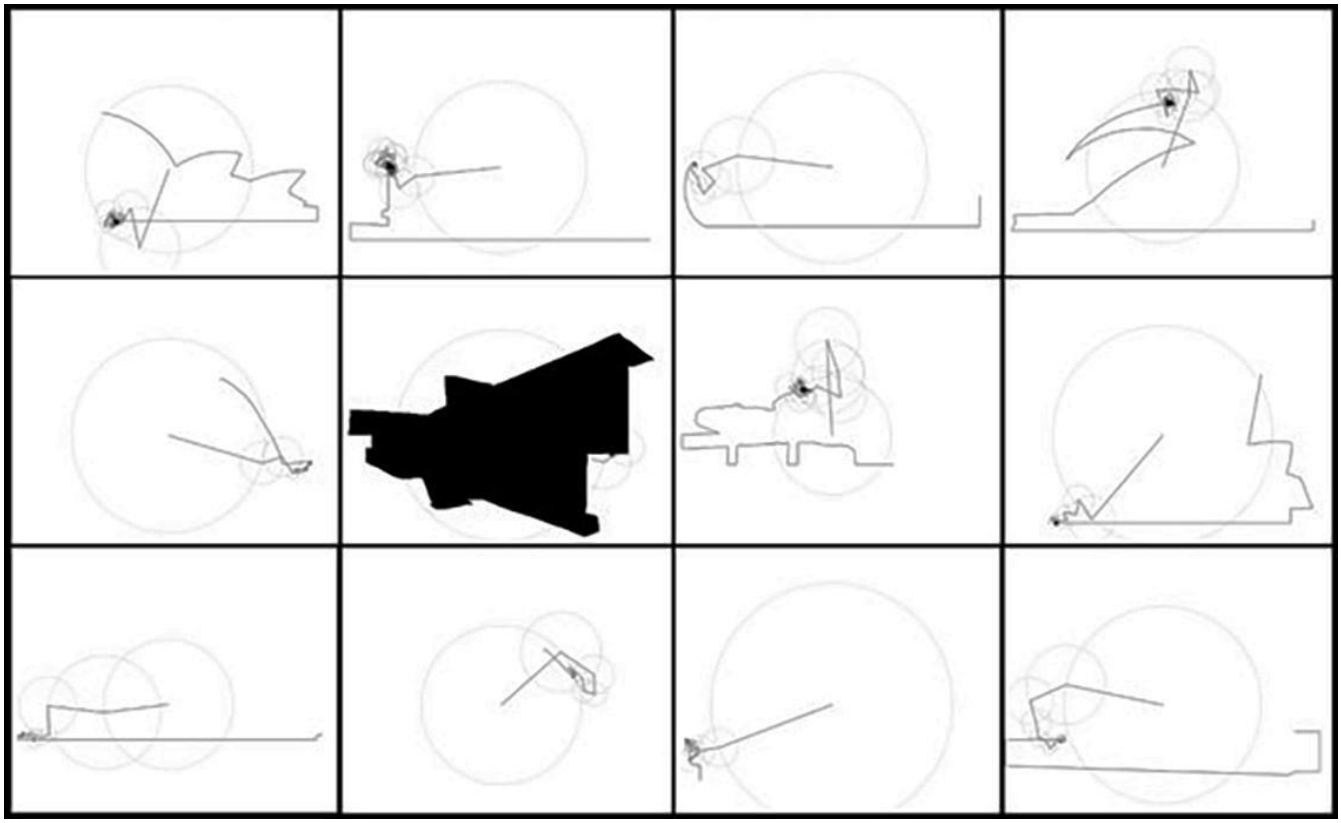



**Şekil 7:** Görselde format değişikliği ve Episaykıl bazlı hareket ile temsili. PNG – SVG – Episaykıl çizimi

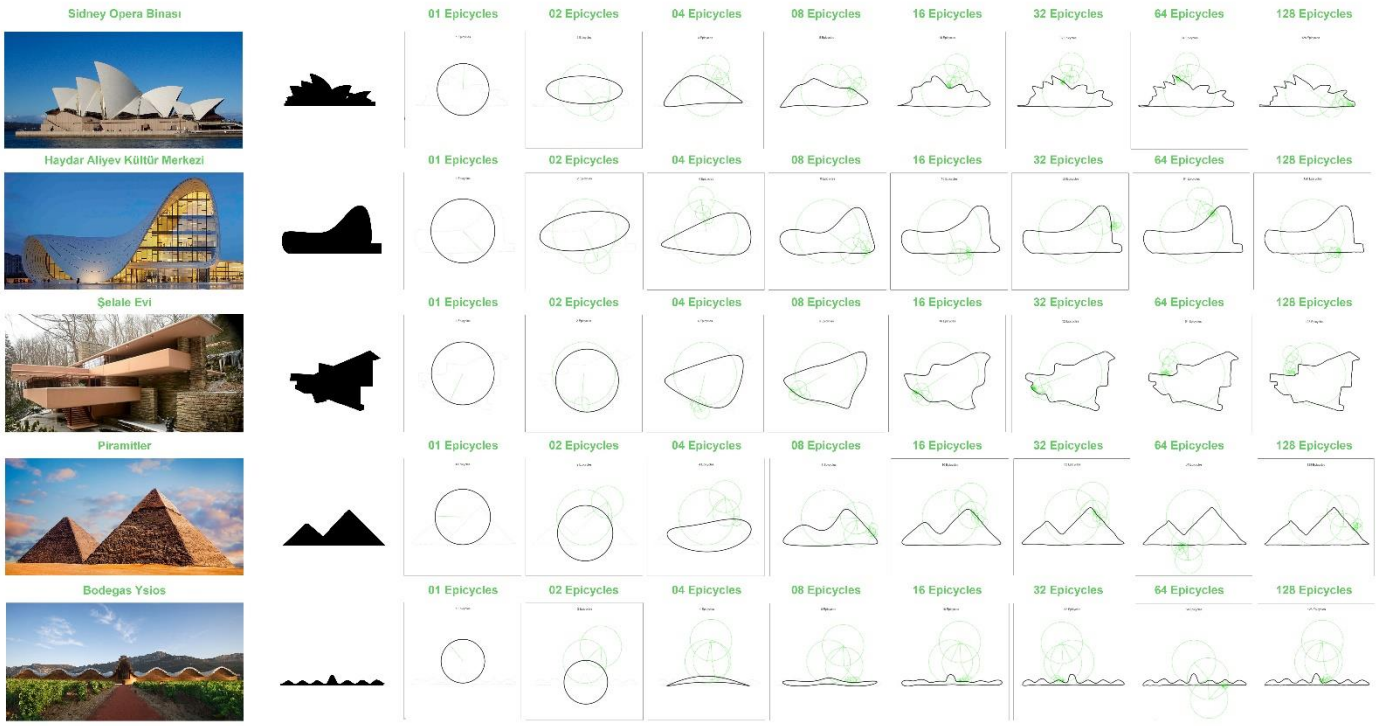
SVG formatı, vektörel çizimi, sürekliliği olan noktaların (başlangıç ve bitişi tanımlı bir dizi nokta) konum bilgisine sahip olduğu için Fourier Serisinin oluşturulacağı kompleks nokta kümesinin uygulamaya aktarabilmesini sağlamaktadır (**Şekil 7**). SVG formatına dönüştürme işlemi hangi detay seviyesinde yapılır ise oluşturulan çizimin Fourier Serisi ile matematiksel hale getirilmesi ve Episaykıllar ile temsil edilmesi daha fazla sayıda daire fonksiyonunun kullanılmasını gerektirmektedir. Çalışma, çizimin belirli bir detayda sınırlandırılması ve değerlendirmenin yapıların ana imgesi üzerinden kurulması amacıyla yapı çeper sınırlarının tanımlandığı şekilde vektörel dönüşümler yapılmaktadır.

### 3.2. Kontur Çiziminden Fourier Serisi ile Temsile Aktarım

Çalışma kapsamında önerilen modelde bir önceki aşamada Vektörel SVG formatına dönüştürülen görseller, bu aşamada Fourier Serisi ile temsil edilmektedir (**Şekil 8**). Dijital ortamda iki farklı yöntemle hazırlanan çizimler Fourier Serisi ile matematiksel/geometrik olarak çözümlenmektedir. Fourier Serileri üzerinden yapılan dönüşüm Javascript programlama dilinde hazırlanan "Epicycle Sketcher" isimli bir yazılım ile yapılmaktadır. Çizimlerin görselleştirilmesi ve animasyonunda P5.js kütüphanesi kullanılmaktadır.



**Şekil 8:** Şekil 5'teki 12 yapının ölçeklendirilebilir vektör grafikleri üzerinden Fourier Serisi ile matematiksel çözümlemesi ve Episaykıl Çizicisi ile temsil edilmesi.

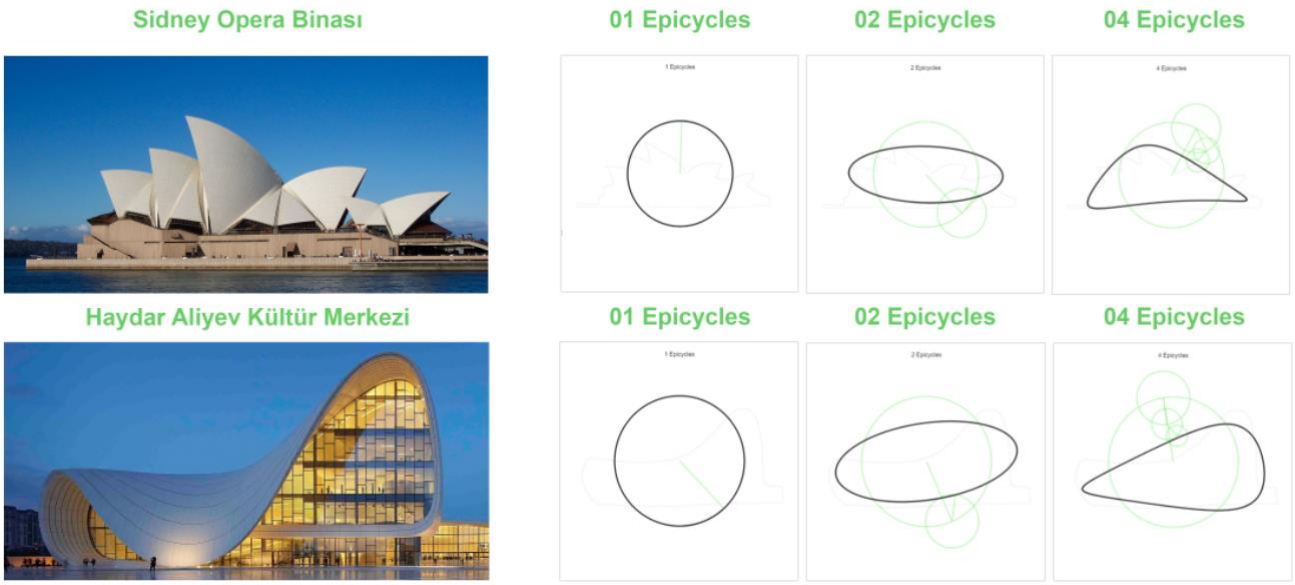



**Şekil 9:** Fourier Serileri ile Episaykıllar Üzerinden Temsil Edilen Beş Yapı (Şekil 6- a, c, f, i, j)

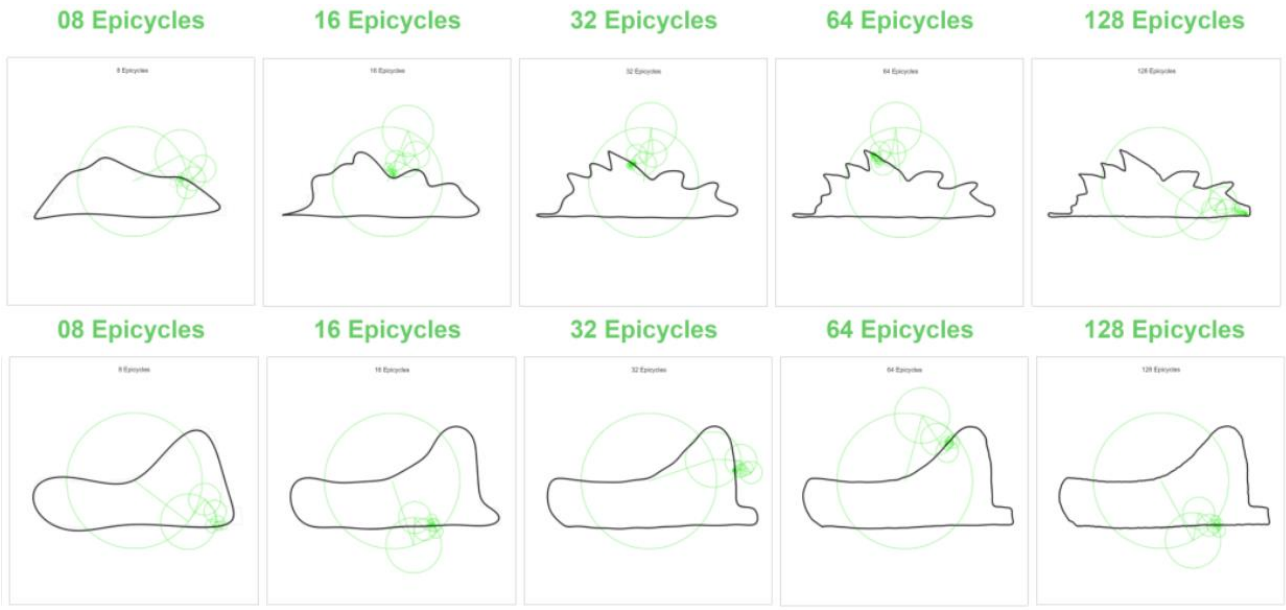
Çözümlenen ve dijital ortamda Fourier serisi olarak temsil edilen çizimler biçimsel parametreleri üzerinden eş zamanlı olarak dönüştürülerek (karmaşık/basit) değerlendirilmekte ve karşılaştırılmaktadır (**Şekil 9**).

### 3.3. Çizimin Varyantlarının Oluşturulması ve Değerlendirme

Geometrinin Episaykıllar üzerinden tanımlandığı bu çalışmada frekansın (episaykıl sayısının) değiştirilmesinin, biçimde bir sadeleştirmeye sebep olduğu gözlenmektedir. Dördüncü Episaykıldan itibaren biçimin ana proporsiyonunun kabaca oluşmaya başladığı gözlemlenmektedir.




**Şekil 10:** Sidney Opera Binası ve Haydar Aliyev Kültür Merkezi'nin Episaykıllar Üzerinden Geometrik Değerlendirmesi

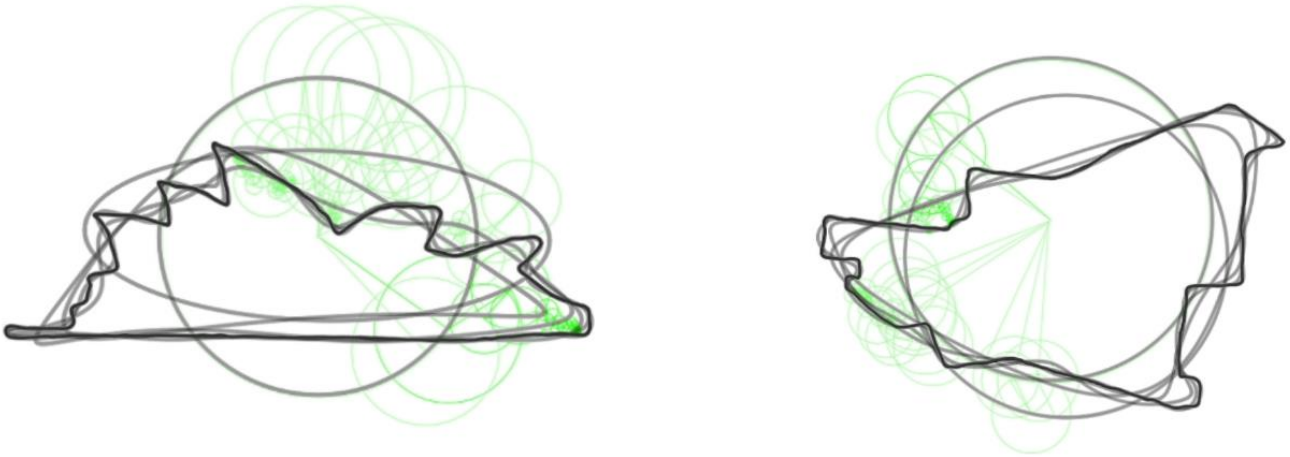



**Şekil 11:** Sidney Opera Binası ve Haydar Aliyev Kültür Merkezi'nin Episaykıllar Üzerinden Geometrik Değerlendirmesi

İmgeyi oluşturan biçimsel özelliklerin Episaykılların sayısının artması ile ortaya çıktığı görülmektedir (**Şekil 10**). Karmaşık ve köşeli geometrilerde ana imgeyi oluşturmak için gereken Episaykıl sayısı daha basit örneklere göre çok daha fazla sayıdadır. Örneğin Haydar Aliyev Kültür Merkezi yapısı çizimi 16 Episaykılda nihai imgesine yakın bir biçim oluşturabilirken Sydney Opera Binası çizimi için 32 Episaykıla ihtiyaç duyulmaktadır (**Şekil 11**). Wright'ın Şelale evi çizimini oluşturan geometriyi kurmak için gerekli olan Episaykıl sayısı ise en az 64'tür (**Şekil 12**).

**Şekil 12:** Şelale Evi'nin Episaykıllar üzerinden geometrik değerlendirmesi

Formu oluşturan yüzeylerin akışkanlığı ve keskinliği bu bağlamda geometrinin kurulmasında ve nihai imgenin oluşturulmasında önemli bir etkendir.



**Şekil 13: a:** Sidney Opera binası çizimi. **b:** Şelale Evi çizimi. Çizimler 1-128 arası episaykıl ile katmanlı temsili edilmektedir.

Farklı sayıda (1-128) episaykıllar ile oluşturulan çizimin katmanlı temsiline bakıldığında, ortaya konulan yöntemin mimar ve mimarlık nesnesi arasındaki karşılıklı etkileşimi zenginleştiren ve tasarımın erken aşamalarında kullanılabilecek bir araç olduğu düşünülmektedir (**Şekil 13**). Çizimin geometrisi matematiksel bir kesinlikle temsil edilirken aynı zamanda eskiz çiziminin içerdiği yanal biçimsel dönüşümlere (sadeleştirme, biçimsel soyutlama gibi) imkân tanıyan bir yapının kurulmasına olanak sağlamaktadır.

## 4. Sonuç ve Değerlendirme

Çizimi oluşturan bileşenleri Fourier Serileri ve Episaykıllar üzerinden ele almak biçimin gözle görülmeyen özelliklerine erişmek için bir deney alanı sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları yorumlandığında, Fourier Serileri ile temsilin, çizimi dönüştürmede ve çizimin geometrik özelliklerini ele almada mimari tasarım ve üretim süreçlerinde yeni ihtimalleri destekleyecek bir araç olduğu düşünülmektedir. Çalışmada Episaykıl değerleri değiştirilmekte ve sadeleştirme operasyonları yapılmaktadır. Fakat episaykılların dönüş hızı ve yarıçapı gibi özelliklerine müdahale edilmemektedir. Geometrinin içeriğini dönüştürmeye yönelik yapılacak araştırmalarda bu özelliklerin de değiştirildiği bir çalışma yapmak, Fourier Serilerinin geometriyi dönüştürmedeki etkisi daha anlaşılır kılacaktır. Diğer taraftan çalışmanın iki boyutlu düzlemle sınırlı kalmadığı üç boyutlu bir biçimsel üretim uzayının ilginç sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir. Bunlara ilaveten, mimari tasarımın erken aşamalarında üretilen el çiziminin Fourier Serileriyle çözümlenmesi, temsili ve dönüştürülmesi, derin öğrenme süreçlerinde kullanılabilecek veri seti oluşturulmasına

katkıda bulunma potansiyel taşımaktadır. Böylelikle Fourier Serileri, tasarımın erken aşamalarında yapay zekâ algoritmalarıyla birlikte kullanılabilecek yeni bir temsil tekniği olanağı sunmaktadır.

**Teşekkür**
Bu çalışmanın erken aşamaları, İTÜ Mimari Tasarım Lisansüstü Programı 2020-2021 güz yarıyılı doktora derslerinden MTS 614E Geometry in Architectural Design dersinde sunulmuştur. Katkıları için Prof. Dr. Sinan Mert Şener'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Anıtkabir. (n.d.). *Anıtkabir*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://www.anitkabir.tsk.tr/04_gorseller/fotograflar.html

Archdaily. (n.d.). *Walt Disney Concert Hall*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://www.archdaily.com/441358/ad-classics-walt-disney-concert-hall-frank-gehry

ArchEyes. (n.d.). *Summer Restaurant in Ufenau Island / Peter Zumthor.* Retrieved Jun 01, 2021, from https://archeyes.com/summer-restaurant-ufenau-island-peter-zumthor/

Architectural Digest. (n.d.). *Niterói Contemporary Art Museum*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://media.architecturaldigest.com/photos/56e0503d74e5740c4d1b79fa/master/w_400%2Cc_limit/oscar-niemeyer-01.jpg

Architizer. (n.d.). *Heydar Aliyev Center in Baku*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://blog.architizer.com/wp-content/uploads/Heydar-ALiyev-Center-in-Baku_cropped.jpg

Architizer. (n.d.). *Lotus Temple*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://blog.architizer.com/wp-content/uploads/Lotus-Tmple-Photo-by-Arpan-Das-980x614.jpg

Brehme, R. W. (1976). New look at the Ptolemaic system. *American Journal of Physics*, *44*(6), 506-514.

Cloudfront. (n.d.). *Egyptian Pyramids*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://d3rr2gvhjw0wwy.cloudfront.net/uploads/mandators/49581/file-manager/egyptian-pyramid,-egyptian-pyramids-facts,-egyptian-pyramid-inside.jpg

Dagdas, P. (n.d.). *Auditorio de Tenerife*. Retrieved Jun 01, 2021, from http://yunus.hacettepe.edu.tr/~pinar.dagdas/proje04/img/auditorio.jpg

Emmons, P. (2014). Demiurgic lines: line-making and the architectural imagination. *The Journal of Architecture*, *19*(4), 536-559.

Fallingwater (n.d.). *Fallingwater House*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://fallingwater.org/

Feyerabend, P. (1991). *Bilim Kilisesi*, çev. C. Cerit. Pınar Yayınları.

Frascari, M., Hale, J., Starkey,B. (2007). *Models and drawings*: The invisible nature of architecture. Routledge, Taylor & Francis Group. New York.

Gero, J., & Mazzullo, J. (1984). Analysis of artifact shape using Fourier series in closed form. *Journal of Field Archaeology*, *11*(3), 315–322

Godeaux, L. (1965). Çeşitli geometriler (Sayı 17). Türk Matematik Derneği Yayınları.

Hatch, R.A. (n.d.). Ptolemaic Astronomy, Retrieved Jun 01, 2021, from http://users.clas.ufl.edu/ufhatch/HIS-SCI-STUDY-GUIDE/summeryPtolemaicAstron3.jpg

Hetherington, N. S., & Ronan, C. A. (1984). Ptolemy's Almagest: Fourteen centuries of neglect. *Journal of the British Astronomical Association*, *94*, 256–262.

Inexhibit. (n.d.). *Solomon R. Guggenheim Museum*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://www.inexhibit.com/wp-content/uploads/2014/05/Solomon-R-Guggenheim-New-York-photo-David-Heald-870x580.jpg

Kaufman, A. (1993). *Rendering, visualization and rasterization hardware*. Springer Science & Business Media.

Klee, P. (1925/1953). *Pedagogical sketchbook*. Frederick A. Praeger Publishers, New York.

Liang, Z., Wang, X., Gong, J., & Nie, Z. (2020). Random generation of 2D geometry-controlled particles via the epicycle series. *Granular Matter*, *22*(4), 84. https://doi.org/10.1007/s10035-020-01031-z

Medium. (n.d.). *Sydney Opera Building*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://miro.medium.com/max/4250/1*-MklWDSjKS5vWEG5ZYXCww.jpeg

Meier, R. (n.d.). *Jubilee Church*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://www.richardmeier.com/wp-content/uploads/2014/07/P5.2004SF29.010-1024x792.jpg

Online Etymology Dictionary. (n.d.). *Epicycle*, Retrieved Jun 01, 2021, from https://www.etymonline.com/

Schoenberg, I. J. (1950). The finite Fourier series and elementary geometry. *The American Mathematical Monthly*, *57*(6), 390–404.

Swanson, J. (n.d) *An interactive introduction to fourier transforms*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://www.jezzamon.com/fourier/index.html

Tanrıverdi Çetin, Ç., Dülgeroğlu Yüksel, Y. (2020). Tracing the hidden dimension of line in architectural representation. *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture, 17*(1), 115-128. https://doi.org/10.5505/itujfa.2020.78800

Ysios. (n.d.). *Ysios Winery*. Retrieved Jun 01, 2021, from https://www.bodegasysios.com/en/ysios-winery

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Genetik Algoritmalar Kullanılarak 2 Boyutlu Poligon Şekilleri Eğrili Şekillere Dönüştürme Çalışması

Nurdan Akman [1]; Ethem Gürer[2]
[1,2] İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]akman.nurdann@gmail.com; [2] ethemgurer@gmail.com

## Özet

*Günümüzde öncelikli olarak mühendislik alanı araştırma konularından birisi olan şekil tanıma çalışmaları, teknoloji ve mimarlığın ara kesitinde de bir tür araştırma konusu haline gelmiştir. Şekil tanıma yöntemleri, mimarlıkta kullanılan 3 boyutlu model oluşturma programları arasında dosya geçiş problemlerinde kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel bağlamında yaygın kullanılan Maya, 3ds Max, SketchUp ve Rhino programları incelenmiştir. İlgili programların kullanıcı topluluklarında sıkça karşılaşılan poligon modelin NURBS modele dönüşüm sorularının çokluğu, bu probleminin önemini göstermektedir. Yapılan araştırmanın motivasyonu, mimarlık alanında sıklıkla karşılaşılan bu problemin çözülmesi için bir ön çalışma yapmaktır. Yapılan çalışmanın amacı, 3 boyutlu model dönüşümlerini 2 boyuta indirgeyerek, poligon şeklin eğrili şekillere dönüşümü için farklı teknikler geliştirmek ve teknikler arasında karşılaştırmalı analiz yapmaktır. Çalışma kapsamında, Rhino Grasshopper programı kullanılarak 6 farklı şekil üretim tekniği geliştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen üretim tekniklerinden elde edilen, çeşitli parametrelere bağlı şekiller genetik algoritma yardımıyla optimize edilmiştir. Galapagos eklentisi ile yapılan optimizasyonda, başlangıç ve sonuç şeklin kesişim alanları üzerine kurgulanan bir uygunluk fonksiyonu formülü oluşturulmuştur. Makalede sırasıyla, literatür taraması, uygunluk fonksiyonu ve üretim tekniklerinin açıklanması, tekniklerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi bölümleri yer almaktadır. Çalışma sonunda yapılan değerlendirmeye göre Cocoon Grasshopper eklentisi ile şekil üretim tekniği diğer üretim tekniklerine oranla daha fazla potansiyele sahiptir. Bu tekniğin seçilme nedeni, uygunluk fonksiyonu yönünden başarılı bir son ürün üretmesi, genotip ve fenotip çeşitliliğinin fazla olması, 3 boyutlu modelde uygulanma potansiyelinin diğer yöntemlere oranla fazla olmasıdır. Bu çalışmanın geliştirilmesi ile birlikte, 3 boyutlu poligon modelden NURBS modele dönüşüm çalışmaları yapılabilir. Böylece bu çalışmanın da motivasyonu olan, mimarlık alanında kullanılan programlar arasında dosya geçişlerindeki zorluklar ortadan kaldırabilir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Şekil tanıma, genetik algoritmalar, evrimsel yaklaşımlar, poligon şekil, eğrili şekil.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Akman, N., & Gürer, E. (2021). Genetik algoritmalar kullanılarak 2 Boyutlu poligon şekilleri eğrili şekillere dönüştürme çalışması. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 14-24). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Study on Conversion Work from 2D Polygon Shapes to Curved Shapes with Using Genetic Algorithms

Nurdan Akman [1]; Ethem Gürer [2]
[1,2] Istanbul Technical University
[1]akman.nurdann@gmail.com; [2] ethemgurer@gmail.com

## Abstract

*Shape recognition studies, which are primarily one of the research topics in the field of engineering today, have also become a kind of research topic in the intersection of technology and architecture. Shape recognition methods have the potential to be used in file transition problems between 3D modeling programs used in architecture. In the context of this potential, the widely used Maya, 3ds Max, SketchUp and Rhino programs have been examined. The multitude of questions about the conversion of the polygon model to the NURBS model, which is frequently encountered in the user communities of the related programs, shows the importance of this problem. The motivation of the research is to make a preliminary study to solve this problem, which is frequently encountered in the field of architecture. The aim of the study is to reduce 3D model transformations to 2 dimensions, to develop different techniques for transforming polygon shapes to curved shapes and to make a comparative analysis between techniques. Within the scope of the study, 6 different shape production techniques were developed using the Rhino Grasshopper program. The shapes obtained from the production techniques developed in the study, depending on various parameters, were optimized with the help of genetic algorithms. In the optimization made with the Galapagos plugin, a fitness function formula was created based on the intersection areas of the initial and final shape. In the article, there are sections of literature review, a fitness function and explanation of production techniques, and comparative evaluation of techniques. According to the evaluation made at the end of the study, the shape production technique with the Cocoon Grasshopper plugin has more potential than other production techniques. The reason for choosing this technique is that it produces a successful end product in terms of fitness function, the genotype and phenotype diversity is high, and its application potential in the 3D model is higher than other methods. With the development of this study, conversion studies can be made from the 3D polygon model to the NURBS model. Thus, the difficulties in transferring files between programs used in the field of architecture, which is also the motivation of this study, can be eliminated.*

***Keywords:*** *Shape recognition, genetic algorithm, evolutionary algorithms, polygon shape, curved shape.*

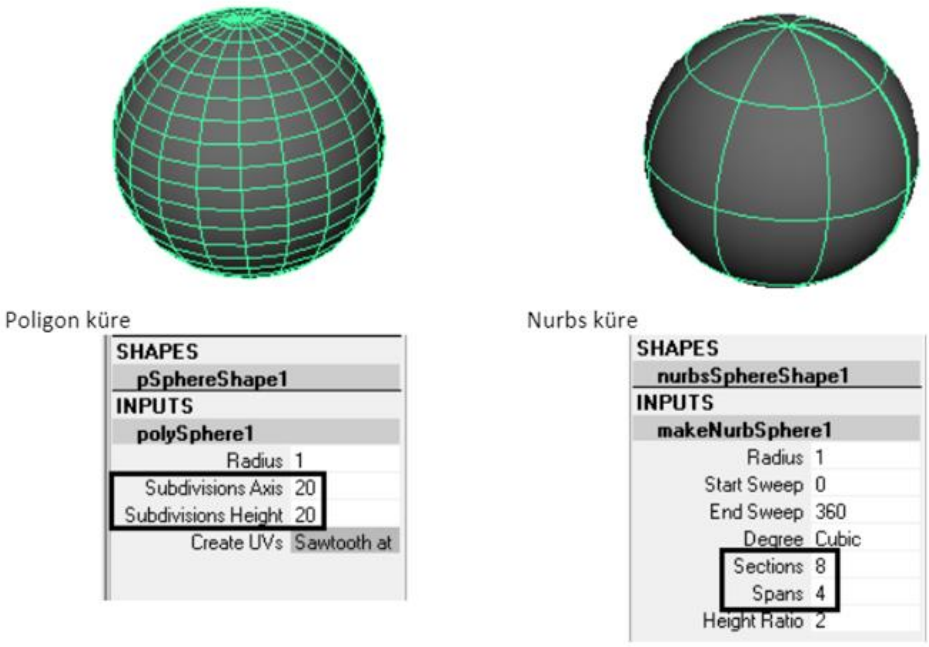
**Citation in APA Style:** Akman, N., & Gürer, E. (2021). A study on conversion work from 2D polygon shapes to curved shapes with using genetic algorithms. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 14-24). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

Günümüzde öncelikli olarak mühendislik alanı araştırma konularından birisi olan şekil tanıma çalışmaları, teknoloji ve mimarlığın ara kesitinde bir tür araştırma konusu haline gelmiştir. Şekil tanıma yöntemleri, mimarlıkta kullanılan 3 boyutlu model oluşturma programları arasında dosya geçiş probleminde kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel bağlamında yaygın kullanılan Maya, 3ds Max, SketchUp ve Rhino programları incelenmiştir. Bu programların forumlarında sıkça karşılaşılan poligon modelin ve NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) modele dönüşüm problemleri bulunmaktadır. Bu çalışma, 3 boyutlu model dönüşümlerini 2 boyuta indirgeyerek, poligon şeklin eğrili şekillere dönüşümünü 6 farklı teknik ile ele almaktadır. Bu çalışmanın amacı, bir tür üretken tasarım sistemi olan genetik algoritmalar ile 2 boyutlu düzlemde oluşturulan şekillerin dış kontürünü oluşturmak için geliştirilen 6 farklı teknik arasında karşılaştırmalı analiz yapmaktır. Çalışmanın geliştirilmiş versiyonu ile 3 boyutlu modellerde poligon modelden, NURBS modele dönüşüm sağlanabilir ve bu da mimarlık alanında kullanılan programlar arasındaki dosya geçişlerindeki zorlukları ortadan kaldırabilir.

### 1.1. Poligon ve NURBS Model

Mimarlık alanında 3 boyutlu model oluştururken, 2 tip model kullanılır: poligon ve NURBS. Ofluoğlu'na göre (2016) poligon modeller 3 temel bileşenden oluşur: nokta, kenar ve yüzey. Nokta, poligonun en küçük birimidir. En sık karşılaşılan poligonlar üç noktadan meydana gelir. Dört veya daha fazla noktadan meydana gelen poligonlar da bulunur. Kenar, iki noktayı bağlayan çizgilerdir. Yüzey, poligonun görsel sunumu olup, nesne render edildiğinde gördüğümüz kısmıdır. Bu doğrultuda poligon düz çizgilerle sınırları tanımlanmış kapalı bir düzlem olarak tanımlanabilir. Poligon modeller, render içeriği oluşturmak, 3d yazıcı uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Biran'a göre (2019), NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines ) düzgün olmayan rasyonel temelli eğri olup, eğrileri ve yüzeyleri oluşturmak ve temsil etmek için bilgisayar grafiklerinde yaygın olarak kullanılan matematiksel bir modeldir. Hem analitik hem de modellenmiş şekilleri işlemek için büyük esneklik ve hassasiyet sunar. B-spline işlevi, kontrol noktalarını referans alarak geçen ve düzgün eğriler oluşturan esnek bantların bir kombinasyonudur. Bu işlevler, bir dizi nokta kullanarak karmaşık şekillerin ve yüzeylerin oluşturulmasını ve yönetilmesini sağlar. B-spline işlevi ve Bézier işlevleri, şekil optimizasyon yöntemlerinde yoğun bir şekilde uygulanır. Ofluoğlu'na (2016) göre, NURBS modeller, doğruluğu yüksek geometriler oluşturmak, yüzeyler arasındaki geçişlerin devamlı olarak algılandığı modeller oluşturmak için yaygın olarak kullanılır. Ayrıca NURBS modeller aynı presizyona sahip poligon modellere oranca daha küçük dosya boyutuna sahiptir. **Şekil 1**'de benzer presizyona sahip poligon ve NURBS model farkını gösteren bir görsel mevcuttur.

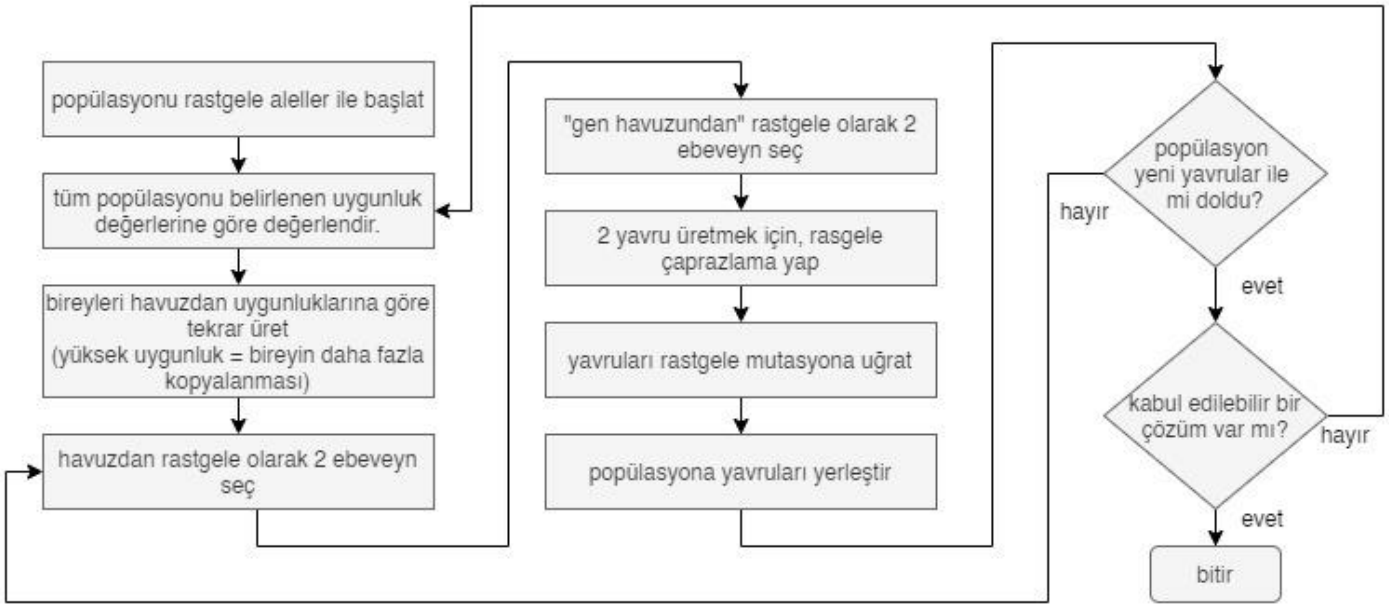



**Şekil 1**: Benzer hassasiyete sahip poligon ve NURBS model karşılaştırması (Ofluoğlu, 2006)

Mimarlık alanında kullanılan farklı programlar farklı model tiplerini destekleyebilir. Programların avantajlı yönlerinin kullanımı için programlar arası dosya aktarımı sıklıkla yapılmaktadır. Bu geçiş aşamasında karşılaşılan problemleri anlamak için, mimarlık alanında yaygın kullanılan Maya, 3ds Max, SketchUp ve Rhino programları incelenmiştir. Bu program forumlarının inceleme sürecinde poligondan NURBS modele dönüştürme işleminin tasarımcılar için büyük bir sorun olduğu fark edilmiştir. Bu ön araştırma sonucunda, poligon şekillerin eğrili şekillere dönüştürme çalışması yapımına karar verilmiştir.

### 1.2. Genetik Algoritmalar

Günümüz mimarlık alanında araştırma konularında sıklık ile karşımıza çıkan üretken tasarım sistemleri, tasarımcıya teknolojik bir destek sağlar ve tasarım sürecinin bazı bölümlerinin otomatikleştirme özelliklerine sahiptir. Singh ve Gu'ya göre (2012) üretken tasarım sistemleri belirlenen özelliklere göre birçok farklı üretim sağlar, tasarım süresinin azaltılması ile birlikte maliyeti düşürür, optimizasyon sayesinde tasarım için belirlenen önemli özelliklere göre en ideal tasarımın seçilmesi gibi birçok avantaj sağlar. Üretken tasarım sistemleri genel olarak 5 ana başlık altında incelenmektedir. Bu başlıklar; biçim grameri (Stiny,1980), L-sistemler (Lindenmayer, 1968), hücresel özdevinim (von Neumann, 1951), sürü zekası (Kennedy, 2006) ve genetik algoritmalar (Holland, 1992) şeklinde sıralanabilir. Bir tür üretken tasarım sistemi olan genetik algoritmalar bu çalışmada belirlenen formülasyona göre en uygun şeklin üretilmesi aşamasında kullanılacaktır. Genetik algoritmalar, doğadaki evrimsel süreçten esinlenilerek oluşturulan bir tekniktir. Gero ve Kazakov'a göre (2001), genetik algoritmalar evrimsel operatörleri farklı durumlardaki popülasyonlar üzerinde ve bir arama uzayında, uygunluk fonksiyonunu (fitness function) optimize etmek için kullanılır. Arama uzayı sabit karakterler ya da değişken uzunluklardan oluşur (kromozom ya da genotip), genotip uzayı başka bir arama uzayı (fenotip) üzerine haritalandırılır ve uygunluk fonksiyonu fenotip uzayında bir durum fonksiyonu olarak tanımlanır. Genetik algoritmalarda en ideal sonuca ulaşmayı sağlayan şey her bir jenerasyonda mutasyon ve rastgele çaprazlamalar (crossover) ile yeni bir nesil üretmesi ve belirlenen jenerasyon sayısına göre bu sonuçlar arasından uygunluk fonksiyonuna en yakın olan değeri göstermesidir. **Şekil 2**'de (Bentley, 1999, s.9) genetik algoritmaların genel çalışma mantığını anlatan akış şeması gösterilmiştir. Bu proje kapsamında, ilk olarak genetik algoritmaların çalışma mantığı anlaşılmış ve kullanımı için gerekli olan bilgiler ve kısıtlar belirlenmiştir.

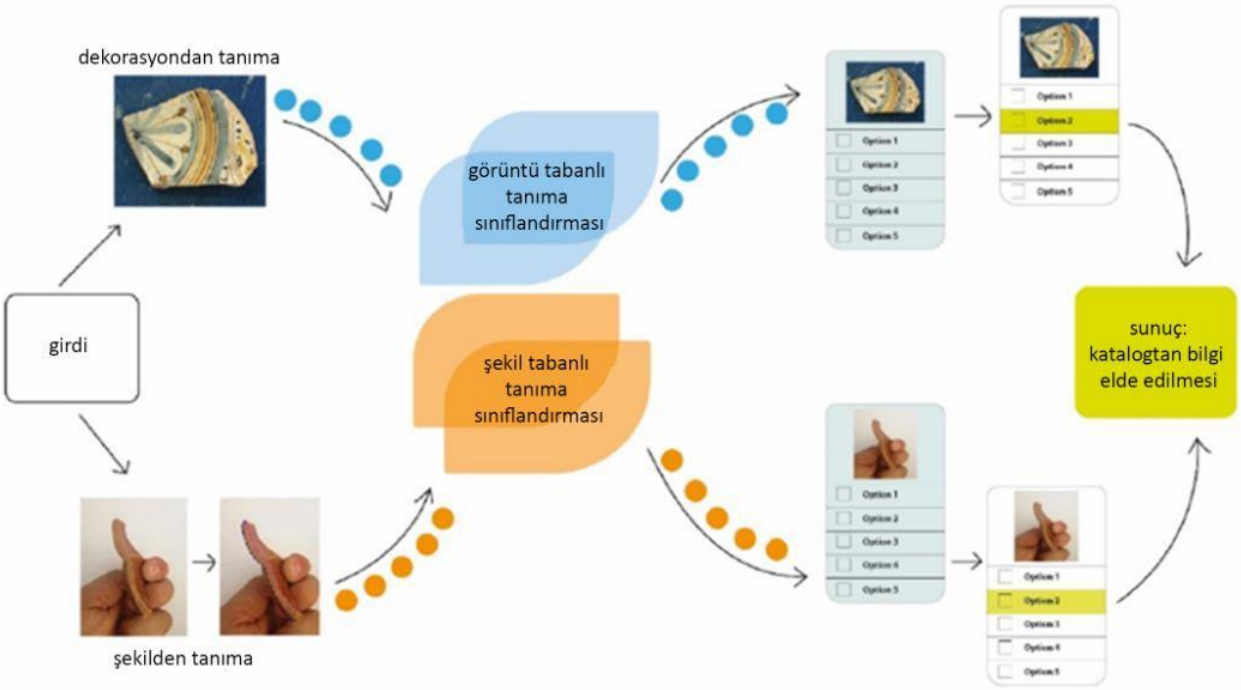



**Şekil 2**: Genetik algoritma şeması (Bentley, 1999, s.9)(Yazarlar tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir.)

### 1.3. Şekil Tanıma Çalışmaları

Bir şeklin tanımlanabilmesi ve yeniden üretebilme kabiliyeti olarak açıklanabilen şekil tanıma işlemleri birçok farklı alanda araştırma konuları arasında yer almaktadır. Şekiller farklı teknikler ile tanımlanıp yeniden üretilebilir. Örneğin, 2 veya 3 boyutlu uzayda, solid geometriler (Panley, Datta & Bhattacharya, 2017) , çizgisel-kontur temelli temsiller (Ozcan & Chilukuri, 1996) veya hacimsel üretimler (Baron & Fischer, 1999) gibi teknikler mevcuttur. Şekil tanıma konusu, tekstil mühendisliği alanında optimum beden ölçüsü belirleme konusunda (Xiaoning, 2021), çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile kullanılarak insan fizyolojisini inceleyen çalışmalarda (Ting & Bingfei, 2021), strüktürel

örüntü tanımlama (Khoo & Suganthan, 2003) gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Buna ek olarak mimari bağlamda Gualandi, Gattiglia ve Anichini'nin 2021 yılında yapmış olduğu çalışma örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmada, yapay zeka kullanılarak arkeolojik kazı alanlarından çıkarılan bir parçanın desen ve şeklini algılanmıştır. Parçadan elde edilen bilgiler doğrultusunda mevcut olan veri tabanından hangi arkeolojik ürünün parçası olabileceğine dair çeşitli çıkarımlar yapılabilmektedir. Çalışmanın akış şeması **Şekil 3**'te verilmiştir.




**Şekil 3**: Arkeolojik Kazı Alanlarında Şekil Tanıma Çalışması Akış Şeması (Gualandi, Gattiglia & Anichini, 2021, s.143) (Yazarlar tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir.)

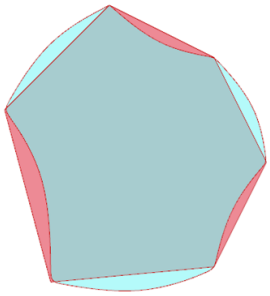
## 2. Şekil Üretim Teknikleri Denemeleri

Çalışma kapsamında poligon şekilden eğrili şekle geçiş için 6 farklı teknik denenmiştir. Bu teknikler Rhino Grasshopper ortamında farklı betikler kurgulanarak geliştirilmiştir. Her bir teknikte belirlenen parametrelere göre değişen üretimler bir genetik algoritma eklentisi olan "Galapagos" ile uygunluk fonksiyonuna göre optimize edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak uygunluk fonksiyonundan daha sonrasında ise yapılan çalışmalardan bahsedilecektir.

Genetik algoritmalarda uygunluk fonksiyonu sayesinde, genotiplerin çaprazlama veya mutasyon aracılığıyla optimum sonuca ulaşması sağlanır. Bu nedenle uygunluk fonksiyonunun tanımlanması çalışmanın önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Bu çalışmada başlangıç ve sonuç şeklin olabildiğince kesişimlerinin fazla olması ve alanlarının benzer olması istenmektedir. Aynı zamanda iki şeklin farklı olan alanlarının da minimum değerde tutulması hedeflenmektedir. Böylece başlangıç şeklin kenar çizgilerinden çok farklı olmayan üretimler elde edilebilir. Bu çalışmanın genetik algoritma süreci için Galapagos eklentisi kullanılmıştır. Bu eklentinin bir kısıtlaması da tek bir uygunluk fonksiyonu ile çalışmasıdır. Bu nedenle belirtilen 2 hedef **Formül 1**'deki gibi kurgulanmıştır. Sonuçlar arasındaki farkın daha büyük olmasını sağlamak için formülde şekillerin farklarının kareleri alınmıştır. Böylece daha hızlı sonuç alınabilmesi sağlanmıştır. Formüldeki değer minimum değere ulaştığında en ideal sonuç elde edilecektir. Uygunluk fonksiyonunun diyagramatik anlatımı **Şekil 4**'te gösterilmiştir.

$$\text{Uygunluk fonksiyonu} = \left| 1 - \frac{(\text{hedef şekil} / \text{üretilen şekil})^2 - (\text{hedef şekil} / \text{üretilen şekil})^2 - (\text{üretilen şekil} / \text{hedef şekil})^2}{(\text{üretilen şekil} / \text{hedef şekil})^2} \right|$$

**(Formül 1)**



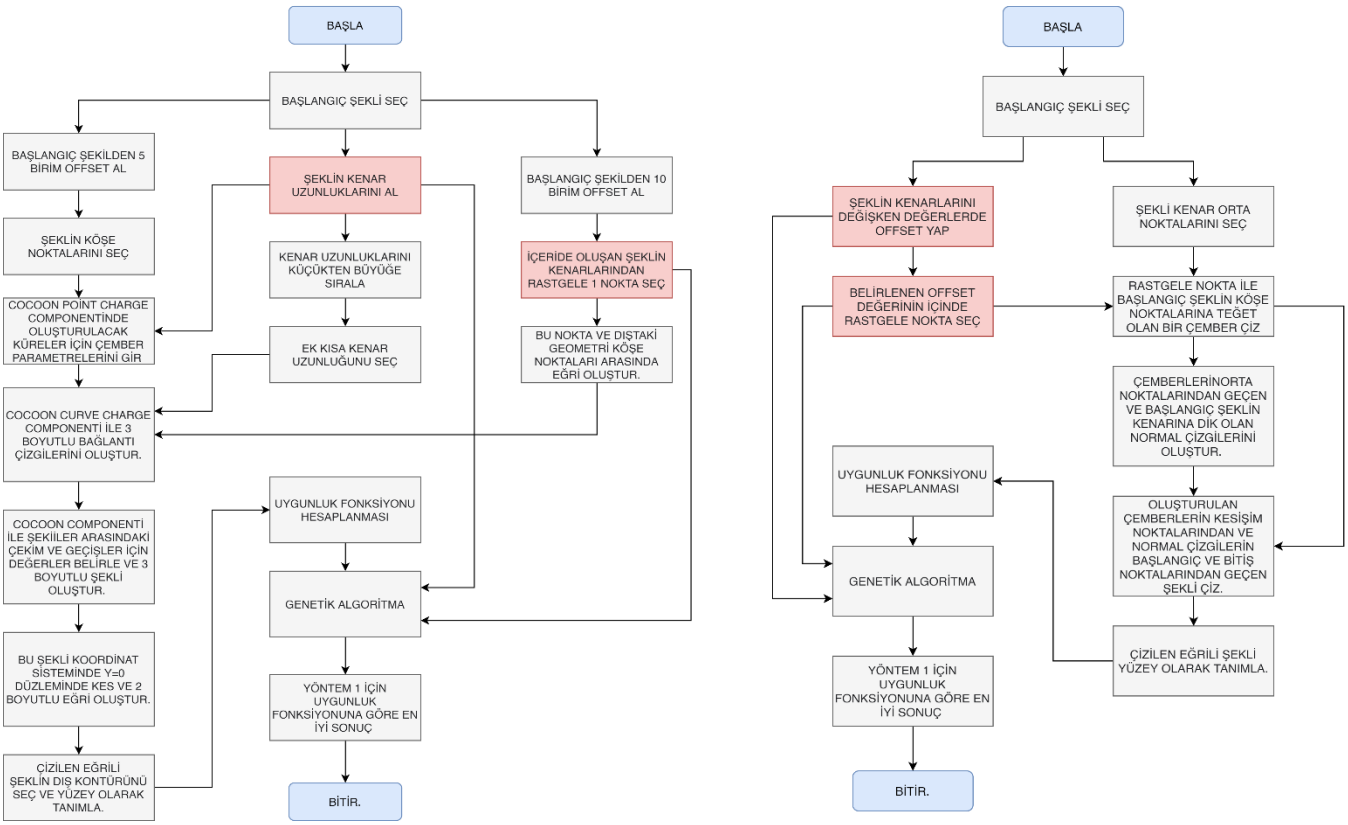
**Şekil 4**: Uygunluk fonksiyonu girdileri şematik anlatım (Kırmızı : başlangıç şekli / Mavi : üretilen şekil)

### 2.1. Cocoon ile Şekil Üretim Tekniği

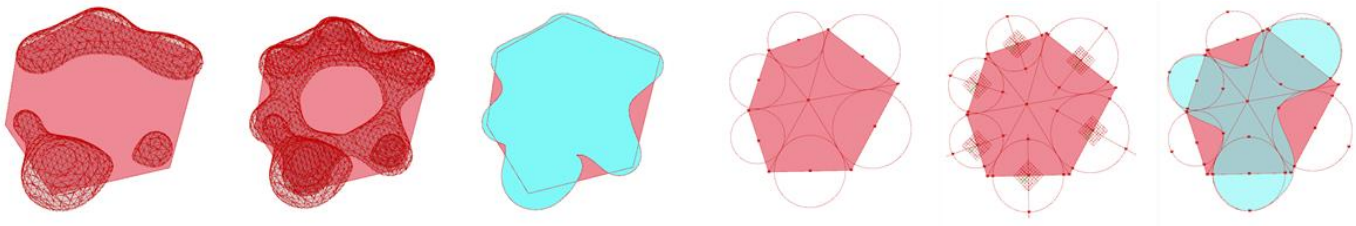
İlk üretim tekniğinde, Grasshopper ortamında Cocoon eklentisi kullanılmıştır. İlk olarak başlangıç şeklin içine değişken değerlerde offset uygulanarak bir geometri oluşturulmuştur. Bu eklenti sayesinde şeklin köşe noktalarından çeşitli parametrelere bağlı çemberler çizilmiştir. Bu çemberlerin çap değerleri komşu kenar uzunlukları ile ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda oluşturulan çemberler arasına bağlantı olmama durumuna karşın, içerideki offset şeklin kenarları üzerinden seçilen rastgele noktalar kullanılarak her bir kenara birer yay çizilmiştir. İlk üretim akış şeması detaylı olarak **Şekil 5**'in soldaki görselinde yer almaktadır. Aynı zamanda **Şekil 6**'nın soldaki görselinde üretim aşamaları ve en sonunda genetik algoritma çıktısı gösterilmiştir.

### 2.2. Kenar Orta Nokta ile Şekil Üretim Tekniği

İkinci üretimde, şeklin içinden seçilen rastgele bir nokta oluşturulmuştur. Bu nokta ile başlangıç şeklin köşe noktaları arasına doğrular çizilmiştir. Sonrasında ise oluşturulan doğrulara teğet olan ve başlangıç şeklin kenar orta noktalarını merkez kabul eden çemberler çizilmiştir. Bu çemberler ile elde edilen nokta listesinde sırasıyla başlangıç şeklin içinde ve dışında olan yarım daireler birleştirilerek eğrili şekil üretilmiştir. İkinci üretim akış şeması detaylı olarak **Şekil 5**'in sağdaki görselinde yer almaktadır. Aynı zamanda **Şekil 6**'nın sağdaki görselinde üretim aşamaları ve en sonunda genetik algoritma çıktısı gösterilmiştir.




**Şekil 5:** Soldaki, Cocoon ile üretim tekniği akış şeması: Sağdaki, Kenar orta nokta ile şekil üretim tekniği akış şeması



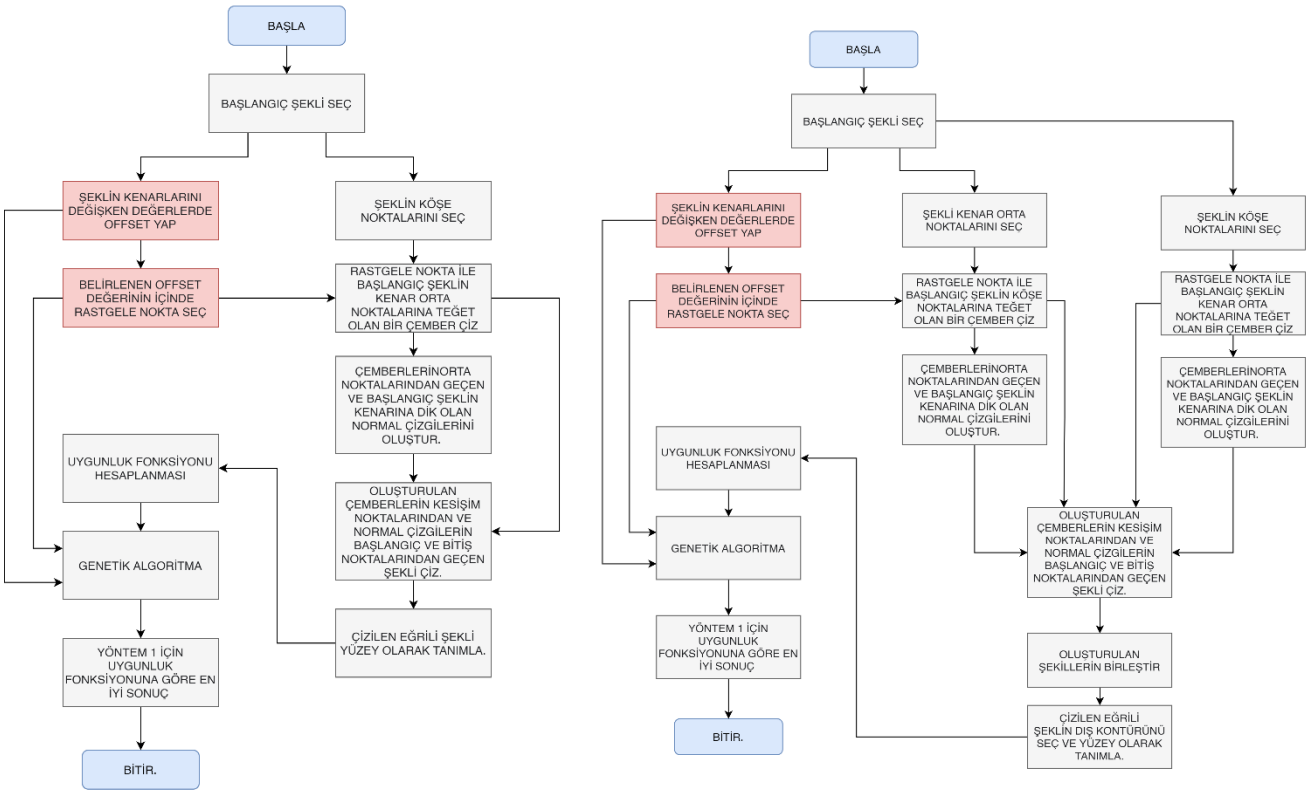
**Şekil 6:** Soldaki, Cocoon ile şekil üretim aşamaları: Sağdaki, Kenar orta nokta ile şekil üretim aşamaları

### 2.3. Köşe Noktası ile Şekil Üretim Tekniği

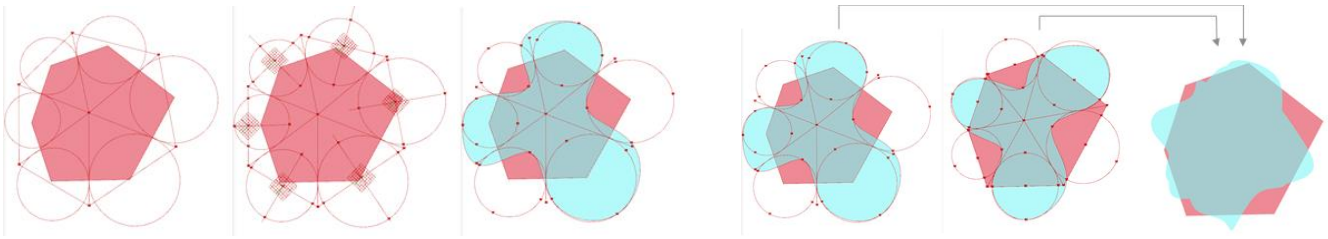
Üçüncü üretimin oluşturulma aşamaları ikinci üretime benzerdir. Aralarındaki fark, başlangıç şeklin kenar orta noktaları yerine köşe noktalarını merkez olarak kabul eden çemberler çizilmesidir. Üçüncü üretimin yapılma nedeni, kullanıcıya poligon şekili eğrisel şekile dönüştürürken 2. veya 3. üretimi seçme opsiyonunu vermektir. Bu üretimde de 2. üretime benzer olarak yarım daireler bir iç bir dış olmak üzere birleştirilmiş ve eğrisel şekil oluşturulmuştur. Üçüncü üretim akış şeması **Şekil 7**'nin soldaki görselinde, **Şekil 8**'nın soldaki görselinde üretim aşamaları ve genetik algoritma çıktısı bulunmaktadır.

### 2.4. Köşe ve Kenar Orta Nokta Birleşimi ile Şekil Üretim Tekniği

Dördüncü üretim, 2. ve 3. üretim tekniklerinin son aşamasında elde edilen nokta listesinin birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu şekilde 2. ve 3. şekildeki uzun ve az sayısaki eğrilerin daha çok sayıda ve kısa eğriler ile oluşturulması hedeflenmiştir. Temel hedef 2. ve 3. üretimlere göre uygunluk fonksiyonuna göre daha farklı üretim yapabilme potansiyeline sahip bir model geliştirmektir. Dördüncü üretim akış şeması detaylı olarak **Şekil 7**'nin sağdaki görselinde yer almaktadır. Aynı zamanda **Şekil 8**'in sağdaki tarafındaki görselinde üretim aşamaları ve genetik algoritma çıktısına yer verilmiştir.




**Şekil 7:** Soldaki, Köşe Noktası ile şekil üretim tekniği akış şeması: Sağdaki, Köşe Noktası ile şekil üretim tekniği akış şeması



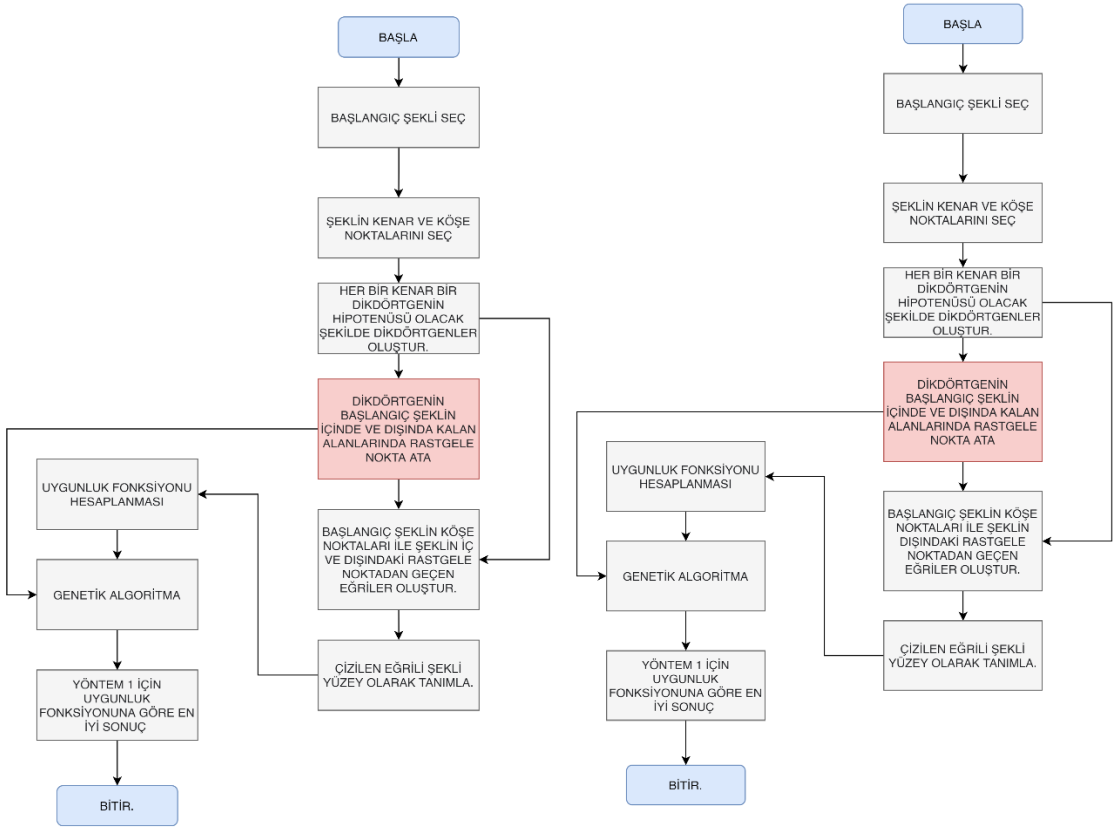
**Şekil 8:** Soldaki, Köşe Noktası ile şekil üretim aşamaları: Sağdaki, Köşe Noktası ile şekil üretim aşamaları

### 2.5. Kenar Çizgilerinden Dikdörtgenler Oluşturularak Şekil Üretim Tekniği - Alternatif 1

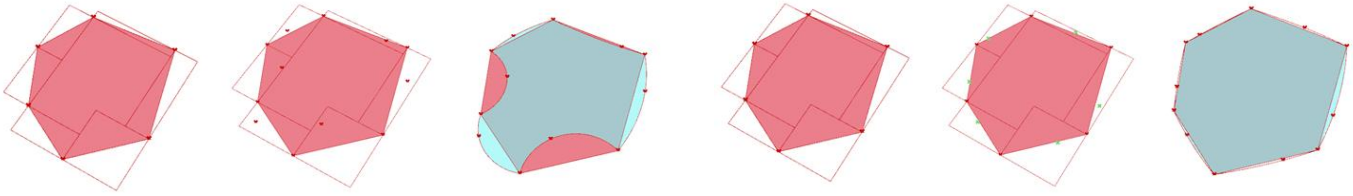
Beşinci üretim tekniğinde, sırasıyla uygulanan adımlar **Şekil 9**'un soldaki görselinde akış şeması olarak gösterilmiştir. Hedef şekil ilk olarak kenar ve köşe noktalarına ayrıştırılmıştır. Belirlenen kenarlarından her biri bir dikdörtgenin hipotenüsü olacak şekilde dikdörtgenler çizilmiştir. Sonraki adımda dikdörtgenlerin hedef şekil dışında kalan alanlarında rastgele noktalar atanmıştır. Bu noktalara 1 ile 100 arasında farklı seed değerleri verilmiştir. Bu değerler genetik algoritma sürecinde genome olarak sürece dahil edilmiştir. Elde edilen mevcut köşe noktaları ve hedef şekil bir iç bir de dış alanlarından seçilen noktalar yardımıyla 3 noktadan yay oluşturma yöntemi kullanılarak eğrilerden oluşan kapalı bir şekil oluşturulmuştur. **Şekil 10**'un soldaki görselinde, görsel olarak üretim aşamaları ve uygunluk fonksiyonuna göre üretilen çıktı bulunmaktadır.

### 2.6. Kenar Çizgilerinden Dikdörtgenler Oluşturularak Şekil Üretim Tekniği - Alternatif 2

Altıncı üretim tekniğinde, 5. üretim tekniği aşamaları uygulanmıştır. Aralarındaki fark, 5. teknikte başlangıç şeklin sırasıyla iç ve dışındaki noktalar seçilirken, 6. teknikte başlangıç şeklin dışında kalan rastgele noktalar seçilmiştir. Sonrasında 3 noktadan yay oluşturma yöntemi ile, başlangıç şekil köşe noktaları ve seçilen rastgele noktalar arasında yaylar oluşturulmuştur. Böylece, genetik algoritmaya girdi olabilecek kapalı eğrisel şeklin üretimi yapılmıştır. 6. tekniğin oluşturulma motivasyonu, 3. tekniğe benzer şekilde kullanıcıya farklı üretimler yapma opsiyonu vermektir. Altıncı üretim akış şeması detaylı olarak **Şekil 9**'un sağdaki görselinde yer almaktadır. Aynı zamanda **Şekil 10**'nun sağdaki görselinde üretim aşamaları ve uygunluk fonksiyonuna göre optimum çıktı gösterilmiştir.




**Şekil 9:** Kenar çizgilerinden dikdörtgenler oluşturularak şekil üretim tekniği akış şeması Soldaki, Alternatif 1: Sağdaki, Alternatif 2

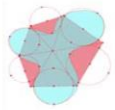
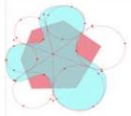
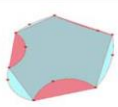
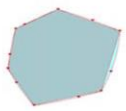


**Şekil 10:** Kenar çizgilerinden dikdörtgenler oluşturularak şekil üretim aşamaları Soldaki, Alternatif 1: Sağdaki, Alternatif 2

## 3. Değerlendirme

Çalışmanın bu bölümünde 6 farklı üretim tekniği farklı bağlamlarda değerlendirilmiştir. Her bir üretim tekniği, uygunluk değeri, işlem süresi, parametre sayısı, script değerlendirmesi, 3 boyutlu modelde kullanılma potansiyeli, biçimsel olarak analiz edilmiştir. Buna ek olarak, her bir tekniğin geliştirilmesi için gelecek çalışmalarda neler yapabileceğinden bahsedilmiştir. Genetik algoritmada uygunluk değeri minimum olacak şekilde bir optimizasyon uygulanmıştır. Bu nedenle uygunluk değeri analizinde minimum değere sahip olan model daha iyi sonuçlar verme potansiyeline sahip olacaktır. İşlem süresi çok önemli bir parametre olup, programın çalıştırıldığı donanıma da bağlıdır. Ancak, üretim tekniklerinin kıyaslanması için aynı donanıma sahip bilgisayarda her bir üretim tekniğinin 15 jenerasyon üretme süresi listelenmiştir. Parametre sayısı genetik algoritmalarda genotip sayısını arttırdığı için farklı sonuç ürüne ulaşıncaya kadar çok sayıda farklı üretim yapılmasını sağlayabilir. Bu nedenle parametre sayısının fazla olması pozitif değerlendirme sağlayacaktır. Scriptin kompakt ve uygulanabilir olması, otomatik olarak listelerden değerleri çekiyor olması farklı şekil denemelerinde hata sayısını azaltacağı ve zaman tasarrufu sağlayacağı için değerlendirmeye alınmıştır. Şeklin görsel olarak sivri köşelerinin olmaması da değerlendirme kriterleri arasında yer almaktadır. Tüm üretim şekilleri ve değerlendirme kriterleri **Tablo 1**'de yer almaktadır.

**Tablo 1**: Şekil Üretim Teknikleri Değerlendirme Tablosu

| | optimize edilmiş sonuç | uygunluk değeri (hedef minimuma yaklaştırılması) | işlem süresi (15 jenerasyon üretme süreleri ile değerlendirilmiştir.) | parametre sayısı | script değerlendirmesi | 3 boyutlu modelde kullanılma potansiyeli | şeklin biçimsel değerlendirilmesi | potansiyel çalışmalar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1. Cocoon ile Şekil Üretim Tekniği** | | 63.625,99 | 2 sdk 35 sn | scriptte toplam **16 adet** parametre kullanım potansiyeli vardır. Ancak işlem süresi nedeniyle 12 adet parametre değerlendirmeye alınmıştır. | plug-in olduğu için **kompakt** bir script hazırlanabilmiştir. | Cocoon eklentisinin özelliği sayesinde 3 boyutlu modelde kullanım **potansiyeli yüksek**tir. | şekilde oluştulan eğriler birbirleri ile **uyumludur ve keskin köşeler oluşmamıştır.** | - 3 boyutlu model denemsi yapılabilir.<br>- İşlem gücü fazla olan bir bilgisayar ile daha fazla parametre dahil edilebilir.<br>- Farklı şekiller üzerinden denemeler yapılabilir. |
| **2. Kenar Orta Nokta ile Şekil Üretim Tekniği** |  | 316.757,69 | 7 sn | **2 adet** prametreye bağlı bir üretim tekniğidir. Bu nedenle kısa sürede sabit bir uygunluk değerine ulaşıp takılmaktadır. | nokta listesinden **manuel** seçimler ile oluşturulan bir script hazırlanabilmiştir. | Manuel bir script olduğu için 3 boyutlu modelde kullanım **potansiyeli düşük**tür. | şekilde oluştulan eğriler birbirleri ile **uyumludur ve keskin köşeler oluşmamıştır.** | - çalışmanın parametre sayıları gözden geçirilerek çeşitlendirilebilir<br>- sistemi daha otomatik hale getirilebilir.<br>- Farklı şekiller üzerinden denemeler yapılabilir. |
| **3. Köşe Noktası ile Şekil Üretim Tekniği** |  | 1.048.162,60 | 6 sn | **2 adet** prametreye bağlı bir üretim tekniğidir. Bu nedenle kısa sürede sabit bir uygunluk değerine ulaşıp takılmaktadır. | nokta listesinden **manuel** seçimler ile oluşturulan bir script hazırlanabilmiştir. | Manuel bir script olduğu için 3 boyutlu modelde kullanım **potansiyeli düşük**tür. | şekilde oluştulan eğriler birbirleri ile **uyumludur ve keskin köşeler oluşmamıştır.** | - çalışmanın parametre sayıları gözden geçirilerek çeşitlendirilebilir<br>- sistemi daha otomatik hale getirilebilir.<br>- Farklı şekiller üzerinden denemeler yapılabilir. |
| **4. Köşe ve Kenar Orta Nokta Birleşimi ile Şekil Üretim Tekniği** | | 148.451,52 | 8 sn | **2 adet** prametreye bağlı bir üretim tekniğidir. Bu nedenle kısa sürede sabit bir uygunluk değerine ulaşıp takılmaktadır. | nokta listesinden **manuel** seçimler ile oluşturulan bir script hazırlanabilmiştir. | Manuel bir script olduğu için 3 boyutlu modelde kullanım **potansiyeli düşük**tür. | şekilde oluştulan eğriler birbirleri ile **uyumludur** ve bazı alanlarda **keskin köşeler oluşmuştur.** | - çalışmanın liste yapısı irdelenerek sonuç şekildeki keskin köşeler azaltılabilir<br>- sistemi daha otomatik hale getirilebilir.<br>- Farklı şekiller üzerinden denemeler yapılabilir. |
| **5. Kenar Çizgilerinden Dikdörtgenler Oluşturularak Şekil Üretim Tekniği - Alternatif 1** |  | 6.652,79 | 3 sn | **1 adet** prametreye bağlı bir üretim tekniğidir. Bu nedenle kısa sürede sabit bir uygunluk değerine ulaşıp takılmaktadır. | nokta listesinden **manuel** seçimler ile oluşturulan bir script hazırlanabilmiştir. | Manuel bir script olduğu için 3 boyutlu modelde kullanım **potansiyeli düşük**tür. | şekilde oluştulan eğriler birbirleri ile **uyumlu değildir** ve **keskin köşeler oluşmuştur.** | '- Oluşturulan komşu iki yayın arasındaki açının 140-160 derecelere yaklaştırılması uygunluk fonksiyonu denkleminde dahil edilebilir.<br>'- çalışmanın parametre sayıları gözden geçirilerek çeşitlendirilebilir<br>- sistemi daha otomatik hale getirilebilir.<br>- Farklı şekiller üzerinden denemeler yapılabilir. |
| **6. Kenar Çizgilerinden Dikdörtgenler Oluşturularak Şekil Üretim Tekniği - Alternatif 2** |  | 21.259.104,9 | 3 sn | **1 adet** prametreye bağlı bir üretim tekniğidir. Bu nedenle kısa sürede sabit bir uygunluk değerine ulaşıp takılmaktadır. | nokta listesinden **manuel** seçimler ile oluşturulan bir script hazırlanabilmiştir. | Manuel bir script olduğu için 3 boyutlu modelde kullanım **potansiyeli düşük**tür. | şekilde oluştulan eğriler birbirleri ile **uyumlu değildir** ve **keskin köşeler oluşmuştur.** | '- Oluşturulan komşu iki yayın arasındaki açının 140-160 derecelere yaklaştırılması uygunluk fonksiyonu denkleminde dahil edilebilir.<br>'- çalışmanın parametre sayıları gözden geçirilerek çeşitlendirilebilir<br>- sistemi daha otomatik hale getirilebilir.<br>- Farklı şekiller üzerinden denemeler yapılabilir. |

Değerlendirme tablosu incelendiğinde, 1. üretim tekniği olan Cocoon ile Şekil Üretim Tekniğinin diğer tekniklere göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. 1. üretim tekniği, uygunluk fonksiyonu olarak 5. üretim tekniğinden sonra

gelmektedir. Ancak 5. üretim tekniğine göre, 3 boyutlu modelde kullanım potansiyeli, scriptinin kompakt ve otomatik oluşu, üretilen şekilde keskin geçişlerin olmaması, çok sayıda parametre kullanma potansiyeli nedeniyle 1. üretim tekniği seçilmiştir. Buna ek olarak tüm bu avantajların yanı sıra 1. üretim tekniğinde işlem süresi diğer üretim şekillerinden 30 kat fazladır. Bu durum büyük ölçekli çalışmalarda çok önemli bir problem oluşturabilir. Ancak bu durumun nedeninin Cocoon eklentisinin 3 boyutlu çıktı vermesi ve 1. üretim tekniğinde bu 3 boyutlu çıktının XY düzleminde bir kesitinin sonuç çıktı olarak kabul edilmesi olabileceği tahmin edilmektedir.

## 4. Sonuçlar

Günümüzde öncelikli olarak mühendislik alanı araştırma konularından birisi olan şekil tanıma çalışmaları, teknoloji ve mimarlığın ilişkisinde de popüler bir çalışma konusu olmuştur. Bu konunun mimarlık alanında kullanılan 3 boyutlu modelleme programları arasında farklı model türlerinin (poligon ve NURBS) birbirlerine dönüşümü için 6 farklı şekil üretim tekniği geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında 2 boyutlu şekiller üzerinde denemeler yapılmıştır. Değerlendirme bölümünde de bahsedildiği gibi, 1. üretim tekniği değerlendirme ölçütlerine göre ileriki çalışmalar için en çok potansiyele sahip çalışmadır. Bu çalışmadan elde edilen bilgi ve deneyim sayesinde gelecek çalışmalarda 3 boyutlu model dönüşüm teknikleri geliştirilebilir. Bu sayede tasarımcının bir modeli başka bir model türüne dönüştürürken ara formları keşfetmesi sağlanabilir. Böylece tasarımcının farklı ilişkiler kurabilmesini ve yeni bakış açıları edinmesine katkı sağlayabilir.

**Teşekkür**

Bu çalışma İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Doktora Programı, 2020 - 2021 Bahar Yarıyılı Mimari Tasarımda Evrimsel Yaklaşımlar dersi kapsamında yapılan bir projeden türetilmiştir. Değerli katkılarından ve teşvik edici değerlendirmelerinden dolayı dersin yürütücüsü Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a, ufuk açıcı yorum ve katkılarından dolayı dersin araştırma görevlisi Özlem Çavuş'a ve tüm ders katılımcılarına teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Baron P., Fisher R., Mill F., Sherlock A. & Tuson A. (1999). A voxel-based representation for evolutionary shape optimization. *Artif Intell Engng Des, Anal Manufact, (13),* 145-156.

Bentley, P.(1999). *An introduction to evolutionary design by computers*. Morgan Kaufmann Publishers. 1–73.

Biran, A. (2019). *Geometry for naval architects*. Butterworth-Heinemann Publishers. 387–409. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100328-2.00021-3.

Gero, J. S., & Kazakov, V. S. (2001). A genetic engineering approach to genetic algorithms. *Evolutionary Computing, 9(1)*, 71-92. https://doi.org/10.1162/10636560151075121.

Gualandi, M.L., Gattiglia, G. & Anichini, F. (2021). An open system for collection and automatic recognition of pottery through neural network algorithms. *Heritage. 4(1)* , 140–159. https://doi.org/10.3390/heritage4010008.

Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems*. The MIT Press.

Kennedy J. (2006) Swarm intelligence. Handbook of Nature-Inspired and Innovative Computing. 187-219 https://doi.org/10.1007/0-387-27705-6_6.

Khoo, K. G., Suganthan, P. N.(2003). Structural pattern recognition using genetic algorithms with specialized operators. *IEEE SMC. 33(1).* 156-165. https://doi.org/10.1109/TSMCB.2003.808185.

Lindenmayer, A. (1968). Mathematical models for cellular interaction in development I. Filaments with one-sided inputs. *Journal of Theoretical Biology. 280(289).*

Ofluoğlu, S. (2016).Polygon and NURBS Modelling. Mimar Sinan Fine Arts University, Department of Informatics.Retrieved May 12, 2021, from https://docplayer.biz.tr/6294909-Poligon-modelleme-poligon-ve-nurbs-modelleme-arasindaki-farki-anlamak-icin-asagidaki-kure-incelenebilir.html.

Ozcan, E. & Mohan, C. K. (1996). Shape recognition using genetic algorithms. *College of Engineering and Computer Science - Former Departments, Centers, Institutes and Projects. 46*. https://surface.syr.edu/lcsmith_other/46.

Pandey, A., Datta, R. & Bhattacharya, B. (2017). Topology optimization of compliant structures and mechanisms using constructive solid geometry for 2-d and 3-d applications. *Soft Computing. 21.* 1157–1179.

Singh, V., & Gu,N. (2012).Towards an integrated generative design framework. *Design Studies. 33(2)*. 185-207.

Stiny, G. (1980). Introduction to shape grammars. *Environment and planning B: Planning and Design. 7(3).* 343-351.

Ting, W. & Bingfei, G. (2021). Automatic recognition and 3D modeling of the neck-shoulder human shape based on 2D images. *International Journal of Clothing Science and Technology*. https://doi.org/10.1108/ijcst-05-2020-0079.

von Neumann, J. (1951). The general and logical theory of automata. In L. A. Jeffress (Ed.), *Cerebral mechanisms in behavior-the Hixon symposium.* (pp. 1-41). New York: John Wiley.

Xiaoning, J. (2020, 15-17 October). *Research on the method of children's body shape recognition based on big data technology of dressed human body*. [Conference Presentation]. Sustainability Innovation & Fashion Technology International Conference,Shanghai, China.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Geleneksel Tasarımda Yeni Dirençlilik: Eskizin Sayısal Form Bulma Aracına Dönüşümü

Berfin Aybike Körükcü [1]; Asena Kumsal Şen Bayram[2]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Yüksek Lisans Programı;
[2]Maltepe Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
[1]korukcuberfin@gmail.com, [2]asenakumsalsenbayram@maltepe.edu.tr

## Özet

*Eskizler, tasarım disiplinlerinde, düşünme, problem çözme ve iletişim için temel temsillerdir. Mimari eskizler, tasarımdan yapıma bir düşünce sürecini temsil eder. Açık uçlu, bulanık, hızla üretilen el çizimleri, fikirlerinin soyuttan somuta dönüşmesinde erken tasarım aşamasından sonuç ürüne en önemli araçlardandır. Bilgisayar teknolojilerinin tasarım pratiğinin ayrılmaz bir parçası haline gelmesiyle uzun zamandır devam eden geleneksel-sayısal tasarım tartışmaları içinde eskiz çizimleri barındırdıkları yüksek potansiyeller ve süreçteki önemlerine karşın en hızlı vazgeçilen tasarım yöntemi olmaktadırlar. Bu çalışmada, eskizlerin tasarımın ilk fikrinden imalat detaylarına kadar barındırdığı bilgilerin, hibrit sayısal bir form bulma aracı ile ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Processing yazılımında Java kodlama dili ile geliştirilen algoritma ve kullanımı kolay arayüz sayesinde, sürü algoritmalarını temel alan bir form arayışının geleneksel eskiz üzerinde konsept aşamasındaki fikirlerin sınırlarını genişleteceği düşünülmektedir. Çalışma eskiz ve sayısal ortamlarda eskizi sayısala dönüştürme araçları ile ilgili kısa bir literatür araştırması ile başlayarak, Processing yazılımı ile geliştirilen algoritmanın detaylı açıklaması ile devam etmektedir. Araç, eskizlerine ulaşılabilen yedi mimari eser üzerinden denenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Processing yazılımının gelişime açık ortamı sayesinde, algoritmanın temel mantığına tercih edilen eklemeler yapılarak, eskizlerin istenilen yönde geliştirilebilecek olmasının, tasarımcının dilediği tür bir form arayışı yapması bağlamında büyük potansiyel barındırdığı düşünülmektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Eskiz, sürü davranışı, biçim bulma.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Körükcü, B. A., & Şen Bayram, A. K. (2021). Geleneksel tasarımda yeni dirençlilik: Eskizin sayısal form bulma aracına dönüşümü. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 25-34). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# New Resilience in Traditional Design: Sketch as Digital Form Finder

Berfin Aybike Körükcü [1]; Asena Kumsal Şen Bayram [2]
[1]Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing Graduate Program;
[2]Maltepe University, Faculty of Architecture and Design
[1]korukcuberfin@gmail.com, [2]asenakumsalsenbayram@maltepe.edu.tr

## Abstract

*Sketches are essential representations for thinking, problem-solving, and communication in the design disciplines. Architectural sketches represent a thought process from design to construction. Open-ended, fuzzy and rapidly produced hand drawings are the most important tools in transforming ideas from abstract to concrete, from the early design stage to the final product. As computer technologies have become an integral part of design practice, despite their high potential and importance in the process, hand sketches have become the fastest abandoned design method in the long-standing traditional-digital design discussions. This study aims to reveal the information that hand sketches contain, from the first idea of the design to the manufacturing details, with a hybrid digital form-finding tool. It is thought that the search for a form based on swarm algorithms will expand the boundaries of ideas at the concept stage on hand sketches, with the algorithm developed in Processing software with the Java coding language and an easy-to-use interface. The study starts with a brief literature review on sketching and tools for converting hand sketches into digital environments and continues with a detailed explanation of the algorithm developed with Processing. The tool has been tested on seven architectural sketches of built designs and the results have been interpreted. It is believed that the fact that the sketches can be developed in the desired direction by making preferred additions to the basic logic of the algorithm, due to the development-open environment of Processing, has great potential in terms of the designer's search.*

***Keywords:*** *Sketch, flocking, form-finding.*

**Citation in APA Style:** Körükcü, B. A., & Şen Bayram, A. K. (2021). New resilience in traditional design: Sketch as digital form finder. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 25-34). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Mimarlık pratiğinin el ile yapılan, alet tabanlı (*manually driven, tool-based*) yapısının bilgisayar destekli, form tabanlı (*computer-driven, form based*) (Terzidis, 2006) bir uygulamaya dönüşümü, biçim, malzeme, fonksiyon ve teknik konularında neyin mümkün olabileceğine dair tasarım ve uygulamada yeni arayışlara zemin hazırlamıştır (Iwamoto, 2009; Dunn, 2012). Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimi ile bilgisayarı bir tasarım aracı olarak kullanmak, üretimde olduğu kadar mimari düşünme seklinde de değişimlere sebep olmuştur. Hesaplamalı tasarım araçları ile birlikte basit geometrik sınırlar ortadan kalkmış ve karmaşık formların üretilebilirliği artmıştır. 1980'lerde bilgisayarın gündelik hayatın bir parçası haline gelmesi ve hızla gelişen sayısal arayüzler ile *tasarım aracına*, 1990'larda sayısal temsil ve ifade arayüzleri ile *tasarım ortamına* ve 2000'lerde bilgi teknolojilerinin de eklenmesiyle *tasarım ortağına* dönüşen bilgisayar destekli tasarım, mimarlıkta biçim üretme çalışmalarını biçim bulma anlayışına dönüştürmüştür (Kolarevic 2003). Bu noktada tartışmalar, gelenekselden kopuşun ve sayısala evrimin yaratabileceği potansiyel yaratıcılık boşlukları üzerinde yoğunlaşırken, geleneksel yöntemlerin sayısal ortamlara aktarılması üzerine bir çok farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak tasarımcılar yeni yetenekler geliştirmiş, bazen de dışında kalmayı tercih etmiştir. Genel olarak bilgisayar destekli tasarım araçlarının tasarımcının sezgisini aktarmada yetersiz kalacağı fikri baskın olsa da, tasarımın ilk aşamalarında hızla ve geniş bir yelpazede alternatif üretme potansiyeli bakımından kuvvetli yönlerine dikkat çeken bir çok çalışma da mevcuttur (Güney, 2015; İslamoğlu & Değer, 2015). İleri modelleme araçları, tasarımcılar için geleneksel yöntemlerle üretimi ve algısı zor tasarımları gerçekleştirmeye imkan sağlamaktadır (Dunn, 2012).

Tüm bu tartışmalar ışığında, geleneksel tasarımın temel öğelerinden biri olan el eskizinin, sayısal ortamlarda yaratıcılık ve gelişim imkanlarının sorgulanmasının önemli bir araştırma konusu olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple çalışmada, el eskizinin sayısal ortamlarda bir form bulma aracı olarak kullanılmasını sağlayacak bir algoritma yaratmak hedeflenmiştir. Böylece, el çizimindeki serbestliğin bilgisayar ortamına yansıması sağlanırken, geleneksel/sayısal karşıtlığında bir seçim yapmaksızın, hibrit bir araçla tasarımın ilk aşamalarındaki eskiz çalışmalarının üç boyutlu form potansiyellerinin keşfedilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde eskiz ve sayısal ortamlarda el eskizini sayısala dönüştürme araçları ile ilgili bir araştırma yapılarak çalışmanın literatürdeki yeri belirlenmiştir. Üçüncü bölümde *Processing* ile geliştirilen algoritma açıklanmış ve inşa edilmiş yedi mimari tasarımın eskizleri üzerinden denenerek sonuç ürünler yorumlanmıştır. Yapılan biçimsel karşılaştırmanın potansiyellerinin tartışıldığı sonuç bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

## 2. Eskiz ve Hibrit Eskiz Araçları

Eskizler, tasarım disiplinlerinde, düşünme, problem çözme ve iletişim için temel temsillerdir. Mimari eskizler, tasarımdan yapıma bir düşünce sürecini temsil eder. Açık uçlu, bulanık, hızla üretilen el çizimleri, fikirlerinin soyuttan somuta dönüşmesinde, erken tasarım aşamasından sonuç ürüne en önemli araçlardandır. Tasarım probleminin kendisi kadar önemli olan eskizler (Kahn, 1931) tasarımda sentezin çıkış noktası olan keşif araçlarıdır (Graves, 1977). Bu sebeple tasarımcı, el çizimlerini sadece tasarım problemini çözmek için kullanmanın ötesine geçerek, çizimiyle etkileşime girdiği bir ana düşünce aracı olarak kullanmalıdır (Herbert, 1993). Bu fikirleri destekleyecek şekilde, Goldschmidt (1991) eskizin iki yönlü bir faaliyet olduğundan bahseder. Eskizle tasarım bir diyalog halinde yürür ve tasarımcı çizdiği şeyden sürekli geri besleme alarak onu yorumlayıp, ondan yeni şeyler çıkarıp tasarım sürecini ilerletir, yapılanı görmek ve gördüğünden yeni fikirler çıkarmak anahtar kelimelerdir.

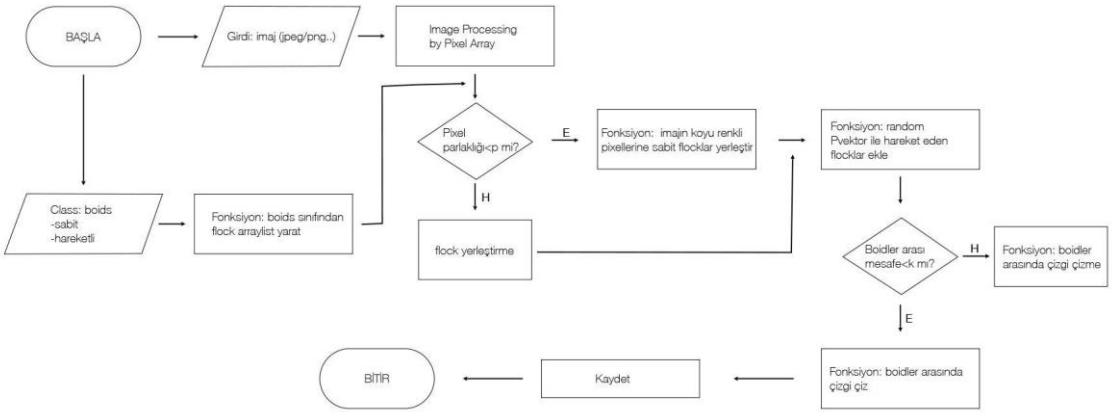
Bilgisayarın tasarım sürecine dahil olmasından beri bu geri besleme pratiği ve eskizlerin bilgisayar ortamına aktarılması bir tartışma ve araştırma konusu olmuştur. Bu konuda yapılan ilk çalışmalar eskizi direkt olarak ekrana aktarıp, bir arayüz ile kalem konturlerini iki boyutlu çizgi ve şekillere dönüştüren çalışmalardır (Eggli ve diğ.,1997). Sonraki çalışmalarda elde çizilmiş şekilleri dijital ortamda tanımlanmış çizgi, yay gibi şekillere yakınsayan (Li ve diğ., 2016) ve bir cismin birbirinden farklı iki veya üç görünüşünün çizimini bilgisayar ortamına aktarıp buradan bir üç boyutlu yüzey elde edebilen (Li ve diğ., 2018) örnekler mevcuttur.

Bu araştırmada, bahsi geçen çalışmalardan farklı olarak, nihai bir form oluşturmak veya el çizimlerini tanımlı şekillere dönüştürerek mükemmelleştirmek yerine, eskizlerden imaj olarak yararlanılarak ve piksellerinin özellikleri

kullanılarak tasarımı güçlendirecek yeni potansiyeller araştırılmaktadır. Bu yönüyle çalışma, daha önce bahsedilen form bulma kavramını destekleyerek, formun davranışı ile yeni araştırma alanları açmaktadır.

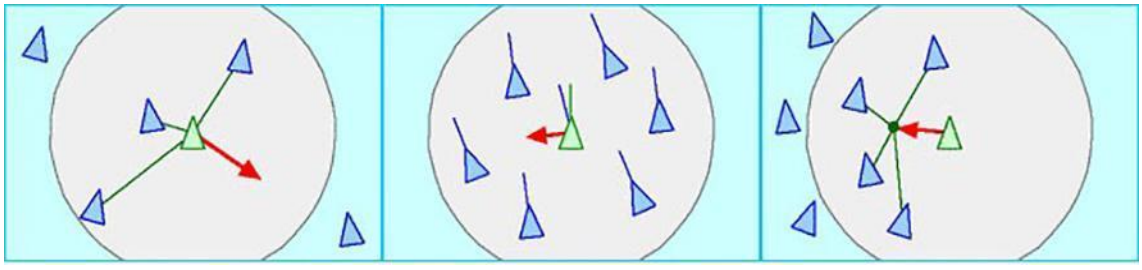
## 3. Processing ile Eskiz Tabanlı Bir Form Bulma Aracı Önerisi

Önceki bölümde bahsedilen kavramsal tasarım sürecinin lineer değil geri beslemelerle döngüsel/bütüncül bir süreç olması sebebiyle, eskizin esnek ve yaratıcı doğasını desteklemek için, eskiz tabanlı form üretiminde kodlama ile potansiyellerinin keşfi bu çalışmanın konusudur. *Processing* ortamında Java dilinde kodlanarak geliştirilen algoritma, eskize bağlı üç boyutlu görselleştirmeler sunmaktadır. Bu algoritma için geliştirilen basit arayüz ise, farklı form arayış alternatiflerinin kolaylıkla gerçekleşmesini sağlamaktadır. Algoritmanın çalışma prensibi **Şekil 1**'deki akış diyagramında ifade edildiği gibidir.




**Şekil 1:** Algoritma akış diyagramı

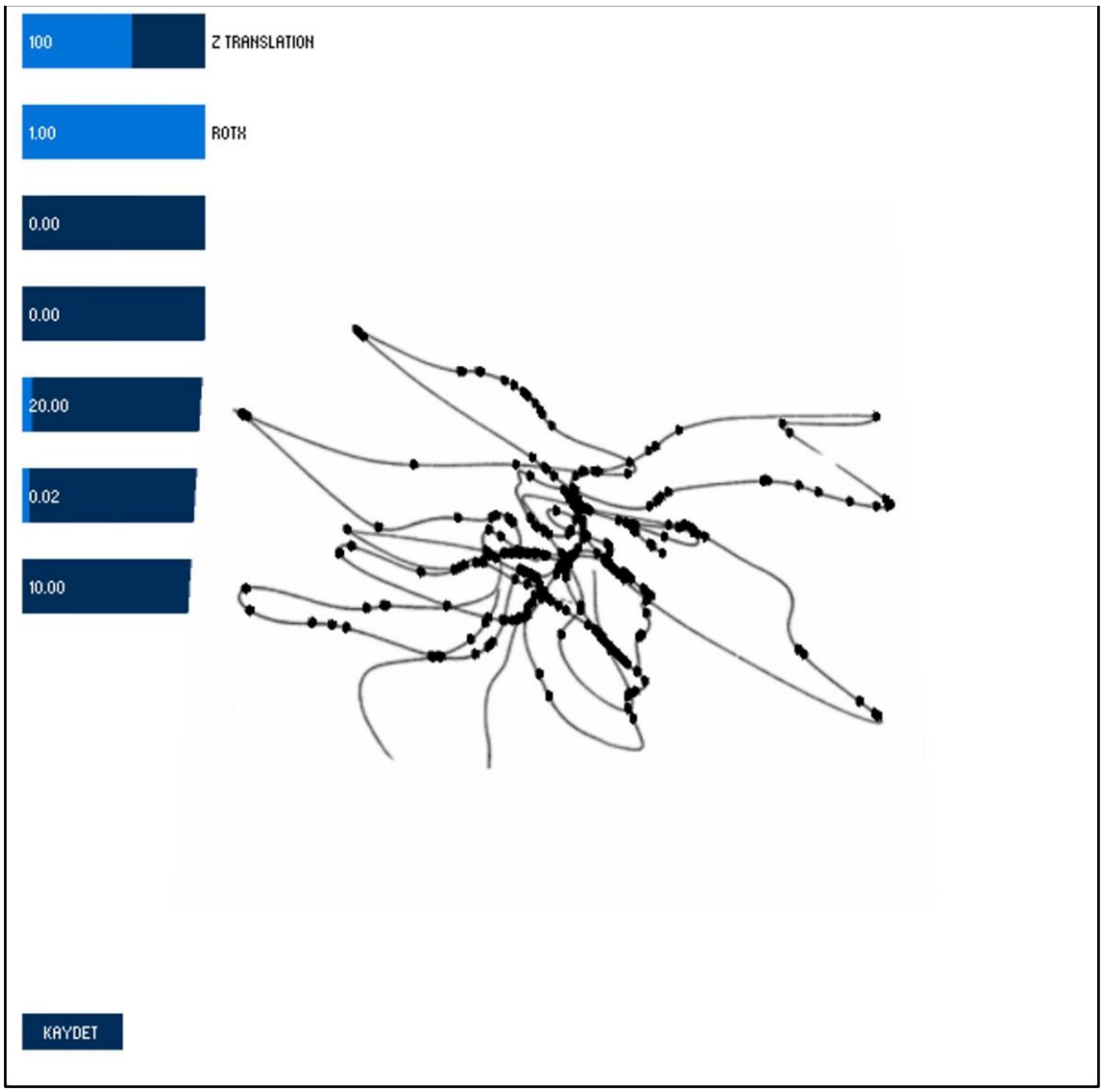
Eskizlerin birebir çevirisini yapmaktansa, barındırdığı potansiyelleri araştırmak için, eskizi büyümeye olanaklı canlı bir organizma gibi çalıştırmak temel fikir olmuştur. Bu amaçla eskizlerdeki piksel değerlerini baz alan sürü davranışı algoritması "*flocking*"den yararlanılmıştır. *Flocking*; kuşlar, balıklar ve böcekler gibi birçok canlı varlığın özelliği olan bir grup hayvan davranışıdır (Reynolds, 1987). Bu davranışta bireysel organizmaların kodlanmış davranışları toplu davranış özellikleri gösterdiklerinde, bireysellikten farklı fakat bu özelliklere bağlı bir şekilde karmaşık adaptif davranışı etkiler. Bu sayede ufak değişiklikler karmaşıklık ve çalışma kapsamında yorumlandığında yaratıcılık seviyelerini arttırır. Reynolds (1987) kuş benzeri organizmalar için '*boid*' kelimesini kullanarak bir *boid* sınıfı oluşturur. Her bir *boid* tanımlanan alanda hareket edebilir fakat yalnızca belli bir çap içindeki sürü arkadaşlarına yanıt verir. Temel model çarpışmadan kaçınmak için yönlendirme (ayrılık), grupla birlikte kalma (uyum) ve aynı yönde yönlenme (hizalama) olmak üzere üç yönlendirme davranışından oluşur (Reynolds, 1987) (**Şekil 2**).



**Şekil 2**: Flocking davranışı kuralları (Reynolds, 1987)

Shiffman (2012), Reynolds'ın (1987) algoritmasını *Processing* ortamında yeniden yorumlamıştır. Çalışmada Shiffman'ın *Flocking* algoritmasından yararlanılarak, üretimler üçüncü boyuta uyarlanmıştır. Sistemin girdileri *png* formatında el eskizi imajlarıdır. Eskizdeki çizimlerden yararlanmak için *piksel sıralama* (pixel array) algoritmaları kullanılır. Bu algoritmalar sayesinde, imgeye dair pikseller iki boyutlu bir dizide tutulur ve algoritmanın okuyacağı

bilgiye dönüştürülür. Eskizin koyu renkli piksellerine karşılık gelen koordinatlara istenen yoğunluğu sağlayacak kurallar ile sabit sürü elemanları yerleştirilir (**Şekil 3**).



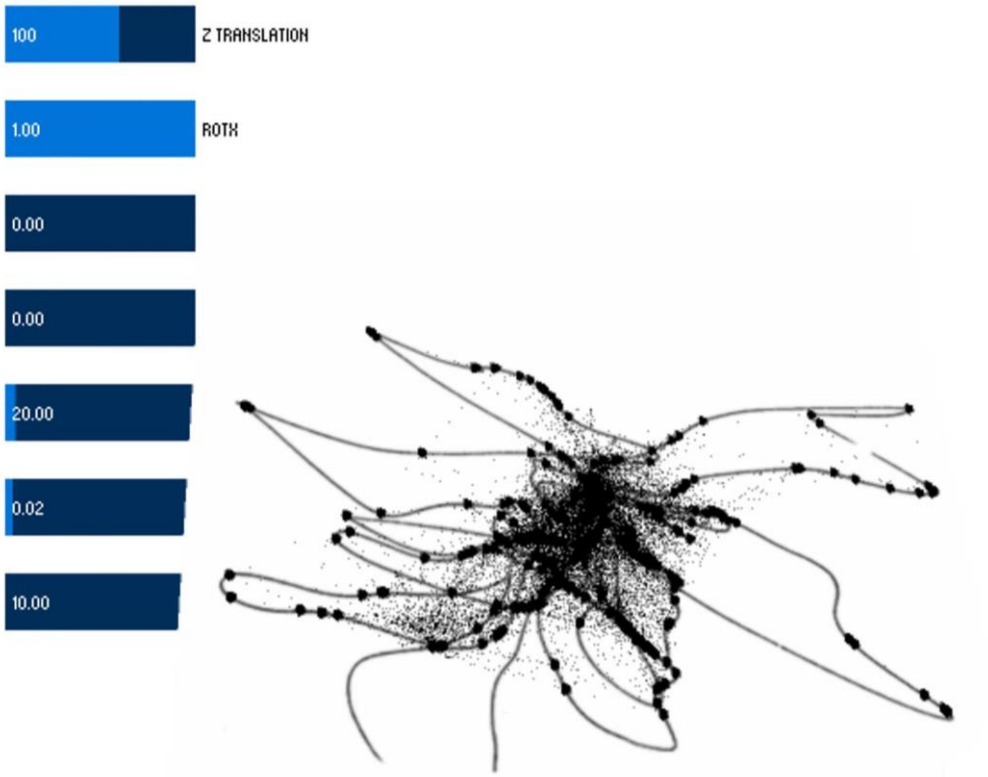

**Şekil 3**: Eskiz imajına sabit sürü elemanlarının eklenmesi

Boidleri üçüncü boyuta aktarmak için öncelikle Shiffman'ın *Flocking* algoritmasında tanımlanmış boid sınıfı için Z değerleri atanmış ve üçüncü boyutta hareket için *PVector* girdilerine Z değerleri tanımlanmıştır. Daha sonra çizim başlangıç piksellerine karşılık gelecek şekilde, formu oluşturmada zemine bağlantısını sağlayan sabit boid sınıf elemanları için yeni bir *yüklenici* (constructor) oluşturulmuştur. Hareket sırasında, boidlerin belli bir hacimde kalması için sınır bölge tanımlanmıştır **(Betik 1).**

```
void borders()
{
  if (position.x < -r) position.x = 600+r;
  if (position.y < -r) position.y = 600+r;
  if (position.x > 600+r) position.x = -r;
  if (position.y > 600+r) position.y = -r;
  if (position.z < -r) position.z = 100 + r;
  if (position.z > 100+r) position.z =-r;
}
```

**Betik 1**: Sınır bölge tanımlaması

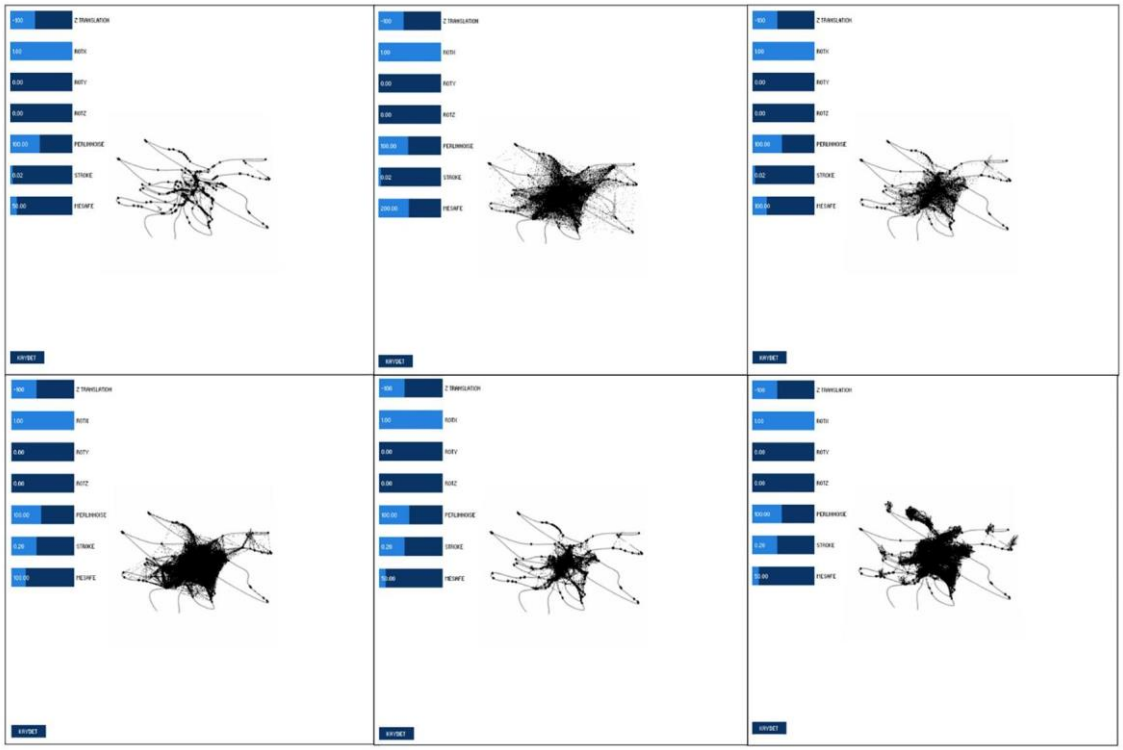
Formun oluşması için sabit boidlere ek olarak hareketli boidlerin de eklenmesi gereklidir. Eklenen bu yeni boidler form oluşumunda esnekliği sağlayan elemanlardır. Algoritma hareketli elemanları koordinat sistemine yerleştirilirken X ve Y değerlerini imajdan gelen bilgiden alırken Z değerini *perlin noise* rastgeleliğinden alır. Görselleştirmeyi güçlendirmek adına *boidler* arasında çizgiler çizdirmeyi sağlayacak yeni bir fonksiyon tanımlanmıştır. Çizgiler bir *boid* ile o *boid*'in komşusu arasındaki mesafe değişken koşulunu sağlıyor ise çizilir (**Şekil 4**)**.**




```
void cizgi(ArrayList<Boid> boids)
{
  for (Boid other : boids) {
    float d = PVector.dist(position, other.position);
    //println(d);
    if((d>0) && (d<m)){
      fill(0);
      strokeWeight(k);
      //noStroke();
      line(position.x, position.y, position.z, other.position.x, other.position.y, other.position.z);
    }
  }
```

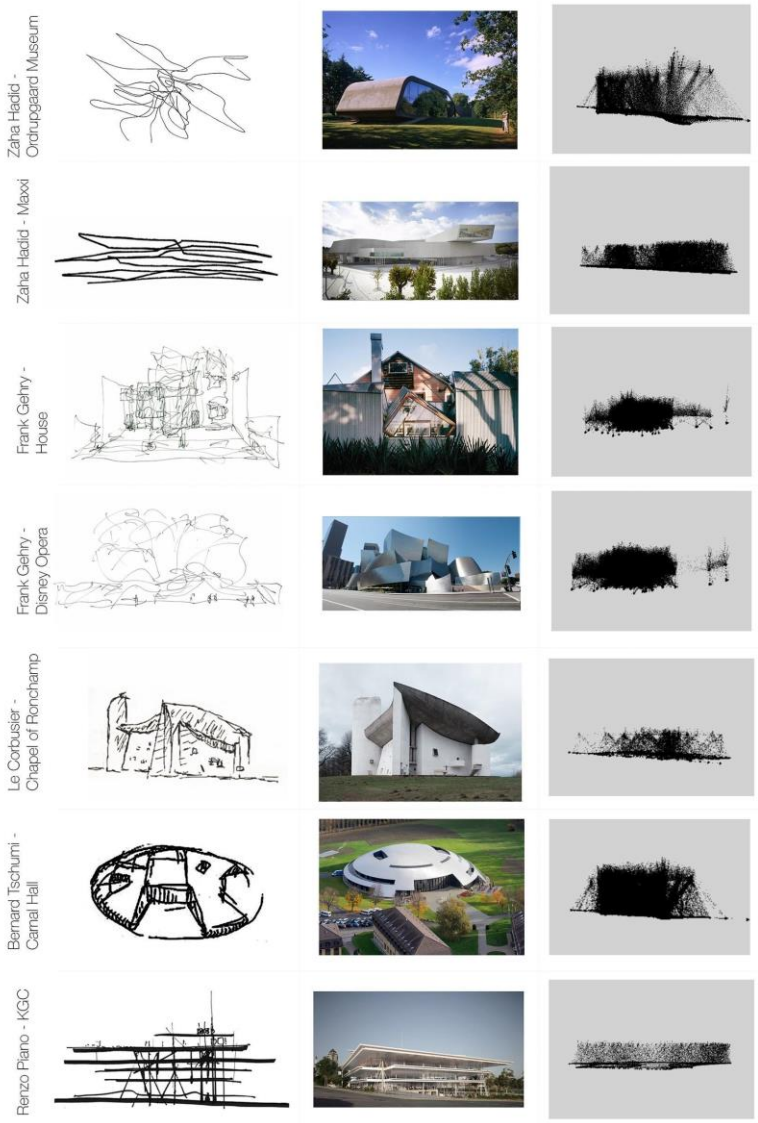
**Şekil 4**: Çizgi çizme kuralı

Tasarlanan basit ara yüzde modele yaklaşma/uzaklaşma, döndürme özellikleri kontrol edilir. Boidler arasında çizdirilen çizgilerin mesafeleri ve kalınlıkları kontrol edilebilir. Ayrıca istenen anın ekran görüntüsü *png* formatında kaydedilebilir. **Şekil 5**'te aynı eskiz üzerinde denenen farklı değerlerle elde edilen sonuçlar, çalışmanın hedeflenen esnek yapısını destekler niteliktedir.



**Şekil 5**: Aynı eskiz üzerinden farklı mesafe, boid ve kalınlık değerleri ile elde edilen sonuçlar

Aracın potansiyellerinin daha iyi gözlemlenebilmesi ve yorumlanabilmesi amacıyla, konsept tasarım sürecine ilişkin eskizlerine ulaşılabilen, farklı form, fonksiyon, alan ve biçimlenişe sahip olan 7 yapının eskizleri kullanılarak algoritma çalıştırılmıştır. Seçilen mimari tasarımların eskizleri, bitmiş uygulamalarına ilişkin imajlar ve araçtan üretilen eskiz tabanlı form önerileri **Şekil 6**'daki gibidir.




**Şekil 6:** Farklı mimari tasarımların eskizlerinin araç ile potansiyellerinin araştırılması

Örnekler üzerine yapılan nicel gözlemle, amorf ve parçalı tasarımların eskizleri için üretilen alternatiflerin son ürüne yakınsadığı yorumu yapılabilir. Bu benzerlik, tasarımcı içgüdülerini anlamaya yaklaşma şeklinde okunabileceği gibi biçimsel olarak gerçeğe yakın öneriler oluşturma potansiyeli olarak da yorumlanabilir. Bütüncül veya kompakt tasarımlarda, yükseklik farkları ve eskizin açısı gibi sebeplerle son ürün formuna daha az benzeyen sonuçlar elde edilmiş olması ise, farklı alternatif tasarım önerileri oluşturmaları bakımından önemli görülmektedir.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada *Processing* kullanılarak, eskiz tabanlı bir form bulma algoritması ve bu algoritma için kolay kullanımlı bir arayüz tasarlanmıştır. Algoritmada genel olarak, arayüze aktarılan *png* formatındaki eskizler üzerinde, belirlenen hacim içinde kalmak şartıyla hareketli sürü elemanları tanımlanır. Sabit ve hareketli sürü elemanları arasında oluşturulan çizgiler ile form varyasyonları oluşturulur. Sürü davranışı modelinin temel yönlendirme parametreleri değiştirilerek üretken bir sistem elde edilmiş olur.

Araştırma kapsamında yapılan denemelerde, son ürünü inşa edilmiş eskizlerle biçimsel olarak anlamlı bir benzerlik gözlenememişse de yakınsayan okumalar yapılmıştır. Bu durum, yaratıcılığı ve esnekliği desteklemesi bakımından

olumlu bulunmuş ve daha farklı parametrelerle tasarımcının içgüdüsel yaklaşımının karşılığını yakalayabilecek sonuçlar elde edilebileceği yorumunu oluşturmuştur.

İlerleyen çalışmalarda bu görselleştirmelerin 3 boyutlu modelleme programlarına aktarılabilecek çıktılar sağlayan yapıları sayesinde oluşan formlar katı modellere ve tasarımın kendisine dönüşebilme potansiyeli barındırmaktadır. Yine *Processing* yazılımının gelişime açık ortamı sayesinde, algoritmanın temel mantığına tercih edilen eklemeler yapılarak, eskizlerin istenilen yönde geliştirilebilecek olmasının, tasarımcının dilediği tür bir form arayışı yapması bağlamında büyük potansiyel barındırdığı düşünülmektedir.

**Teşekkür**
Bu araştırma İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı dersi *Computer Programming in Architecture* kapsamında üretilen bir çalışmanın içeriğinin geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Ders sırasında çalışmanın gelişmesine katkıda bulunan dersin yürütücüsü Doç. Dr. Sema ALAÇAM'a yapıcı eleştirileri ve sonsuz desteği için teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Dunn, N. (2012). *Digital fabrication in architecture.* Laurence King Publishing Ltd.
Iwamoto, L. (2009). *Digital fabrications: Architectural and material techniques.* Princeton Architectural Press.
Terzidis, K. (2006). *Algorithmic architecture.* Architectural Press.
İslamoğlu, Ö. S. & Değer, K. D. (2015). The location of computer aided drawing and hand drawing on design and presentation in the interior design education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 182,* 607–612.
Kahn, L.I. (1931). The value and aim in sketching. *T-Square Club*, 1(6): 19.
Graves, M. (1977). The necessity for drawing: Tangible speculation. *Architectural Design*, 6(77): 384–394.
Herbert, D.M. (1993). *Architectural study drawings*. Van Nostrand Reinhold: New York.
Goldschmidt, G. (1991). The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal*, 4(2):123-143.
Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *Computer Graphics*, 21(4) (SIGGRAPH '87 Conference Proceedings). 25-34.
Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the digital age design and manufacturing*. Spon Press
Shiffman, D. (2012). *The nature of code*. USA. https://natureofcode.com/book/chapter-6-autonomous-agents/
Eggli, L., Hsu,C., Bruderlin, B.,Elbert,G.(1997).Inferring 3D models from freehand sketches and constraints. *Computer-Aided Design*, Vol.29, No.2, 101-112.
Güney, D. (2015). The importance of computer-aided courses in architectural education, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 176, 757–765.
Li, C., Lee, H., Zhang, D.,Jiang,H.(2016). Sketch-based 3D modelling by aligning outlines of an image. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3.286-294.
Li,C.,Pan,H.,Liu, Y.,Tong ,X.,Sheffer, A.,and Wang, W. (2018). *Robust flow- guided neural prediction for sketch-based freeform surface modeling. SIGGRAPH Asia 2018*, 37(6), 238.
Zaha Hadid Architects. (n.d.). *Ordrupgaard Museum Extension.* Zaha Hadid Architects. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.zaha-hadid.com/architecture/ordrupgaard-museum-extension/*
Zaha Hadid Architects. (n.d.). *Ordrupgaard Museum Extension.* Zaha Hadid Architects. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.zaha-hadid.com/architecture/ordrupgaard-museum-extension/*
Zaha Hadid Architects. (n.d.). *MAXXI: Museum of XXI Century Arts.* Zaha Hadid Architects. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.zaha-hadid.com/architecture/maxxi/*
Zaha Hadid Architects. (n.d.). *MAXXI: Museum of XXI Century Arts.* Zaha Hadid Architects. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.zaha-hadid.com/architecture/maxxi/ (5 Haziran 2021 tarihinde erişildi)*
American Craft Council. (n.d.). Frank Gehry's House. American Craft Council. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.craftcouncil.org/content/42009-02-12-14-02-04jpg*
Hoyt, A. (2012, May 17). Frank Gehry's House. The Journal of The American Institute of Architects. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.architectmagazine.com/design/frank-gehrys-house_o*
Cohen, J. (n.d.). Frank Gehry: Catalogue Raisonne of The Drawings. World Architecture Community. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://worldarchitecture.org/architecture-books/?section=book-details&bidi=2593*
Jones, R. (2013, Oct 23). AD Classics: Walt Disney Concert Hall / Frank Gehry. ArchDaily. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.archdaily.com/441358/ad-classics-walt-disney-concert-hall-frank-gehry*
Archidialog. (2010, Feb 2). Le Corbusier. Archidialog. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://archidialog.com/2010/02/02/le-corbusier-2/*

Kroll, A. (2010, Nov 3). AD Classics: Ronchamp / Le Corbusier. ArchDaily. Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.archdaily.com/84988/ad-classics-ronchamp-le-corbusier*

Bernard Tschumi Architects. (2015, Sep 9). Carnal Hall at Le Rosey / Bernard Tschumi Architects. *ArchDaily.* Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.archdaily.com/773309/carnal-hall-at-le-rosey-bernard-tschumi-architects*

Bernard Tschumi Architects. (2015, Sep 9). Carnal Hall at Le Rosey / Bernard Tschumi Architects. *ArchDaily.* Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.archdaily.com/773309/carnal-hall-at-le-rosey-bernard-tschumi-architects*

*Rosenfield, K. (2015, Sep 24). Renzo Piano to Break Ground on Des Moines' Kum & Go Headquarters. ArchDaily.* Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.archdaily.com/774295/renzo-piano-to-break-ground-on-des-moines-kum-and-go-headquarters*

*Rosenfield, K. (2015, Sep 24). Renzo Piano to Break Ground on Des Moines' Kum & Go Headquarters. ArchDaily.* Retrieved Jun 5, 2021, from *https://www.archdaily.com/774295/renzo-piano-to-break-ground-on-des-moines-kum-and-go-headquarters*

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Modüler Mimarlıkta Hesaplamalı Tasarım Süreçlerine Rastlantısallığın Dahil Edildiği Bir Model Önerisi

Fatih Süleyman Deveci [1]; Hakan Tong [2]
[1;2] İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye
[1]fatihsdeveci@gmail.com; [2]hakantong@gmail.com

## Özet

*Modüler mimarlık, belirlenen bir ya da birkaç tip modülün çoğaltılarak, farklı biçimlerde bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Yüzlerce modülün, belirlenen kurallara ve mimarın içgüdüsel tasarım yaklaşımına göre çalışma alanına yerleştirilmesi; geleneksel tasarım süreçleri ile oldukça zor olabilmektedir. Bununla birlikte mimar, aynı kurallara sahip farklı bir yerleşim düzeni denemek istediğinde, bütün modülleri baştan yerleştirmesi gerekmektedir. Böyle durumlarda modüler mimarlık projelerinin, hesaplamalı (sayısal) tasarım ile yapılması tercih edilebilmektedir. Tasarım algoritmalarının sayısallaştırılarak kullanıldığı hesaplamalı tasarım, tasarımcılara önemli bir yaratıcılık potansiyeli sunmaktadır. Ancak, hesaplamalı tasarımda şansa ve tesadüflere yer verilmeyen algoritmaların kullanılması; sonuçları tekdüze ve sonu belli hale getirebilmektedir. Diğer taraftan bu tip algoritmalarda paralel üretimler yapılamamaktadır. Aynı girdiler ve kurallar, daima aynı sonucu vermektedir. Çalışmanın amacı, bu sonu belli hesaplamalı tasarım süreçlerine rastlantısallık kavramını dahil ederek; sonuçları daha sınırsız, haraketli, tahmin edilemeyen ve daha yaratıcı bir hale getirmektir. Bu nedenle belirlenen tek tip bir modülün, kullanıcı tarafından tanımlanan arazi ve yapı özelliklerini gözetilerek rastlantısal şekilde yerleştirildiği bir model önerisi geliştirilmiştir. Modelde L biçiminin sahip olduğu avantajlardan dolayı L biçimindeki modüller kullanılmıştır. L modüller, hem yatay hem düşey olarak farklı yönlere döndürülerek, farklı mekan çözümleri yaratılabilmektedir. Diğer taraftan L modüller birleşerek farklı boyut ve formda yeni birimler oluşturabilmektedir. Çalışma kapsamında hesaplamalı tasarım ve üretken sistemler araştırılmış; olumlu ve olumsuz tarafları değerlendirilmiştir. Hesaplamalı tasarım süreçlerindeki belirtilen olumsuzlukları giderebileceği düşünülen rastlantısallık kavramı araştırılmış, rastlantısallığın üretimi, tasarım ve mimarlıktaki kullanım biçimleri örneklendirilerek açıklanmaya çalışılmıştır. Üretilen model, modelin kullandığı algoritma ve geliştirildiği yazılım ortamı açıklanmıştır. Modelin kullanım bicimi, kullanıcı tanımlamaları, akış diyagramı, kullanım aşamalarına ait görseller ve model ile üretilen bir örnek proje ile detaylı biçimde tanıtılmıştır. Dinamik, yaratıcı ve sonu öngörülemez sonuçlar ortaya koyan model; aynı girdi ve kurallar ile çok sayıda farklı sonucu hızla üretmiştir. Geliştirilen modelin olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirilmiş; rastlantısallığın modüler mimarlıkta hesaplamalı tasarım süreçlerine yaptığı katkılar tartışılmıştır. Modelin güncel tasarım sorunlarına katkıları ve yarattığı potansiyel değerlendirilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Modüler mimarlık, hesaplamalı tasarım, rastlantısallık.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Deveci, F. S. & Tong, H. (2021). Modüler mimarlıkta hesaplamalı tasarım süreçlerine rastlantısallığın dahil edildiği bir model önerisi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 35-47). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Model Proposal Incorporating Randomness in Computational Design Processes in Modular Architecture

Fatih Süleyman Deveci [1]; Hakan Tong [2]
[1;2] Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul, Turkey
[1]fatihsdeveci@gmail.com; [2]hakantong@gmail.com

## Abstract

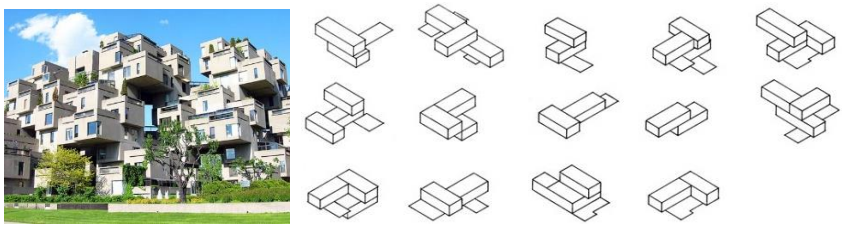
*Modular architecture consists of a collection of one or more specified types of modules, assembled in different variations. Placing hundreds of modules into the workspace according to the rules and the intuitive design approach of the architect can be quite difficult with traditional design processes. However, when the architect wants to try a different layout with the same rules, he has to re-place all the modules. In such cases, it is preferable to make modular architectural projects with computational design. Computational design, where design algorithms are digitized, presents a significant potential for creativity to designers. However, the use of algorithms that do not include chance and coincidences in computational design; the results can be monotonous and predictable. On the other hand, parallel productions can not be made in in this type of algorithms. The same inputs and rules always give the same result. The aim of the work is to include this conclusion in the concept of randomness into this predictable computational design processes; to make the results more unlimited, dynamic, unpredictable and more creative. For this reason, a model proposal has been developed where a single type module is randomly placed by considering the properties of the site and structure defined by the user. L-shaped modules are used in the model due to the advantages of the L shape. Different space solutions can be created by rotating L-shaped modules in different directions, both horizontally and vertically. On the other hand, L-shaped modules can combine to form new units in different sizes and forms. In this study, computational design and productive systems were researched; positive and negative sides were evaluated. The concept of randomness thought to be able to overcome these negativities has been researched; the production of ramdoness, the methods of use in design and architecture have been exemplified. The model produced, the algorithm used by the model and the software environment in which it was developed are explained. The usage of the model is introduced in detail with user definitions, flow diagram, visuals of usage phases and a sample project. The model, which reveals dynamic, creative and unpredictable results, quickly produced many different results with the same inputs and rules. The positive and negative aspects of the model were evaluated and the contributions of randomness to computational design processes in modular architecture were discussed. The contribution of the model to current design problems and the potential it created were evaluated.*

***Keywords:*** *Modular architecture, computational design, randomness.*

**Citation in APA Style:** Deveci, F. S. & Tong, H. (2021). A model proposal incorporating randomness in computational design processes in modular architecture. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 35-47). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

Modüler mimarlık, mimar tarafından önceden belirlenen bir ya da birkaç tip modülün, aynı proje içerisinde farklı biçimlerde tekrar tekrar kullanımı olarak tanımlanmaktadır (Sanchez, 2000). Burada mimarlar, ilk olarak farklı ihtiyaç ve kullanım senaryolarına göre bir ya da birkaç tip modül tasarlamaktadır. Bu modüller, belirli kurallara ya da tasarımcı sezgilerine göre yan yana, alt alta ya da üst üste; aynı ya da farklı yönlerde türetilerek bir yapı tasarımı oluşturmaktadır. Modüler mimarlığın kullanımına dair modern bir örnek olarak Moshe Safdie'nin Habitat 67 projesi verilebilmektedir. Mimar burada dikdörtgenler prizması biçiminde tek tip bir modülü çoğaltarak 354 defa kullanmıştır. Safdie, bu modülleri birbirinden farklı biçimlerde birleştirerek ikişer ve üçer modülden oluşan 14 farklı konut birimi üretmiştir (Fearson, 2014). Projede, tasarlanan tek tip modüller çoğaltılarak, birbirlerinin üzerlerine adeta rastlantısal şekilde serpiştirilmiş gibi görünmektedir (**Şekil 1**). Safdie'nin izlediği geleneksel mimari tasarım süreci düşünüldüğünde, yüzlerce modülü belirli kurallar dahilinde rastlantısal olarak yerleştirmek, oldukça zor olabilmektedir. Ayrıca mimarın, rastlantısal yerleştirdiği modülleri yeni bir rastlantısal düzene sokabilmesi için, bütün modülleri en baştan yerleştirmesi gerekmektedir. Böyle durumlarda, modüler projelerin, hesaplamalı tasarım ile yapılması tercih edilebilmektedir.



**a:** **b:**

**Şekil 1: a:** M. Safdie, "Habitat 67", 1967 (Meinhold, 2009); **b:** Habitat 67 projesindeki modüler daire birimleri (Fearson, 2014)

Tasarım algoritmalarının sayısallaştırılarak kullanıldığı hesaplamalı tasarım, tasarım süreçleri için farklı yaratıcılık biçimleri sunmaktadır. Ancak şansın ve tesadüflerin sınırlı olup, beklenmeyen sonuçlar verme ihtimalinin düşük olduğu algoritmaların net ve keskin hali, sonuçları monoton ve sonu belli hale getirebilmektedir. Bununla birlikte oluşturulan algoritmalar, aynı parametreler girildiğinde her zaman aynı ve tek sayıda sonucu verdiği için aynı parametrelere sahip birbirinden farklı tasarımlar üretmek mümkün olmamaktadır. Çalışmanın amacı, bu sonu belli hesaplamalı tasarım süreçlerine rastlantısallık kavramını dahil ederek, hesaplamalı tasarımı daha sınırsız, dinamik, yaratıcı ve sonu belirsiz hale getirmektir. Diğer taraftan, aynı parametrelere sahip yüzlerce farklı alternatif tasarımın hızlıca üretilebildiği bir hal almasını sağlamaktır. Bunun için belirlenen tek tip bir modülün, hesaplamalı tasarım ile rastlantısal şekilde çoğaltılıp, tanımlanan arazi ve yapı özelliklerini gözeterek, tamamen rastlantısal şekilde yerleştirildiği bir model önerisi geliştirilmiştir. Modelde, tek tip modül olarak yatay ve düşey yerleşen L biçimli modüller kullanılmıştır.

# 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada öncelikle hesaplamalı tasarım, üretken sistemler, rastlantısallık kavramı ve rastlantısallığın kullanım biçimleriyle ile ilgili kaynaklar araştırılmış, ulusal ve uluslararası literatür taraması yapılmış, bulunan veriler değerlendirilmiştir. Daha sonra çalışma kapsamında yazarların yüksek lisans tezi dahilinde geliştirdiği "L-modül tabanlı modüler yapılarda rastlantısal üretimler yapan hesaplamalı model" örnekler üzerinden açıklanarak tanıtılmıştır. Son olarak geliştirilen modelin hesaplamalı tasarım süreçlerine yaptığı katkılar ve rastlantısallığın hesaplamalı tasarıma dahil edilmesinin oluşturduğu potansiyel değerlendirilmiştir.

# 3. Hesaplamalı Tasarım ve Rastlantısalık

## 3.1. Hesaplamalı Tasarım

Geleneksel tasarım süreçleri incelendiğince, tasarımcılar ya da mimarların içgüdüsel/sezgisel algoritmalarla ilerledikleri görülmektedir. Tasarım süreçlerinde kullanılan bu algoritmaların çözümlenmesi, tanımlanması, bir başka deyişle sayısallaştırılması ya da belirli kurallar dahilinde baştan oluşturularak tasarımda bilinçli şekilde kullanılması;

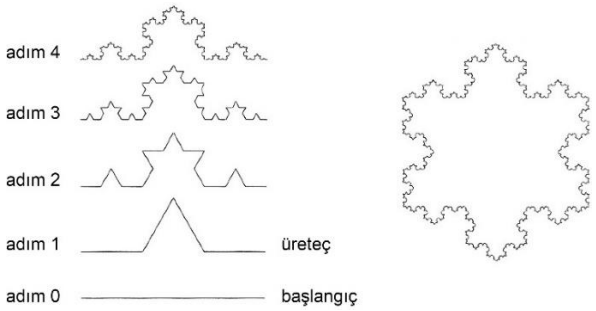
hesaplamalı tasarım kavramının bir özet tanımı olarak kabul edilebilir. Hesaplamalı tasarım, basitçe belli gereksinim ve senaryolara göre oluşturulmuş algoritmalar kullanılarak ilerleyen tasarım süreçleridir.

**Üretken Tasarım Sistemleri**

Hesaplamalı tasarım yaklaşımı olarak kullanılan üretken sistemler beş grup altında incelenebilir. Bunlar; biçim gramerleri, fraktaller, L-sistemler, genetik algoritmalar ve hücresel özdevinimdir.

Biçim gramerleri, mevcut durumdaki tasarımlara ait tasarım dilini analiz edip çözümlemek için ya da yeni bir tasarım dili oluşturmak ve geliştirmek için kullanılmaktadır. Biçim gramerleri, biçimlerin kümesi, sembollerin kümesi, kuralların kümesi ve başlangıç şekli çerçevesinde şekillenmektedir (Stiny, 1980). Burada bir girdi olarak geometrik şekiller; algoritmada tanımlanan kuralların tekrar ettirilmesiyle, belirli bir düzen oluşturan tekrarlı örüntülere dönüşmektedir. Tanımlanmış bir algoritmaya dayalı bu örüntüler bazen birbirinin tekrarı, bazense algoritmada tanımlanan kurallara göre birbirinden farklı biçimde meydana gelirler.

Ağaç dallarının biçimleri, gökyüzündeki bulutların sınırları ya da doğadaki bir yükseltinin biçimi gibi doğadaki tasarımları tanımlayan geometriler; çoğu zaman düzgün geometrilerden uzak ve Öklit geometrisiyle yeterince tanımlanamayan bir biçimdedir. Bunun sonucunda doğadaki tasarımları tanımlayabilmek amacıyla fraktal geometri ortaya çıkarılmıştır (Mandelbrot, 1982). Biçim grameriyle benzer bir yaklaşımla üretilen fraktaller, belirli algoritmalar üzerinden ilerlemektedir. Burada tanımlanan bir başlangıç şekli, önceden tanımlanmış algoritma kurallarına göre her adımda çoğaltılmakta ve kar tanesi, ağaç dalı gibi organik biçimler tanımlanmaktadır. **Şekil 2**'de yer alan Koch kar tanesi gibi fraktallerde algoritma teorik olarak sonsuz kez tekrarlanmaktadır (Peitgen ve diğ., 2004).




**Şekil 2:** Koch eğrisinin üretim aşamaları ve Koch kar tanesi fraktali (Peitgen ve diğ, 2004)

L-sistemler, 1968'de Lindenmayer tarafından bitkilerin büyümesini ve dallanmasını modellemek için üretilmiştir (Rozenberg ve Salomaa, 1976). L-sistemler yardımıyla bitkiler ve organik biçimler gibi karmaşık yapılar, az sayıda kural tanımlanarak sayısallaştırılabilmektedir. Bunun sonucunda oluşturulan kurallar dizisi ile üretimler yapılabilmektedir. L-sistemin çalışma prensibini Güdükbay ve diğ.,(2001) şöyle tanımlanmaktadır: "Simülasyon, aksiyom adı verilen bir başlangıç anahtar kelimesinden her bir harf ya da sembolü L-sistemde tanımlanan kurallar kullanarak başka bir sembolle ya da cümlecikle yer değiştirecek yeni bir cümle elde etmektedir" (Güdükbay vd., 2001). Tanımlanan kural dizisi, istenilen sonuca ulaşabilmek için döngüye alınarak, gerektiği kadar tekrarlanabilmektedir.

Genetik algoritmalar, doğadaki evrimleşme sürecine odaklanan, evrimleşme süreçlerini temel alarak problemlere çözüm arayan bir üretken sistemdir. Biyolojik sistemlerdeki doğal seçilim ilkesine göre yapay oluşumlardaki tasarım süreçlerinin açıklanması hedeflenmektedir. Genetik algoritmalar ilk kez John Holland tarafından tanımlanmış olup; doğada gerçekleşen adaptasyon olgusunu anlama ve bu adaptasyon sistemlerini sayısallaştırma amaçlanmıştır (Mitchell, 1995). Genetik algoritmalar sadece mimari tasarım süreçlerinde değil; mühendislik, tıp, fen bilimleri, vb. farklı disiplinlerde kullanılmakta ve problemlere tek bir çözüm önerisi yerine birden çok çözüm önerisi sunmaktadır. Birbirinden farklı ve çok sayıda üretilen çözümler arasında, biyolojik anlamda en iyinin hayatta kalması ilkesine göre en iyi çözüm bulunmaya çalışılmaktadır.

Hücresel özdevinim (hücresel otomasyon), mimari tasarımın yanı sıra fizik, kimya, biyoloji gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir. Hücresel otomatlar, düzenli ve sonlu bir grid sistemi temel almaktadır. Grid sistemdeki

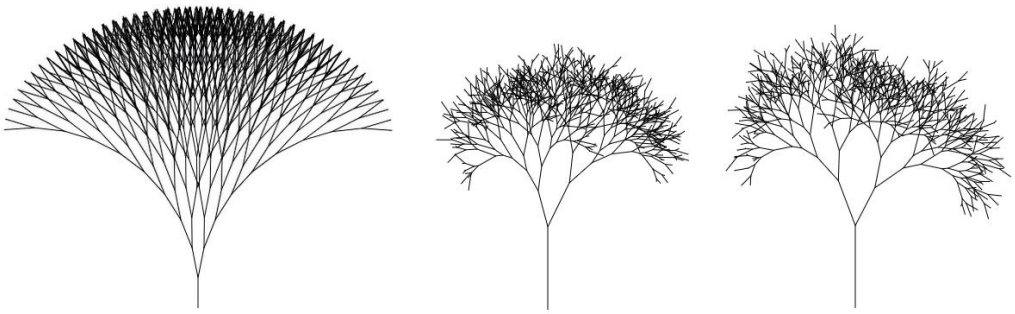
hücrelerin her birisi, belirli bir zaman diliminde belirli ve sonlu bir durumu temsil etmektedir (Terzidis, 2006). Hücresel özdevinimde, hücrelerin komşuluk ilişkileri önemlidir. Hücrelere tanımlanan basit ve az sayıda kural ile hücreler, diğer hücreleri komşuluk durumlarına göre etkilemektedir. Önceden tanımlanan kurallar doğrultusunda her bir hücre, komşuluk ilişkilerine göre değerlendirilmekte ve kurala tanımlanmış yeni bir hücre ile değiştirilmektedir.

**Üretken Sistemlerin Değerlendirilmesi**

Üretken sistemlerden bazıları birbirleriyle birçok noktada örtüşmekteyken, bazıları farklılık göstermektedir. Ancak bu sistemlere bir arada bakıldığında; sınırlı girdiler kümesi ve sınırlı kurallar kümesi ile üretilmiş olan; sınırlı ve sonlu sonuçlar kümesinden oluştukları görülmektedir (Singh ve Gu, 2012). Biçim gramerleri, fraktaller, L-sistemler ve hücresel özdevinimde girdiler kümesi ve bu girdiler kümesine uygulanan kurallar üzerinden sonuçlar üretilmektedir. Biçim gramerleri, fraktaller ve L sistemlerde aynı girdi kümesi ile tek bir sonuç alınabilirken, hücresel özdevinimde yerel düzeyde de olsa birbirinden farklı sonuçlar alınabilmektedir. Genetik algoritmalarda ise rastlantısal sonuçlar alınabilmekte ve paralel üretimler ile problemlere birden çok çözüm üretebilmektedir. Genetik algoritmalarda, diğer üretken sistemlerdekinin aksine kural tanımlanmamakta; genetik işlemler, kromozomlar ve uygunluk fonksiyonları kullanılmaktadır (Singh ve Gu, 2012).

Girdi kümelerinin belirli aralıklarla sınırlandırıldığı, üretim kuralların baştan tanımlandığı bu sistemler, ilk üretimde tahmin edilmesi kolay olmayan sonuçlar verebilmektedir. Ancak genetik algoritmaların dışındaki bu dört üretken sistemde, kuralların ikinci, üçüncü ve daha çok kez uygulanmasıyla oluşacak sonuçları tahmin etmek kolaylaşmaktadır. Örneğin; L-sistemle üretilen bir ağaç modelinin ilk 2 ya da 3 adımını görmek, sonraki tüm adımları kolaylıkla tahmin etmek için yeterlidir. Bu durum, hesaplamalı tasarım ve üretken sistemlerdeki kuralların, birden çok kez tekrar edilerek kullanılması durumunda ortaya çıkan önemli bir eksik yön olarak görünmektedir. Diğer taraftan rastlantısallığın dahil edilmediği kuralların ve girdi kümesi aralığının tanımlı olduğu hesaplamalı tasarımda; aynı girdiler her zaman aynı çıktıları vermekte ve paralel üretimler yapılamamaktadır.

Ancak bu olumsuz durumların, algoritmalara (kurallar kümesi) rastlantısal parametreler tanımlanarak tersine çevirebileceği öngörülmektedir. Aynı kuralların tanımlandığı bir algoritma ile çalışan örnek bir L-sistem ağaç üretecinde sadece açı değerleri rastlantısal tanımlandığında oluşan değişim, **Şekil 3**'te görülmektedir. Rastlantısallığın, basit algoritmalarda kullanıldığında dahi yarattığı bu değişim, hesaplamalı tasarımda kullanıldığında ne derece önemli ve olumlu yaratıcı farklar yaratabileceğini göstermektedir.



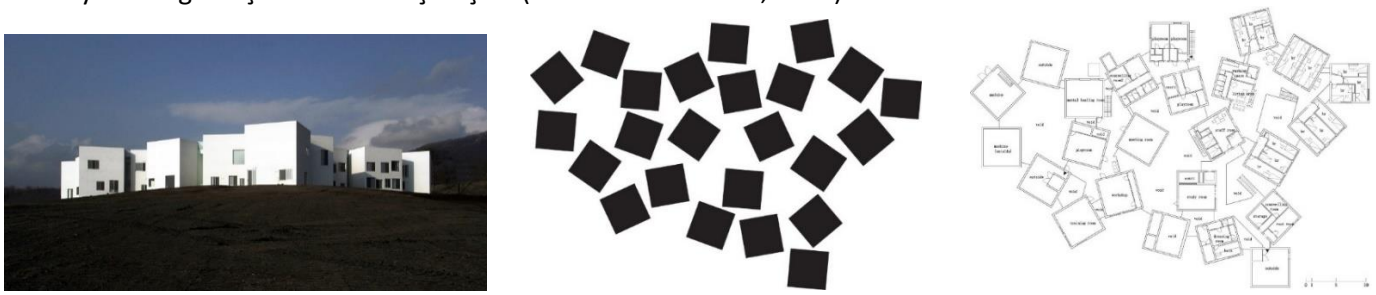
**Şekil 3:** Bir L-sistem ağaç üretecinde sabit değerler kullanımı ve aynı algoritmada rastlantısal değerler kullanımı ("Generating Trees", 2018)

### 3.2. Rastlantısallık

Rastlantısallık, doğada sıklıkla karşılaşılan bir olgudur. Kendiliğinden var olan oluşumlar, çoğu zaman belirli oranlarda rastlantısallık içermektir. Ancak rastlantısal olduğu düşünülen bu oluşumlar incelendikçe, aslında gerçekten rastlantısal olmadıkları; arkalarında bir sistem ve kurallar bütünü olduğu fark edilmektedir. Yani, doğada ancak sistemli rastlantısal oluşumlar mevcuttur. Bu sistem, eniyileme, uyum sağlama, işleve en uygun forma dönüşme gibi gereksinimlerle oluşmaktadır. Rastlantısallık, insana göre ölçümlenemez, çözümlenemez ve çoğu zaman tahmin edilemez bir durumdur. Rastlantısallığı ölçmeye, çözmeye ve sistematize ederek kontrol etmeye çalışmak, rastlantısallığın doğasını ve doğallığını bozmaktadır. Bu da rastlantısallığın gerçek ve yapay olarak ikiye ayırılmasına sebep olmaktadır. Peter Bürger (1974) ise rastlantısallığı, doğrudan ve dolaylı olarak iki başlığa ayırmaktadır. Bürger'e

göre doğrudan rastlantısallık, tesadüfi ve tahmin edilemezlik olma durumu içeren, dolaylı ise insan eliyle üretilmiş ya da üretilmeye çalışılan rastlantısallık biçimidir.

Gerçek rastlantısallık, görsel sanatlarda, müzikte ve mimarlıkta, yüzyıllardır farklı biçimlerde kullanılmaktadır. Bu, bazen bir ressamın tablosuna rastgele boyalar dökmesiyle, bazen de bir müzisyenin nota kağıtlarını rastgele karıştırmasıyla ya da bir mimarın yapı bloklarını araziye rastgele yerleştirmesiyle gerçekleşmektedir. Gerçek rastlantısallığın mimarlıkta kullanıma dair bir örnek mimar Sou Fujimoto'nun Japonya'da tasarladığı Çocuk Psikiyatrik Rehabilitasyon Merkezi yapısıdır (**Şekil 4**). Ağır bir ihtiyaç programı olan bu yapının hem büyük bir ev gibi samimi, hem de küçük bir şehir gibi çeşitlilik içinde olması talep edilmiştir. Mimar bu talebi rastlantısal şekilde dağılan kutu biçiminde birimlerle karşılamak istemiştir. Fujimoto, ihtiyaç programını bu düzensiz ve karmaşık planla karşılayabilmek için birçok deneme yaparak farklı rastlantısal yerleşim alternatifleri üzerinde çalışmıştır. Rastlantısallığın kullanılması, yapının oldukça dinamik olmasını sağlamıştır. Rastlantısal yerleşen birimler arasında oluşan düzensiz köşe ve girintiler; çocukların hem yaşam alanlarına bağlandıkları alanlara, hem de çocuklar için oyun alanlarına dönüşmektedir. Rastlantısallığın yarattığı potansiyel ile çocukların özgürce kullanıp, kendilerine göre tanımlayabileceği bir çok mekan oluşmuştur ("Children's Center", 2008).



**Şekil 4:** Çocuk Psikiyatrik Rehabilitasyon Merkezi yapısı, plan diyagramı ve birinci kat planı ("Children's Center", 2008)

Yapay rastlantısallık ise genellikle dijital olarak, bilgisayar ortamında kullanılmak için geliştirilmiştir. Görsel sanatlarda ya da mimarlıkta dijital formlar/biçimler oluşturan bir algoritmaya, bilgisayar yardımıyla üretilen rastlantısal sayı değerlerinin dahil edilerek kullanılması buna bir örnektir. Aynı şekilde bilgisayar ortamında gerçekleşen hesaplamalı tasarım süreçlerinde de yapay rastlantısallık kullanılmaktadır. Çalışmada geliştirilen model, yapay rastlantısallığın mimari tasarım süreçlerinde kullanımına bir örnektir.

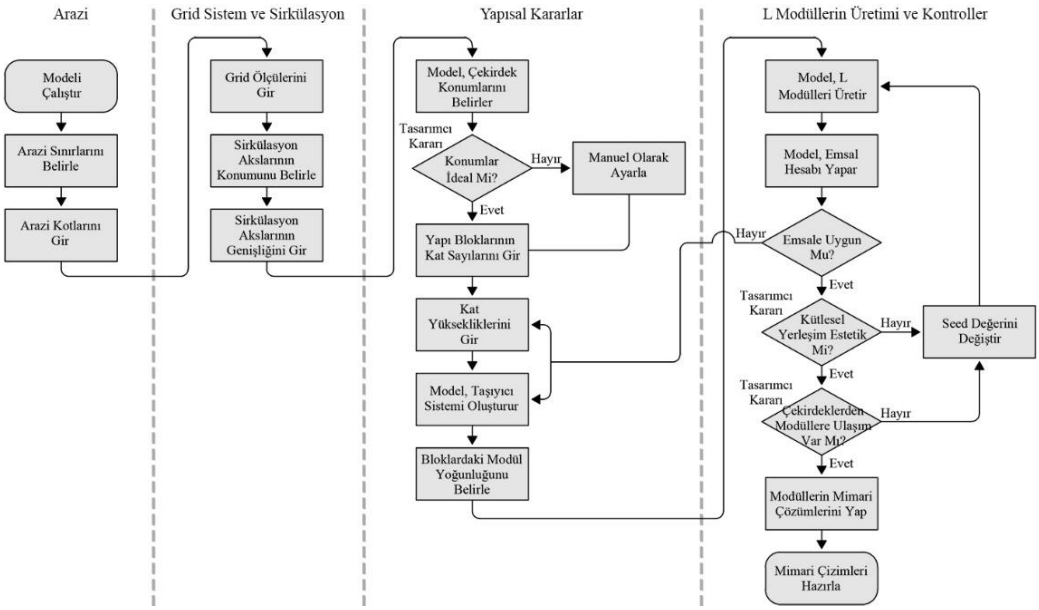
Rastlantısal veriler, çeşitli yöntemlerle oluşturulmaktadır. Tasarım süreçlerinde kullanılmak için gereken rastlantısal sayılar anlık olarak bir sayı torbasından çekilerek ya da zar, yazı tura vb. atarak oluşturulabilmektedir (Kleijnen ve Groenendaal, 1992). Diğer taraftan önceden bir torbadan çekilerek ya da zar atılarak bulunan sayıların kaydedildiği, hazır sayı listeleri de kullanılabilmektedir. Günümüzde en sık kullanılan yöntem ise bir matematiksel formül ve hesaplar ile üretilen yapay rastlantısal sayı dizileridir (Kleijnen ve Groenendaal, 1992).

Doğadaki rastlantısal oluşumların arkasında bir sistem ve kurallar bütünü olduğu gibi, mimari tasarım süreçlerinde rastlantısallık kullanımında da belirli kurallar ve sınırlar bulunması gerekmektedir. Aksi durumda rastlantısallık, kaosa dönüşmektedir. Kuralsız ve sınırsız rastgele yapılaşma süreçlerinin çarpık kentleşmeye veya gecekondulaşmaya başlaması, bu kaos durumuna bir örnek olarak kabul edilebilir.

## 4. Model Önerisi

Çalışmada, belirlenen tek tip bir modülün, hesaplamalı tasarım ile rastlantısal şekilde türetildiği bir model hazırlanmıştır. Model, Rhinoceros programı üzerinden çalışan Grasshopper eklentisi ile geliştirilmiştir. Rastlantısal üretimler yapan bu modelde, tek tip modül olarak L biçimli modüllerin kullanılmasında L biçimindeki modüllerin sahip olduğu avantajlar etkili olmuştur. L modüller, yatayda ve düşeyde farklı yönlere döndürülerek, farklı mekan çözümleri yaratılabilmektedir. Aynı zamanda farklı açılarda ve yönlerde döndürülmüş L modüller; ikili üçlü veya daha çok sayıda gruplanarak, tek bir birleşik mekan oluşturabilmektedir. Böylece tek tip bir L modül kullanarak, birbirinden farklı çok sayıda yeni blok tipi üretilebilmektedir.

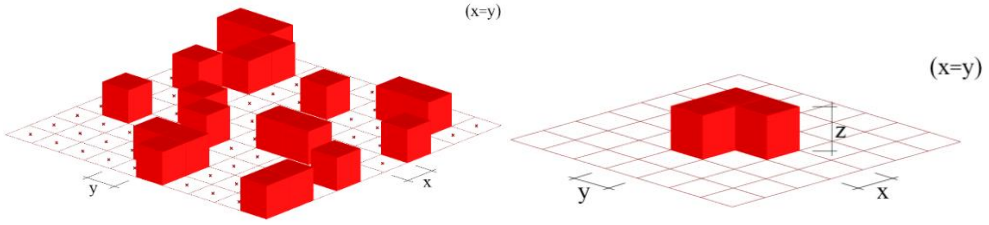
Rastlantısal oluşumların kaosa dönüşmemesi için, rastlantısallığın kullanıldığı algoritmaların belirli sınır ve kurallar bütünü ile sınırlandırılması gerekmektedir. Bu nedenle kullanıcılar modele bazı tanımlamalar yapmaktadır. Bunlar, çalışma alanına ait özellikler ile grid sistemin tanımlanması ve yapısal kararların verilmesidir. Bu adımların ardından L modül tabanlı rastlantısal üretimler yapılmakta ve mimari çözümlerin yapılması ile süreç tamamlanmaktadır (**Şekil 5**).




**Şekil 5:** Modele ait akış şeması (Deveci, 2017)

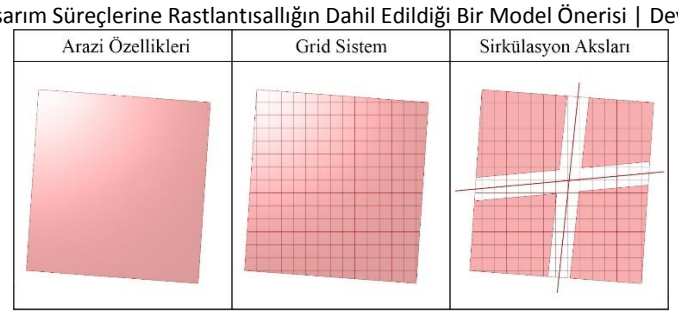
### 4.1. Çalışma Alanının (Arazinin) Tanımlanması ve Grid Sistem

Mimari tasarım sürecinde çalışma alanının (arazinin) özellikleri, tasarımın gelişimi için oldukça önemlidir. Bu nedenle ilk olarak modele arazi özellikleri tanımlanmaktadır. Arazi sınırları ve kot değerleri Grasshopper'da çizilebildiği gibi, Rhinoceros'a aktarılan herhangi bir 3 boyutlu arazi de kullanılabilmektedir. Modelde, L modül hücreleri, çekirdek hücreleri ve taşıyıcı sistemin yerleşebilmesi için bir altlık olarak grid sistem kullanılmaktadır. Bu grid, araziye otomatik olarak entegre edilmekte ve gridin her hücresi, kare tabanlı bir hücrenin yerleştiği alanları oluşturmaktadır. L modüller, L şeklinde birleşen 3 adet bitişik (komşu) kare tabanlı hücrenin birleşmesiyle oluşmaktadır (**Şekil 6**). Yatay ölçüleri bu şekilde belirlenen hücrelerin düşey ölçüleri (kat yükseklikleri) ise yatay ölçülerden bağımsız olarak ihtiyaca göre belirlenebilmektedir. Modele tanımlanan tüm değerler birim cinsinden olup, modelin herhangi bir aşamasında değiştirilebilmektedir. Bu da modelin kullanımında önemli bir avantaj ve esneklik sağlamaktadır.




**Şekil 6:** Grid sistemin hücre merkezlerine yerleşen 3 boyutlu kare tabanlı hücreler (solda) ve 3 kare tabanlı hücrenin birleşimiyle oluşan L modül (sağda), (Deveci, 2017).

Grid sistemin entegre edildiği 3 boyutlu araziye istenildiğinde araziyi bölen akslar da eklenerek, arazi birden çok yapılaşma alanına (bölgesine) ayrılabilmektedir. Kullanıcılara tasarımda daha fazla özgürlük vermesi için modele eklenen bu akslar, hem yatay sirkülasyon için, hem de yapıyı daha küçük parçalara bölmek için kullanılabilmektedir. Aksların genişliği ve eğrisel/doğrusal gibi formları da kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır. Sirkülasyon akslarının böldüğü bu alanlar, çekirdek ve L modül hücrelerinin yerleşeceği yapılaşma alanlarıdır (**Şekil 7**).




**Şekil 7:** Plan düzleminde çalışma alanının tanımlanması, grid sistem ve sirkülasyon akslarının belirlenmesi (Deveci, 2017)

### 4.2. Yapısal Kararların Verilmesi

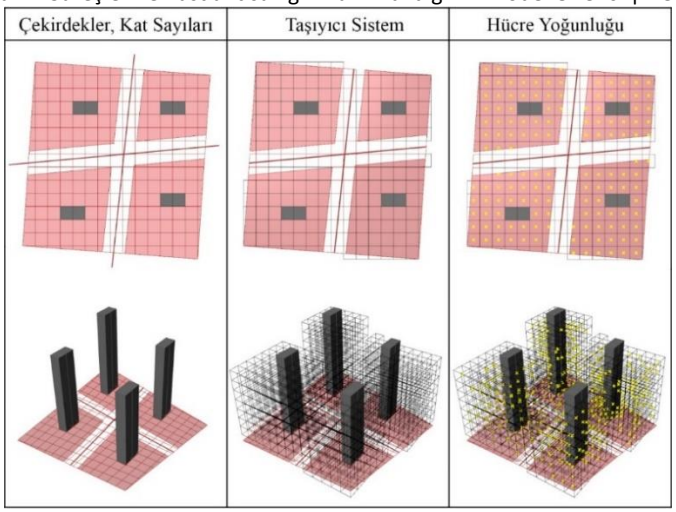
L modül üretimine geçebilmek için kullanıcı tarafından bazı yapısal kararların verilmesi gerekmektedir. Bunlar; çekirdek hücrelerinin konumlandırılması, kat sayılarının tanımlanması, yapılaşma alanlarındaki hücre yoğunluklarının tanımlanması ve araziye ait emsal değerinin tanımlanmasıdır. Rastlantısallığın potansiyelini burada da kullanabilmek için, yapısal kararların dahi bazı sınırlandırmalar ile rastlantısal olarak tanımlanabildiği bir algoritma hazırlanmıştır.

Bu aşamada ilk olarak çekirdek kulelerinin konumları tanımlanmaktadır. Modelde, L modüllere erişim kolaylığı için çekirdeklerin yapılaşma alanlarının merkezlerinde bulunmaları hedeflenmiştir. Bu nedenle model, bir önceki aşamada kullanıcı tarafından belirlenen yapılaşma alanlarının ağırlık merkezi noktalarına birer çekirdek kulesi yerleştirmektedir. Çekirdek konumları isteğe göre kullanıcı tarafından el ile belirlenebilmektedir. Aynı zamanda konumların model tarafından rastlantısal olarak yerleştirilmesi de tercih edilebilmektedir. Her iki yöntemle belirlenen çekirdek konumlarına da modelin herhangi bir aşamasında el ile müdahale edilebilmektedir.

İkinci olarak yapılaşma alanlarında kullanılacak kat sayıları tanımlanmaktadır. Yapılaşma alanlarındaki yapı bloklarının farklı amaçlarla kullanılması, manzaraya, güneşe ya da farklı çekim merkezlerine yönelim, arazi eğimi gibi çeşitli durumlar ve çevresel etmenler, her bir yapı bloğunda farklı kat sayıları belirleme ihtiyacı doğurabilmektedir. Bu nedenle modelde oluşan her bir yapılaşma alanı için ayrı olarak kat sayıları tanımlanabildiği bir algoritma geliştirilmiştir. Böylece, yapı bloklarında gerekebilecek farklı kat sayısı ihtiyacı giderilmiş olmaktadır. Aynı şekilde farklı kat sayıları ile yapı blokları arasında mimari bir hareketlilik de sağlanmış olmaktadır. Bu değerler kullanıcılar tarafından el ile belirlenebildiği gibi model tarafından rastlantısal olarak da belirlenebilmektedir.

Üçüncü olarak, yapılaşma alanlarındaki yapı bloklarında kullanılacak hücrelerin kullanım yoğunluğu, ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Bu şekilde yapı bloklarındaki doluluk boşluk oranları ayarlanabilmektedir. Böylece hem emsal hesaplarına uygunluk sağlanmış, hem de blokların kendi içinde de farklı doluluk boşluk oranları ile mimari hareketlilik desteklenmiş; yoğun, durağan ve masif mimari kütlelerden kaçınılmış olmaktadır. Yapılaşma alanlarındaki farklı yoğunluk değerleri de rastlantısal olarak belirlenebilmektedir.

Yapısal kararların verilmesinden sonra model otomatik olarak bir taşıyıcı sistem oluşturmaktadır. Taşıyıcı sistem, yapılaşma alanları içerisinde hücrelerin yerleşebileceği bütün hacimleri 3 boyutlu bir grid gibi sarmaktadır. L modüller yerleştikten sonra boşta ve işlevsiz kalan taşıyıcı sistem parçaları modele tanımlanan bir algoritma ile süreç sonunda temizlenmektedir. Yapısal kararların verilmesi aşamaları ve taşıyıcı sistemin oluşumu **Şekil 8**'de görülmektedir.

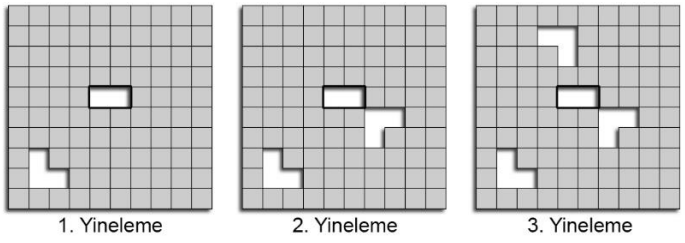



**Şekil 8:** Çekirdek konumlarının, kat sayılarının, hücre yoğunluklarının tanımlanması ve taşıyıcı sistemin oluşumu (Deveci, 2017)

Son olarak üretilecek yapı bloklarının, arazinin emsal değerine uygunluğunun sağlanması için modele arazinin Kat Alanı Kat Sayısı (KAKS) değerinin tanımlanması gerekmektedir. Modele eklenen bu özelliğin kullanılması zorunlu değildir. L modüllerin üretimi tamamlandıktan sonra model, otomatik olarak bir emsal hesabı yapmaktadır. Bu hesabın sonucuna göre yapı, yeniden şekillendirilebilmektedir. Projede inşa edilecek tüm hacimler, kare tabanlı hücrelerin birleşimiyle oluşmaktadır. Bu nedenle hesap, kare tabanlı hücreleri birim alarak yapılmaktadır. Arazideki toplam kare tabanlı hücre sayısı ile KAKS değeri çarpılarak, modelde üretilebilecek (inşa edilebilecek) toplam hücre sayısı bulunmaktadır. L modül üretimi tamamlandıktan sonra, L modüllerde kullanılan toplam hücre sayısı hesaplanmaktadır. Bu iki değer birbirleriyle kıyaslanıp, emsale uygunluk kontrol edilmektedir. Üretilen yapı emsal değerine uygun değilse, yapılaşma alanlarındaki yapı bloklarının yoğunluğu ya da kat yükseklikleri azaltılarak uygunluk sağlanabilmektedir.

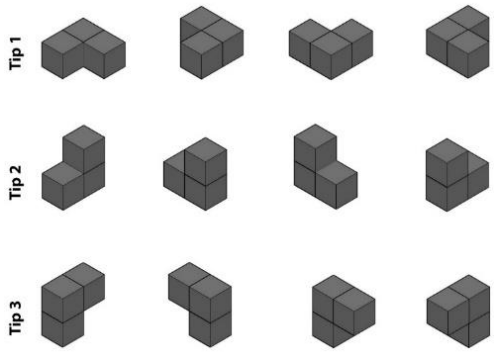
### 4.3. L Modül Tabanlı Rastlantısal Üretimlerin Yapılması

Arazi özelliklerinin tanımlanması ve yapısal kararların verilmesinden sonra, L modül algoritmasının kullanacağı hücreler oluşmaktadır. L modüller, 3 adet kare tabanlı komşu hücrenin L biçiminde birleşiminden meydana gelmektedir. L modül üreten algoritmanın prensibi şu şekildedir: İlk adımda 3 boyutlu grid sistem içerisinden herhangi bir hücre rastlantısal olarak seçilir. İkinci adımda bu hücreye en yakın iki komşu hücre seçilir; hücrelerin birleşimi L biçiminde değilse adım tekrarlanır. Üçüncü adımda, bu üçlü hücre grubu sistemden çıkarılır. Model, sistemdeki bütün kare tabanlı hücreler bitene kadar bu üç adımı tanımlanan bir döngü ile yinelenmektedir (**Şekil 9**).




**Şekil 9:** Tüm hücrelerden çekirdeğin ve L biçiminde 3 hücrenin rastgele seçilip çıkarılması (1. Yineleme). Kalan hücrelerden tekrar 3 hücre seçilip çıkarılması (2. Yineleme) ve devam eden işlem döngüsü (3, 4, 5… Yinelemeler), (Deveci, 2017)

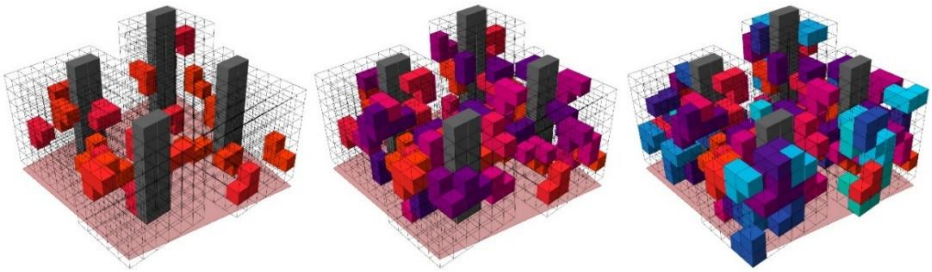
Model, L modülleri rastlantısal olarak oluşturup, yine rastlantısal olarak taşıyıcı sistemdeki yerlerine yerleştirmektedir. Yatay düzlemde oluşan rastlantısal L modüller, oldukça dinamik ve öngörülemez formlar oluşturmaktadır. Ancak bu çalışmada, modüler mimarlıkta kullanılan hesaplamalı tasarım süreçlerinde rastlantısallık kullanımının yaratabileceği potansiyel ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle, L modüllerin sadece yatay yönde değil, düşey yönde de oluşabildiği bir algoritma geliştirilmiştir. Bu şekilde hem yatay, hem de düşey yönlü yerleşen L modüller oluşabilmektedir (**Şekil 10**). Yatay ve düşey modüllerin bir arada kullanımı sonuç ürünün çok daha dinamik yapmakta ve daha farklı modül birleşim alternatifleri ile tasarımcılar için daha yüksek bir potansiyel yaratmaktadır.




**Şekil 10:** 3 tip L modül farklı yönlere döndürülmesiyle oluşturulmuş tüm L modül varyasyonları (Deveci, 2017)

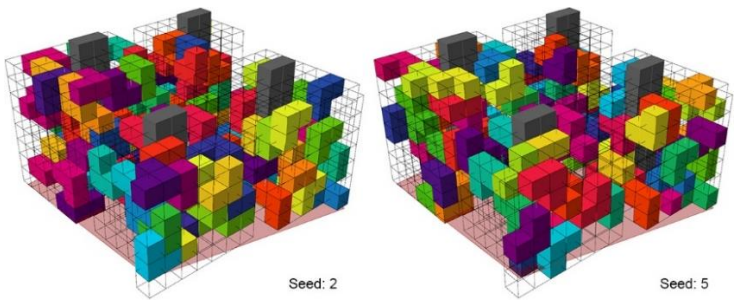
Arazi özelliklerinin tanımlanıp, yapısal kararların verilmesiyle modelin kullanımına başlanmaktadır. Tanımlamalardan sonra oluşan taşıyıcı sistem içerisinde yer alan hücreler, L modül üretim algoritmasına dahil edilecek hücrelerdir.

Modelin çalıştırılmasıyla birlikte L modüller, taşıyıcı sistemdeki hücrelere yatay ve düşey yönlerde rastlantısal şekilde otomatik olarak yerleşmektedir. L modüller bir anda değil, teker teker ancak hızlı bir şekilde üretilmekte ve bu üretim süreci rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Üretilen ilk modüller, genellikle birbirinden uzak noktalarda oluşmakta ve seyrek bir yerleşim oluşturmaktadır. İlerleyen aşamada hücreler adım adım L modüllerle dolmaya başlamaktadır. Bu aşamada L modüller birbirleriyle komşuluk ilişkisi kurmaya başlarken, çekirdeklerle olan ilişkiler de kurulmaya başlanmaktadır. Sisteme dahil edilen hücreler içerisinde L modül oluşturma şartını sağlayan hiçbir hücre kalmadığında, L modül üreten algoritma çalışmayı durdurmaktadır. Artık L modüller birbirlerine ve çekirdek kulesine birçok yerde temas etmektedir. Modüller arasında komşuluk ilişkileri daha güçlü duruma gelmiştir (**Şekil 11**).



**Şekil 11:** Örnek projede L modül üretim aşamaları (Deveci, 2017)

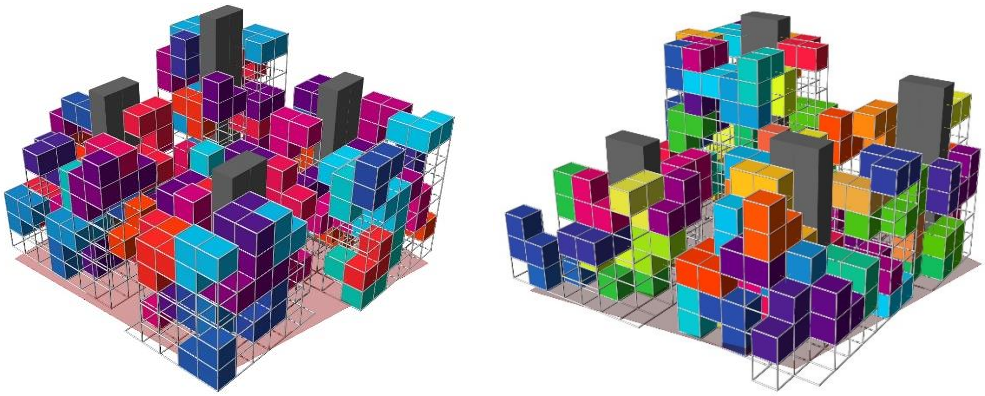
Sürecin sonunda, kullanıcı tarafından tanımlanan kararlar ile sınırları çizilmiş ve rastlantısal olarak çoğaltılıp yerleştirilmiş L modül tabanlı kütlesel bir yapı elde edilmektedir. Kullanıcı kararları ile kontrol altına alınıp kaosa dönüşmesi engellenen bu kütlesel yapı, önceden tanımlanan her kullanıcı kararının (parametrenin) değişmesiyle otomatik olarak tamamen değişmekte ve yeni bir üretim yapılmış olmaktadır. Sadece bu parametrelerin değişimiyle değil, L modül algoritmasındaki şans faktörünün değiştirilmesiyle de önceki sonuçlardan tamamen farklı ancak aynı kullanıcı kararlarını sağlayan yeni üretimler yapılabilmektedir. Oluşan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilebilmektedir. Aynı kullanıcı kararlarına sahip iki farklı sonuç **Şekil 12**'de görülmektedir. Çok hızlı ve kolay bir şekilde kullanıcıların, sınırsız sayıda alternatif rastlantısal modüler yerleşimler üretebilmesi sağlanmaktadır. Oluşan her sonuç, tamamen farklı, dinamik ve önceden tahmin edilemeyen bir mekan düzeni ve zenginliği sunmaktadır.




**Şekil 12:** Örnek projede sadece şans faktörü (seed değeri) değiştirilerek üretilen farklı L modül yerleşimleri (Deveci, 2017)

### 4.4 Mimari Çözümlemelerin Yapılması

Modelin sonuç ürünü olarak şematik ve kütlesel yerleşimler oluşmaktadır. Bu kütlesel yerleşimlerin şematik kesitleri, planları, görünüşleri ve perspektifleri modelin çalıştırıldığı Rhinoceros programı ile oluşturulabilmektedir. Bu kütlesel yerleşimlerin iç ve dış mekan çözümleri ile birbirleriyle olan bağlantıları kullanıcılar tarafından çözülerek, gerçek hayata taşınabilen projeler üretilebilmektedir. Mimari çözümlemeler, örnek bir proje üzerinden açıklanacaktır (**Şekil 13**).



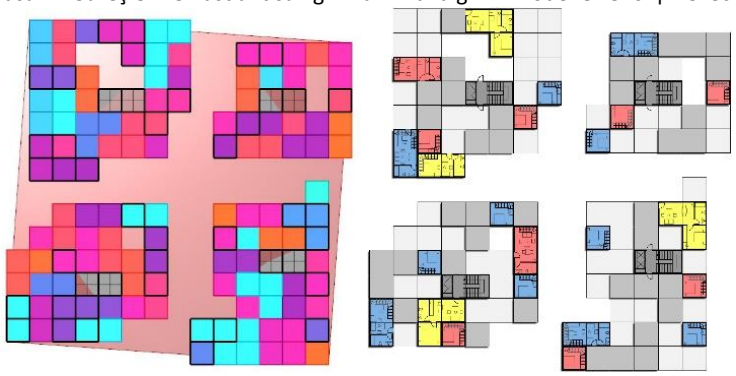
**Şekil 13:** Örnek projeye ait perspektif (solda) ve farklı parametrelerle üretilmiş başka bir örnek proje (sağda) (Deveci, 2017)

Model, yatay L modüllerin yanı sıra, 2 hücresi altta, 1 hücresi üstte ya da 1 hücresi altta, 2 hücresi üstte olmak üzere toplam 3 tip L modül üretmektedir. Tasarımcıların öncelikle bu 3 tip modül için kesit ve plan çözümü yapması gerekmektedir. Hücre ölçüleri 4x4x4 metre olarak seçilen bu örnek proje için iç mekan plan çözümleri **Şekil 14**'de yer almaktadır. Örnek proje için konut işlevi seçilmiş ve oluşan tüm L modül alternatifleri 1+1 daireler şeklinde çözülmüştür. 3 tip L modülün yanı sıra, çekirdek modülleri için de kesit ve plan çözümleri yapılması gerekmektedir.

**Şekil 14:** 3 tip L modüle ait örnek plan çözümleri (Deveci, 2017)

Daha sonra sonra Rhinoceros ile alınan plan ve kesitlere, bu 3 tip L modül ile çekirdek modülü çözümleri kullanıcı tarafından yerleştirilmektedir. Mekan çözümlerinin sağlıklı yapılabilmesi ve L modüllerden çekirdeklere ulaşımın kesintisiz sağlanabilmesi için, Rhinoceros ile yapının her katına ait şematik kat planı alınması gerekmektedir.

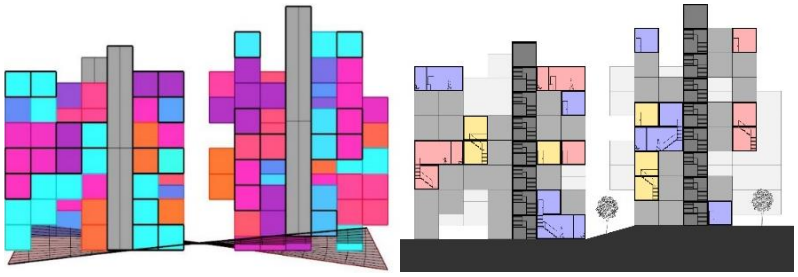
Hazırlanan örnek plan çözümlerinde, kapılar hariç dış duvar boşluğu (pencere) yer almamaktadır. Kapılar da dahil tüm dış duvar boşluklarının, genel kat çözümü yapılırken, o katın mekan organizasyonu ve sirkülasyonuna göre sonradan değiştirilmesi gerekebilmektedir. Aynı şekilde yapı bir bütün olarak ele alınıp, dış duvar boşlukları mimarın tercihlerine göre son aşamada düzenlenebilmektedir. Modelden Rhinoceros ile alınan örnek bir kat planı için, örnek tip plan çözümlerinin yerleştirilmiş hali **Şekil 15**'te görülmektedir.



**Şekil 15:** Örnek projeye ait 6. Kat planının Rhinoceros görüntüsü ve ilk çözümü (Deveci, 2017)

Aynı katta yer alan tüm L modüllerin çekirdeklerle bağlantısı kontrol edildikten sonra, çekirdeklere erişimin olmadığı L modül planları için çeşitli düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Burada ilk çözüm, L modül planlarının basitçe farklı yönlere döndürülmesidir. Bu şekilde dış kapılar, çekirdeklere ulaşan boş döşemelere açılır konuma getirilebilmektedir. Erişim bu şekilde sağlanamıyorsa ikinci çözüm, sadece o modüle özel olarak dış kapıların yerleri değiştirilmesidir. Ancak bazı örneklerde, L modüllerden çekirdeklere uzanan herhangi bir boş döşeme oluşmayabilmektedir. Bu durumda çekirdeğe ulaşabilmek için gereken yerlere köprü biçiminde bağlayıcı döşemeler eklenmesi gerekmektedir.

Plan çözümleri tamamlandıktan sonra örnek projenin kesitleri hazırlanıp çözülebilmektedir. Gerekli durumlarda plan ve kesit çözümleri bir arada yapılabilmektedir. Örnek projenin şematik kesitleri, Rhinoceros programı üzerinden alındıktan sonra 3 tip L modülün uygun yönlerde kesitleri hazırlanıp, çözümleri yapılabilmektedir. Bu L modül kesitleri, kullanıcı tarafından planlarda uygun gelen yerlere, uygun yönlere çevrilerek yerleştirilmektedir. Örnek proje bir şematik kesit ve çözümü **Şekil 16**'da yer almaktadır.



**Şekil 16:** Modelin ürettiği şematik yapıya ait örnek kesit (solda) ve çözümü (sağda), (Deveci, 2017)

## 5. Sonuç ve Öneriler

Hesaplamalı tasarım süreçlerine rastlantısallığın dahil edildiği bu model önerisi, çalışmanın başında hedeflendiği gibi oldukça dinamik, şansa ve tesadüflere açık yaratıcı sonuçların üretilip, belirmelerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum, mimari tasarım süreçleri için önemli bir artı sunmaktadır. Diğer taraftan önerilen model ile tasarımcıların, yalnızca şans değerini değiştirerek aynı parametrelere sahip yüzlerce farklı alternatif tasarıma ulaşması sağlanmaktadır. Bu şekilde tasarımcılar yüzlerce sonuç alternatifini kolayca üretip, bunları bir arada görerek karşılaştırabilmekte ve değerlendirebilmektedir.

Modelin çıktıları mimari açıdan incelendiğinde, modelin sadece dış cephede değil; iç kısımlarda da dolulukların ve boşlukların birbirleri içine geçtiği, akışkan mekanlarla dinamik bir mimari sunduğu görülmektedir. Yapı bloklarının içerisine dağılan açık alanlar, birçok konut birimi için özel teras alanları ve ortak kullanıma açık teraslar ile kat bahçeleri oluşmaktadır. Yatay sirkülasyonlar kapalı koridorlar yerine, sokak gibi geniş açık alanlarla sağlanmaktadır. Model, bu açıdan bakıldığında üst üste ve yan yana dizilen konut birimleriyle oluşan günümüz toplu konut mimarisine önemli bir alternatif önerebilmektedir.

Geliştirilen model üzerinde çalışılması gereken bazı noktalar bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, L modüllerin çekirdek kuleleriyle bağlantısını sağlayan bir algoritmanın modele eklenerek, L modüllere erişimle ilgili yaşanabilecek

sorunlarının önüne geçilmesidir. İkincisi, L modüller için bir cephe sisteminin önerilmemiş olmamasıdır. İlerleyen aşamalarda model tarafından otomatik olarak üretilecek bir cephe sistemi geliştirilebileceği düşünülmektedir.

**Teşekkür**
Bu çalışma, Fatih Süleyman DEVECİ tarafından Öğr. Gör. Dr. Hakan TONG danışmanlığında yürütülen "L Modül Tabanlı Yapılarda Rastlantısal Üretim İçin Bir Model Önerisi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## KAYNAKLAR

Bürger, P. (1984). Theory of the Avant-Garde. Trans. Michael Shaw. University of Minnesota Press. Minneapolis.

Children's Center for psychiatric rehabilitation / Sou Fujimoto Architects. (2008, November 3). ArchDaily. https://www.archdaily.com/8028/children%25e2%2580%2599s-center-for-psychiatric-rehabilitation-sou-fujimoto/.

Deveci, F. S. (2017). L modül tabanlı yapılarda rastlantısal üretim için bir model önerisi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Fearson, A. (2014, September 11). Brutalist buildings: Habitat 67, Montreal by Moshe Safdie. Dezeen. https://www.dezeen.com/2014/09/11/brutalist-buildings-habitat-67-montreal-moshe-safdie/

Generating Trees and Other Interesting Shapes With L-Systems. (2018, May 25). General Protection Fault. https://gpfault.net/posts/generating-trees.txt.html

Güdükbay, U., Gülbeden, A., Kaya, F., (2001). L-Sistemler kullanarak bilgisayarda bitki sentezleme, Popüler Bilim, 94, 42-46.

Kleijnen, J.P.C.; van Groenendaal, W. J. H., (1992). Simulation: A statistical perspective. Wiley, Chichester.

Mandelbrot, B. (1982). The fractal geometry of nature. Freeman, New York.

Meinhold B. (2009, August 20). Habitat 67: Montreal's Prefab Pixel City. Inhabitat. https://inhabitat.com/habitat-67-montreals-prefab-pixel-city/

Mitchell, M. (1995). Genetic algorithms: An overview. Complexity, 1: 31–39. https://doi.org/10.1002/cplx.6130010108.

Peitgen, H., Jürgens, H., Saupe, D. (2004). Chaos and Fractals: New Frontiers of Science. Springer, New York.

Rozenberg, G. ve Salomaa, A. (1976). The mathematical theory of L systems. DAIMI Report Series, 3(33). https://doi.org/10.7146/dpb.v3i33.6453.

Sanchez, R. (2000, May 12). Modularity: upgrading to the next generation design architecture (A. McCluskey, Interviewer) https://connected-archive.secret-paths.com/media/modular.html

Stiny, G. (1980). Introduction to shape and shape grammars. Environment and Planning B, 7, 343-351.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Ekstrem Koşullara Dayanıklı Mobil Modüller için Mekan Organizasyon Algoritması

Efay İzel Tan [1]; Mustafa Cem Güneş [2]; Ozan Balcı [3]; Pelin Gül Arman [4]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Oyun ve Etk. Tekn. Anabilim Dalı, Oyun ve Etk. Tekn. YL Programı;
[2,3,4]İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı;
[1]tanef@itu.edu.tr; [2]gunesmus@itu.edu.tr; [3]balcioza@itu.edu.tr; [4]armanp@itu.edu.tr

## Özet

*Bu çalışmada, ekstrem çevre koşullarına dayanım sağlayabilen mekan tasarımları için yenilikçi çözümler üretmek amaçlanmış ve bunun için sistematik olarak mekan organizasyonları üreten bir algoritma tasarlanmıştır. Sınırlı kaynaklara sahip, sürdürülebilir ve kendi kendine yeten tesislere ihtiyaç duyulan Antarktika'nın vaka çalışması olarak seçilmesi, çalışmanın odağını dayanıklılık üzerine toplamıştır. Çalışmada, araştırma ekiplerinin ekstrem koşullarda rahatça yaşayabileceği kompakt, geçici ve mobil yaşam modüllerinin tasarımı üzerine durulmuştur. Bu mobil yaşam modüllerinin mekan organizasyonlarını üretecek olan algoritmayı oluştururken, mekanın nesne ve bölge elementlerinin boyut ve ilişkilerinin analizi üzerinden kurallar belirlenmiştir. Yapılan analizler ve bulgular algoritmanın sistematik bir veri tabanını oluşturmuş ve tasarım kararlarını yönlendirmiştir. Bunun sonucu olarak modülün temel fonksiyonları ortaya çıkmış ve fonksiyonların gerektirdiği hacimlere ulaşılmıştır. Tüm bu veriler ve verilerden elde edilen kurallar algoritmanın temelini oluşturur konumdadır. Çalışmada, iki boyutlu mekan üretimi alanında yapılan pek çok çalışmadan yararlanılmıştır. Kısıt tabanlı üretken sistem metodu temel alınmakla birlikte önceki çalışmalardan farklı olarak mekan organizasyonuna üç boyutta çözüm önerileri sunulmuş, hacim konfigürasyonuna daha kapsayıcı ve daha kompakt yaklaşılmıştır. Ek olarak, nesne ve bölgeler için farklı parametrelerin tanımlanmış olması, algoritmaya alternatif sonuçlar üretebilme fırsatı sağlamaktadır. Mekan organizasyon alternatifleri üretebilmek adına, mekan üç boyutlu hücreler olarak temsil edilmiştir. Hücrelerin çevresindeki hücrelerle ilişkili olarak büyümesi ve bölgelere dönüşmesi mekan oluşumunun temel algoritmasıdır. Bölgeler oluştuktan sonra ise basit kutularla temsil edilen nesneler mekanla ilişki kurarak yerleşmektedir. Nesnelerin ve mekanların yerleşimi bölge - bölge, bölge - nesne ve nesne - nesne arasında komşuluk ve yön ilişkilerini esas alarak rasyonel mekan oluşturmayı hedeflemektedir. Yerleşim aşaması sırasında algoritma, nesne yerleşimlerini değerlendirerek başarısız sonuçları eler. Algoritma arayüzü kullanıcının parametreleri değiştirerek farklı karakterlerde mekanlar oluşturmasına olanak verir. Bu çalışma süresince algoritma, hem Processing hem de Rhinoceros/Grasshopper programları üzerinde geliştirilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Mekan organizasyon algoritması, hücresel özdevinim, ekstrem koşullar, kısıt tabanlı sistemler, dayanıklılık.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Tan, E. İ., Güneş, M. C., Balcı, O. & Arman, P. G. (2021). Ekstrem koşullara dayanıklı mobil modüller için mekan organizasyon algoritması. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 48-59). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Space Organization Algorithm for Mobile Module Resistant to Extreme Conditions

Efay İzel Tan [1]; Mustafa Cem Güneş [2]; Ozan Balcı [3]; Pelin Gül Arman [4]
[1]Istanbul Technical University, Graduate School, Game and Interaction Technologies Institute, Game and Interaction Technologies Graduate Program;
[2,3,4]Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing Graduate Program;
[1]tanef@itu.edu.tr; [2]gunesmus@itu.edu.tr; [3]balcioza@itu.edu.tr; [4]armanp@itu.edu.tr

## Abstract

*In this study, it is aimed to produce innovative solutions through an algorithm that systematically generates space organizations for extreme environmental conditions. In this context, Antarctica, which has limited resources and requires sustainable and self-sufficient facilities, was selected as a case study and the focus of the study is on resilience. The study focuses on the design of compact, temporary and mobile living modules where research teams can live comfortably under extreme conditions. While creating the algorithm that will produce the space organizations of these mobile living modules, rules have been determined based on the analysis of the dimensions and relations of the object and zone elements of the space. The analyzes and findings created a systematic database of the algorithm and guided the design decisions. As a result, the basic functions of the module have emerged and the volumes required by the functions have been reached. All these data and the rules obtained from the data are in a position to form the basis of the algorithm. In the study, many studies in the field of 2D plan generation have been benefited from. Although the constraint-based generative system method is considered as a base, unlike previous studies, three-dimensional solution proposals have been presented to the space organization, and the volume configuration has been approached more inclusive and more compact solutions. In addition, defining different parameters for the objects and zones gives the algorithm the opportunity to produce alternative outcomes. Space was represented in three dimensional cells in order to produce alternatives for the organization of space. The growth of cells through the relationships by their neighbor cells and their transformation into zones is the main algorithm of space generation. After the zones are formed, simplified box representations of the furniture and objects are placed considering their relations in 3D space. The placement of objects and zones aims to create a rational space based on the neighborhood and direction relations between zone - zone, zone - object and object - object. In the settlement stage, the algorithm eliminates the unsuccessful results by evaluating the object placements. User interface allows users to create characteristic spaces by changing the algorithm parameters. This algorithm is developed by using both Processing and Rhinoceros / Grasshopper programs.*

***Keywords:*** *Space organization algorithm, cellular automata, extreme conditions, constraint-based system, resilience.*

**Citation in APA Style:** Tan, E. İ., Güneş, M. C., Balcı, O. & Arman, P. G. (2021). Space organization algorithm for mobile module resistant to extreme conditions. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 48-59). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Ekstrem çevre koşullarına sahip bölgelerde mekan tasarımının çeşitli zorlukları bulunmaktadır. Bu çalışmada bu tip bölgelere yenilikçi çözümler üretmek için sistematik olarak mekan organizasyonları üreten bir algoritma tasarlamak hedeflenmiştir. Ekstrem koşullara yönelik tasarım için temel kriter olarak alınabilecek dayanıklılık kavramı, bireylerin çeşitli çevresel ve sosyal tehditleri tolere etme, özümseme, başa çıkma ve bunlara uyum sağlama yetenekleri olarak yorumlanmıştır. Bu çalışma, çevresel zorluklarla karşılaşacak olan araştırma ekiplerine yönelik tasarlanan kompakt ve mobil yaşam modüllerinin dayanıklılık sorununa çözüm sağlaması için yapılmıştır.

Mekan organizasyonu üretim algoritmaları üzerine yaklaşık 50 yıldır çalışılmaktadır. Önceki çalışmaların önemli bir bölümü mekan yerleşim problemini iki boyutlu bir plan çözme problemi olarak ele almaktadır (Lobos ve Donath, 2010) ancak bu durum özellikle kompakt çözümler gerektiren mekan organizasyonları için kısıtlayıcı olmaktadır.

Diğer bir yandan, modern araçlardan olan derin sinir ağları, özellikle çekişmeli üretken ağlar (Generative adversarial networks) kullanılarak plan çözümleri üretilebilmektedir (Chaillou, 2020). Ancak oldukça kalabalık veri kümesi gereksinimi ve sonuç ürünlerdeki ürünlerin çok fazla parametreyi aynı anda karşılamasının zorluğu bu yöntemin kullanımı açısından sınırlayıcı olmaktadır. Ek olarak, evrimsel veya genetik algoritmaları (Nilkaew, 2006; Doulgerakis, 2007) kullanarak optimizasyonu önceleyen ve belirli ihtiyaçları karşılayacak şekilde alternatifler türeten yöntemler mevcuttur, fakat bu yöntemlerde karşılanması gereken parametre sayısı arttıkça sağlıklı sonuçlar almak zor olmaktadır.

Bu alanda kullanılan çokça yöntem arasından kısıt tabanlı üretken sistem yöntemi ile paralellik gösterecek şekilde ilerlenmiştir (Li ve diğ. 2000). Üretilen algoritmada kısıtlamalar boyutsal ve fonksiyonel olmak üzere iki temel bölümde ele alınmıştır. Boyutsal kısıtlamalar arasında kompakt bir form olan dikdörtgen geometri mekan sınırı olarak kabul edilmiştir. Mobil yaşam alanının kaynak ve hacim kısıtlamaları göz önünde bulundurulduğunda mekanın kapasitesi diğer önemli boyutsal kısıtlamalar arasındadır. Bu bağlamda mekanın alt parçalara ayrılmasıyla oluşan bölgelerin ve nesnelerin minimum ve maksimum ölçüleri ve bölgelerin ihtiyaç duydukları minimum ve maksimum alanlar parametrik olarak tanımlanmıştır. Ek olarak, mekanın işlevsel olabilmesi ve nesnelerin bölgelere rasyonel biçimde yerleştirilebilmesi için bölge - bölge, bölge - nesne ve nesne - nesne arasında komşuluk ve yön ilişkileri kurgulanmıştır. Bu tip ikili ilişkiler algoritma içerisinde fonksiyonel kısıtlamalar ile tanımlanmıştır.

Bu kapsamda, bu çalışma nesne ve bölgelerin boyutları, birbirleriyle ilişkilerini kısıtlar çerçevesinde kurallar oluşturup organize ederek, aşırı koşullarda bir mobil yaşam modülü oluşturmak için neyin gerekli olduğu hakkında sistematik bilgi sağlamaktadır. Böylelikle, algoritma farklı kısıtlar için alternatif sonuçlar üretebilmektedir.

## 2. Yöntem

Bu aşamada çeşitli mobil tasarım yaklaşımları incelenmiş ve yorumlanmıştır. Antarktika için yapılmış önceki çalışmalar analiz edilmiş ve geniş bir perspektif oluşturmak için karar konuları oluşturulmuştur. Tasarım süreci boyunca, morfolojik matris ve iş kırılım yöntemleri (work breakdown structure), problemleri sistematik biçimde çözümleyebilmek ve doğru değerlendirmeleri yapmak için kullanılmıştır.

Kompakt mekan çözümlerine yönelik yapılan analizlerden elde edilen bilgiler ışığında, ekstrem koşullara sahip bir ortam için tasarlanan mobil yaşam ünitesinde giriş, ortak alan ve ıslak hacim olmak üzere üç temel bölgenin gerekli olduğu kararlaştırılmıştır. Bölgelere, içerdikleri alt birimlere ve nesnelere karar verilmesinin ardından, bölgelerin birbirleri ve nesneler ile olan ilişkileri tanımlanmıştır. Ardından, her bir nesnenin boyutsal sınırları, sınır hacim ölçüleri ve birbirleri ile olan ilişkileri tanımlanmıştır. Sınır hacmi her bir nesnenin çevresinde sirkülasyonu tanımlamak için gerektirdiği hacim olarak tanımlanmıştır. Bütün bilgiler bir veri tabanı içinde listelenmiştir.

Üretilen aracın başarılı mekan organizasyonu varyasyonları sunması beklendiği için, ızgara benzeri bir düzlem üzerinde büyüyen hücresel özdevinim metodu kullanılmıştır. Belirsizliği korumak adına her bir bölgenin başlangıç noktası rastgele seçilmektedir. Sonrasında hücresel büyüme bu noktalardan başlamakta ve ızgara üzerinde tanımlanan limitler içerisinde devam etmektedir. Her bir bölge üretildikten sonra, oluşturulan çözüm önerileri

mekanlarda olması gereken nesnelerin yerleşme durumuna göre değerlendirilmektedir. Büyüme tamamlandıktan sonra sınır hücrelerinin kullanışlı olmasını sağlamak adına komşuluk kontrolleri gerçekleştirilmektedir. Kontroller sonucunda elde edilen bölgelerin maksimum ve minimum alan kısıtlarına uyması beklenmektedir. Algoritma mekanların ihtiyaçlarına uygun bir çözüme ulaştığında üretilen sonucu bir sonraki aşamaya aktarmaktadır, aksi durumda uygun bir seçenek elde edilene kadar tanımlanan adımlar tekrar edilmektedir.

Sonraki adımda, oluşturulan sistem her bir bölge içerisine gerekli nesnelerin yerleştirilmesi gerçekleştirmektedir. Geliştirilen algoritma önceden tanımlanmış nesneleri yerleştirmeye, belirtilen yerleşim sırası ve kurallarını göz önünde bulundurarak başlamaktadır. Her bir bölgeye ilk nesneler yerleştirildikten sonra kalan nesneler ardışık biçimde ilişki kuralları kullanılarak yerleştirilmektedir. Sistem birçok alternatif üreterek sonuca ulaşmayı hedeflemektedir. Eğer gerekli nesnelerin olması gereken alanlara yerleşimi başarısız olursa algoritma başa dönerek aynı adımları uygun bir sonuç elde edene kadar tekrar etmektedir. Bu süreç sonunda tanımlanan kısıtları karşılayan üç boyutlu bölge ve nesne yerleşimi önerileri elde edilmektedir.

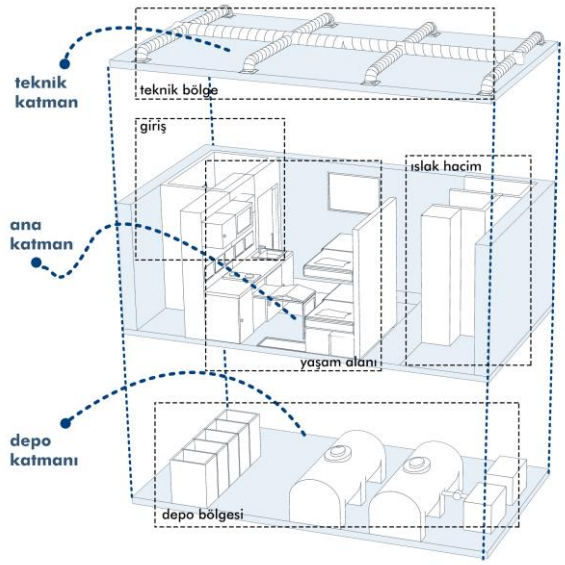
## 3. Algoritma için Veri Tabanı Oluşturulması

Bir algoritmanın mekan organize edebilmesi için analiz edilmiş mekanın veriye dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu yüzden mekanı oluşturabilecek kısıtlamalar, kurallar, ilişkiler sistematik bir şekilde toplanmış ve tüm bu verilerden beslenen algoritmanın başarılı sonuçlar vermesi hedeflenmiştir. Veri tabanı oluşturulmadan önce, üretilecek mekanın kapasitesi, kullanım süresi ve çevreyle bağlantısı gibi çeşitli kıstaslar belirlenmiştir. Bu bağlamda üretilecek mekanın en az iki kişinin kullanımına sunulması kararlaştırılmıştır. Ek olarak, mobil yaşam ünitesinin ana merkezden maksimum bir ay süreyle ayrı kalması kararı alınmıştır. Veri tabanı da bu kararlar ışığında oluşturulmuştur.

Verileri oluşturmak için mekan organizasyonu konsepti başlangıç noktası olarak ele alınmıştır. Bir yaşam modülünde gerekli olabilecek nesneler, bölgeler, koşullar belirlenmiştir. Nesnelerin ve bölgelerin gerektirdiği alan ve hacimler; sınır hacmi boyutları hesaplanmış ve bir modülün yaklaşık olarak hacmi tespit edilmiştir. Algoritmanın hesaplanan ve arşivlenen bu ölçüleri çekerek parametrik olarak mekan oluşturması kurgulanmıştır.

### 3.1. Modül Katmanları

Bir yaşam modülü 3 katmandan oluşacak şekilde kurgulanmıştır. Ana katman, teknik katman ve depo katmanı olarak tasarlanan bu katmanlar modülün dayanım ve hacim kısıtlamaları göz önünde bulundurularak yerleştirilmiştir (**Şekil 1**). Algoritma ise tüm sosyal aktivitelerin gerçekleştiği ana katmanı temel alınarak geliştirilmiştir.




**Şekil 1:** Modül katmanlarının patlamış perspektif diyagramı

### 3.2. Bölgelerin Tanımlanması

Algoritmayı yapılandırmak üzere temel mekan organizasyonu kuralları oluşturulmuştur. Mekan ilişkilerine net bir bakış açısı elde etmek adına tüm nesneler modellenmiştir ve nesnelerin ilişkileri analiz edilmiştir. Nesneleri, analizler sonucunda elde edilen ilişkilerine göre yerleştirmenin algoritma için etkili bir çözüm olduğu görülmüştür.

Modüller için gereken bilgiler topladıktan sonra mekan oluşturma aşamasına geçilmiştir. Mekanı sistematik bir şekilde analiz etmek ve oluşturmak için mekan alt bölgelere bölünmüştür. Mekanın karakteristiğini belirleyecek olan bölgeler en başta tek tek ele alınarak kendi içindeki nesne ihtiyaçları ve nesne ilişkileri belirlenmiştir. Daha sonra ise bölgelerin kendi aralarında ilişkileri incelenerek mekanların iç içe geçtiği kompakt çözümler aranmıştır (**Şekil 2**).

### Bölgelerin İlişki Diyagramları

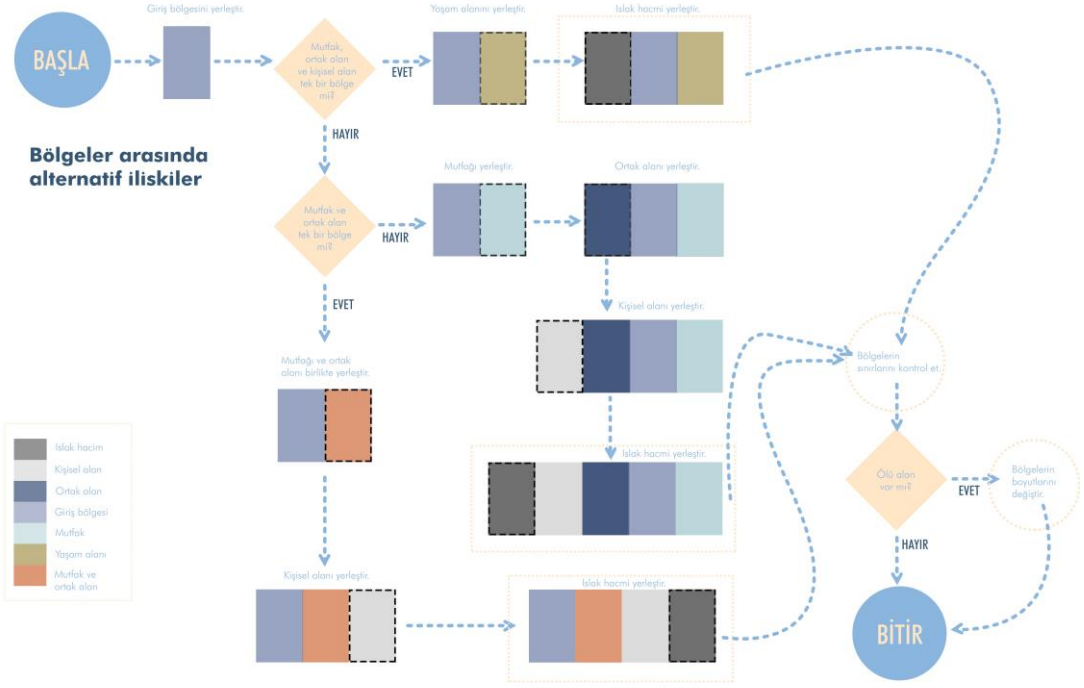
Antarktika'da bulunan ve ekstrem koşullara dayanım sağlaması gereken bir mekan için gerekli olabilecek fonksiyonlara göre başlangıç olarak beş bölge tasarlanmıştır. Bu bölgelerin birbiriyle olan yakınlık - uzaklık; sınırlı kapasiteye uyum sağlayabilme; çevre koşullarına göre mekanda konumlanma gibi ilişkileri göz önünde bulundurularak bir ilişki diyagramı çıkarılmıştır (**Tablo 1**).

**Tablo 1:** Bölgeler arası ilişkilerin puanlanması

**Bölgeler arası ilişkilerin puanlanması**

0 - 10 arası puan için:
0 = İlişki yok
10 = Tam ilişkili

| | Kişisel Alan | Islak Hacim | Mutfak | Ortak Alan | Teknik Alan | Depo | Giriş | Sirkülasyon |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kişisel Alan** | | 10 | 8 | 9 | | 4 | 3 | 10 |
| **Islak Hacim** | 10 | | 9 | 8 | | 6 | 8 | 8 |
| **Mutfak** | 8 | 9 | | 10 | | 7 | 7 | 10 |
| **Ortak Alan** | 9 | 9 | 10 | | | 8 | 8 | 10 |
| **Teknik Alan** | | | | | | | | |
| **Depo** | 4 | 6 | 7 | 8 | | | 5 | 6 |
| **Giriş** | 3 | 8 | 7 | 8 | | 5 | | |
| **Sirkülasyon** | 10 | 8 | 10 | 10 | | 6 | | |



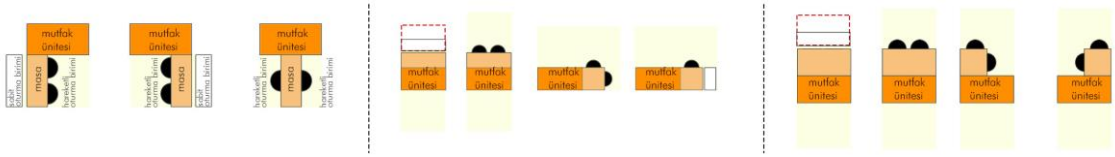

**Şekil 2:** Bölgeler arası ilişki diyagramı

**Sınır Hacimleri ve Alan Hesaplamalarının Algoritma için Verileştirilmesi**

Bölgelerin ilişkisi incelendikten sonra, mekana yerleştirilmesi için her bölge için yaklaşık değerlerde minimum ve maksimum hacim ve alan değerleri hesaplanmıştır. Hacim ve alan hesabı yapabilmek için bölgelerde yer alması gereken nesneler göz önünde bulundurularak bu nesnelerin boyut ve konumlandırılması sistematik bir çalışmayla veriye dönüştürülmüştür. Nesne araştırmasında yine ekstrem koşullara ve kısıtlı hacme uyum gösterebilecek tasarım çözümleri ve nesneler dikkate alınmıştır.

### 3.3. Bölgelerin Tanımlanması: Kompakt Çözümler

Mekan organizasyonu algoritması için oluşturulan nesne - nesne, nesne - bölge ve bölge - bölge arasındaki ilişkisel kurallar şekillendirildikten sonra, bölgeler için jenerik çözümlerin bir mobil modül için mekan kullanımına dair çeşitli olumsuzluklara sebep olduğu tespit edilmiştir. Ekstrem çevre koşulları ve taşınabilir bir mekan üretimi gerekliliği, mekanın en optimal biçimde organize edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu bağlamda daha kompakt bir mekan çözümü sunabilmek için nesne seçimleri de çok fonksiyonlu ve kompakt olacak şekilde yeniden değerlendirilmiştir. Bu durumda, ilk aşamada beş bölgeden oluşturulan ana katmanın mekan kurgusu üç bölge olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Kişisel alan, mutfak ve ortak alan bir araya gelerek yaşam alanını oluşturmuştur. Bu bağlamda, mutfak nesneleri mutfak ünitesi adı altında tek bir nesne olarak değerlendirilmiştir. Mutfak ünitesi, yatak, oturma birimi ve masa ilişkileri analiz edilmiş ve mutfak ünitesine bağlı masa ya da oturma birimi, yatağın altından çıkan masa ya da oturma birimi gibi fonksiyonel ve mekanı verimli kullanan çözümler geliştirilmiştir (**Şekil 3**).




**Şekil 3:** Mutfak ünitesinin alternatif kompakt çözümleri

**Kompakt Çözümler İçin Hacim Sınırları ve Alan Hesaplanması**

Çalışmanın başında jenerik (özelleşmemiş) nesneler için hazırlanan tablolar kompakt nesneleri tanımlamak ve kendi bölgeleri içinde yerleşimlerini sağlamak amacıyla revize edilmiştir. Bu tablolarda kompakt nesnelerin ihtiyaç duydukları boyutsal kısıtlamalar, ihtiyaç duydukları hacimsel sınırlar, yön bilgileri verilmiştir. Daha sonrasında nesnelerin birbirleriyle olan yakınlık - uzaklık ilişkileri, ekstrem koşullardaki kompakt yaşam alanının kullanım senaryoları öngörülerek puanlanmıştır (**Tablo 2**). Böylelikle nesne yerleşimi sırasında algoritmanın nesneleri birbirleriyle nasıl ilişkilendireceği belirlenmiştir. Bu yöntem hangi nesnelerin bölgelere ilk yerleştirileceğini tespit etmek için de kullanılmıştır.

**Tablo 2:** Yaşam alanı - nesne ilişkileri puanlama tablosu

**Yaşam alanı - obje ilişkileri puanlaması**

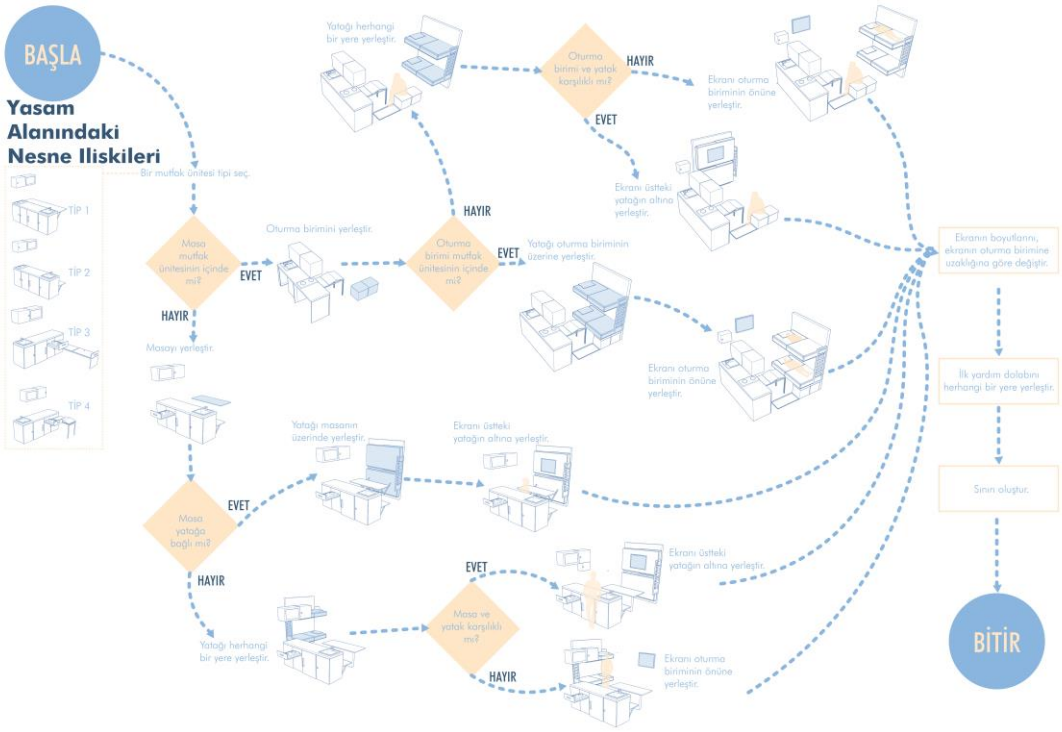
0 - 10 arası puan için:
0 = İlişki yok
10 = Tam ilişkili

| | Tezgah | Ocak (Dolap içi) | Buzdolabı | Masa (Dolap içi) | Masa (Katlanır) | Masa (Yatak) | Lavabo | Ocak | Mikrodalga | Üst Dolap | Oturma Birimi (Tezgah) | Oturma Birimi (Yatak) | Oturma Birimi (Bağımsız) | Ekran (Bağımsız) | Ekran (Üst Yatak) | İlk Yardım Dolabı | Üst Yatak | Alt Yatak |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tezgah | | 8 | 8 | 9 | 9 | 6 | 10 | 10 | 8 | 8 | 9 | 6 | 6 | 4 | 4 | 2 | 5 | 5 |
| Ocak (Dolap içi) | 8 | | 7 | 8 | 7 | 3 | 6 | | 6 | 6 | 6 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Buzdolabı | 8 | 7 | | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Masa (Dolap içi) | 9 | 8 | 6 | | | | 7 | 7 | 6 | 6 | | 10 | 10 | 8 | 8 | 2 | 3 | 6 |
| Masa (Katlanır) | 9 | 7 | 6 | | | | 7 | 7 | 5 | 5 | | 10 | 10 | 8 | 8 | 2 | 3 | 6 |
| Masa (Yatak) | 6 | 3 | 5 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 10 | | 10 | 8 | 8 | 2 | 7 | 10 |
| Lavabo | 10 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | | 8 | 7 | 7 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Ocak | 10 | | 7 | 7 | 7 | 3 | 8 | | 8 | 8 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Mikrodalga | 8 | 6 | 7 | 6 | 5 | 3 | 7 | 8 | | 10 | 7 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Üst Dolap | 8 | 6 | 7 | 6 | 5 | 3 | 7 | 8 | 10 | | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Oturma Birimi (Tezgah) | 9 | 6 | 7 | | | 10 | 5 | 5 | 7 | 6 | | | | 9 | 9 | 2 | 3 | 6 |
| Oturma Birimi (Yatak) | 6 | 3 | 5 | 10 | 10 | | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | 9 | | 2 | 7 | 10 |
| Oturma Birimi (Bağımsız) | 6 | 3 | 10 | 0 | 10 | 10 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | 9 | 9 | 2 | 3 | 3 |
| Ekran (Bağımsız) | 4 | 2 | 3 | 8 | 8 | 8 | 3 | 3 | 3 | 3 | 9 | 9 | 9 | | | 2 | 10 | 3 |
| Ekran (Üst Yatak) | 4 | 2 | 3 | 8 | 8 | 8 | 3 | 3 | 3 | 3 | 9 | | 9 | | | 2 | 10 | 7 |
| İlk Yardım Dolabı | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 2 | 2 |
| Üst Yatak | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 | 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 7 | 3 | 5 | 10 | 2 | | 10 |
| Alt Yatak | 5 | 2 | 3 | 6 | 6 | 10 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 10 | 3 | 3 | 7 | 2 | 10 | |

**Nesne Yerleştirme Kuralları**

Nesne - bölge ilişki diyagramları ve analizleri doğrultusunda her bölge için nesne yerleştirme kuralları belirlenmiştir. Bölgelere ilk yerleştirilecek olan nesne, referans nesne olarak adlandırılmıştır. Bölgelere ait geri kalan nesneler, referans nesneden sonra sırayla yerleştirilmiştir. Bir nesnenin referans olarak seçilmesi sırasında, diğer nesnelerle olan bağlantısal ve işlevsel ilişkisi göz önünde bulundurulmuştur. Ek olarak, referans nesnenin belirlenmesinde bölgenin gereksinimleri ve kısıtlamaları da rol almaktadır. Referans nesneye karar verildikten sonra ona eklenen diğer nesneler belirlenmiştir. Böylece, nesne yerleştirme algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma her bölge için ayrı ayrı oluşturulmuş ve akış şemalarında tarif edilmiştir (**Şekil 4**).

Yaşam alanının referans nesnesi, mutfak alanının tüm eşyalarını barındıran mutfak ünitesi olarak belirlenmiştir. Esnekliklerine, genişleme toleranslarına ve kapladıkları alana göre dört farklı mutfak ünitesi tipi üretilmiştir. Mutfak ünitesi referans nesne olarak yerleştirildikten sonra sırasıyla, masa veya oturma grubu, yataklar ve ekran bölgeye yerleştirilmiştir. Mutfak ünitesi diğer nesnelerin yerleşiminde kısıtlayıcı bir rol oynadığı için ilk yerleştirilen nesne olarak tercih edilmiştir. Son yerleştirilen nesne olan ekran ise diğer nesneler arasında en bağımsız olan olduğu ve kısıt sayısı daha az olduğu için son nesne olarak tercih edilmiştir.




**Şekil 4:** Yaşam alanı için nesne yerleştirme kuralları

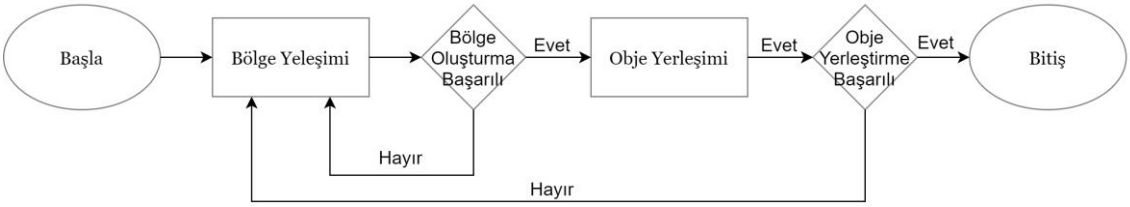
Giriş bölgesinin referans nesnesi dış kapı olarak belirlenmiştir. Dış kapının bölge sınırıyla bağlantısı ve yerleştirme esnasında esnekliğinin az olması, nesnenin referans olarak seçilmesinin etkin nedenleridir. Referans nesneden sonra sırasıyla; kıyafet değiştirme alanı, dolaplar ve iç kapı nesneleri bölgeye yerleştirilmiştir. Tuvalet bölgesinin referans nesnesi ise klozet olarak belirlenmiş, nesnenin yerleşmesinden sonra sırasıyla lavabo, duş, banyoyu çevreleyen duvar, giyinme kabini ve dolaplar yerleştirilmiştir.

## 4. Mekan Organizasyonu Algoritmasının Geliştirilmesi

Algoritmanın geliştirilmesi sırasında sundukları farklı katkılardan ötürü Rhinoceros / Grasshopper ve Processing ortamları tercih edilmiştir. Processing uygulaması nesnelerin hızlıca tanımlanmasına ve kural prototiplerinin oluşturulmasına imkan vermiştir. Öte yandan, Grasshopper arayüzü ise mekan ve nesnelerin üç boyutlu ortamda ifade edilmesi ve ilişkilerin kurgulanması konusunda kullanıcı dostu çalışma ortamını sunmuştur. Analiz süreci ile eş

zamanlı ilerleyen algoritma geliştirme sürecinin başlangıç aşamasında, geçici girdiler kullanılmıştır. Sonrasında analiz süreci tamamlandığında ve kural setleri ortaya çıktığında ise, tanımlanan kurallar bu geçici girdilerin yerini almıştır.

Bölge üretimi ve nesne yerleştirmenin ön plana çıktığı algoritmada, süreç beş ana fonksiyon altında başlıklandırılmış ve geliştirilmiştir (**Şekil 5**).

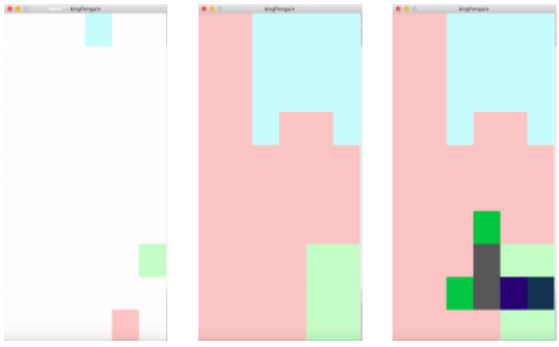



**Şekil 5:** Algoritmanın basitleştirilmiş akış diyagramı.

### 4.1. Bölge Üretilmesi

Bölgelerin üretilmesinde, hücre bilgilerini bünyesinde barındıracak üç boyutlu bir matris oluşturulmuş, matristeki her hücreye başlangıç olarak '0' değeri atanmış ve hücreleri görselleştirmek adına tanımlanan boyutlarda küpler kullanılmıştır. Ardından üretilmesi planlanan her bir bölge için 1 ile 10 arasında birer değer tanımlanmıştır (örnek olarak yaşam alanı değeri: 1, giriş alanı değeri: 2 ve ıslak hacim değeri: 3). Bölge üretiminin başlaması adına matriste her bir bölge için rastgele birer hücre seçilmiş ve bu hücrelerin değeri o bölgeye atanan değer ile değiştirilmiştir. İlerleyen aşamalarda bölgeleri oluşturan hücrelerin rasyonel bir formda yayılabilmesi için, rastgele seçilecek ilk hücrelere 'matrisin kenarları üzerinde olma' kısıtı tanımlanmıştır. Üretilmesi istenen her bir bölge için ilk hücre atamasının gerçekleşmesinin ardından, hücrelerin yayılma süreci başlamaktadır.

Hücrelerin yayılması için geliştirilen fonksiyon, her adımda matris üzerinde rastgele bir hücre seçmektedir. Ardından fonksiyon, seçilen hücrenin üretilmek istenen bölgeye ait olup olmadığını kontrol etmekte ve bölgeye ait bir hücre bulana kadar bu süreci devam ettirmektedir. Bölgeye ait bir hücre seçildiği anda fonksiyon, hücrenin dört tarafında bulunan komşu hücrelerden birini rastgele seçmekte ve eğer seçilen hücrenin değeri 0'a eşit ise, hücrenin değerini, yayılması gerçekleştirilen bölgeye atanan değer ile değiştirmektedir. Sırasıyla her bölge için aynı işlemi gerçekleştiren fonksiyon, bölgeler tanımlanan büyüklüklere ulaşana ya da hücrelerin yayılacak alanı kalmayana kadar devam etmektedir (**Şekil 6**). Fonksiyonun sonsuz döngüye girmesini önlemek için, bahsi geçen rastgele hücre seçme ve seçilen hücrenin komşu hücrelerinden birini seçme döngülerine limitler tanımlanmıştır.



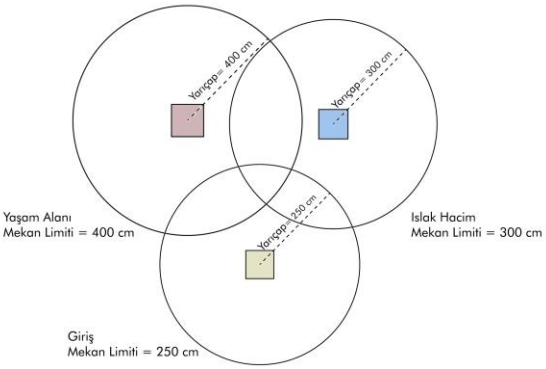
**Şekil 6:** İlk hücre ataması, yayılım ve nesne yerleştirme.

### 4.2. Üretilen Bölgelerin Değerlendirilmesi

Bazı üretim senaryolarında bir bölge, komşu bölgeleri tarafından sınırlandırılmakta ve tanımlanan değer kadar yayılma gösterememektedir. Bu gibi durumlarda ortaya çıkan sonuçları elemek ve sürece sadece istenilen boyutlara ulaşmış bölgelerin bulunduğu sonuçlarla devam etmek adına bir değerlendirme fonksiyonu geliştirilmiştir. Fonksiyon, bölge üretiminin her adımında matriste bulunan hücreleri tek tek kontrol edip her bir bölgenin barındırdığı hücre sayısını tespit etmektedir. Tanımlanan döngü sayısı içerisinde algoritma istenen boyutta bölgeler elde edemezse süreç baştan başlatılmakta, aksi takdirde bir sonraki değerlendirme aşaması olan yayılım kontrolüne geçmektedir

(**Şekil 7**). Üretilen bölgelerin kullanılabilir olması adına hücrelerin yayılması, başlangıç noktasını merkez alacak şekilde belirli bir yarıçap içerisinde sınırlandırılmıştır. Bu yarıçapın oluşturacağı daire dışında yayılma gösteren sonuçlar elenmekte, yayılımı daire içerisinde kalan yayılım sonuçları ise başarılı olarak nitelendirilip sürece devam etmektedir (**Şekil 8**).

**Şekil 7:** Üretilen bölge alternatifleri

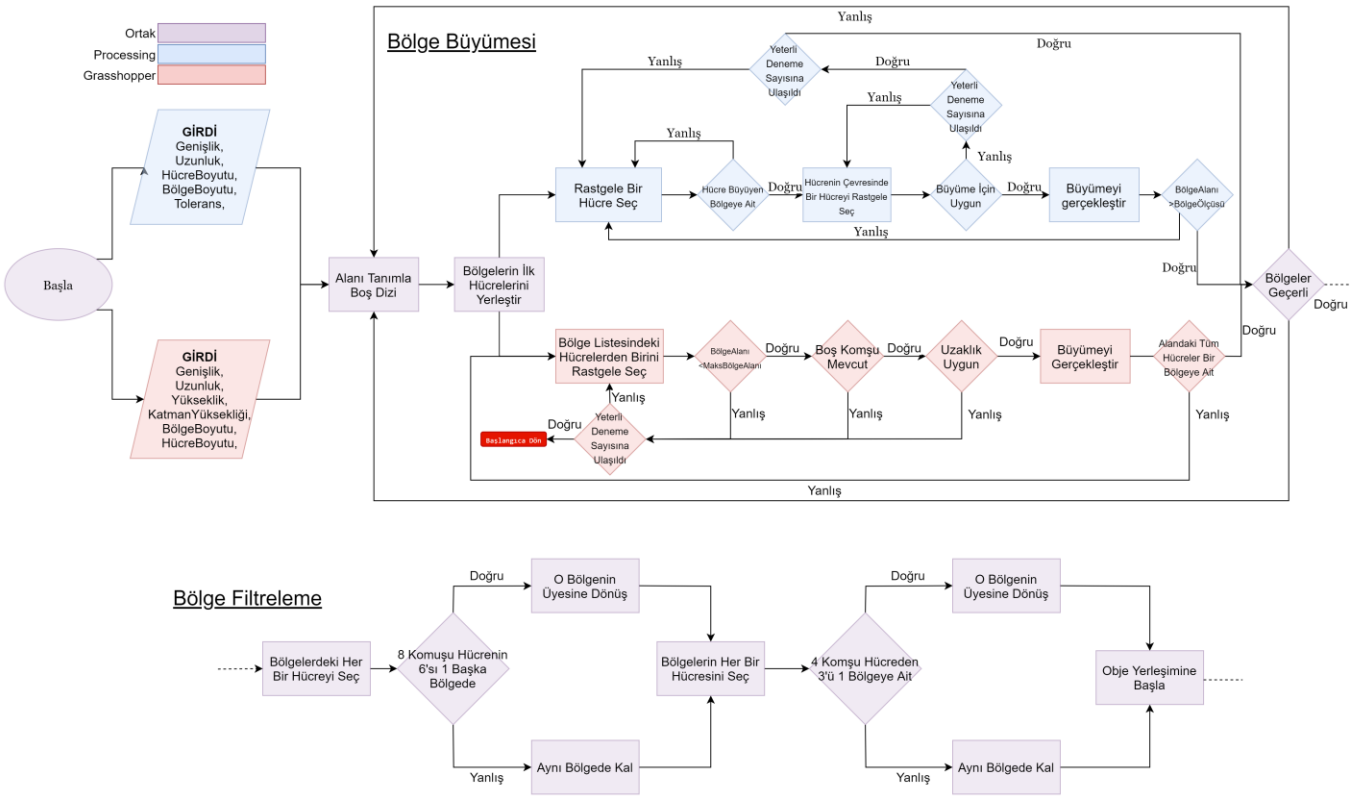



**Şekil 8:** Hücre yayılımında yarıçap ve alan limitleri

### 4.3. Değerlendirilen Bölgelerin Filtrelenmesi

Hücrelerden oluşan bölgelerin işlevsel olabilmeleri için üretim sonrası filtreleme işlemi gerçekleşmektedir. İki basamakta çalışan filtreleme fonksiyonunda her hücrenin komşu hücreleri tek tek kontrol edilmekte ve komşu hücrelerin çoğunluğun başka bir bölgeye ait olması durumunda seçilen hücre o bölgeye transfer edilmektedir. Fonksiyonun birinci basamağında hücrenin köşe komşuları dahil 8 hücre kontrol edilmekte olup (Moore komşuluğu), ikinci basamağında sadece kenarında bulunan 4 hücre (Von Neumann komşuluğu) kontrol edilmektedir (**Şekil 9**). Bu iki filtreleme yöntemi farklı durumlardaki sınır hücrelerinin mekan kullanımına uygun biçimde yeniden düzenlenmesine imkan tanımaktadır (**Şekil 10**).

**Şekil 9:** Bölge sınırlarına kullanılan filtreleme kuralları




**Şekil 10:** Bölge üretimi, değerlendirilmesi ve filtrelenmesi akış diyagramı

### 4.4. Nesnelerin Parametrik Olarak Tanımlanması

Bölgelerin başarılı biçimde oluşturulmasından sonra nesne yerleştirme aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada her bir nesnenin bölgelerin tüm ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yerleştirilmesi hedeflenmiştir. Problemi basitleştirmek ve gerekli kontrolleri uygulayabilmek için nesneler detaylı temsiller yerine kapladıkları hacimleri tanımlayan dikdörtgen prizma (kutu) hacimler olarak ifade edilmiştir. Aynı zamanda kullanıcıların mekan çözümleri için kullanabilecekleri nesneleri programa hızlıca tanıtabilmeleri için hacimlerin parametrik tanımları yapılmıştır. Nesnelerin hacimleri oluşturulurken, uygun kullanımları için gerekli olan sınır hacimleri de tanımlanmıştır. Nesneleri temsil eden hacimlerin kesişmesi mümkün değilken, boş olması öngörülen sınır hacimlerinin kesişimi mümkün olmaktadır.

### 4.5. Nesnelerin Bölgelere Yerleştirilmesi

Tanımlanan nesnelerin bölgelere yerleştirilmesi süreci referans nesnelerin yerleştirilmesi ile başlamakta,
ardından tüm nesneler ait oldukları bölgelere yerleştirilene kadar ardışık nesne yerleştirme işlemi uygulanmaktadır.

**Nesnelerin Vektörlerle İfade Edilmesi**

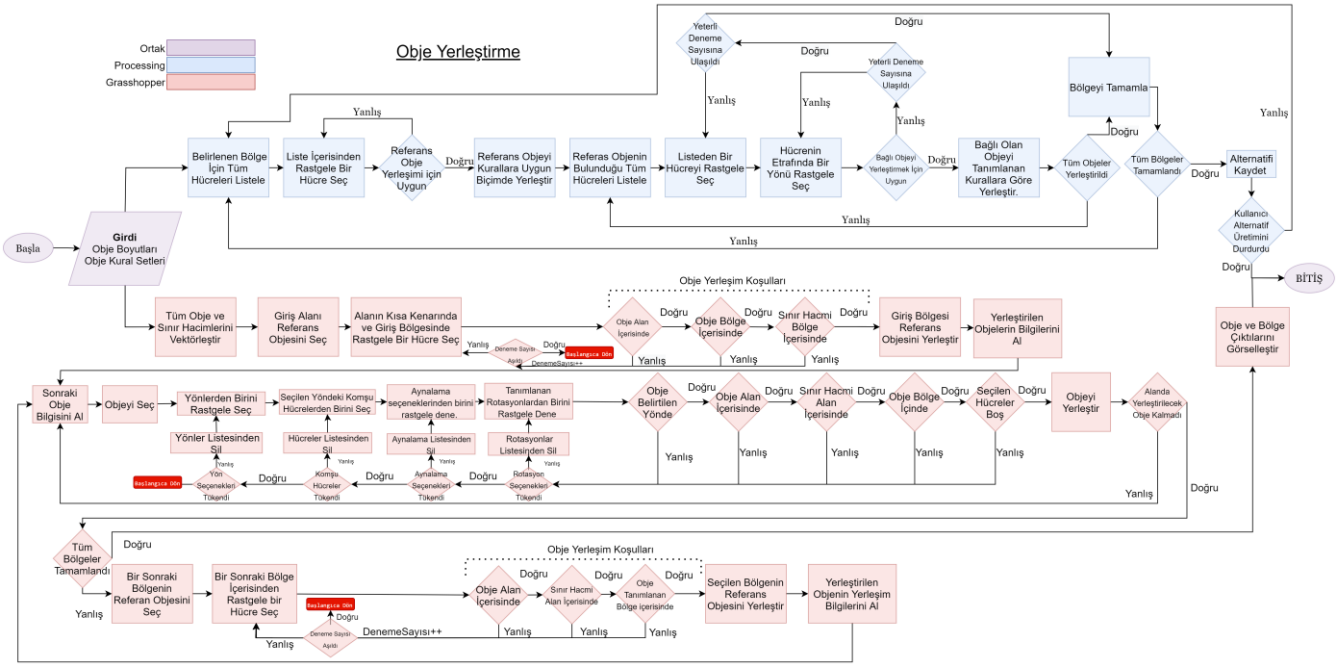
Nesnelerin ilişkilerini takip edebilmek için nesnelerin birbirlerine göre yönleri önemli olduğundan kutu hacimlerinin cisim köşegenleri vektörlerle ifade edilmiştir. Vektörler tüm nesneler için aynı 2 noktayı bağladığından ötürü tüm kurallar ve yönler aynı vektör yönü referans alınarak tanımlanmıştır.

**Referans Nesnelerin Yerleştirilmesi**

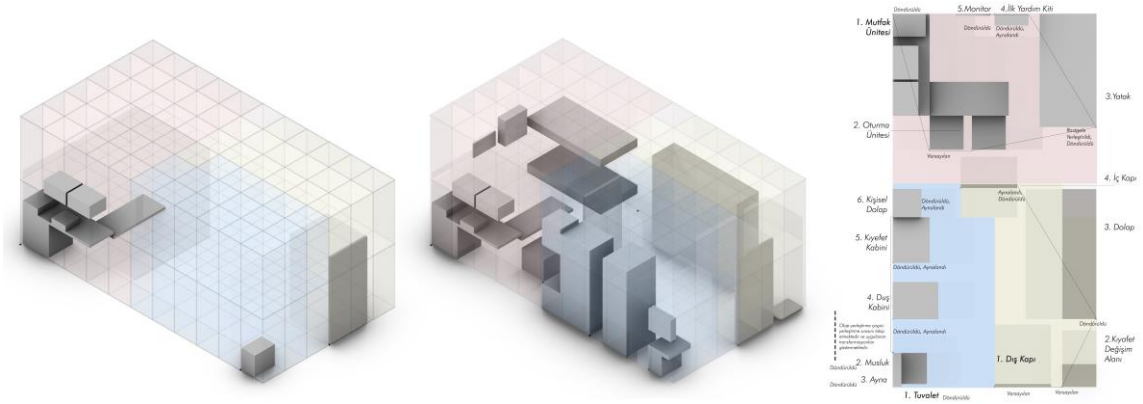
Özel bir koşul belirtilmemesi halinde nesneler bölge matrisi üzerinde rastgele seçilen hücrelerden birinin köşesi referans alınarak yerleştirilmektedir. Bir nesnenin başarılı biçimde yerleştirilebilmesi için nesne hacminin hiçbir nesne veya nesne sınır hacmiyle kesişmemesi gerekmektedir. Benzer şekilde yerleştirilen nesne hacminin bütününün bölge sınırları içerisinde kalması gerekmektedir. Bölge sınırlarının ideal şekilde oluşturulmaması ve nesnelerin yön ve pozisyonlarının olasılıksal biçimde belirlenmesi sebebiyle ilk yerleştirme seçeneğinin başarılı olmadığı senaryolara yönelik çözümler geliştirilmiştir. Yerleştirme noktasındayken nesne farklı yönlerde döndürülerek ya da aynalama işlemi uygulanarak o noktaya özgü olası tüm seçenekler değerlendirilmektedir. Seçilen nokta için çözüm bulunamaması halinde diğer noktalar rastgele biçimde seçilerek yerleştirme işlemi denenmektedir. Bu süreç başarılı bir sonuç alana kadar devam etmektedir.

**Nesnelerin Ardışık Olarak Yerleştirilmesi**

Tüm bölgelere ilk nesnelerin yerleştirilmesinden sonra ardışık yerleştirme işlemine geçilmektedir. Nesneler kendilerinden önce yerleştirilen nesnelerin konum ve yön bilgilerini referans alarak konumlandırılmaktadır. Bu akışın gerçekleşebilmesi için kullanıcının nesneler arasındaki ilişkiyi kurallarla tanımlaması beklenmektedir. Antarktika vakası özelinde çözümler mekanın en verimli biçimde kullanılması ve algoritmadaki hesaplama yükünün dengelenmesi için özelleştirilmiştir. Yaşam alanındaki mutfak ünitesi ve oturma ünitesi gibi elemanlar birden çok alt nesneyi barındıracak şekilde tanımlanmıştır. Her bir bölgede referans nesneden sonra gelen diğer nesneler sadece uygun olan yönlere gelecek şekilde yerleştirilmektedir. Nesneler birbirlerinin ön, arka, sağ ve sol yönlerine yerleştirilebildikleri gibi mekan içerisinde birbirlerinin alt ve üstlerine de konumlandırılabilmektedirler. Uygun olan yönlerde nesneler arası sınır korunacak şekilde müsait hücrelere yerleştirme denenmekte ve her bir nokta üzerinde döndürme ve aynalama seçenekleri uygulanmaktadır. Algoritma, nesneler yerleştirilene kadar ya da seçenekler tükenene kadar her bir pozisyonun tüm yerleşim varyasyonlarını denemeye devam etmektedir. Her bir nesne istenilen bölgeye yerleştirildiği durumda algoritma istenilen sonucu vermektedir ancak ardışık yerleştirme sürecinde nesnelerden herhangi birinin yerleştirilemediği senaryoda algoritma en başa dönmektedir. Bu süreç başarılı çıktı alana kadar tekrar etmektedir (**Şekil 11, Şekil 12**).




**Şekil 11:** Nesne yerleştirme akış diyagramı



**Şekil 12**: Oluşturulan bölgelere nesnelerin sıralı biçimde yerleştirilmesi

## 5. Sonuç

Bu çalışma, mekan içindeki bölgelerin hacimsel ilişkilerini ve nesnelerin önceden tanımlanmış kısıtlamalara göre yerleştirilmesini temel alarak, üç boyutta çalışan üretken bir mekan organizasyonu aracı sunmaktadır. Algoritmanın raslantısallığı ve belirsizliği barındıran bir yapıya sahip olması nedeniyle, sürecin sonunda tasarımcıyı yönlendirebilecek birden fazla başarılı çözüm elde etmek mümkündür.

Tasarımcılar, bu algoritmayı kullanırken mekanların oluşumu için yayılarak ilerleyen hücrelerin boyutunu ve mekanların limitlerini kendileri belirleyebilmektedir. Aynı zamanda kullanıcılar, mekan için gerekli nesnelerin ölçülerinin parametrik ifadesini görsel programlama ortamında ifade ederek kuralların belirlendiği ana kodla bütünleştirebilmektedir. Böylece akıcı ve kullanıcı dostu bir iş akışı elde edilmektedir.

Bunlara ek olarak algoritmanın ürettiği çıktılarda mekanlar için tanımlayıcı olabilecek duvar ve pencere gibi bazı tasarım detayları ifade edilmemiştir. Tüm ilişkiler ortogonal olarak tanımlandığından ve mekan sınırı dikdörtgen olduğundan, sistem serbest form çözümleri için uygun değildir. Bu problemin üstesinden gelmek ve çözüm alternatiflerini zenginleştirmek için, ızgara sistemi üçgen veya altıgen formlarda yeniden tanımlanabilir.

Geliştirilen algoritma değerlendirmede bulunarak kullanışsız bölge önerilerini eleme konusunda başarılı olsa da nesne yerleşim süreci ardından bir değerlendirmede bulunmamaktadır. Sonraki çalışmalarda bu değerlendirme basamağının da araca adapte edilmesi hem en uygun sonuçların kullanıcıya sunulmasına hem de optimizasyon yöntemleri kullanılarak ideale yakın çıktıların türemesine imkan verecektir. Mekanlar içerisine yerleştirilen nesnelerin ölçülerinin parametrik olarak tanımlanması olası bir optimizasyon uygulaması için kullanışlı bir alt yapı oluşturmaktadır. Mevcut kurallar iki kişilik mekan kullanımları için üretilmiş olmasına rağmen nesnelerin ve mekanların ölçülerinin esnek tanımlanmış olması sonraki aşamalarda farklı sayılarda kişilere uygun çözümler üretilmesi için kullanılabilecektir.

**Teşekkür**

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü programı 2019-2020 Bahar Yarıyılı dersi olan MBL 514E kodlu Digital Architectural Design Studio kapsamında geliştirilmiştir. Dersin yürütücüleri olan Prof. Dr. Mine Özkar Kabakçıoğlu, Prof. Dr. Yüksel Demir ve grup danışmanı olan Öğr. Gör. Cemal Koray Bingöl'e proje süresince sundukları katkıları ve geri bildirimleri için teşekkür ederiz. Projenin gelişim sürecindeki katkılarından ötürü ekip arkadaşımız Nurcan Sütçü'ye teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Chaillou, S. (2020, March 23). A tour of AI in architecture. Medium. https://medium.com/@sfjchaillou

Doulgerakis, A. (2007). Genetic and embryology in layout planning. *Master of Science in Adaptive Architecture and Computation, University of London*, *2*.

Li, S. P., Frazer, J. H., & Tang, M. X. (2000). A constraint based generative system for floor layouts.

Lobos, D., & Donath, D. (2010). The problem of space layout in architecture: A survey and reflections. *arquiteturarevista*, *6*(2), 136-161.

Nilkaew, P. (2006). Assistant tool for architectural layout design by genetic algorithm.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Etmen Tabanlı Modelleme Araçlarıyla Yapıların Strüktürel Sistemlerinin Tasarlanması

Berkay Öztürk [1]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]ozturkber20@itu.edu.tr

## Özet

*Bu çalışma, kabuk yapılarda taşıyıcı sistemin etmen tabanlı modelleme (ETM) araçları kullanılarak tasarlanması ve oluşan sistemin strüktürel olarak analiz edilmesini sağlayan otomatize bir sistem oluşturmak hedeflemektedir. ETM araçları genellikle kentsel ölçekte yaya sirkülasyonu simülasyonu ve yoğunluk analizi, kritik koşullar altında tahliye simülasyonu gibi çalışmalara olanak tanıyan üretken tasarım araçlarıdır. Kullanım alanlarına bakıldığında farklı ölçeklerde, var olan ya da hedeflenen tasarımların analizi amacıyla kullanılmakta ve belirlenen koşullar dâhilinde önemli çıkarımlar yapılmasına olanak tanımaktadır.*

*Çalışma kapsamında örnek senaryo olarak sera yapıları incelenmiş ve bu tip yapıların oluşturulmasında kullanılabilecek taşıyıcı sistemler üretilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre genellikle tünel şeklinde bir kabuk olarak inşa edilen seralar, daha geniş bir alanı kaplamaları gerekmesi halinde yan yana birden fazla sera ya da gerekli noktalara taşıyıcılar ekleme şeklinde çözümler üretilerek yapılmaktadır. Klasikleşen bu çözüm yöntemleri, arzu edilen ya da hedeflenen tasarımı yapmak konusunda karşımıza bir engel olarak çıkmaktadır. Tüm bunların haricinde yapının gerekli analizleri yapılmadan entegre edilen bir taşıyıcı sistem bazı durumlarda fazladan malzeme ve maliyet, bazı durumlarda ise yapıda önemli bozulmalara yol açmaktadır. Tüm bunların sonucunda tasarımın henüz erken aşamasında oluşturulan bir taşıyıcı sistem, yaşanabilecek bu olumsuzlukların önüne geçmektedir.*

*Kabuk yapıların taşıyıcı sistemlerinin, genel kullanım senaryolarından farklı olarak, etmenlerin hareketli yapılarından faydalanarak ETM araçları ile tasarlanması sistemin de otomatize edilmiş olma durumu göz önünde bulundurularak daha verimli ve etkin bir tasarım süreci sağlayacaktır. Çalışmada tanımlanması gereken değişkenler, tasarımcının kolaylıkla ifade edebileceği şekilde basitleştirilerek oluşturulmuş ve bu değişkenler yapının amacına uygun olarak tanımlandığı takdirde yapılan analizler doğrultusunda ideal sonuçlar sağlamaktadır. Bu bağlamda başlangıç aşamasında kabuk yapılara başarılır bir şekilde entegre edilen sistem, ileride daha karmaşık yapılara geçiş için ilk adımları oluşturacaktır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Etmen tabanlı modelleme, form bulma, simülasyon, strüktürel analiz.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Öztürk, B. (2021). Etmen tabanlı modelleme araçlarıyla yapıların strüktürel sistemlerinin tasarlanması. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 60-69). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Designing Structural Systems of Structures with Agent-Based Modeling Tools

Berkay Öztürk [1]
[1]İstanbul Technical University
[1]ozturkber20@itu.edu.tr

## Abstract

*This study aims to create an automated system that provides the design of the structural system in shell structures using agent-based modeling (ABM) tools and the structural analysis of the resulting system. ABM tools are generally generative design tools that allow studies such as urban scale pedestrian circulation simulation and density analysis, evacuation simulation under critical conditions. Considering the usage areas, it is used for the analysis of existing or targeted designs at different scales and allows important inferences to be made within the determined conditions.*

*Within the scope of the study, greenhouse structures were examined as an example scenario and structural systems that could be used in the creation of such structures were produced. According to the results of the research, greenhouses, which are generally built as a tunnel-shaped shell, are made by producing more than one greenhouse next to each other or adding carriers to the necessary points if they need to cover a larger area. These conventional solution methods appear as an obstacle to making the desired or targeted design. Apart from all these, a load-bearing system that is integrated without doing analysis of the structure causes extra material and cost, and in some cases, significant deterioration in the structure. As a result, a structural system designed at an early stage of the design prevents these possible problems.*

*Designing the structural systems of shell structures with ABM tools, making use of the mobility properties of the factors, unlike the general usage scenarios, will provide a more efficient and effective design process considering the automation of the system. The variables that need to be defined in the study are simplified so that the designer can easily express them, and if these variables are defined in accordance with the purpose of the building, they provide ideal results in line with the analyzes made. In this context, the system, which was successfully integrated into the shell structures at the initial stage, will constitute the first steps for the transition to more complex structures in the future.*

***Keywords:*** *Agent-based modeling, form finding, simulation, structural analysis.*

**Citation in APA Style:** Öztürk, B. (2021). Designing structural systems of structures with agent-based modeling tools. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 60-69). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Etmen tabanlı modelleme araçları karar destek sistemleri başlığı altında incelenen, kentsel ölçekte yaya sirkülasyonu simülasyonu (Ronald ve diğ., 2007) ve yoğunluk analizi (Crooks, 2006), kritik koşullar altında tahliye simülasyonu (Alrashed ve Shamma, 2020) gibi çalışmalara olanak tanıyan bir üretken tasarım aracıdır (Klügl ve Bazzan, 2012). Bir tahliye simülasyonu sırasında birer etmen olarak tanımlanan kullanıcılar kendilerine tanımlanan hedef doğrultusunda hareket ederek gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verebilmektedir. Bu çalışmalardan farklı olarak etmenler doğadaki fizik kurallarını takip edecek şekilde tanımlandığı takdirde, bir yapının yağmur suyu toplama performansı konusunda başarılı analizlere olanak tanır (Wiesenhuetter ve diğ., 2016). Ana hedefin yağmur suyu toplamak olduğu bir yapıda etmen tabanlı modelleme araçlarıyla farklı formlar üzerinde simülasyonlar gerçekleştirilerek toplanan yağmur suyu miktarı bakımından en ideal yapı belirlenerek form bulma aracı olarak da kullanılabilmektedir.

Jonway'in (1970) *Game of Life* isimli çalışmasına bakıldığında, isminden anlaşılabileceği gibi bir yaşam simülasyonu oluşturulmuştur. Günümüzde gördüğümüz gibi aktif bir şekilde hareket eden etmenlerden farklı olarak doğan ve ölen birimler tanımlanmıştır ve bu birimler başlangıç koşullarına bağlı olarak her bir adımda var olan durumlarını sürdürmekte ya da tersi bir duruma geçmektedir. Bu örnek bize etmen tabanlı modellemenin kapsamının, yalnızca günümüzdeki genel kullanımına bakmayarak farklı senaryolar için de kullanılabileceğini oldukça eski bir örnekle göstermektedir.

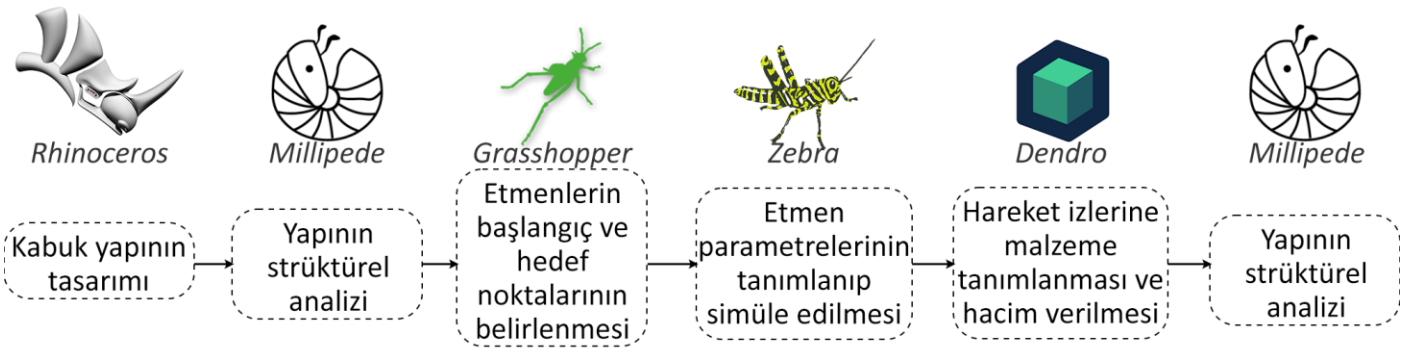
Bu çalışmanın amacı ETM araçlarını, etmenlerin hareketlerinden faydalanarak, olağan kullanımından farklı olarak bir kabuk yapının taşıyıcı sistemini tasarlamak için kullanmaktır.

## 2. Yöntem

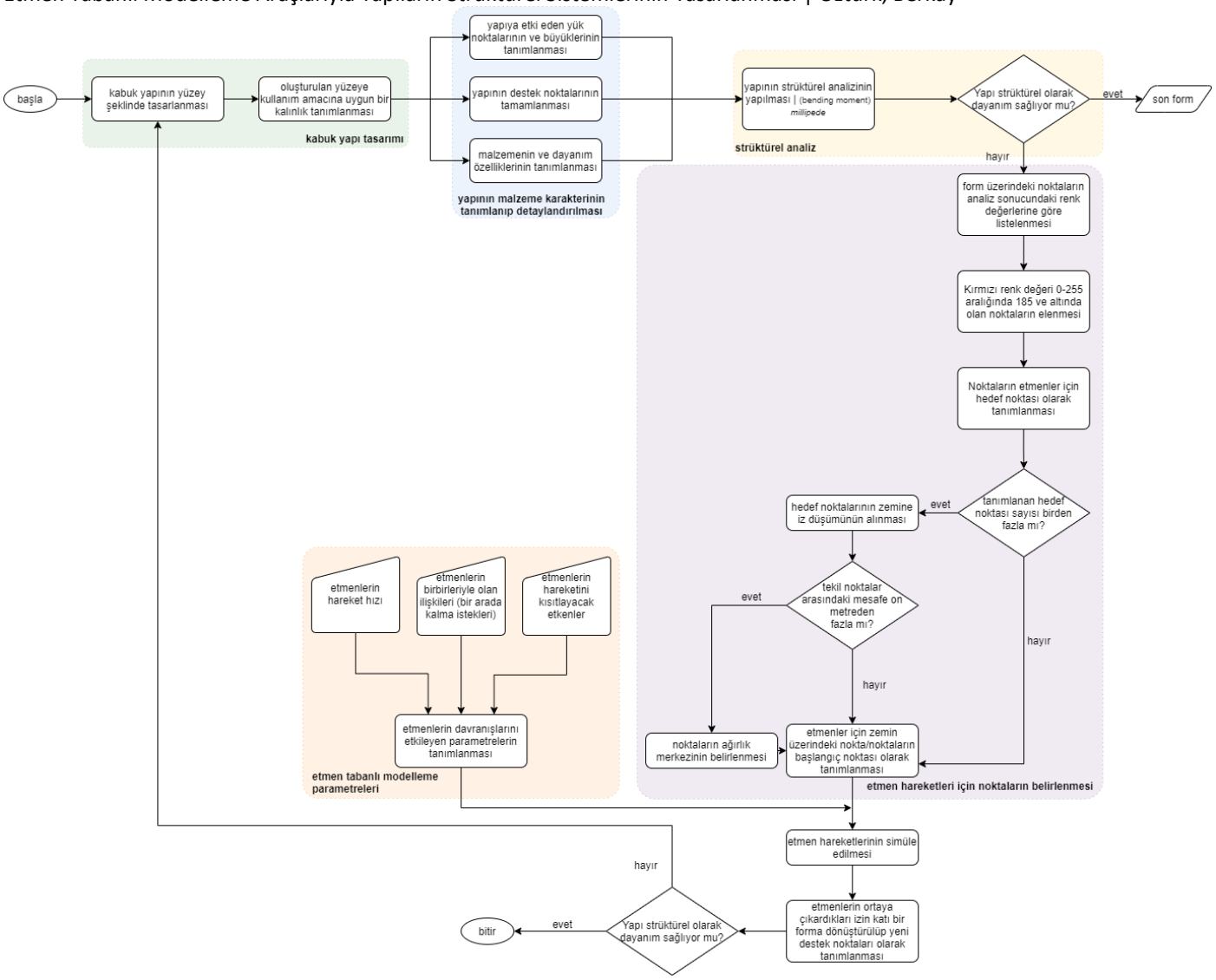
Etmen tabanlı modelleme araçlarıyla kabuk yapının strüktürel sistemini tasarlayan sistem temelde 5 ana adımdan oluşmaktadır. Adımlar akış diyagramında farklı renklerle ve başlıklarla ifade edilmiştir (**Şekil 1**). Bu adımlar sırasıyla;

- Kabuk yapı tasarımı
- Strüktürel analiz
- Etmen tabanlı modelleme parametrelerinin belirlenmesi
- Etmenlerin simüle edilmesi
- Son formun strüktürel analizi.

Sistemin, konsept tasarım oluşturulduktan sonra geriye kalan işlemleri otomatik bir şekilde yapması fikriyle oluşturulmuştur ve bu doğrultuda tasarımcı tarafından geleneksel olarak yalnızca konsept bir biçim oluşturması beklenmiştir. Geriye kalan dört adım ise sırayla birbirini izleyen işlemler olarak Rhinoceros-Grasshopper ortamında bütünleşik bir sistem olarak çalışmaktadır.




**Şekil 1**: Çalışma sürecinde kullanılan yazılım ve eklentilerin hangi sırada ve ne için kullanıldıklarını özetleyen akış şeması

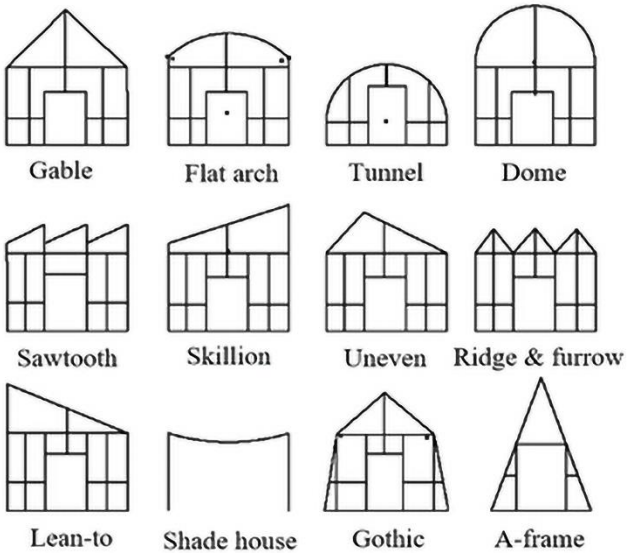



**Şekil 2**: Sistem akış diyagramı

# 3. Örnek Çalışma Senaryosu: Seralar

Etmen tabanlı modelleme araçlarıyla yapıların taşıyıcı sistemlerinin tasarlanması çalışması kapsamında örnek bir senaryo olarak seralar seçilmiştir. Genellikle tünel şeklinde formlarda ve plastik malzemelerle üretildiğini gördüğümüz seralar, farklı boyutlarda ve malzemeler ile üretilmek istendiğinde çalışma konusuyla örtüşmektedir.

Seraların tasarımı sürecinde bazı ana kriterler dikkate alınmaktadır ve **Şekil 3**'te görüldüğü gibi kullanım amaçlarına ve bulundukları konuma göre çok fazla farklılaşamayan tipleri bulunmaktadır. Bu kriterler verimli havalandırma, kolay montaj, geniş kullanım alanı şeklinde özetlenebilir (Rohimi ve diğ., 2019). Verimlilik kriterlerinden feragat etmeden farklı tasarımlar elde edilmek istendiği durumlarda kullanılan çerçevede güçlendirme, boşluklara taşıyıcı eklentisi yapma ya da aynı formu tekrarlayarak büyüme şeklinde çözümlere gidilmektedir. Bu durumlara, alternatif ve verimli bir çözüm üretebilecek sistem çalışma kapsamında üretilmiştir.




**Şekil 3**: Sık kullanılan sera tipleri (Rohimi ve diğ., 2019)

# 4. Sistem Kurulumu

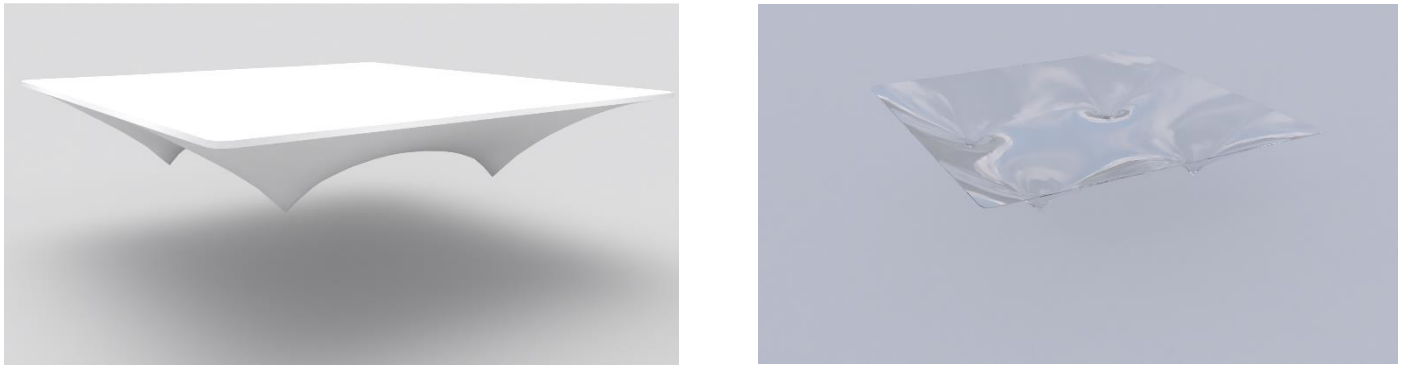
Örnek çalışma senaryosu ve problem tanımının ardından **Şekil 2**'de farklı renklerle ifade edilen beş adet temel sistem adımlarının kurulmasına geçilmiştir. Bu adımların ilki tasarımcıya serbest bir tasarım ortamı oluşturarak, arzu edilen biçimin tasarlanmasında özgürlük sunar. Öngörülen çalışma senaryosu gereği yalnızca sera kullanımı için uygun olan form ve malzemelerin yanı sıra, farklı kullanım senaryoları için de bu özgürlük geçerlidir.

## 4.1. Kabuk Yapı Tasarımı

Sistemde kullanılmak üzere tasarlanacak yapının, sistemin çalışma prensibiyle paralel olacak şekilde bir senaryo oluşturularak belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple yağmur suyu toplama ve farklı formlarda kabuk yapı parametrelerini bir araya getirebilen sera yapıları örnek çalışma modeli olarak seçilmiştir.

Oldukça yüzeysel ve basit olarak oluşturulan formun temel amacı yağmur suyunu toplayabilecek şekilde oluşturulmasıdır (**Şekil 4**). Tasarımcının en etkin şekilde rol aldığı kısım bu aşamada karşımıza çıkmaktadır. Tasarımca ihtiyaçlar ve mekânsal kısıtlamalar doğrultusunda gerek gördüğü formu oluşturmakta serbesttir. Çalışmanın sonraki adımları da tamamlandıktan sonra oluşan form birebir ilk oluşturulan konsept tasarım olarak kalmasa da genel hatlarıyla onu yansıtacak halde kalmaktadır.

Çalışmada kullanılmak üzere 30 metreye 30 metre ölçülerinde kare bir yüzey, kenarları sabit tutulup 4 farklı noktasından Z ekseninde negatif yönde 5 metre çekiştirilerek bir form oluşturulmuştur. Formu oluşturmada Grasshopper yazılımı içerisinde kullanılabilen ve fizik kurallarını simüle ederek formlar oluşturulabilen Kangaroo Physics (Piker, 2013) eklentisi kullanılmıştır.

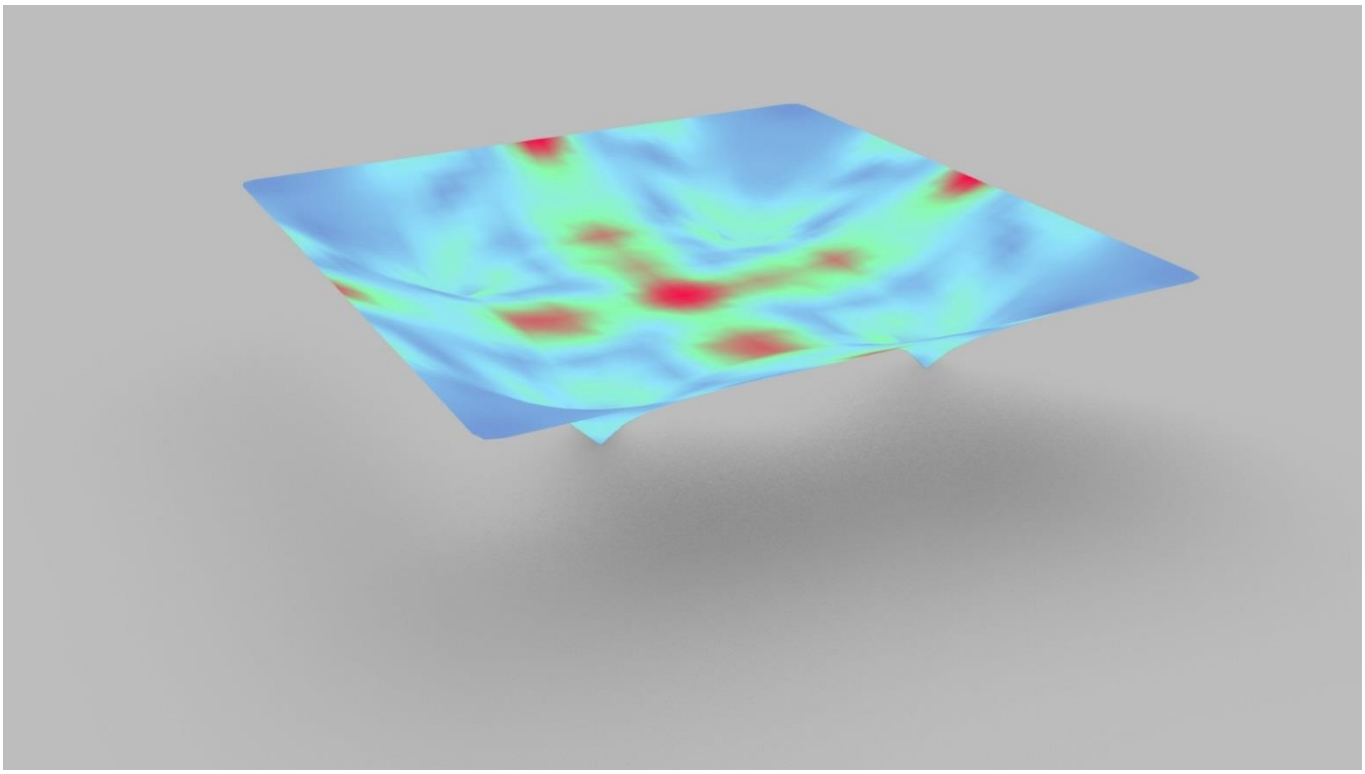


**Şekil 4**: Tasarlanan yüzey ve tanımlanan cam malzemesi

### 4.2. Strüktürel Analiz

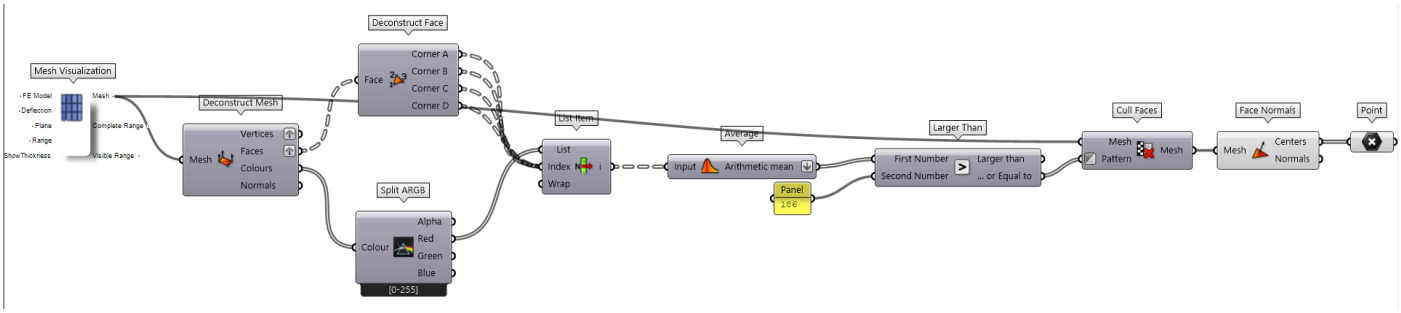
Sadece yüzey olarak tasarlanan yapı etmen tabanlı modellemede kullanılmak üzere etmenlerin hareketlerini tanımlayacak alanları belirlemek için Grasshopper yazılımı içerisinde kullanılabilen ve sonlu eleman analizleri yapılabilen Millipede (Michalatos, 2014) eklentisi kullanılmıştır. Bu eklenti sayesinde formun kalınlık, malzeme bilgisi, etki eden kuvvetler ve destek noktaları gibi parametreler tanımlandıktan sonra strüktürel analiz yapılabilmektedir. Yapılan analizden istenen sonuç, form üzerinde mavi renkten kırmızı renge geçişin olduğu bir burkulma momenti diyagramıdır. Elde edilen bu renkli geçişin olduğu diyagram sayesinde form üzerinde kritik noktalar belirlenebilecek ve etmenlerin hareketleri tanımlanabilecektir.

Önceki aşamada oluşturulan form özelinde Z ekseninde hareket ettirilen 4 nokta destek noktaları olarak tanımlanmış olup, tüm yüzeye yer çekimi doğrultusunda etkiyen bir kuvvet tanımlanmıştır. Yapılan analizin sonucunda kırmızı yani stresin en yoğun olduğu bölgeler formun orta kısımları ve dış kenarlarının orta noktaları olarak öne çıkmaktadır (**Şekil 5**).



**Şekil 5**: Millipede ile yapılan strüktürel analiz sonucu

### 4.3. Etmen Tabanlı Modelleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Simüle Edilmesi




**Şekil 6**: Kırmızı renk değerlerini ayırmayı sağlayan Grasshopper algoritması

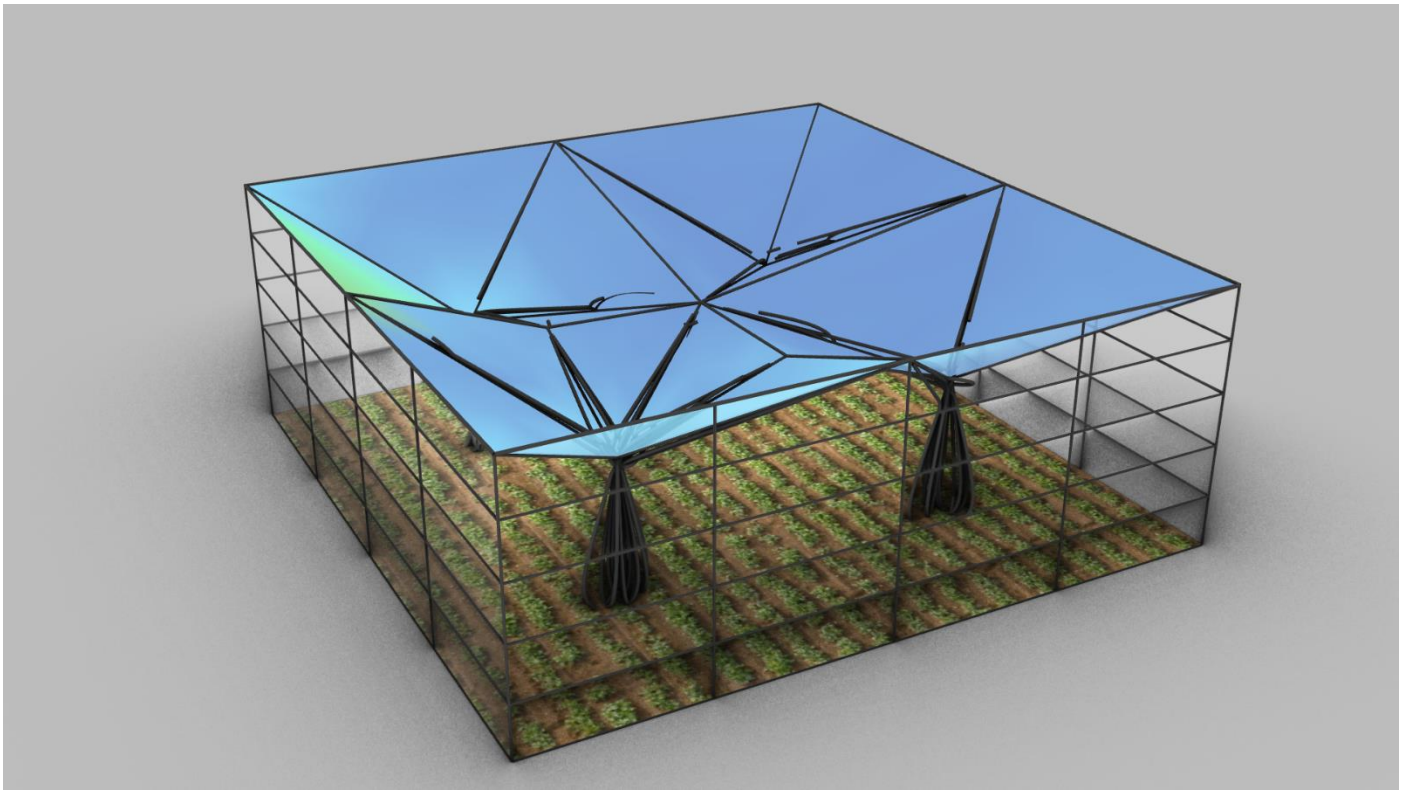
Etmen tabanlı modelleme araçlarında, etmenlerin hareketlerini belirleyen çevreden bağımsız parametreler ve başlangıç-bitiş noktası gibi çevreden aldığı veriyi kullanan parametrelerin tanımlanması simülasyona geçmeden önce yapılması gereken adımlardır. Üzerinde çalışılan örnek sistemde etmenlerin hareketlerine başlangıç noktaları, dört adet bulunan destek noktalarının zemine dik projeksiyonuyla ortaya çıkmaktadır. Rhinoceros modelleme programında Grasshopper içerisinde, YFA Architects tarafından geliştirilen Zebra eklentisi ETM araçları kullanılarak sürü hareketi simülasyonları yapmaya olanak tanımaktadır (Aboualghar, 2019). Öngörülen hareket, etmenlerin destek noktasına ulaştıktan sonra kritik stres bölgelerine doğru bir dağılım sergilemeleri ve taşıyıcı sistemi oluşturmalarıdır. Bunu yapabilmek için Millipede aracılığıyla oluşturulmuş olan formun üzerindeki noktalar ve bu noktaların sahip olduğu renk bilgisi, bir liste içerisinde toplanmıştır. Ardından 0 ile 255 arasında değerlere sahip olan kırmızı renk değeri 185 sayısının altında olan noktalar bu listeden çıkarılmıştır. Bu işlem sonucunda, yalnızca kırmızı rengin yoğun olduğu alanlar kalmış ve bu alanların merkezleri etmenler için hedef noktası olarak tanımlanmıştır (**Şekil 6**). Başlangıç noktaları ve adım adım ilerleyecekleri hedef noktaları belirlenen etmenleri, **Şekil 7**'deki görselin sağ tarafında gösterilen beyaz bölgeler arasındaki hareketlerini gerçekleştirmektedir.

**Şekil 7**: Kırmızı renk değerine göre hedef olarak belirlenen alanlar ve etmenlerin hareketi sonucunda ortaya çıkan çizgiler

### 4.4. Oluşan Formun Strüktürel Analizi

ETM araçlarıyla elde edilen hareketin izleri polyline olarak elde edildikten sonra çizgilere katı bir form kazandırmak yani inşa edilebilir halde malzeme tanımlamalarını yapmak gerekmektedir. Rhinoceros modelleme programında Grasshopper içerisinde Erclabs tarafından geliştirilen Dendro eklentisi ile çizgi halinde oluşturulan formlara istenilen profillerde kalınlık kazandırılabilmektedir (Dendro for Grasshopper, 2020). Öngörülen senaryo kapsamında çerçeveler ve taşıyıcılar dairesel alüminyum profiller olarak belirlenmiştir ve bu doğrultuda çizgiden objeye geçişleri yapılmıştır.

Belirlenen ölçüler ve malzeme tanımlamalarının ardından oluşan sistemin istenen hedefler doğrultusunda işleyip işlemediğini görebilmek için çalışmanın ikinci adımında Millipede ile yapılan strüktürel analiz yeni koşullar altında tekrarlanmıştır. Yapılan yeni analiz sonuçlarına göre kritik bölgelerin tamamen ortadan kalktığı ve yapının daha stabil bir hale geldiği görülmüştür (**Şekil 8**).

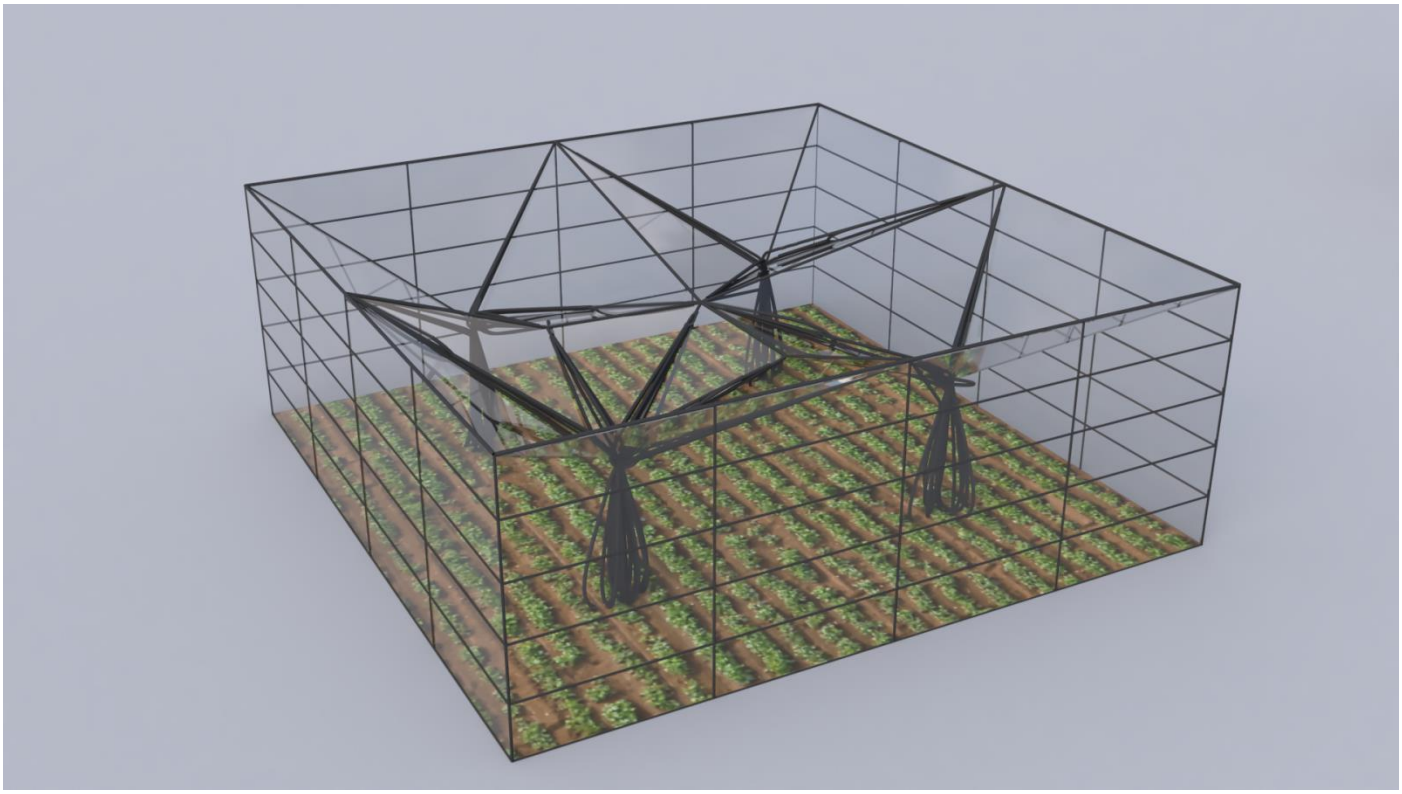


**Şekil 8:** ETM araçlarıyla oluşturulan taşıyıcı sistem eklemesinden sonra Millipede ile yapılan analiz sonucu

## 5. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu bölümde ETM araçlarıyla üretilen taşıyıcı sistemin aldığı son biçim incelenecek, verimliliği üzerine değerlendirmeler yapılacak, sistemin kullanılabilirliği yorumlanacaktır. Ardından sistemin gelecekteki kullanım senaryoları hakkında öneriler geliştirilecektir.

Geliştirilen sistemde hedef, tasarımın ilk aşamalarında yüzeysel olarak oluşturulan formun malzeme, hacim, etki eden yük gibi bazı temel parametreleri tanımlayarak taşıyıcı sistem gereksinimlerini görmek ve oluşturulan yapıya taşıyıcı sistem tasarımı önerisi getirmektir. Bu doğrultuda sera yapılar incelenmiş ve örnek formlar bu yöntemle üretilmiştir. Üretilen taşıyıcı sistemler doğruluğunu ve kullanılabilirliğini test edebilmek için tekrar strüktürel olarak analiz edilmiş ve sonuçlar görsel olarak paylaşılmıştır.



**Şekil 9**: Son olarak elde edilen yapının üç boyutlu modeli

Rhinoceros-Grasshopper yazılımı içerisinde oluşturulan sistem ile elde edilen taşıyıcı sistem çıktıları, strüktürel verimlilik bağlamında Millipede eklentisiyle yapılan analiz sonuçlarına göre başarılı olmuştur. Herhangi bir taşıyıcı sistem ya da eleman tanımlaması yapılamadan önce gerçekleştirilen strüktürel analiz sonuçlarında ortaya çıkan yüksek gerilim bölgeleri son olarak elde edilen yapıda oldukça azaltılmış ve yapı stabil hale getirilmiştir. Olumlu sonuçlar elde edilen strüktürel analiz adımının ardından yapı dijital modelleme ortamında son halini almıştır (**Şekil 9**).

Geleneksel tasarım yöntemleriyle yapılabilecek olan taşıyıcı sistem eklentileri, geliştirilen çalışma da otomatize bir şekilde be alışılmış taşıyıcı elemanlardan farklı biçimlerde çözümler üretebilmektedir. ETM araçlarındaki birimlerin hareketleri ve bu hareketlerinden elde edilen izler sayesinde oluşturulan taşıyıcı sistemler yapıya oluşana kadar öngörülemez bir dayanım sağlamaktadır.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında genetik algoritma ile eş zamanlı çalışan ve daha kompleks ya da proje kapmasında yapılan örnek yapıdan farklı mimari yapılar üzerinde çalışabilen bir sistem olabileceği öngörülmektedir. Genetik algoritmalar, mutasyon, çaprazlama ve seçim gibi biyolojik olarak esinlenilmiş operatörlere güvenerek optimizasyon ve arama problemlerine yüksek kaliteli çözümler üretmek için yaygın olarak kullanılır (Mitchell, 1996). Evrimsel tasarımın mimarideki yansıması strüktürel eniyileme yöntemlerinden form üretme yöntemlerine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir ve tasarımcılara pek çok potansiyel sunmaktadır (Çağdaş ve diğ., 2015). Genetik algoritmanın sisteme olan katkısı, etmenlerin oluşturduğu izlere farklı kalınlıklarda profiller entegre ederek bunların

sisteme olan etkisine göre en uygun kalınlıktaki profili bulmak olarak öngörülmektedir. Bu bağlamda tasarımın erken aşamasında görsel ve sayısal olarak hızlı sonuçlar üretebilen hesaplamalı tasarım araçları daha etkin ve sürecin içerisindeki bütün iş kolları tarafından kullanılmalıdır. Klasikleşen taşıyıcı sistem önerilerine alternatif çözüm üretebilen hesaplamalı tasarım araçları günümüzde ve gelecekte desteklenerek geliştirilmelidir.

**Teşekkür**
Bu çalışma İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı Mimari Tasarımda Bilişim Programı Mimari Tasarımda Üretken Sistemler dersi kapsamında yapılan bir projeden türetilmiştir. Katkılarından dolayı, Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a, Araş. Gör. Begüm Hamzaoğlu'na ve Araş. Gör. Burak Delikanlı'ya teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

Alrashed, M. and Shamma, J. (2020). Agent based modelling and simulation of pedestrian crowds in panic situations. *Collective Dynamics*, 5, p.A100.

Crooks, A., (2006). Exploring cities using agent-based models and GIS. *CASA Working Papers*.

Çağdaş, G., Çavuşoğlu, Ö., & Bacınoğlu, Z. (2015). Mimarlıkta hesaplamalı yaklaşımlar. *Mimarlıkta sayısal fırsatlar: Bilgisayar mimarlığın neresinde?*, 33-44.

Klügl, F., & Bazzan, A. (2012). Agent-based modeling and simulation. *AI Magazine*, *33*(3), 29. https://doi.org/10.1609/aimag.v33i3.2425.

Ronald, Nicole & Sterling, Leon & Kirley, Michael. (2007). An agent-based approach to modelling pedestrian behaviour of SIMULATION. 8. 1473-8031.

Mitchell, Melanie (1996). An introduction to genetic algorithms. Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 9780585030944

Wiesenhuetter, S., Wilde, A., & Noennig, J. (2016). Swarm intelligence in architectural design. *Lecture Notes In Computer Science*, 3-13. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41000-5_1.

Dendro for Grasshopper. (2020). Erclabs. Retrieved 19 May 2021, from https://www.ecrlabs.com/dendro/

Aboualghar, Y. (2019). Zebra. Yusuf fahmy architects. Retrieved 19 May 2021, from https://www.yusuf-fahmy.com/research

# OTURUM 2

## Sayısal Tasarım ve Mimarlık Eğitimi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Türkiye'de Sayısal Tasarımın Son 15 Yılı: Yapay Öğrenme ve İçerik Analizi Perspektifinden Bir Değerlendirme

Şemsi Barış Terzi [1]; Sema Alaçam[2]; Orkan Zeynel Güzelci[3]; Handan Güzelci[4]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi Mimari Tasarımda Bilişim Yüksek Lisans Programı;
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü;
[3]Porto Üniversitesi Dijital Fabrikasyon Laboratuvarı;
[4]İstanbul Kültür Üniversitesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü
[1]www.baristerzi.com, [1]baristerzitr@gmail.com; [2]www.metametrik.com, [2]alacams@itu.edu.tr; [3]oguzelci@arq.up.pt;
[3]www.metametrik.com, [4]h.duyar@iku.edu.tr

## Özet

*Bu çalışma, Türkiye'de son 15 yılda mimarlıkta bilişim alanında yapılan bilimsel çalışmalara, içerik analizini ve yapay öğrenmeyi bir arada ele alan bir çerçeveden tekrar bakmaktadır. İçerik analizi yöntemi ile bilimsel çalışmalarda ele alınan konular, konuların yıllar özelinde dağılımları ve konuların yıllar içinde türettiği alt konular gibi bulgular elde edilirken, yapay öğrenme yöntemleri ile yazılı içeriklerden öğrenilebilmekte ve yeni içerikler sentezlenebilmektedir. Bu bağlamda çalışma gerçek ve yapay verinin değerlendirildiği iki aşamalı bir çerçeve sunmaktadır. Çalışma kapsamında içerik analizi ve yapay öğrenme ile ilişkili arka plana yer verildikten sonra sırasıyla veri setinin oluşturulması, gerçek veri üzerinden içerik analizi, yapay öğrenme ile sentetik içerik üretimi, gerçek veri üzerinden içerik analizinin ve yapay öğrenme ile sentetik içerik üretiminin sonuçları sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu (MSTAS) kitaplarındaki Türkçe bildiri özetleri ve İTÜ Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü (MBL) programında sonuçlandırılan yüksek lisans ve doktora tezlerinin Türkçe özetleri olmak üzere iki ayrı veri seti ile çalışılmıştır. Bildiri kitapları ve YÖK Tez Merkezi kaynaklarından yararlanılarak tamamlanan veri toplama aşamasının ardından içerik analizi yöntemi kullanılarak her iki veri seti için öne çıkan kavramlar (kelime ve kelime öbekleri) ve bu kavramların yıllara göre dağılımlarının dökümü yapılmıştır. Gerçek veri üzerinden yapılan içerik analizine paralel olarak iki veri seti kullanılarak yapay içerik (özet) üretme altyapısına sahip yapay öğrenme modeli her bir veri seti için ayrı ayrı eğitilmiş ve sonucunda biri MSTAS ve diğeri İTÜ MBL verileriyle eğitilmiş iki ayrı model elde edilmiştir. Son olarak içerik analizinin sonuçlarının rafine edilmesi sonucunda seçilen 6 kavram yazarlar tarafından eğitilmiş her iki modele ayrı ayrı verilerek toplamda 12 adet özet üretilmiştir. Çalışmada son olarak, içerik analizlerinin sonuçları üzerinden MSTAS bildirileri ve İTÜ MBL tezleri arasındaki ilişki irdelenmiştir. Ayrıca eğitilmiş yapay öğrenme modelleri ile üretilmiş olan özetleri değerlendirilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Hesaplamalı tasarım, mimarlıkta sayısal tasarım, yapay öğrenme, içerik analizi, MSTAS.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Terzi, Ş., B., Alaçam, S., Güzelci, O., Z. & Güzelci, H. (2021). Türkiye'de sayısal tasarımın son 15 yılı: Yapay öğrenme ve içerik analizi perspektifinden bir değerlendirme. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 71-81). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# The Last 15 Years of Computational Design in Turkey: An Evaluation from Machine Learning and Content Analysis Perspectives

Şemsi Barış Terzi [1]; Sema Alaçam[2]; Orkan Zeynel Güzelci[3]; Handan Güzelci[4]
[1]Istanbul Technical University Architectural Design Computing Graduate Program;
[2] Istanbul Technical University Department of Architecture;
[3]University of Porto Digital Fabrication Laboratory;
[4]Istanbul Kultur University Department of Interior Architecture and Environmental Design
[1]www.baristerzi.com, [1]baristerzitr@gmail.com; [2]www.metametrik.com, [2]alacams@itu.edu.tr; [3]oguzelci@arq.up.pt;
[3]www.metametrik.com, [4]h.duyar@iku.edu.tr

## Abstract

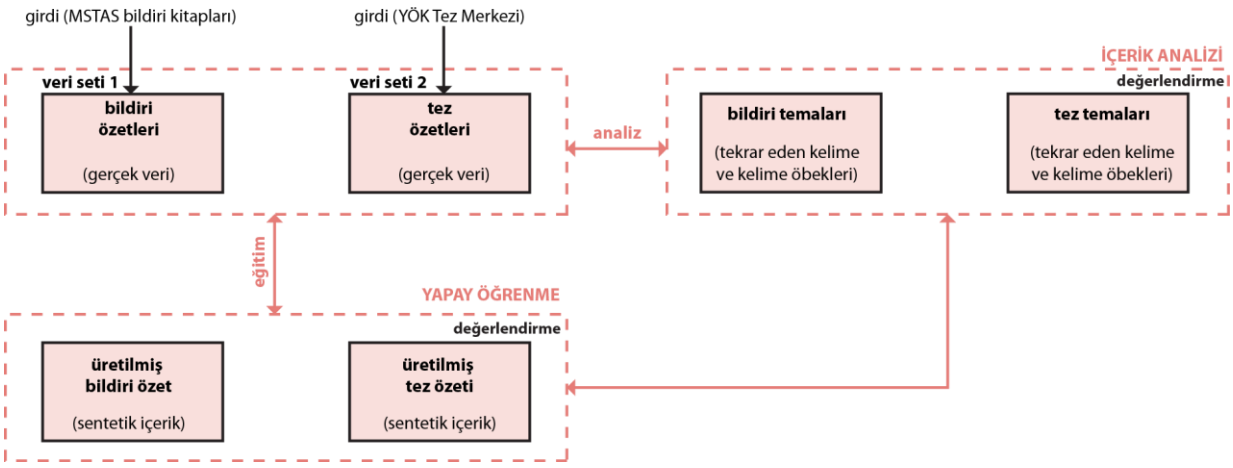
*This study reconsiders the scientific studies in the field of architectural design computing in the last 15 years in Turkey from a perspective that combines content analysis and machine learning. Content analysis methods have the potential to provide useful findings in terms of thematic analysis of the scientific studies, distribution of the research topics over the years, and subtopics derived from the main topics. Machine learning methods provide synthetically generated outcomes based on a given verbal context through an artificial learning process. In this context, this study presents a two-fold framework to be used in the analysis of real and synthetic data. In the scope of this paper, data preparation process, content analysis and synthetic content generation based on real data, findings and outcomes of the comparison of the real and synthetic data were presented, as well as the background related to content analysis and machine learning. In the scope of this study, two separate data sets were used: abstracts in the proceedings books of the Computational Design in Architecture National Symposium Series (MSTAS) and abstracts (in Turkish) of the master's theses and doctoral dissertations concluded in the Istanbul Technical University, Department of Informatics, Architectural Design Computing Graduate Program (MBL). MSTAS Conference proceedings and database of the Council of Higher Education, National Thesis Center were employed as the data source. Further to the extraction of prominent words and phrases from the given two sets of data through the content analysis method, the distribution of these words and phrases over the years were presented. In parallel with the content analysis on real data, the machine learning model has been trained separately for each data set. As a result, two different models were obtained, one of which was trained with MSTAS and the other with ITU MBL data. The two machine learning models generated 12 synthetic abstracts in total based on given keywords. The keywords were previously obtained from the content analysis phase. Finally, the relationship between MSTAS abstracts and ITU MBL theses were investigated through the results of content analysis. In addition, the abstracts generated by trained machine learning models were evaluated.*

***Keywords:*** *Computational design, digital design in architecture, machine learning, content analysis, MSTAS.*

**Citation in APA Style:** Terzi, Ş., B., Alaçam, S., Güzelci, O., Z. & Güzelci, H. (2021). The last 15 years of computational design in Turkey: An evaluation from machine learning and content analysis perspectives. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 71-81). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Bir alandaki bilimsel araştırma konularının dağılımı ve çeşitliliği, bu konuların alandaki araştırmacılar tarafından fark edilmesi, yaygın olarak kabul görmesi, geliştirilerek yeni araştırma alanlarını beslemesi, ya da sönümlenmesi gibi farklı şekillerde dönüşmektedir (Brandon ve Betts, 1997). Bilimsel araştırma konularının dışsallaştığı ortamların başlıcaları kitaplar, makaleler, proje raporları, konferans bildirileri ya da lisansüstü tezlerdir. Bu tür yazılı kaynaklar retrospektif okumaların yapılabileceği bir veri kaynağı olma potansiyeli taşımaktadır. İçerik analizi (de Sola Pool, 1959; Krippendorff, 1980) ya da yapay öğrenme (Loper ve Bird, 2002; Vaswani ve diğ., 2018) gibi yöntemler ise bir veri kaynağının semantik, sentaktik, konu odaklı ya da strüktüre olmamış tekniklerle çözümlenerek, daha önce fark edilmemiş olan ilişkilerin açığa çıkarılmasını olanaklı kılmaktadır. Bu çerçevede çalışmanın amaçlarından birincisi, Türkiye'de son 15 yılda mimarlıkta bilişim alanında yapılan bilimsel çalışmalara daha yakından bakmak ve araştırma konularında yıllar özelinde ne gibi dağılımların, değişimlerin ve eğilimlerin ortaya çıktığını incelemektir. Çalışmanın ikinci amacı ise daha önce yapılan bilimsel çalışmalardan yararlanarak oluşturulan belli bir büyüklükteki veri tabanıyla yapay öğrenme modellerini eğitmek ve eğitilen modellerin ürettiği içeriklerin niteliklerini değerlendirmektedir. Bu amaçla, gerçek verilerin içerik analizi yöntemi ile değerlendirilmesi ve aynı verilerle eğitilen yapay öğrenme algoritmaları ile üretilen sentetik içeriklerin değerlendirilmesi olarak iki aşamalı bir çerçeve oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, içerik analizi yapılacak gerçek veriler Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu (MSTAS) kitaplarındaki Türkçe bildiri özetleri ve İTÜ Mimari Tasarımda Bilişim (MBL) programında sonuçlandırılan yüksek lisans ve doktora tezlerinin Türkçe özetleri olarak seçilmiştir (**Şekil 1**).




**Şekil 1:** Çalışmanın genel çerçevesi

## 2. Arka Plan

İçerik analizi, çoğunlukla metne dayalı bir içerikten yeni anlamlar oluşturmaya ve çıkarımlar sağlamaya yarayan bir araştırma yöntemidir (Krippendorff, 1980). Görsel ya da işitsel veri gibi farklı temsil biçimlerinin işlenerek içerik analizi yapıldığı örnekler bulunmakla birlikte analizlerde yaygın olarak kitap, dergi, gazete, makale ve hatta sosyal medya iletisi gibi metne dayalı kaynakların kullanıldığı görülmektedir. Metne dayalı içerik analizinde metnin uzunluğu ve kullanılan kelimelerin çeşitliliği, çeşitli eğilim, dağılım ve örüntülerin elde edilmesinde etkili olmaktadır. Örneğin, bir metindeki en sık tekrarlanan kelimelerin ve bunların metin içindeki dağılımının nicel olarak hesaplanması mümkündür. Bir metindeki kelimelerin dağılımındaki değişime bakılarak ise metnin arka planındaki tematik akış açığa çıkarılabilmektedir (Chen, 2006). Diğer yandan, bir kelime ya da kelime öbeğinin bir metin içinde tekrar sayısının yüksek olması her zaman ön plana çıkan anahtar kavramlar ile eşleşmeyip, çeşitli edat ve bağlaçlarda olduğu gibi tek başlarına anlamlı bir bilgi üretmeyebilmektedir. Buna ilaveten analiz yapılan dile özgü kelime türetme yöntemlerinden kaynaklanan problemler ortaya çıkabilir. Örneğin, Türkçe gibi sondan eklemeli bir dilde yapılan içerik analizinde, çekim ekleri almış kelimeler ile kelimelerin kök halleri ayrı olarak sayılıp analiz sonucunda elde edilen sonuçları etkileyebilir. Çalışma kapsamında içerik analizi sürecinde bu kısıtlar akılda tutulmuş, bilgisayar ortamında yapılan analizlere ilaveten ön plana çıkan kelime ve kelime öbeği aşamasında elle (manuel) müdahalelerde ihtiyaç duyulmuştur.

İçerik analizi yöntemine ek olarak, verilen bir içeriğin çözümlenmesine ve içerikten yeni bilgi üretimine önemli katkısı olan başka bir hesaplamalı alan doğal dil işleme araştırmalarıdır. Liddy'nin (2001) ifadesiyle doğal dil işleme "bir veya daha fazla görev için insan benzeri dil işlemeyi başarmak amacıyla bir veya birden çok dilbilimsel düzeyde doğal olarak oluşan metinleri analiz ve temsil etmek için motive edilmiş bir dizi hesaplama tekniğidir." Yazım yanlışlarının düzeltilmesi, bul-değiştir, basılı bir metni okuma ve yanlışlarını düzeltme, metin özeti çıkarma, metnin içerdiği bilgiyi çıkarma, metni anlama, bilgisayarla sesli etkileşim ve konuşma anlama, yabancı dilde okuma yazma gibi alanlar doğal dil işlemenin alanına girmektedir (Adalı, 2012). Son yıllarda artan işlem güçleri, büyük veri tabanları ve derin öğrenme yöntemlerindeki teknik ilerlemeler doğal dil işleme alanına da fayda sağlamıştır (Nilsson, 2011). Vaswani ve diğ. (2017) tarafından geliştirilen, derin öğrenmede üretme işlemi öncesi yeniden öğrenme işlemini ortadan kaldıran ve diğer derin öğrenme yöntemlerine göre daha hızlı eğitilebilen algoritmalar, derin öğrenmenin dil işleme yeteneğini büyük oranda arttırmıştır. Bu yetenekli derin öğrenme algoritması için Radford ve diğ., (2019) tarafından 1.5 milyar parametreli ön eğitimli model gibi dil modelleri geliştirilmektedir. Bu dil modelleri referans alınarak farklı dillerde modeller geliştirilebilmektedir. Bu yerel modellerden yararlanılarak üretilen doğal dil işleme algoritmaları ile sentetik metin üretimi de mümkündür.

Mimari tasarımda bilişim bağlamında gelindiğinde, Oxman'ın (2005) dijital mimarlık alanında zamanla ağırlık kazanan kavramların ortaya çıkışları ve ilişkilerini dışsallaştırmak amacıyla "kavramsal içerik analizi" yönteminden yararlandığı görülmektedir. Oxman (2005) kavramsal içerik analizi yöntemi için "ICF" olarak adlandırdığı "Issues, Concepts, Form" eksenlerinden oluşan bir çerçeve önerisi sunmuştur. ICF çerçevesinde kavramların belirmesi, bir disiplinden başka bir disipline göçü ve kristalize olması niteliklerini tespit etmiştir (Oxman, 2005). Oxman (2005) veri kaynağı olarak döneminde iz bırakmış ünlü müze yapıları hakkında yazılan yazıları kullanmış, zaman aralığı olarak 1990-2005 yılları arasına odaklanmıştır. Chiu ve diğ., (2002) ise, "Bilgisayar Destekli Mimari Tasarımda Alanında Araştırmaları Yeniden Araştırmak" başlıklı çalışmalarında CAADRIA konferansında 1996-2001 yılları arasında yayınlanmış bildirileri inceleyerek, 13 tematik kümelenme örüntüsü tespit etmiştir. Chiu ve diğ., (2002) çalışmalarında veri madenciliği tekniğini kullanırken, veri setini denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme olarak iki ayrı biçimde gruplandırmışlardır. Chiu ve diğ., (2002) her ne kadar 6 yıl gibi kısa bir aralıktaki kısıtlı veri ile çalışmış olsa da anlamlı ve yeni bilgi üretmiş, içerik analizi yönteminde insan-makine perspektiflerini karşılaştırdıkları bir değerlendirme sunmuşlardır. Koutamanis (2005) göreceli olarak daha geniş bir zaman aralığına, 1960-2000 arasındaki 10'ar yıllık dilimlerde, hesaplamalı tasarım kavramlarının evrimini incelemiştir. Celani ve Veloso (2015) bilgisayar destekli mimari tasarım konferanslarının arkeolojisi olarak adlandırdıkları bir araştırmalarında, 1980'li yıllardan itibaren düzenli biçimde düzenlenen ACADIA, eCAADe, CAADFutures, CAADRIA, SIGraDi, ASCAAD gibi kardeş organizasyonlarının çıktılarına ek olarak CUMINCAD veritabanındaki diğer konferans bildirilerinden ve makalelerden yararlanarak bir değerlendirme sunmuşlardır. Sperling ve diğ., (2019) ise benzer bir içerik analizini SIGraDi ve eCAADe konferanslarının karşılaştırılmasında kullanmıştır. Veri veritabanı olarak CUMINCAD'i temel alarak 2003-2018 tarihleri arasındaki yayınları karşılaştırmalı olarak incelemiştir (Sperling ve diğ., 2019).

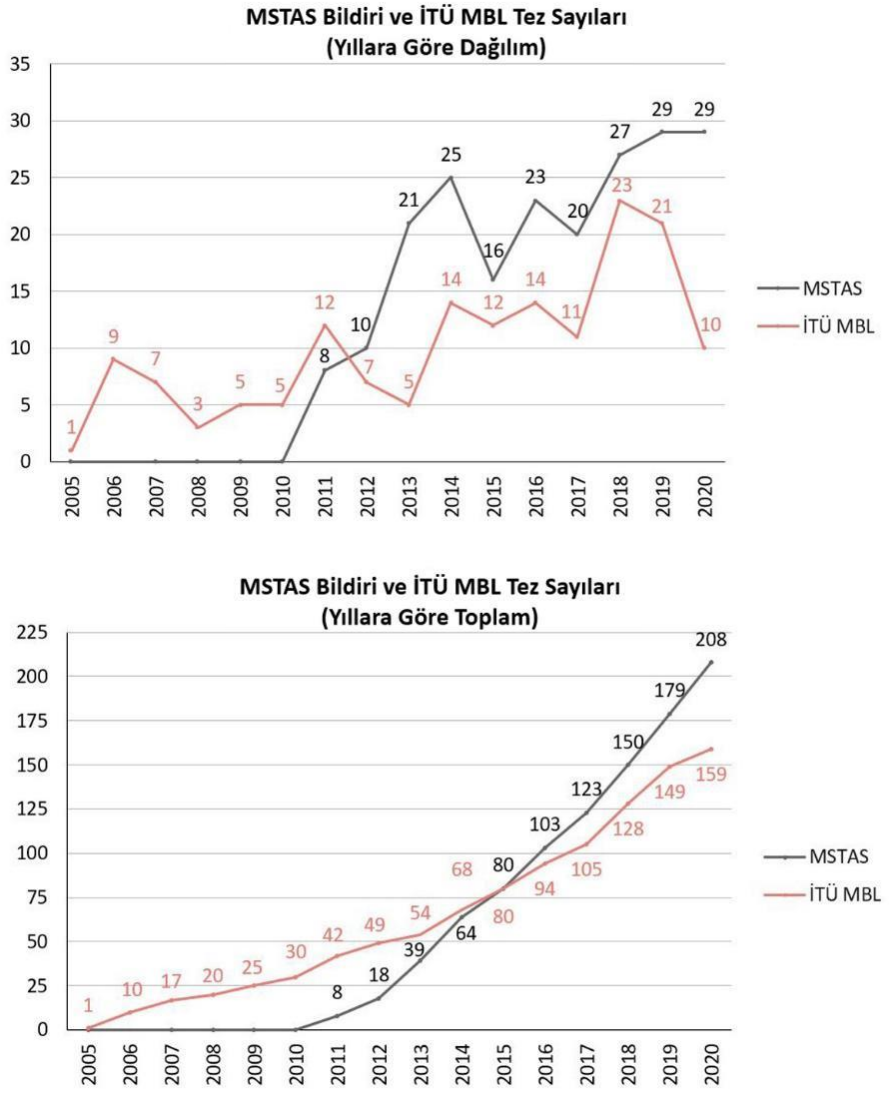
Yukarıda sıralanan kaynaklarda görüleceği gibi, mimarlıkta hesaplamalı tasarım alanında konferans bildirileri, makaleler ya da diğer yazılı kaynaklardan yararlanarak uluslararası platformda içerik analizi yönteminden yararlanarak alana yeni tartışmalar sunan pek çok araştırma bulunmaktadır. Ancak ulusal ölçekte mimarlıkta hesaplamalı tasarım alanında yapılan yayınların içerik analizi yöntemiyle değerlendirildiği benzer çalışmalar kısıtlıdır. Yazar ve Uysal (2017) çalışmalarında düzenlenen ilk 10 Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumları'nda kullanılan anahtar kelimelerin ilişkilerini iki aşamalı bir çizge (graf) tekniğiyle sunmuştur. Diğer yandan içerik analizi yönteminin kendi içinde kısıtları bulunmaktadır. Veri kaynağının kısıtlı olması çalışmanın sonuçlarını da etkileyebilmektedir. Salt kelime verisine dayalı bir bağlamdan anlam üretilmesinin, neden-sonuç ilişkileri çıkarımı yapılmasının kısıtlarına işaret eden de Sola Pool'un (1959) hatırlatmalarını da bir soru işareti göz önünde bulundurarak, bu çalışma Türkiye'de son 15 yılda sayısal tasarım alanında yapılan çalışmaların bir ara kesitine odaklanmaktadır.

## 3. Analiz ve Üretim

Bu bölümde çalışma kapsamında toplanan veri, içerik analizi süreçleri, uygulanan yapay öğrenme algoritmaları, üretilen sentetik içerikler detaylı olarak açıklanmaktadır.

### 3.1. Veri Setinin Oluşturulması

Çalışma kapsamında gerçek veri olarak tanımlanan birbirinden bağımsız iki veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setlerinden birincisi MSTAS'da bugüne kadar Türkçe olarak yayınlanan tüm bildiri özetlerini içermektedir. Çalışmanın ikinci veri seti ise 2006-2021 yılları arasında İTÜ MBL'de tamamlanmış olan yüksek lisans ve doktora tezlerinin Türkçe özetlerinden oluşmaktadır. Birinci veri setini oluşturulurken MSTAS 2012 bildiri kitabının dijital kopyasına ulaşılamadığından, ayrıca MSTAS 2013 bildiri kitabında ise bildiri özetlerinin yer almamasından dolayı 2012 ve 2013 yıllarında düzenlenen sempozyumların içerikleri veri setine dahil edilememiştir. Ayrıca sempozyum kitabından hem Türkçe hem de İngilizce özetlerin yer aldığı fakat bu durumunda tüm yıllar için süreklilik taşımadığı görülmüştür. Sonuç olarak birinci veri setinin sadece Türkçe olan 173 bildiri özetlerinden oluşmasına karar verilmiştir. İkinci veri setini oluşturmak için İTÜ MBL'de sonuçlandırılan tüm tezler YÖK Ulusal Tez Merkezi (Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı, 2021) üzerinden filtrelenmiş ve toplamda 127 yüksek lisans ve 21 doktora olmak üzere toplamda 158 tezin özetlerine ulaşılmıştır. İki veri seti arasında karşılaştırmalı bir analiz yapılacağından, Türkçe tez özetlerinin çalışma kapsamında kullanılması uygun bulunmuştur (**Şekil 2**).




**Şekil 2:** MSTAS bildiri ve İTÜ MBL tez sayıları

### 3.2. Gerçek Veri Üzerinden İçerik Analizi

Çalışmada ilk olarak sempozyumlar ve tezler üzerinden tematik analiz yapılacağından öncelikle en fazla kullanılan kelimeler üzerinden bir analiz yapılmıştır. Yazarlar tarafından Jupyter Notebook üzerinden Python programlama diliyle oluşturulan betik kullanılarak her iki veri seti içerisinde en sık tekrar eden kelimeler ve kelime öbekleri

bulunmuştur. Veri setlerinde çok defa tekrar eden "ve", "bir", "bu", "ile", "olarak" gibi sözcükler kelime sayımında ihmal edilerek en sık görülen 25 kelimenin dökümü yapılmıştır. Veri setlerinin çok geniş olmaması nedeniyle kısa sürede bu işlemler yapılmış ve sonrasında bir rafinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu aşamada veri setlerinde en sık görülen 25 kelimeden biri olmasına rağmen diğer veri setinde karşılığı bulunmayan kelimeler listeden çıkarılmıştır. Bu durumda MSTAS veri setinde 17 defa tekrar eden ancak İTÜ MBL veri setinde bulunmayan "biyodijital" kelimesi ve İTÜ MBL veri setinde 37 defa tekrar eden ancak MSTAS veri setinde bulunmayan "etmen" kelimesi yerine her iki sette de tekrar eden "akıllı" ve "konvansiyonel" kavramları eklenmiştir. Daha sonra benzer bir görülme sıklığı analizi, analizin ilk aşamasında seçilen 25 kelimeden türeyen iki ve üç kelimeden oluşan kelime öbekleri için tekrar edilmiştir (**Tablo 1**).

**Tablo 1:** Veri setleri için kelime ve kelime öbeklerinin analizi

| MSTAS Bildiri Özetleri | | | İTÜ MBL Tez Özetleri | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Akıllı** | | **5** | **Akıllı** | | **73** |
| | | | | Akıllı Konut | 9 |
| | | | | Akıllı Tasarım | 6 |
| **Art(t)ırılmış** | | **18** | **Art(t)ırılmış** | | **20** |
| | Art(t)ırılmış Gerçeklik | 15 | | Art(t)ırılmış Gerçeklik | 13 |
| **Biçim-i/leri/in/lenme** | | **197** | **Biçim-i/leri/in/lenme** | | **322** |
| | Biçim Grameri | 24 | | Biçim Grameri | 17 |
| **Bilgisayar** | | **79** | **Bilgisayar** | | **174** |
| | Bilgisayar Deste-kli/ği | 30 | | Bilgisayar Deste-kli/ği | 38 |
| | Bilgisayar Destekli Tasarım | 21 | | Bilgisayar Destekli Tasarım | 19 |
| | Bilgisayar Destekli Üretim | 4 | | Bilgisayar Destekli Üretim | 3 |
| | Bilgisayar Ortamı-/nda | 10 | | Bilgisayar Ortamı-/nda | 31 |
| | Bilgisayar Oyunu/ları | 5 | | Bilgisayar Oyunu/ları | 15 |
| | Bilgisayar Teknolojileri | 7 | | Bilgisayar Teknolojileri | 18 |
| **Dijital** | | **139** | **Dijital** | | **210** |
| | Dijital Araçlar | 13 | | Dijital Araçlar | 13 |
| | Dijital Fabrikasyon | 16 | | Dijital Fabrikasyon | 2 |
| | | | | Dijital Model | 13 |
| | Dijital Ortam | 17 | | Dijital Ortam | 33 |
| | Dijital Tasarım | 13 | | Dijital Tasarım | 8 |
| | Dijital Teknoloji | 5 | | Dijital Teknoloji | 11 |
| | | | | Dijital Üretim | 16 |
| **Doğadan** | | **16** | **Doğadan** | | **9** |
| | Doğadan esin-li/lenen | 8 | | Doğadan esin-li/lenen | 6 |
| **Geleneksel** | | **38** | **Geleneksel** | | **86** |
| | Geleneksel Tasarım/Mimari | 10 | | Geleneksel Tasarım/Mimari | 11 |
| **Geometrik** | | **33** | **Geometrik** | | **70** |
| | | | | Geometrik Desen | 14 |
| | Geometrik Örüntü | 5 | | | |
| **Görsel** | | **80** | **Görsel** | | **241** |
| | Görselleştir-me/ilir/ilmesi | 24 | | Görselleştir-me/ilir/ilmesi | 43 |
| | Görsel Hesaplama | 11 | | | |
| **Hesaplama -/lı /nın** | | **123** | **Hesaplama -/lı /nın** | | **163** |
| | Hesaplama Süreci | 11 | | | |
| | Hesaplamalı Tasarım | 48 | | Hesaplamalı Tasarım | 58 |
| | Hesaplamalı Tasarım Araçları | 5 | | Hesaplamalı Tasarım Araçları | 15 |
| | Hesaplamalı Tasarım Pratiği | 5 | | | |
| | Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımı | 6 | | Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımı | 7 |
| | | | | Hesaplamalı Tasarım Yöntemleri | 7 |
| **Kavramsal** | | **20** | **Kavramsal** | | **60** |
| | | | | Kavramsal Eskiz | 15 |
| | | | | Kavramsal Maket | 6 |
| | Kavramsal Tasarım | 5 | | Kavramsal Tasarım | 10 |
| **Kentsel** | | **30** | **Kentsel** | | **164** |
| | | | | Kentsel Dönüşüm | 12 |
| | | | | Kentsel Mekan | 11 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Kentsel Tasarım | | 4 |
| **Konvansiyonel** | | | **18** |
| | Konvansiyonel Tasarım | | 6 |
| **Kullanıcı** | | | **116** |
| | Kullanıcı Hareketleri | | 22 |
| **Mimar-i/lık** | | | **466** |
| | Mimarlık Alanında | | 20 |
| | Mimarlık Disiplini | | 9 |
| | Mimarlık Eğitimi-/nde | | 28 |
| | Mimarlık Öğrencisi/leri | | 12 |
| | Mimari Tasarım | | 56 |
| | | Mimari Tasarım Süreci-/nde | 17 |
| | | Mimari Tasarım Stüdyosu/ları | 5 |
| **Oyun** | | | **51** |
| **Parametrik** | | | **151** |
| | Parametrik Model-/leme | | 15 |
| | Parametrik Tasarım | | 35 |
| | | Parametrik Tasarım Aracı | 10 |
| **Sanal** | | | **30** |
| | Sanal Gerçeklik | | 7 |
| | Sanal Ortam | | 7 |
| **Sayısal-/laştırma** | | | **126** |
| | Sayısal Model-/leme | | 5 |
| | Sayısal Ortam | | 6 |
| | Sayısal Tasarım | | 49 |
| | | Sayısal Tasarım Araçları | 11 |
| | Sayısal Üretim | | 5 |
| **Tasarım** | | | **967** |
| | Tasarım Ara-cı/çları | | 54 |
| | Tasarım Eğitimi | | 25 |
| | Tasarım Evresi | | 6 |
| | Tasarımın İlk/Erken Aşama-sı/ları | | 7 |
| | Tasarım Parametre/leri | | 7 |
| | Tasarım Problem-i/leri | | 28 |
| | Tasarım Süre-ci/çleri | | 145 |
| | Tasarım Yaklaşım-ı/ları | | 24 |
| | Tasarım Yöntem-i/leri | | 28 |
| | Temel Tasarım | | 9 |
| **Üretim** | | | **146** |
| | Üretim Ara-cı/çları | | 11 |
| | Üretim Sürec-i/leri | | 25 |
| **Üretken** | | | **25** |
| | Üretken Sistem-/ler | | 8 |
| **Veri** | | | **218** |
| | Veri Tabanı | | 6 |
| **Yapay** | | | **7** |
| | Yapay Zeka | | 2 |
| **Yapı** | | | **467** |
| | Yapı Bilgi Modelleme | | 44 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Kentsel Tasarım | | 29 |
| **Konvansiyonel** | | | **5** |
| **Kullanıcı** | | | **345** |
| | Kullanıcı Deneyimi | | 8 |
| | Kullanıcı Hareketleri | | 22 |
| **Mimar-i/lık** | | | **910** |
| | Mimarlık Alanında | | 26 |
| | Mimarlık Disiplini | | 9 |
| | Mimarlık Eğitimi-/nde | | 11 |
| | Mimarlık Öğrencisi/leri | | 13 |
| | Mimari Tasarım | | 137 |
| | | Mimari Tasarım Süreci-/nde | 25 |
| | | Mimari Tasarım Stüdyosu/ları | 12 |
| **Oyun** | | | **236** |
| | Oyun Motoru | | 11 |
| **Parametrik** | | | **31** |
| | Parametrik Tasarım | | 12 |
| **Sanal** | | | **166** |
| | Sanal Gerçeklik | | 20 |
| | Sanal Ortam | | 34 |
| **Sayısal -/laştırma** | | | **155** |
| | Sayısal Model-/leme | | 5 |
| | Sayısal Ortam | | 46 |
| | Sayısal Tasarım | | 30 |
| | | Sayısal Tasarım Araçları | 11 |
| **Tasarım** | | | **1944** |
| | Tasarım Ara-cı/çları | | 84 |
| | Tasarım Eğitimi | | 23 |
| | Tasarım Evresi | | 9 |
| | Tasarımın İlk/Erken Aşama-sı/ları | | 31 |
| | Tasarım Problem-i/leri | | 56 |
| | Tasarım Süre-ci/çleri | | 257 |
| | Tasarım Yaklaşım-ı/ları | | 32 |
| | Tasarım Yöntem-i/leri | | 29 |
| | Temel Tasarım | | 22 |
| **Üretim** | | | **337** |
| | Üretim Ar-cı/çları | | 5 |
| | Üretim Sürec-i/leri | | 35 |
| **Üretken** | | | **68** |
| | Üretken Sistem-/ler | | 12 |
| **Veri** | | | **704** |
| | Büyük Veri | | 12 |
| | Yerel Veri | | 24 |
| | Veri Tabanı | | 12 |
| | Veri Seti/Kümesi | | 24 |
| **Yapay** | | | **41** |
| | Yapay Zeka | | 24 |
| **Yapı** | | | **160** |
| | Yapı Bilgi Modelleme | | 90 |

Bir sonraki aşamada ise her iki veri seti için en sık görülen 25 kelimelerin yıllara göre dağılımı görselleştirilmiştir. Görselleştirme yapılırken, kelimenin yıldaki tekrar sayısını temsil etmek için ısı haritası (heat map) tekniğinden yararlanılmıştır (**Tablo 2**).

### 3.3. Yapay Öğrenme ile Sentetik İçerik Üretimi

Bu çalışma kapsamında sentetik içerik olarak nitelendirilen bildiri veya tez özetlerini üretebilmek için bulut tabanlı entegre geliştirme ortamı olan Google Colab'da Python kodlama dili ile bir algoritma kurgulanmıştır. Kurgulanan yapay öğrenme algoritması Transformers (Wolf ve diğ., 2020), gpt2-small-turkish (Goknar, 2021) ve PyTorch (Paszke ve diğ., 2019) kütüphanelerini (bileşenlerini) içermektedir. Bu kütüphanelerden birincisi olan "Transformers", doğal dil işlemede evrişimli (convolutional) ve tekrarlayan (recurrent) sinir ağlarını (neural networks) geride bırakarak baskın bir yer edinmiştir. Wolf ve diğ. (2020) tarafından geliştirilen Transformers, performanslı platformlarda yüksek boyutlu veri setleri ile ön eğitimli modellerin eğitilebilmesini sağlayan bir dil işleme modelidir. Transformers özellikle dil anlama, metin üretimi, metin sınıflandırması, özetleme, eşgönderge çözümlemesi (coreference resolution) ve makine çevirisi (machine translation) için elverişlidir. Bu çalışmada kullanılan ikinci bileşen ise "gpt2-small-turkish" modelidir. Transformers altyapısını kullanan ve Görkem Göknar (Url-2) tarafından geliştirilen "gpt2-small-turkish" ön eğitimli modeli Vikipedi Türkiye verileri ile eğitilmiştir ve Türkçe dilinin gramer yapısını bilmektedir. Algoritmanın üçüncü bileşeni ise modelin eğitimi, hata ayıklaması ve eğitim sürecinde grafik kartı kullanımını sağlayan PyTorch (Paszke ve diğ., 2019) yapay öğrenme kütüphanesidir.

**Tablo 2:** Seçilen kelimelerin yıllara göre tekrar sayıları ve ısı haritası ile temsili

| | MSTAS Bildiri Özetleri | | | | | | | | İTÜ MBL Tez Özetleri | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Akıllı | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 9 | 0 | 0 | 0 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 21 | 31 | 0 |
| Arttırılmış | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Biçim-i/leri/in/lenme | 3 | 17 | 17 | 30 | 55 | 41 | 16 | 18 | 0 | 5 | 3 | 0 | 6 | 3 | 3 | 5 | 2 | 56 | 28 | 41 | 47 | 41 | 62 | 20 |
| Bilgisayar | 4 | 6 | 13 | 23 | 8 | 4 | 11 | 10 | 2 | 21 | 2 | 3 | 5 | 4 | 16 | 4 | 3 | 17 | 14 | 18 | 13 | 18 | 31 | 3 |
| Dijital | 0 | 10 | 0 | 18 | 12 | 33 | 37 | 29 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 43 | 9 | 20 | 15 | 46 | 41 | 16 |
| Doğadan | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| Geleneksel | 5 | 6 | 6 | 3 | 4 | 7 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 9 | 6 | 15 | 4 | 27 | 10 | 9 |
| Geometrik | 0 | 2 | 2 | 6 | 8 | 4 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 7 | 5 | 14 | 23 | 13 | 0 |
| Görsel | 0 | 5 | 2 | 9 | 29 | 10 | 9 | 16 | 0 | 6 | 7 | 0 | 1 | 1 | 6 | 3 | 15 | 44 | 18 | 31 | 11 | 52 | 36 | 10 |
| Hesaplama-/lı/nın | 0 | 14 | 7 | 11 | 28 | 32 | 4 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 5 | 3 | 19 | 33 | 45 | 33 | 21 |
| Kavramsal | 2 | 6 | 3 | 0 | 7 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 29 | 5 | 5 | 0 | 11 | 10 | 0 |
| Kentsel | 0 | 5 | 6 | 4 | 0 | 4 | 6 | 5 | 2 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 6 | 0 | 1 | 2 | 10 | 2 | 86 | 1 | 50 |
| Konvansiyonel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| Kullanıcı | 7 | 4 | 8 | 30 | 6 | 7 | 49 | 5 | 0 | 13 | 16 | 3 | 7 | 11 | 18 | 8 | 8 | 21 | 30 | 18 | 87 | 71 | 27 | 7 |
| Mimar-i/lık | 9 | 49 | 51 | 55 | 54 | 80 | 90 | 78 | 19 | 55 | 34 | 7 | 28 | 25 | 20 | 16 | 49 | 61 | 72 | 48 | 42 | 170 | 178 | 86 |
| Oyun | 0 | 9 | 2 | 9 | 11 | 13 | 6 | 1 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 1 | 4 | 24 | 9 | 11 | 48 | 56 | 61 |
| Parametrik | 1 | 16 | 14 | 12 | 19 | 19 | 37 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 3 | 2 | 7 | 0 | 3 | 6 | 3 | 0 |
| Sanal | 0 | 2 | 4 | 11 | 1 | 3 | 2 | 7 | 0 | 48 | 5 | 0 | 2 | 4 | 9 | 16 | 7 | 0 | 3 | 8 | 0 | 48 | 12 | 0 |
| Sayısal-/laştırma | 0 | 12 | 16 | 25 | 19 | 17 | 24 | 13 | 1 | 0 | 1 | 7 | 3 | 4 | 25 | 11 | 6 | 20 | 14 | 28 | 17 | 15 | 9 | 8 |
| Tasarım | 9 | 109 | 107 | 120 | 129 | 135 | 196 | 162 | 2 | 51 | 27 | 17 | 38 | 13 | 119 | 46 | 35 | 194 | 106 | 380 | 127 | 355 | 460 | 89 |
| Üretim | 6 | 3 | 8 | 25 | 27 | 29 | 48 | 0 | 0 | 17 | 2 | 0 | 4 | 3 | 5 | 2 | 13 | 31 | 28 | 51 | 42 | 35 | 102 | 41 |
| Üretken | 0 | 4 | 2 | 3 | 1 | 7 | 6 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 7 | 2 | 17 | 11 | 23 |
| Veri | 1 | 25 | 30 | 29 | 20 | 38 | 46 | 29 | 0 | 16 | 16 | 7 | 5 | 4 | 18 | 13 | 31 | 33 | 55 | 39 | 29 | 142 | 213 | 83 |
| Yapay | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 2 | 6 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 | 4 | 4 | 4 | 13 |
| Yapı | 15 | 38 | 50 | 69 | 60 | 87 | 92 | 56 | 4 | 16 | 9 | 2 | 6 | 11 | 33 | 18 | 52 | 101 | 70 | 105 | 113 | 196 | 220 | 84 |

Kurgulanan yapay öğrenme modeli daha önce detayları anlatılan her iki veri setiyle 100 devir (epoch) yapacak şekilde eğitilmiştir. Bir başka deyişle ön eğitimli "gpt2-small-turkish" modeli kendi altyapısı sabit kalacak şekilde üzerine ek bir eğitim daha yapılmıştır. Sonrasında, eğitilmiş model kullanılarak ve bir tetikleyici kelime veya kelime öbeği tanımlayarak 200-300 ile 300-500 kelime arasında sentetik içerikler (özetler) üretilmiştir. Bu tetikleyici kelime ve kelime öbeklerinin seçimi için kelimelerin ve kelime öbeklerinin analiz sonuçlarında çıkan karakterlerine bakılmıştır. Birinci karakteristik; veri setlerinde tekrar sayısı oldukça fazla olan, yaygın anlamı kavranmış ve yeni kelime öbekleri türetme becerisi olan kelimelerdir. Bu çalışma kapsamında "dijital" ve "hesaplama" kavramları birinci karaktere karşılık gelmeleri nedeniyle sentetik içerik üretimi için seçilmiştir. İkinci karakteristik özellik ise kelime öbeği olması olmasına rağmen artık kalıplaşmış olan kavram, yöntem veya yaklaşımlar arasından seçilmiştir. Bu bağlamda seçilen kelime öbekleri "biçim grameri" ve "yapı bilgi modelleme" olmuştur. Üçüncü özellik ise veri setlerinde henüz tekrar sayısına bakıldığında üst sıralarda yer almayan ancak son yıllarda kullanılmaya ve yeni kavramlar türetmeye başlayan kavramlardır. Bu nedenle sentetik içerik üretimi için "veri" ve "yapay" kelimeleri seçilmiştir.

## 4. Değerlendirme

Gelişen veritabanının karakteristiğinin değerlendirilmesi bağlamında hem MSTAS hem de İTÜ MBL verilerinin "sıfırdan" başlayan bir grafik sergilediği, nicel olarak birebir örtüşme olmamasına karşın belirli dönemlerde artış ve azalış eğrilerinde göreceli olarak uyumluluk sergiledikleri ve her iki veri tabanının da gelişimde süreklilik taşıdığı ifade edilebilir (**Şekil 2**). 2020 yılında pandemi koşullarında devam eden tezlere ek süre verilmesi, laboratuvar ve deney ortamlarına erişimdeki problemler nedeniyle tamamlanmış olan yüksek lisans ve doktora tezlerinin sayıca azalmasına karşın, MSTAS bir önceki yılın üretim yoğunluğunu korunmuştur. İki veri tabanı arasında belirgin bir şekilde farklılaşan diğer bir yılın 2013 olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırmada, yıllar içinde artan öğrenci ve öğretim üyesi sayıları göz ardı edilmiş, yalnızca **Şekil 2** temel alınmıştır.

Her iki veri setindeki kelime ve kelime öbekleri ilişkisinin karşılaştırılmasında, büyük ölçüde örtüşme görülmektedir (**Tablo 1**). Farklı nitelik sergileyen kelimelerin başlıcaları "akıllı", "geometrik", "oyun", "kavramsal","kentsel", "veri" ve "yapay"'dır. Bu kelimelerden "akıllı", "oyun", "kavramsal", "kentsel" ve "veri", İTÜ MBL tez özetlerinde daha fazla tekrarlamakla kalmamış ayı zamanda kendileri ile ilişkili "akıllı kent", "akıllı konut", "oyun motoru", "kavramsal eskiz", "kavramsal maket", "kentsel dönüşüm", "kentsel mekan", "büyük veri", "yerel veri", "veri seti", "veri kümesi" gibi MSTAS özetlerinde geçmeyen kelime öbeklerinin kullanımına katkı sunmuştur. "Geometrik" kelimesi ise İTÜ MBL tez özetlerinde "geometrik desen", MSTAS bildiri özetlerinde "geometrik örüntü" kelime grubu ile kullanılmıştır. "Görsel hesaplama" kelime öbeği ise MSTAS bildiri özetlerinde kullanılmış olmasına karşın İTÜ MBL tez özetlerinde yer almamıştır.

Yıllara göre kelimelerin dağılımları göz önünde bulundurulduğunda (**Tablo 2**) karşımıza üç farklı örüntü çıkmaktadır: Yıllara göre artış ve/veya azalışında her iki veri setinde uyumluluk gösteren kelimeler, bir veri setinde yer alıp diğerinde yer almayan kelimeler ile artış/azalış/tekrarında asenkronize (birkaç yıl arayla) benzerlik gösteren kelimeler. "Biçim", "üretim" ve "yapı" kelimelerinin her iki veri setinde de benzer bir değişim eğilimi sergilediği görülmektedir. "Biçim" kavramının kullanımı İTÜ MBL tez özetlerinde 2014'ten itibaren birbirine yakın bir aralıkta tekrarlarken, benzer şekilde MSTAS bildiri özetlerinde de süreklilik teşkil edecek şekilde geçmekte olduğu görülmektedir. "Üretim" ve "yapı" kelimeleri de her iki veri setinde sürekli-artan bir eğilim göstermektedir. "Doğadan" kavramın ise her iki veri setinde de azalan bir grafik sergilemekte ve/veya hiç kullanılmadığı yıllar bulunmaktadır. İki veri seti arasında görülme sıklığı farklılaşan kelimelerin başlıcaları "oyun", "kentsel" ve "veri" dir. Özellikle 2018 yılından itibaren İTÜ MBL tezlerinde artan bir ivme sergileyen bu üç kavramın, takip eden yıllarda MSTAS'a yansımaları olacağını öne sürmek mümkündür. "Parametrik" ise MSTAS'ta artarak devam etmesine karşın, İTÜ MBL tez özetlerinde azalma eğilimi taşımaktadır.

Çalışmanın ana çerçevesinin diğer önemli bir parça ise yapay öğrenme algoritmasıyla sentetik içerik üretilmesi ve bu içeriklerin değerlendirilmesidir. Üretilen içerikler ve içeriklerin değerlendirilmesi aşağıda paylaşılmıştır.

- *"Biçim grameri ile yapılan karşılaştırmalar, bilgisayar destekli tasarım ortamlarında sergilenen tasarımların bilgi akışında hızlı ve kolay ulaşılabilir olması ile tasarımların üretken modelleri ile çoğaltılmıştır. Bu tezin bulguları, tasarımcıların yeni ve bilinmeyen yöntemlerle doğayı analiz etmelerine ve bu süreçlerde görülen karmaşık tasarım problemlerine çözümleyebilmek için karşılaştırmalı bir sınıflandırma sistemi olarak çalışılabilmektedir. Bu sistemi anlamda, tasarımcıların birçok stratejide yararlanma ile doğayı geometrik desen tasarımlarını özgürce tasarım yapmak için bir model ortaya koymayı amaçlamaktadır."*

İTÜ MBL tez özetleri ile eğitilmiş yapay öğrenme algoritmasının "biçim grameri" girdisi ile ürettiği içerikte (300-500 kelimelik), algoritmanın biçim gramerleri konusunu doğayı analiz etme ile ilişkilendirdiği, karmaşık problemleri çözümlemeye değindiği ve geometrik desen ile tasarım yapmayı dahil ettiği görülmektedir. Bu anlamda yapay öğrenme algoritmasının bağlam ve biçimsel anlamda tutarlı bir sentetik içerik oluşturduğu ifade edilebilir. Ancak aynı anahtar kelime MSTAS bildiri özetleri ile eğitilmiş algoritmaya verildiğinde, benzer bir tutarlılık saptanmamıştır.

- *"Yapı bilgi modelleme ve tasarlama süreçlerinde kullanılan aktörler ile bu süreç içinde son ürünün üretilmesi sürecinde bir köprü ya da arayüz kurulması gerekliliği ile mimarlığın bilgi modelleme paradigması arasındaki ilişki sorgulanabilir. "*

"Yapı bilgi modelleme" anahtar kelimeleri MSTAS özetleri ile eğitilmiş modele girdi olarak verildiğinde üretilen sentetik özetin (200-300 kelimelik) yapı bilgi modelleme kavramını çok disiplinli bir bağlamda ele aldığı ve disiplinler arasında bir köprü oluşturarak sonuç ürünün üretilmesine etki ettiği vurgusu yaptığı görülmektedir.

- *"Dijital tasarım ve üretim birlikteliğini aktarabilmek için bu disiplinler arası çalışma dijital fabrikasyon ortamı olarak sunulmakta ve disiplinler arası bir çalışma gerektirir. Dijital teknolojilerinin mimari tasarım eğitimine entegrasyonu, tasarım sürecini şeffaflaştıran ve sayısal tasarım çözümlerinin mimari tasarım stüdyo eğitiminde bütünleşik olarak sunulmakta ve olanakların nasıl olacağı düşünülmektedir."*

MSTAS bildiri özetleri ile eğitilen yapay öğrenme algoritması ile "dijital" anahtar kelimesi ile üretilen sentetik içerik (200-300 kelime), "dijital" kelimesini doğrudan dijital tasarım olarak ele alıp onu da dijital tasarım ve üretim (fabrikasyonla) ilişkilendirmektedir. Daha sonra bu iki konuyu, tasarım stüdyolarına entegre etme eğilimi göstermektedir.

- *"Hesaplamalı tasarım araçları, mimarideki gelişmelerin ani ve ivmeli süreçler ile gelişen araçların ve otomasyon araçlarının tasarım sürecinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu değişimler, günümüz tasarım dokusunun kısıtlı olmasından ve bilgisayar destekli tasarım ortamları ile büyüyen yerel yazılımlarının kullanımının önüne geçmek ve alternatif tasarım yaklaşımlarına olanak sağlamaktadır. Bu durum, yerel yazılımlarının ve donanımlarının tasarım süreçlerinin daha derinleşmesi ve yaygınlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, kütle tasarım araçları ve dijital tasarım ortamları, mevcut uygulamalara göre kodlamaya aktarmakta ve alternatif tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine yol açmaktadır."*

İTÜ MBL tez özetleri ile eğitilmiş olan algoritmada "hesaplamalı" kelimesi ile oluşturulan sentetik içerikte ise (300-500 kelime), "hesaplamalı" kavramının hesaplamalı tasarım araçları olarak ele alındığı, kütle tasarım aracı ve dijital tasarım ortamı gibi tartışmalarla ilişkilendirildiği görülmektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye'de son 15 yıllık bir süreçte mimarlıkta bilişim alanında yapılan bilimsel çalışmalar, içerik analizi ve yapay öğrenme yöntemlerinden yararlanarak mercek altına alınmıştır. Veri kaynağı olarak ise Mimarlıkta Sayısal Tasarım (MSTAS) sempozyum dizisi bildiri özetleri ile, İTÜ Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı yüksek lisans ve doktora tez özetleri kullanılmıştır. İki ayrı veri seti olarak ele alınan özet metinlerde en çok tekrar eden kelime ve kelime öbekleri listelenmiştir. Elde edilen bu kelimeler ile öncelikle 15 yıllık süreç için genel bir değerlendirme sonrasında ise yıl bazında bir değerlendirme yapılmıştır. Bu sayede sempozyum ve tezlerde odaklanılan konuların ve temaların izi sürülmüştür. Ayrıca sempozyum ve tezler arasında yıllar açısından tematik bir senkronizasyon veya asenkronizasyon olup olmadığı sorusuna cevap aranmıştır.

Sempozyum bildiri özetleri ve tez özetlerinden elde edilmiş verilerle ayrı ayrı eğitilmiş yapay öğrenme modelleri kullanılarak sentetik özet üretimi yapılmıştır. Sentetik özet üretiminde, içerik analizi aşamasında elde edilen kelimelerden ve kelime öbeklerinden yararlanılmıştır. Üretilen özetler nitelik açısından yazarlar tarafından incelenmiş ve yapay öğrenme modellerinin Türkçe dilinde sentetik veri (özet) becerileri değerlendirilmiştir. Sentetik özetler 200-300 kelime ve 300-500 kelime aralığında iki ölçekte denenmiştir. Genel olarak İTÜ MBL tez özetleri ile eğitilen yapay öğrenme algoritması çıktılarından 300-500 kelimelik içerikler daha iyiyken, MSTAS bildiri özetleri ile eğitilen yapay öğrenme algoritması çıktıları 200-300 kelimelik üretimde daha tutarlı ve anlamlı sonuçlar üretmiştir.

Çalışma çok kısıtlı bir veri seti üzerinden yürütülmüştür. Toplamda 208 adet MSTAS bildiri özeti, 158 İTÜ MBL tez özetinden yararlanılmıştır. YÖK Tez veritabanından veri seti genişletilerek daha fazla sayıda tez incelendiğinde ya da veri setine bildiri özetleri dışında makale özetleri ve/veya tam metin araştırmalar dahil edildiği durumda, elde edilen

bulguların farklılaşabileceği göz önünde bulundurulmaktadır. Diğer yandan, literatürde zaman aralığı ve incelenen örnek sayısı bakımından kısıtlı veri seti ile içerik analizi yapan çalışmaların bulunması (Chiu ve diğ., 2002; Celani ve Veloso, 2015; Oxman 2005; Sperling ve diğ., 2019) çalışmanın güncelliği ve kullanılan araştırma yönteminin geçerliliği bağlamında olumlu bir göstergelerdir. Ancak veri setinin kısıtlı oluşu ile ön eğitilimli yapay öğrenme algoritmasının Türkçe dilindeki becerisinin kısıtlı oluşu, sentetik özet üretimlerini olumsuz yönde etkilemiştir. Yine de yapay öğrenme algoritması her çalıştırıldığında farklı içerikler üretilmiş, üretilen içerik ile eğitim materyali (özetler) arasında birebir örtüşmeye rastlanmamıştır. Başka bir ifadeyle, sentetik olarak üretilen metinlerde yapay öğrenme algoritması yeni bağlamlar ve ilişkiler kurabilmekte, tamamı anlamlı olmasa da özgün kısa özetler üretebilmektedir.

## KAYNAKLAR

Adalı, E (2016). Doğal dil işleme. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, *5*(2) https://dergipark.org.tr/en/pub/tbbmd/issue/22245/238797

Brandon, P. & Betts, M. (1997). Veni - Vidi - Vici. *Pre-Proceedings of the International Meeting Global Construction, IT Futures 1997*, (pp. 86-89).

Celani, G. & Veloso, P. (2015). CAAD conferences: A brief history. *Proceedings of CAAD Futures 2015,* (pp. 47-58).

Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for information Science and Technology, 57*(3), 359-377. https://doi.org/10.1002/asi.20317

Chiu, M. L., Lin, C. J., Jeng, T. S., & Lee, C. H. (2002). Re-searching the research problems with CAAD: Datamining in i-CAADRIA. *Proceedings of CAADRIA 2002*, (pp. 31-38).

de Sola Pool, I. (1959). *Trends in content analysis.* University of Illinois Press.

Goknar, G. (2021). *gorkemgoknar/gpt2-small-turkish*. Retrieved June 1, 2021, from https://huggingface.co/gorkemgoknar/gpt2-small-turkish

Krippendorff, K. (1980). *Content analysis: An introduction to its methodology*. SAGE Publications.

Koutamanis, A. (2005). A biased history of CAAD. *Proceedings of 23rd eCAADe Conference*, (pp. 629-637).

Liddy, E. D. (2001). Natural language processing for information retrieval. In J. D. McDonald & M. Levine-Clark (Eds.), *Encyclopedia of Library and Information Science (4th Edition)*. CRC Press. https://doi.org/10.1081/E-ELIS4

Loper, E. & Bird, S. (2002). NLTK: The Natural Language Toolkit. arXiv:cs/0205028v1

Nilsson, N. J. (2011). *Yapay zeka: Geçmişi ve geleceği.* Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.

Oxman, R. (2005). The conceptual content of digital architecture: A content analysis in design. *Electronic Journal of Arquiteturarevista, 1*(1). https://www.researchgate.net/publication/51022943

Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., ... & Chintala, S. (2019). Pytorch: An imperative style, high-performance deep learning library. arXiv:1912.01703.

Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D., & Sutskever, I. (2019). Language models are unsupervised multitask learners. *OpenAI blog, 1*(8), 9.

Sperling, D., Vizioli, S. H. T., Botasso, G. B., Tiberti, M. S., Santana, E. F. Z., & Sígolo, B. D. O. O. (2019). Crossing Timelines-Main research topics in the histories of eCAADe and SIGraDi. *Proceedings of the 37th eCAADe and 23rd SIGraDi Conference - Volume 1*, (pp. 407-416).

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. arXiv:1706.03762

Vaswani, A., Bengio, S., Brevdo, E., Chollet, F., Gomez, A. N., Gouws, S., Jones, L., Kaiser, L., Kalchbrenner, N., Parman, N., Sepassi, R., Shazeer, N., & Uszkoreit, J. (2018). Tensor2tensor for neural machine translation. arXiv:1803.07416.

Wolf, T., Debut, L., Sahn, V., Chaumond, J., Delangue, C., Moi, A., Cistac, P., Rault, T., Louf, R., Funtowicz, M., Davison, J., Shleifer, S., von Platen, P., Ma, C., Jernite, Y., Plu, J., Xu, C., Le Scao, T, Gugger, S., Drame, M, Lhoest, Q., & Rust, A. (2020). Transformers: State-of-the-art natural language processing. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations*, (pp. 38-45).

Yazar, T. & Uysal, S. (2017). Mimarlıkta sayısal tasarım kavramları üzerine bir çalışma. *Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumu 2017*, (pp. 126-134).

Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı (2021). *Tez Merkezi.* Retrieved June 1, 2021, from https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Video Oyunlarında Hikâye Anlatım Elemanı Olarak Duygu Animasyonlarının Tasarlanması

Didem Kübra Atila [1]; Leman Figen Gül [2]
[1,2] İstanbul Teknik Üniversitesi
[1] dk_atila@hotmail.com; [2] fgul@itu.edu.tr

## Özet

*İnsanlar tarihin başlangıcından itibaren kendilerini ve çevrelerini ifade etmek ve anlamak için jest ve mimikleri kullanırlar. Jestler, beden dili, semboller ve işaretlerle iletişim kurmak insan doğasının içgüdüsel bir parçası olmuştur. İnsanların bu iletişim tekniklerini dış ortamlara tercüme etmelerine olanak sağlayan farklı uygulamalar vardır; çizim, resim, tasarım, fotoğraf, tiyatro ve animasyon örnek olarak verilebilir. Yine bu uygulamalardan biri olan animasyon, birden fazla çizimi veya fotoğrafı arka arkaya oynatarak bir karakterin hareket ve ifade oluşturmasını sağlayan tekniğe verilen isimdir. Günümüzde daha çok eğlence amaçlı kullanılıyor olsa da iletişim sağlamak, animasyonun etkileyici güçlerinden biri olmaya devam etmektedir. Bunun yanında video oyunları, ilerleme açısından animasyona benzer bir yol izlemiştir. Hem canlı hem de dijital ajanlarla etkileşim kurmanın deneysel bir yolu olarak ortaya çıkmalarına rağmen sonrasında 21. yüzyılın ana eğlence araçlarından biri haline gelmişlerdir. Video oyunlarında insanların karmaşık duygu durumlarını anlatmak için görsel ve işitsel medyanın kullanıldığı çeşitli teknikler olmasına karşın, sadece basit hareketlerle bu duygu durumlarının nasıl desteklenebileceğine yönelik çalışmalar az sayıdadır. Bu bildiride animasyon prensiplerinin insanların duygu durumlarını nasıl ifade edebileceğine odaklanılmıştır. Ayrıca, bir video oyununda hikaye anlatımını zenginleştirmek için temel animasyon ilkelerini kullanarak basit bir karakter olan bir top aracılığıyla temel duyguların nasıl anlatılabileceği araştırılmıştır. Bu amaçla tasarlanan oyun 130 kişinin katılımıyla değerlendirilmiş, oyun sonrası anket sorularını cevaplamaları istenmiştir. Çalışmanın sonuçları karakterin karmaşıklığından bağımsız olarak insanların bir karakterin duygusal durumu hakkında varsayımlarda bulunabileceğini göstermekte olup, karmaşık duygularının basit jest ve mimiklerle nasıl aktarılabileceği tartışılmıştır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *İfade animasyonu, video oyunları, hikaye anlatımı, jest ve mimik.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Atila, D., K. & Gül, L., F. (2021). Video oyunlarında hikâye anlatım elementi olarak duygu animasyonlarının tasarlanması. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 82-92). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Designing Emotion Animations as Storytelling Element in Video Games

Didem Kübra Atila [1]; Leman Figen Gül [2]
[1, 2] Istanbul Technical University
[1] dk_atila@hotmail.com; [2] fgul@itu.edu.tr

## Abstract

*Humans are using motion and expression to reflect and understand each other and their surroundings ever since the beginning of history. Communicating with gestures, body language, symbols, and signs has been an instinctual part of human nature. There are different practices, which allowed people to translate these communication techniques by using external mediums, for example, drawing, painting, design, photography, theatre, and animation. Animation is the technique, which allows people to create motion and expression through a character by playing multiple drawings or photographs back-to-back. Nowadays, even though it is mostly used for entertainment, delivering communication continues to be an impressive strength of animation. Video games followed a similar path to animation in regards to progress. They were created as an experimental way to interact with both living and digital agents, afterwards became one of the main entertainment instruments of the 21st century. Although there are various techniques in which visual and auditory media are used to express people's complex emotional states in video games, there are few studies on how to support these emotional states with only simple gestures and movements. This paper focuses on how animation principles can express people's emotional states. In addition, in this paper, we investigated how basic emotions can be expressed through a simple character, a ball, by using basic animation principles to enrich the storytelling in a video game. The game designed for this purpose was evaluated with the participation of 130 people, and they were asked to answer the survey questions after the game was played. The results of the study show that people can make assumptions about the emotional state of a character, regardless of the complexity of the character, and we discussed how complex emotions can be conveyed with simple gestures and facial expressions.*

***Keywords:*** *Animation of expression, video games, storytelling, gestures and mimics.*

**Citation in APA Style:** Atila, D., K. & Gül, L., F. (2021). Designing emotion animations as storytelling element in video games. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 82-92). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Storytelling and Video Games

Storytelling is one of the oldest communication phenomena of humankind, creating a platform to express emotions, inspire and entertain others, and improve their understanding of the world (McKee, 1997). The human brain creates stories even when it sees unconnected words, images, or footage. Their understanding depends on the relationship between what is perceived with available senses and humans tend to build a story with perceived elements to make more effective connections and learn from them (Storr, 2020). Technology creates new stages for storytellers every day. In the past decade, digital games became another ground for storytelling as they offer a visual interface for the audience, where they can interact within the story (Carlquist, 2002). This interaction factor changes the design of the game environment, it's not only the storytelling, but it includes designing a narrative that will give the audience a place to experience within (Jenkins, 2004).

In the context of video games, designing the characters and the setting of the story is the most important aspect of the design task. To create an atmosphere that is familiar to the user, a character must flow with realistic emotions, feelings, and personality (Figueiredo, 2015). In addition, the visual architecture should enrich the narrative by structuring possibilities for interaction to provide the player experience (Lindley, 2005). The world where the story takes place should include believable rules and be consistent throughout the gaming experience to make the characters feel associated. Besides, for a story-driven game, it is very crucial to have believability and consistency in characters and the settings (Figueiredo, 2015). In this paper, we present the result of an experimental study to understand the perception of the expression of basic emotions as the storytelling elements in video game animation. For further testing this aim, we designed a simple character, that is a ball, in an interactive setting and asked the participants what emotions it conveys.

## 2. Design Elements of Animation in Video Gaming

Animation, by definition, is the technique, which allows people to create a movement in a virtual environment. It is simply the art of making an object or a character move, but it can be so much more than reflecting movement (Williams, 2009). The word "animate" means bringing life and energy. Animation, in its history, never has been just a tool to make virtual agents move, it is always appreciated for its potential to tell a story, make a comment, and teach a lesson (Wells, 2013). Animated sequences started out as an experimental art to discover different ways to create movement on paper. The first animated movie that has the structure of a short movie, ever made was *Fantasmagorie* by Émile Cohl in 1908; it was just one and a half minutes long, starring quite simple white stick figures on a black background and it was praised for conveying an interesting story (Williams, 2009). With animation, the main objective is not perfecting the appearance, it is about representing feelings. As Catmull (2014) described: "The definition of superb animation is that each character on screen makes you believe that it is a thinking being." (p. 8)

Character animation is all about emotions; it must be convincing about the character having intelligence, personality, and a thought process, in short, a life, by acting through a virtual character. Its quality is determined by how alive the character feels, how believable their thought process is and how much care the audience gives to them. Character animation must address the emotions of the audience whether it is in a movie, game, or a different medium. It needs to read well, it needs to be informed about its audience, it needs to be about the feeling, and it should engage the audience or the player (Johnston & Thomas, 1994).

Animated movies are trying to discover ways of connecting with their audience using body language ever since art was born, furthermore, animators have their own rules about the science of human behaviour, body language and how to represent these in a completely artificial setting (Johnston & Thomas, 1994). However, in the game industry, animation had to follow technology. In early games, when computer-generated animation was produced without 3D software, animations had to be kept quite simple. In the late 2000s, with better computer-generated animation, the development of technologies like motion capture and the expanding definition of what makes a game; animation became more relevant for game design (Cooper, 2019). In games like *Inside*, *Gris*, *Little Nightmares* the only elements that guide the audience are animation and environment design. Or there are titles like *Dear Esther* and *Gone Home*, which are more like walking simulators that use sound and environmental design to tell stories (Haggis, 2016a). The question of how games can improve storytelling to give the players unique experiences that another

medium can never achieve because of the interactive nature of games is more popular than ever with the increasing interest in these types of games (Haggis, 2016b). While there has been much research on how to improve storytelling in games, only a few researchers have taken animation into consideration. The question of how animation design serves to make better stories and characters also makes the player want to accomplish the character's goal, not just because of the sheer need to play but because they want that specific character to be successful or to have a fulfilling journey has not yet been answered.

These questions bring us to acting, an essential to produce emotional and believable character animation. Williams (2009) defines acting like something we do unconsciously every day. Humans tend to act differently in various situations and around different people. There are different characters within everybody, an actor's job is figuring out why somebody does what they are doing. In addition, acting requires great control over body language. The same consciousness helps an animator when it comes to creating a scene (Hooks, 2017). Williams (2009) wrote that the art director Ken Anderson said: "Pantomime is the basic art of animation. Body language is the root and fortunately it is universal." (p. 324)

Even though body language has a universal similarity; perception of an emotion, an object, an art piece, a character, a play, and a human being is not an easy thing to generalize. Everybody has their own background of events and emotions that affects their way of seeing the world around them and their interactions. Still, a person's first impression of another being is primarily focused on the emotional content (Schindler, et al. 2008). In addition, human perception is proved to be simulated. The human brain observes the actions of others and tries to predict the outcome of that or the following action while trying to make sense of the intentions of other biological beings, even when they are infants (Blakemore & Decety, 2001).

Ekman (1982) claimed that human expression is universal and defined the basic emotions as easiest to identify on other humans, which are happiness, sadness, anger, fear, surprise, and disgust. In his studies about the perception of emotions, he showed that it is easier to distinguish emotions through facial expressions and recognition. But this does not decrease the meaning and importance of body language as an indicator of intentions. In a 2008 study, emotional recognition based on the perception of the body pose of single images which does not show the facial expression clearly, proposed a system where computer categorizes these images into seven (six basic emotion + neutral). This study proved that although human expression is overly complex, it can be recognized based on 2D images and proposed an improvement can be made when 3D images and movement are added (Schindler, et al. 2008).

## Twelve Principles of Animation

The principles of animation were found to create a ground for the different aspects of animation design. They are used to explain various facts about the animated object/character and their emotional state depending on the scene they are in. Whether the animation is for a short movie or a game, these principles are the core of the animation design. Here below, there are short explanations for these principles (Lesseter & Rafael, 1987; Johnston & Thomas, 1994; Williams, 2009).

**Squash & Stretch:** An objects volume is always constant; however, its shape could be alterable with the energy flow. This flow may cause an object to squash or stretch depending on the movement. Environment, surface, material, and velocity affect the level of squash and stretch.

**Anticipation:** Movement usually needs preparation time; it does not start right away. The amount of the preparation defines speed and weight and draws the attention of the audience to the action that is about to happen. This preparation move is called anticipation.

**Staging:** This principle is important to show the idea of the scene clearly. A complicated or crowded scene does not read well by the audience. The main objective of the staging should be the essential part of the scene whether it is an action, an object or and an emotion.

**Straight Ahead and Pose to Pose:** These are behind the scenes techniques; animators usually use one of these two production methods to create animation. The result does not change thereby it is not something the audience sees but changes the animator's approach to a scene.

**Follow Through and Overlapping Action:** The body of a live creature never moves in blocks; the movement does not start or stop abruptly. There might be a loose part that follows behind like a ponytail or ears of a rabbit; this action is called follow-through. Similarly, overlapping action is the continued action of these loose parts. Both actions are directly tied to the law of inertia.

**Slow in & Slow Out:** This phrase stands for the acceleration and deceleration of movement. In animation as in real life, nothing starts moving at full speed or stops in an instant.

**Arcs:** In nature, most action follows an arc and imitating these arcs makes the animation look smoother and more natural.

**Secondary Action:** The secondary action is a technique to enrich a scene, add complexity, and show character traits without the need of telling them. It should not shadow the main action of the scene.

**Timing:** Timing is essential to portray a character. It determines how the audience will read the action, defines weight and personality.

**Exaggeration:** In animation, the most realistic approach is not usually the best one. A balanced approach with amplified movements and realism makes the scenes read better.

**Solid Drawing:** While making 2D animation, drawing is a must. In 3D it is not an obligatory skill but knowing anatomy and how the body works is still necessary to create animation.

**Appeal:** It does not have a solid recipe or rules. Thomas and Johnston (1994) describe appeal as "…anything that a person likes to see, a quality of charm, pleasing design, simplicity, communication, and magnetism." (p. 68)

Based on this body of study, in this paper, we employed the above principles of animation to convey basic human emotions that are happiness, sadness, anger, fear, surprise, and disgust on a simple character. We argue that basic gestures that are familiar to humans would be conveyed and understood regardless of the complexity of the designed character, thus we designed a video game with a ball as the main character. Not all the principles could be shown in the study given the plain design of the character and the desire to keep the animated emotions as clear as possible.

## 3. Investigating Emotions of a Ball

In order to understand how basic animations can convey human emotions, we designed a simple video game scene that uses basic emotions and animation principles. Body language for basic emotions was adapted to a simple computer-animated ball and participants were asked to determine "how the ball feels". While interpreting basic emotions into action, some of the basic principles played a bigger role than others. The most significant changes between animations were timing, anticipation, squash and stretch levels and height of the jump. The scene and the movement were kept simple, with only the character, ball, jumping up and down in front of a simple flat coloured background. (**Figure 1**). The animations were created at 24 frames per second and played as continuous cycles to remove the time constraint for the participants.

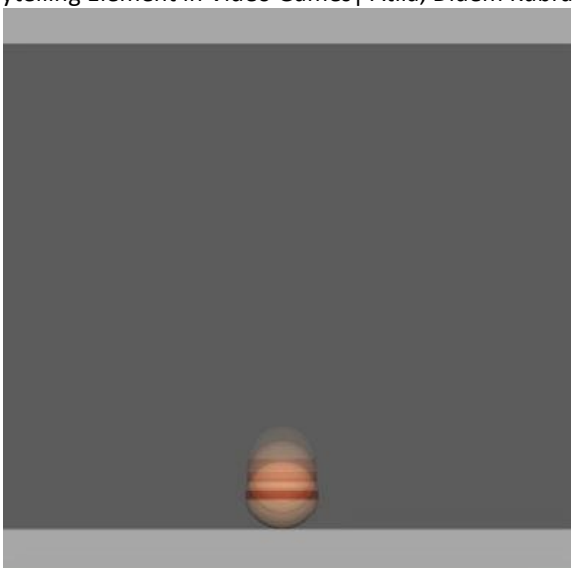


**Figure 1:** Time lapse of one of the animations that took part in the survey.

130 gamers who are from various age groups and occupations participated in the study. Animations were represented as an online survey that participants can interact through their phones or computers, and it was sent to them as a hyperlink using multiple platforms. They were asked to observe the ball animation in the scenes one by one and choose the emotion that represents the feeling most. The emotions were six basic ones, that are, happy, sad, fear, disgust, surprise, anger and neutral. They were not required to have any pre-knowledge about the subject nor informed about the aim of the study, their only focus was animations in order to keep the results simple and as authentic as possible.

The results showed that people can determine some emotions more straightforward than others even when they see just a ball that's movement is restricted to jumping up and down by looking at the difference in timing and anticipation. Simulating some of the other principles were not as effective.

Two animations that were perceived as "happy" were only similar in timing. The time charts that show the key points of each action with frame numbers are given below (**Figure 2, Figure 3**). **Figure 2** is a simpler chart, there are no animation principles involved except for timing, the ball starts to move at frame 0, its highest point is frame 6 and lands at frame 12, making a symmetrical movement. While **Figure 3** shows a more complex movement within the same timing. There is a two-frame window where the ball squashes and the jump can be anticipated, it goes to the highest point in frame 6 again but it stretches during the jump and floats in the air for one frame when it is on the top, afterwards it lands on frame 11 and squashes for one frame, turning back to its original form. As the results show, the complexity is not meaningful for the observer in this case; even though the dominant emotion is the same in both cases, the simpler animation was more clearly perceived as happy (**Figure 4**).

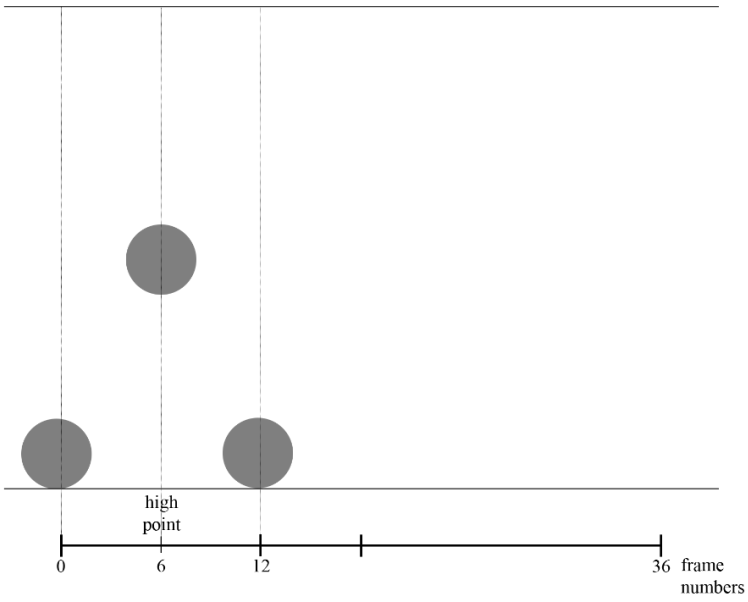



**Figure 2:** Time chart for the first “happy” animation.

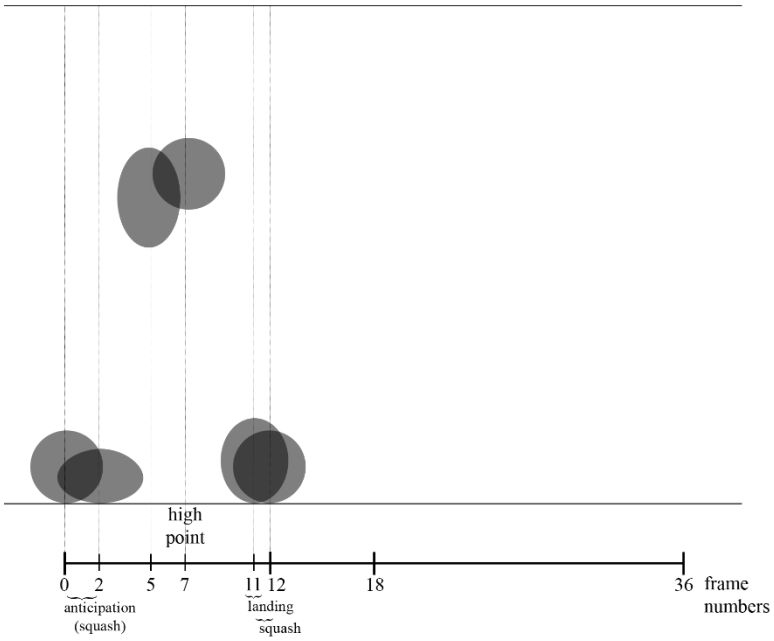



**Figure 3:** Time chart for the second “happy” animation.

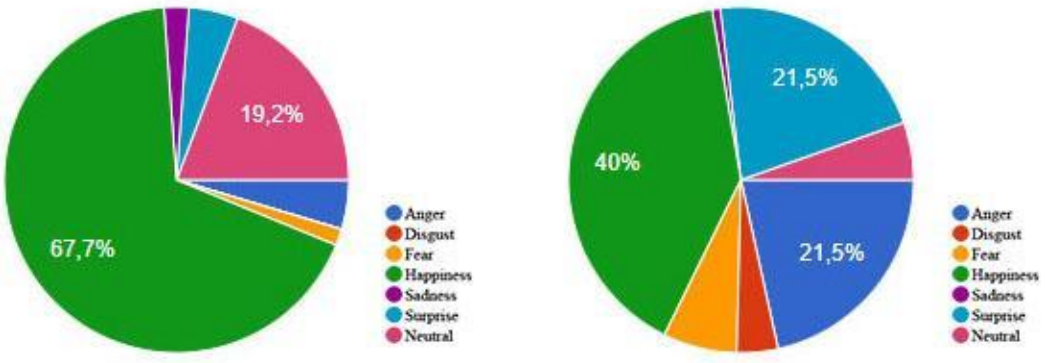



**Figure 4:** Participants’ responses for the first “happy” animation (left), for second “ happy” animation (right)

One animation that was perceived as “sad” has slower movements compared to others (**Figure 5**). It has a long anticipation time, small squash, does not jump as high as others, and has an adjusting time after landing before the movement begins again. Even though the frame rate for staying in the air is similar to the animations that were seen as “happy”, the lower jumping point moves slower than others. The timing, the long anticipation, long squash and stretch levels are intended to give a heavier and tired feeling. Results indicated that over 50% of participants had a feeling of sadness from the jump (**Figure 6**).

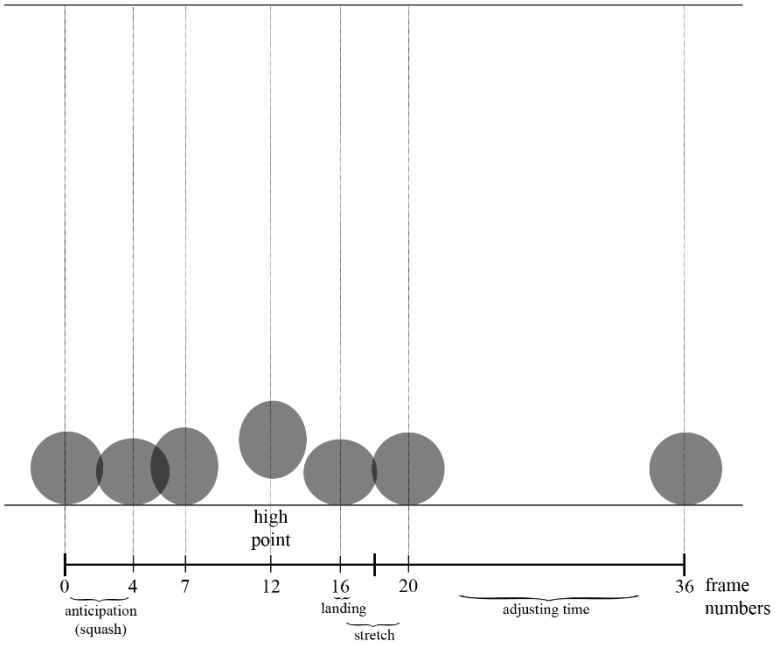



**Figure 5:** Time chart for the “sad” animation

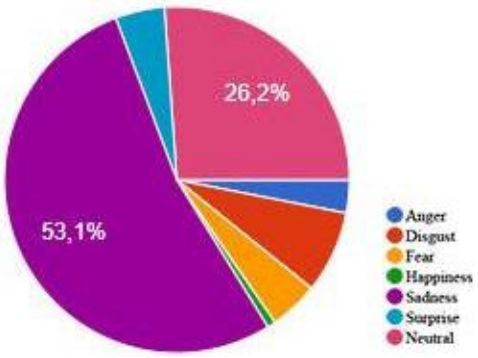



**Figure 6:** Participants’ responses for “sad” animation

The “fearful” animation does also have a quite simple movement. The timing is two times faster than “happy” animations, but it jumps lower like the case of “sad”, so it is not perceived as fast as it seems on the time chart (**Figure 7**). It was intended to give an impatient and fearful feeling with fast-paced and low, continuous jumps. To ensure that, there is no anticipation in the beginning or adjusting time after landing. It also gave the expected result by having almost 44% “fearful” answer. (**Figure 8**).

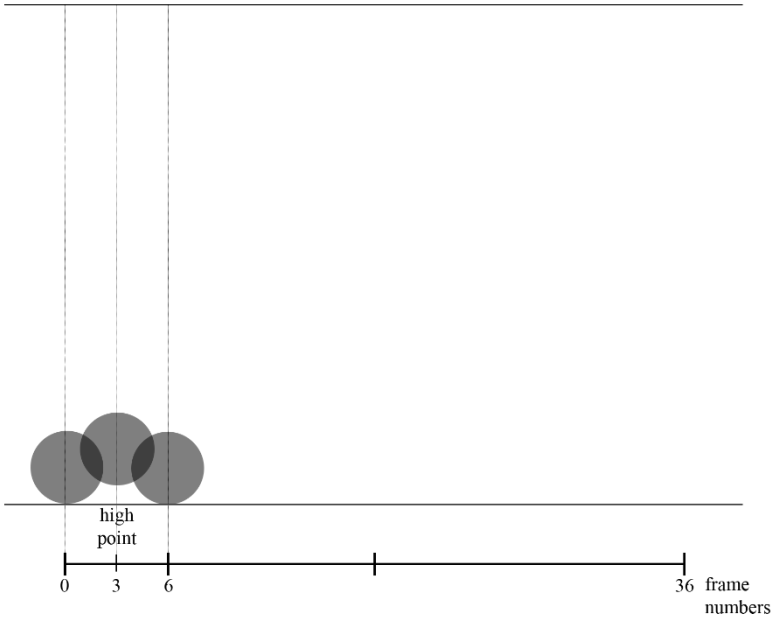



**Figure 7:** Time chart for the "fearful" animation

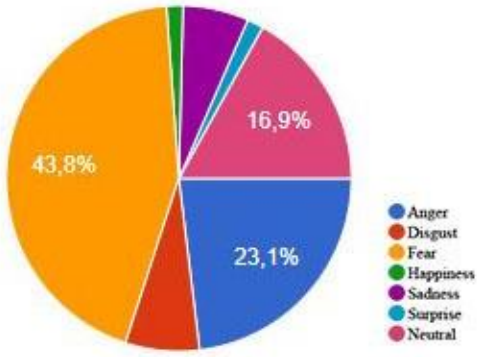



**Figure 8:** Participants' responses for "fearful" animation

The other animations did not give as clear results as the first four. The first one, "angry", has the most complex movement between all animations in the study (**Figure 9**). Its anticipation happens in two stages, the first stage is aimed to show that it is observing something, and the second stage is the actual anticipation for the jump. The fast and big jump is intended to be its angry reaction. There is also an adjusting time that is added to the observation time at the start when it played as a continuous loop.

Lastly, **Figure 10** portrays the "surprise" animation with a fast jump and adjusting time afterwards. It has big anticipation to indicate the high jumping point. The jump is almost identical to the second "happy" animation except for a little timing change, the higher jumping point, and added adjusting time. It needs to have an abruptness in it, so the adjusting time is added to give some time to breathe. That breaks the cycle causes it to have a sudden movement when it played in continuous loops and not perceived as a continuous jump.

As we can see the results on **Figure 11**, they do not have one dominant answer, instead, they were perceived as either "surprised", "angry" or "neutral". The animation that was intended to be surprising was perceived as "angry" or "neutral" while the animation that was supposed to be "angry" was either "surprise" or "angry".

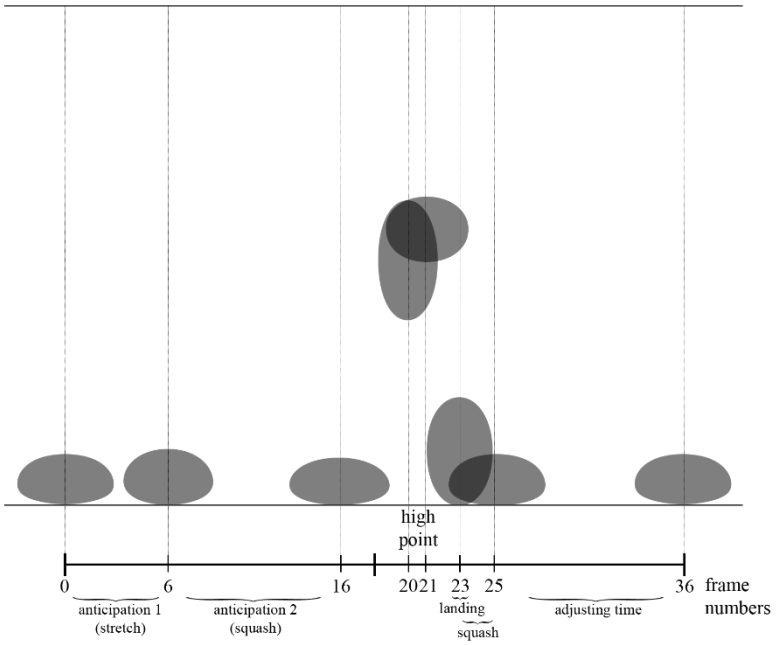



**Figure 9:** Time chart for the "angry" animation

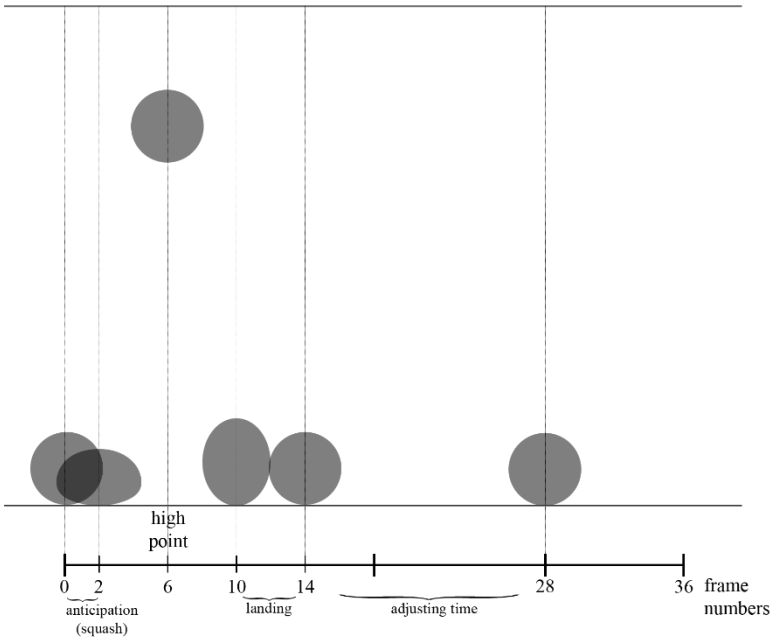



**Figure 10:** Time chart for the "surprise" animation

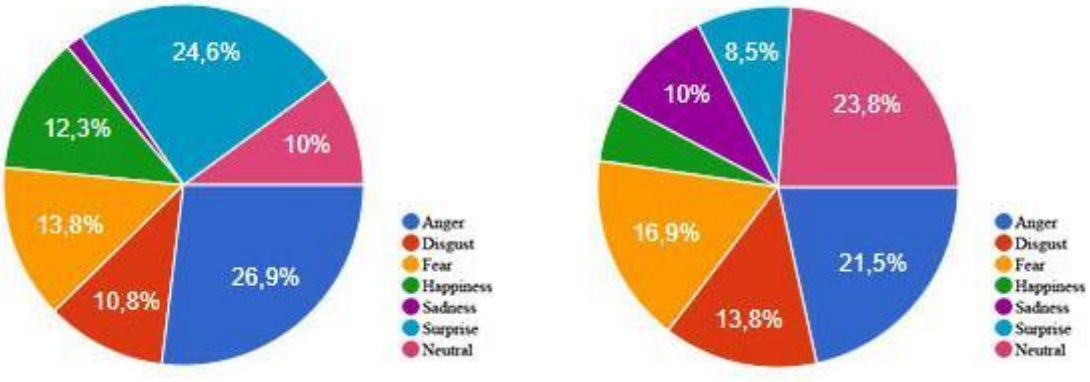



**Figure 11:** Participants' responses for "angry" animation (left), for "surprise" animation (right)

## 4. Discussion and Conclusion

In this study, we investigate whether animation could enrich storytelling by using the basic principles that animated movies used for almost a century. In order to understand how basic emotions can be narrated through a simple character, we asked participants to determine the emotions of a simple animated ball character. The survey results clearly showed that some emotions are more complicated than others nonetheless, people can make assumptions about the emotional state of a character even when the given character is as simple as a ball.

Humans tend to experience emotion and stories even when there is not a complex, intelligent design that demonstrates a narrative because they understand the world around them better and get involved with emotional content. As humans tend to build a story with the perceived elements around them (as suggested by Storr, 2020), the study participants also engaged with the animated ball's gestures in the scene and feel what the ball feels, in particular, the feelings of happiness, sadness, and fearfulness. Our results confirmed that motion can improve the recognition of emotions as Schindler et al. (2008) suggested. Although animating a character as simple as a ball is just a first step into more detailed studies with complex character animations, as we can see in the case of "happy", "sad" and "fearful", it is possible to convey emotions through nothing but motion. This research also indicates Ekman's (1982) study that human expression is universal and defines the basic emotions as easiest to identify with the exception of "surprise", "anger", and "disgust". These emotions could require more contextual elements to convey the meaning, and this requires further investigation.

A more complex character that contributes to an emotional story in an interactive setting is aimed to be the subject for further studies. The outcomes could be helpful with the animation design process on video games to give the players a wider link between themselves and characters, furthermore, it can open grounds for deeper storytelling opportunities in interactive settings. The visual mediums have different ways to imitate the emotional content and the interactive nature of video games gives animation new possibilities for different narrative experiences.

## REFERENCES


Blakemore, S. J., & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(8), 561–567. https://doi.org/10.1038/35086023

Carlquist, J. (2002). Playing the story: Computer games as a narrative genre. *Human IT*, *6*(3), 7–53. https://humanit.hb.se/article/view/144

Catmull, E. (2014). *Creativity Inc. overcoming the unseen forces that stand in the way of true inspiration.* Random House. ISBN: 978-0-8129-9301-1

Cooper, J. (2019). *Game anim video game animation explained.* CRC Press, https://doi.org/10.1201/b22299

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1982). Felt, false, and miserable smiles. In *Journal of Nonverbal Behavior* (Vol. 6, Issue 4, pp. 238–252). https://doi.org/10.1007/BF00987191

Figueiredo, C. (2015). Narrative and visual cinematic strategies in communication design. *Procedia Manufacturing*, *3*, 4358–4361. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.431

Haggis, M. (2016a). Creator's discussion of the growing focus on, and potential of, storytelling in video game design. *Persona Studies*, *2*(1), 20. https://doi.org/10.21153/ps2016vol2no1art532

Haggis, M. (2016b). *Video games and the value of entertainment*. ISBN: 978-90-819011-9-2

Hooks, E. (2017). *Acting for animators: 4th Edition.* Routledge. ISBN: 978-1138669123

Jenkins, H. (2004). Game design as narrative architecture. *First Person, 44(53), 118-130.*

Lesseter, J. & Rafael, S. (1987). Principles of traditional animation applied to 3D Computer animation. *Computer Graphics, 21(4), 35-44* https://doi.org/10.1145/37401.37407

Lindley C.A. (2005). Story and narrative structures in computer Games. *Developing Interactive Narrative Content, Sagas/Sagasnet Reader (ed. B. Bushoff)*, 218–245. High Text, Munich, Germany.

McKee, R. (1997). *Story: Substance, structure, style, and the principles of screenwriting.* It Books. ISBN: 978-0060391683

O. Johnston & F. Thomas. (1994). *The illlusion of life: Disney animation.* Disney Editions, ISBN: 0-7868-6070-7

Schindler, K., Van Gool, L., & de Gelder, B. (2008). Recognizing emotions expressed by body pose: A biologically inspired neural model. *Neural Networks*, *21*(9), 1238–1246. https://doi.org/10.1016/j.neunet.2008.05.003

Storr, W. (2020). *The Science of storytelling: Why stories make us human and how to tell them better.* Abrams Press, ISBN: 978-1419743030

Wells, P. (2013). *Understanding animation*. Routledge, https://doi.org/10.4324/9781315004044

Williams, R. (2009). *Animator's survival kit. Extended Edition.* Farrar, Straus, and Giroux. ISBN: 978-0-86547-897-8

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Hesaplamalı Tasarımda Disiplinler Ötesi Kavramlar ve Eğitime Yansımaları

Burak Delikanlı [1]; Gülen Çağdaş [2]
[1;2] İstanbul Teknik Üniversitesi
[1;2] https://avesis.itu.edu.tr/
[1;2] {burak.delikanli/cagdas}@itu.edu.tr

## Özet

*Enformasyon ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, bilimsel devrimden bu yana ivmelenen uzmanlaşmanın yarattığı disiplinlerarası kopuklukları azaltabilmek için aranan ortak zemini oluşturmuştur. Özellikle bilişim teknolojilerindeki gelişmelerin pek çoğu matematik, biyoloji, fizik, tıp ve felsefe gibi temel alanların birbiriyle etkileşiminden doğmuş teoremlere dayanmaktadır. Ayrıca, bilginin demokratikleşmesi mimarlık disiplininin diğer disiplinler ile birçok alanda kesiştiği hesaplamalı tasarım gibi alanları sürekli olarak beslemektedir. 1960'ların avangart mimarları sibernetik, yapay zeka gibi disiplinler ötesi alanları yakından takip etmiş ve çalışmalarında mimarlığa farklı bakış açıları getirmişlerdir. Bugün ise çağdaş mimarlığın kapsayıcı durumu pek çok disiplin ile ortaklık doğurmakta; disiplinler ötesi kavramlar ve çalışmaların, hesaplamalı tasarım ve mimarlık bağlamında değerini arttırmaktadır.*

*Hesaplamalı düşünme disiplinler ötesi alanlarla birlikte mimarlıkta da önem kazanan kavramlardan biri olmuştur. Evrene ve sistemlere olan bakış açımızı, anlam ve değer yargılarımızı etkileyen ve bilişsel bir yeti olan hesaplamalı düşünme insan zihni ve teknolojiyi ortak bir paydada buluşturma potansiyeline sahiptir. Mimarlık eğitimindeki sezgisel yöntemlere ve deneyimle aktarılan bilgiye ek olarak öğrencilere kazandırılacak hesaplamalı düşünme yetisi rasyonel bilimler ve bilişim teknolojileri ile bir köprü kurmaya yardımcı olacak ve disiplinler ötesi çalışmaları hızlandıracaktır.*

*Bu bildiri, hesaplamalı tasarım düşüncesini lisansüstü öğrencilere kazandırmayı hedefleyen iki farklı derste, disiplinler ötesi kavramları çıkış noktası olarak alan ve hesaplamalı tasarım yaklaşımlarıyla geliştiren öğrenci çalışmalarına odaklanmaktadır. Bu derslerdeki kavramdan, tasarıma ve üretime ilerleyen çalışmalar, kullanılan hesaplamalı tasarım yaklaşımları ve tasarım-üretim araçları bakımından mimarlık için disiplinler ötesi çalışmalara örnek teşkil etmektedir. Bu çalışmaların hesaplamalı tasarım araştırmacıları ve mimarlık öğrencileri arasında yaygınlaşması bilgi toplumunda mimarlığın ve mimarın konumunu daha da kuvvetlendirecektir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Hesaplamalı tasarım yaklaşımları, üretken sistemler, kavramsal tasarım, hesaplamalı tasarım eğitimi.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Delikanlı, B., & Çağdaş, G. (2021). Hesaplamalı tasarımda disiplinler ötesi kavramlar ve eğitime yansımaları. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 93-104). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Transdisciplinary Concepts in Computational Design and Reflections on Education

Burak Delikanlı [1]; Gülen Çağdaş [2]
[1;2] İstanbul Technical University
[1;2] https://avesis.itu.edu.tr/
[1;2] {burak.delikanli/cagdas}@itu.edu.tr

## Abstract

*Developments in Information and Communication Technologies (ICT) have formed the common ground sought to reduce the interdisciplinary gaps created by specialization, which have accelerated since the scientific revolution. Significantly, most of the developments in information technologies are based on theories arising from the interaction of fundamental fields such as mathematics, biology, physics, medicine, and philosophy. Furthermore, the democratization of knowledge constantly feeds areas such as computational design, where architecture intersects with other disciplines in many fields. The avant-garde architects of the 1960's closely followed transdisciplinary fields such as Cybernetics and Artificial Intelligence (AI) and brought different perspectives to architecture with their work. Today, the inclusiveness of contemporary architecture causes partnerships with many disciplines and increases the value of transdisciplinary concepts and studies in the context of computational design in architecture.*

*Computational thinking has become one of the concepts that gain importance in architecture along with transdisciplinary fields. Computational thinking, a cognitive ability that affects our view of the universe, systems, meaning, and value judgments, can bring together the human mind and technology. Therefore, the computational thinking ability gained by the students with the experience and heuristic methods in architectural education will help build a connection with rational sciences and information technologies and accelerate transdisciplinary studies.*

*This paper focuses on student works that take transdisciplinary concepts as a starting point and develop them with computational design approaches in two different graduate courses aiming to introduce computational design thinking to students. The student works that progress from concept to design and production in these courses are examples of transdisciplinary studies for architecture in terms of computational design approaches and design-production tools. The spread of these studies among computational design researchers and architecture students will further strengthen the position of architecture and architects in the information society.*

***Keywords:*** *Computational design approaches, generative systems, conceptual design, computational design education.*

**Citation in APA Style:** Delikanlı, B., & Çağdaş, G. (2021). Transdisciplinary concepts in computational design and reflections on education. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 93-104). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Son yıllarda enformasyon ve iletişim teknolojilerindeki hızlanarak artan gelişmeler, hesaplamalı tasarımı mimarlık eğitiminin temel konularından biri haline getirmiştir. Artık bilgisayarlar, zihinde kavramsallaştırılmış tasarımı temsil etmek ve depolamak için bir araç olmanın ötesine geçmiş; tasarımcının bilgisayarın hesaplama gücünden (nitel ve nicel olarak) faydalanarak tasarımlar geliştirdiği bir ortam ve işbirliği yapabileceği bir ortak rolünü üstlenmiştir. İşbirliğinin biçim, içerik ve yoğunluğu, dijital teknolojilerin tasarım sürecinin kavramsal ön aşamalarından başlayarak, son ürünün üretimine dek süren geniş bir ölçeğe etkimesi ile ayrıştırılamaz bir bütünselliğe doğru evrilmektedir.

Tüm bu gelişmelerin yanı sıra, bilişim teknolojilerinin:

- Doğa bilimlerinde, karmaşık sistemler, bulanık mantık, kaos teorisi ve fraktal geometri;
- Mühendislik bilimlerinde, yapay zeka, yapay sinir ağları, nanoteknoloji ve genetik algoritmalar;
- Sağlık bilimlerinde, robot protezler, yapay organlar;
- Sosyal bilimlerde, büyük veri, sosyal sistemler teorisi, doğal dil işleme;

gibi çok çeşitli bilgi ve teknoloji alanlarına uzanan geniş bir yelpazede yer alması, disiplinlerarası etkileşimi arttırmıştır.

Bilgisayarların özellikle kavramsal tasarım sürecinde bir ortam ve ortak olarak kullanımı ise tasarımcının düşünme biçimini ve tasarım yöntemlerini kaçınılmaz olarak etkilemiş ve değiştirmiştir. Geleneksel olan tasarım, örtük ve sezgisel bir süreçtir. Tasarımın bir kağıt ve kalem yerine bir bilgisayar yazılımı ile gerçekleştiği durumda, süreç geleneksel tasarımdan farklılaşmadan örtük ve sezgisel olarak ilerlese de, kullanılan araç değiştiği için tasarımcının düşünme biçimi de yazılımın sağladığı araçlara dayalı olarak değişmektedir. Bunun ötesinde tasarımın programlama dilleri ile gerçekleştiği durumda ise süreç geleneksel tasarımdan farklılaşarak açık bir biçimde sonlu adımlar olarak tarif edilen algoritmalara dayanmaktadır. Günümüzde tasarımcılar tarafından yaygın olarak kullanılan betik ve programlama dilleri ile geliştirilen algoritmalara çevrim içi platformlardan kolayca erişilebilmektedir. Başka bir kişinin geliştirdiği algoritma, tasarımın belirli aşamalarını destekleyebilmekte veya yeni bir tasarım problemine adapte edilebilmekte, değiştirilebilmekte ve geliştirilebilmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak yaratıcı ve ileri aşamalara taşınmış tasarımlar ortaya çıkabilmekte iken tasarım açısından yeterince sorunsallaştırılamamış, biçimsel anlamda birbirine benzeyen, eklektik ve yaratıcılık ışığı barındırmayan çok sayıda ürün de ortaya çıkmaktadır.

Bildirinin amacı, tasarımcıların hayal gücünü genişleteceğine inanılan disiplinler arası/ötesi kavramların tasarım sürecine ve ürününe yansımalarını ve etkisini tartışmaktır. Ayrıca, bir kavramın, bir mimari tasarımın üretici ve evrimsel sistem kurallarına nasıl dönüştürülebileceğini tartışmayı amaçlamaktadır.

Bildiride, İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programında yürütülen Bilgi Tabanlı Mimari Tasarım ve Mimari Tasarımda Üretken Sistemler isimli zorunlu dersler kapsamında yapılan öğrenci çalışmaları, kuramsal çerçevesi ve uygulama örnekleri ile tartışılacaktır. Bu derslerde amaç:

- Hesaplamalı düşünme becerisini geliştirmek;
- Hesaplamalı tasarım yaklaşımlarıyla yaratıcılığı yakalamak;
- Disiplinler ötesi kavramları tasarıma ve üretime yansıtmak;
- Tasarımda disiplinler ötesi işbirliği ortamını güçlendirmektir.

## 2. Hesaplamalı Düşünme ve Tasarım Eğitimi

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin mimarlık alanına ve eğitimine ilk yansımaları, programlama pratikleri ile teknik bir beceri (hard skill) olarak gerçekleşmiştir. Günümüzde ise, farklı bilişsel eylem ve kavramların birlikteliğinden oluşan esnek bir beceri (soft skill) olarak bilişim teknolojilerini aktif kullanan çoğu disiplinin eğitim müfredatında temel bilişsel bir değer olarak yer alması gerekmektedir (Öksüz, 2020).

Hesaplamalı düşünme, bir problemi formüle ederken, insan ve makine zekâsını bir araya getirerek hesaplamalı bir çözüm üretmeye yarayan bilişsel bir eylem olarak tanımlanmaktadır (Wing, 2017). Bu kavram, yalnızca mühendislik programlarına veya makineye özgü bir hesaplama becerisi değil, soyut düşünmeyi, farklı eylem ve becerileri birlikte kullanmayı gerektiren bilişsel bir değerdir. İnsan zihni ve teknolojiyi sistematik bir çerçeve ile ortak bir paydada

buluşturma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel, öğrenmeye yardımcı olmanın yanı sıra, bireyin düşünme sürecini destekleme, yönlendirme ve genişletmede rol oynar (Öksüz, 2020).

Hesaplamalı düşünme; bilişsel kavramları ayrıştırma, örüntü tanıma, soyutlama ve algoritmik düşünme olarak ifade edilen dört temel kavramı içermektedir (BBC Bitesize, t.y.). Mimarlık eğitiminde bu temel kavramlar, genellikle sezgisel yaklaşımlarla ve öğrenim deneyimleriyle kazanılmaktadır. Mimarlık eğitiminde hesaplamalı düşünmeye ve hesaplamalı tasarım yaklaşımlarına yer vermenin öğrenci açısından stratejik önem taşıdığını söylemek mümkündür (Öksüz, Çağdaş, 2020a; 2020b).

Bu bildiride, hesaplamalı düşünmenin temel bilişsel kavramları bağlamında, disiplinler ötesi kavramları çıkış noktası olarak alan ve hesaplamalı tasarım yaklaşımlarıyla geliştirilen öğrenci çalışmalarından seçilen örnekler sunulacaktır.

## 3. Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımları

Günümüzdeki tasarımların çoğu, Stiny'nin söylediği gibi (2012), bileşenlerin nasıl etkileştiğinin görülmediği, bileşenler arasındaki ilişkilerin anlaşılmadığı, var olan algoritmanın tasarım niyeti doğrultusunda değiştirilebilecek esnekliğe sahip olmadığı ve dolayısıyla algoritmik ideolojilerin tasarımın önüne geçtiği ürünlerdir. Bu yanlışa düşmemek için, tasarımcı aşağıdan yukarıya bir yaklaşımla, tasarım içindeki farklı etkenler arasındaki ilişkileri tanımlamak, yeni mekansal ilişki biçimleri önermek ve bunları düzenlemek hedefiyle algoritmaya dayalı parametrik bir model geliştirmelidir. Yaratıcı ve özgün mekansal ilişki biçimleri önermek için, tasarımcı mimarlık dışı disiplinlere ait olguları da tanımlayan ilişkileri, kuvvetleri, ağları, yapıları veya ortamları parça/bütün ilişkisine dayanan bir anlayışla yeniden sorgulamalıdır. Bu bağlamda, lisansüstü derslerdeki araştırmacılarla üretken sistemler ve hesaplamalı geometri gibi yaklaşımlar kuramsal ve uygulamalı olarak örnekleriyle incelenmektedir.

### 3.1. Üretken Sistemler

Dinamik prosedürler ve sonuçlar aracılığıyla dünyayı görmenin ve anlamanın bir yolunu sunan, üretken sistemler, tasarım sürecinde tasarımcıyı destekler ve hesaplamalı tasarımın potansiyelinden yararlanarak alternatif çözümlerin keşfedilmesini kolaylaştırır. Ayrıca üretimsel metodoloji, yeni bir kavramsallaştırma ve tasarım inşası yolunu tanımlar. Bu sistemler, tasarım ilkelerinin, üretim kurallarının ve tasarım öğeleri arasındaki ilişkilerin algoritmik tanımlarına dayanmaktadır. Üretken tasarım yaklaşımı, tasarım alanını genişletir ve tasarımcının yorum ve değerlendirmelerini deterministik ve stokastik algoritmalara dönüştürerek tasarımın yaratıcı yönlerini destekler. Mimarinin doğal ve malzeme bilimleriyle birleşimi ve yaratmaya farklı yaklaşımlar, disiplinler arasındaki sınırları zorlayan yeni bir bilgi üretme biçimi ortaya koyar. Araştırmacılar Üretken Sistemleri; Biçim Gramerleri, Fraktaller, L-Sistemler, Öz-Örgütlü Sistemler, Sürü Davranışı, Evrimsel Algoritmalar, Hücresel Özdevinim, Etmen Tabanlı Sistemler başlıklarıyla tanımlamaktadır (Singh & Gu, 2012; Caetano, ve diğ., 2020).

Geometri, fizik, kimya, biyoloji gibi birçok disiplin dışı alana ait kavram, hesaplamalı tasarım yaklaşımları bağlamında yenilikçi tasarımlar kurgulayarak üretken kurallar ve ilişkilerin geliştirilmesinde yol gösterici olabilmektedir. Söz konusu hesaplamalı tasarım yaklaşımları, tasarımcının yaratıcı yönünü destekleyerek tasarım uzamının genişletilmesinde rol almaktadır. Mimari tasarım eğitiminde, bu yaklaşımların tasarım sürecine dahil edilmesi ve öğrenciler tarafından deneyimlenmesi için gerekli ortamların sağlanması önem kazanmaktadır.

Hesaplamalı tasarım yaklaşımları bağlamında üretken sistemlerin önemli bir rolü vardır. Üretken tasarım süreci:

- Matematiksel ve mantıksal ifadeleri algoritmalarla sayısal ortama aktarma,
- Bilgiyi parametrik değerlerle bilgisayar ortamında depolama,
- Parametrelere bağlı olarak işlem yapma,
- Görsel programlama dilleriyle grafik anlatımlara dayalı bir süreçtir.

Üretken sistemler uyarlanabilir, esnek ve programlanabilir kurgular sunabilir; işlevsellik, taşıyıcılık ve malzeme önerileriyle bütünleştirilerek tasarım önerileri geliştirilebilir.

### 3.2. Hesaplamalı Geometri

Mimarlığın geometri ile olan ilişkisi, hesaplamalı yaklaşımlar ve yöntemler bağlamında yeni bir boyut kazanmış ve Öklidyen olmayan geometriler tasarımlarda daha çok ön plana çıkmaya başlamıştır. Farklı geometrik kurgular, tasarımda yaratıcı süreci tetiklemede potansiyeller sunarlar. Hesaplamalı geometri alanındaki gelişmelerin tasarıma yansımaları Hiperbolik Geometri, Eliptik Geometri, Riemann Geometrisi, Fraktal Geometri gibi bağlamlarda ortaya çıkmaktadır.

Fraktal geometri, 1970'li yıllarda Mandelbrot'un doğadan esinlenerek geliştirdiği ve evrendeki her şeyin Öklidyen geometriyle açıklanamayacağını savunmasıyla birlikte önerdiği üretken bir geometrik düzendir. Birçok fraktal kurgu, kaynağını 19. Yüzyıl matematikçilerinden almıştır. Mandelbrot önerdiği bu geometrik düzenle bilgisayar destekli tasarım alanındaki birçok çalışmanın temelini hazırlamıştır (Bovill, 2013). Matematiksel etkileri ve tasarım yöntemlerinde değerlendirilmesinin dışında fraktaller fizik, kimya, biyoloji ve akışkanlar mekaniği gibi değişik disiplinlerde önemli etkiler yaratmıştır (Patrzalek, t.y.).

Fraktaller, tüm ölçeklerde kendi içinde tekrar eden örüntüler sergileyen, geometrik kurgulardır. Fraktal bir kurgunun en küçük elemanına kadar yaklaşıldığında "kendine benzer" birçok ayrıntıya ulaşılmaktadır. Fraktal geometriyle, üretilen basit bir biçim tekrar eden algoritmik bir yapıyla sonuçta karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Bu algoritma bir başlangıç durumu ve bu başlangıç durumuna uygulanan bir üretim kuralı ile kendi kendine benzeyen biçimleri üretmektedir (Çağdaş, 1994).

19. Y.Y.'ın ikinci yarısında Karl Weierstrass, Alfred Enneper, Hermann Schwarz, Bernhard Riemann gibi dönemin önemli matematikçilerinin yaptığı araştırmalarla minimal yüzeyler formüle edilmiştir. Üç boyutlu bir çerçeve içerisinde bulunan minimal yüzeyler tek yönde, iki yönde veya üç yönde kendilerini tekrar ederek, bütün yüzeyin her noktasında minimal yüzey özelliklerini korurlar. Minimal bir yüzey tarafından ayrılan iç ve dış mekanların süreklilikleri ve akışkanlıkları, mimari açıdan zengin mekansal ilişkiler kurulmasına olanak sağlamaktadır (Güner, 2016; Güner & Çağdaş, 2019).

## 4. Disiplinler Ötesi Kavramlar ve Tasarımdan Üretime Uygulamaları

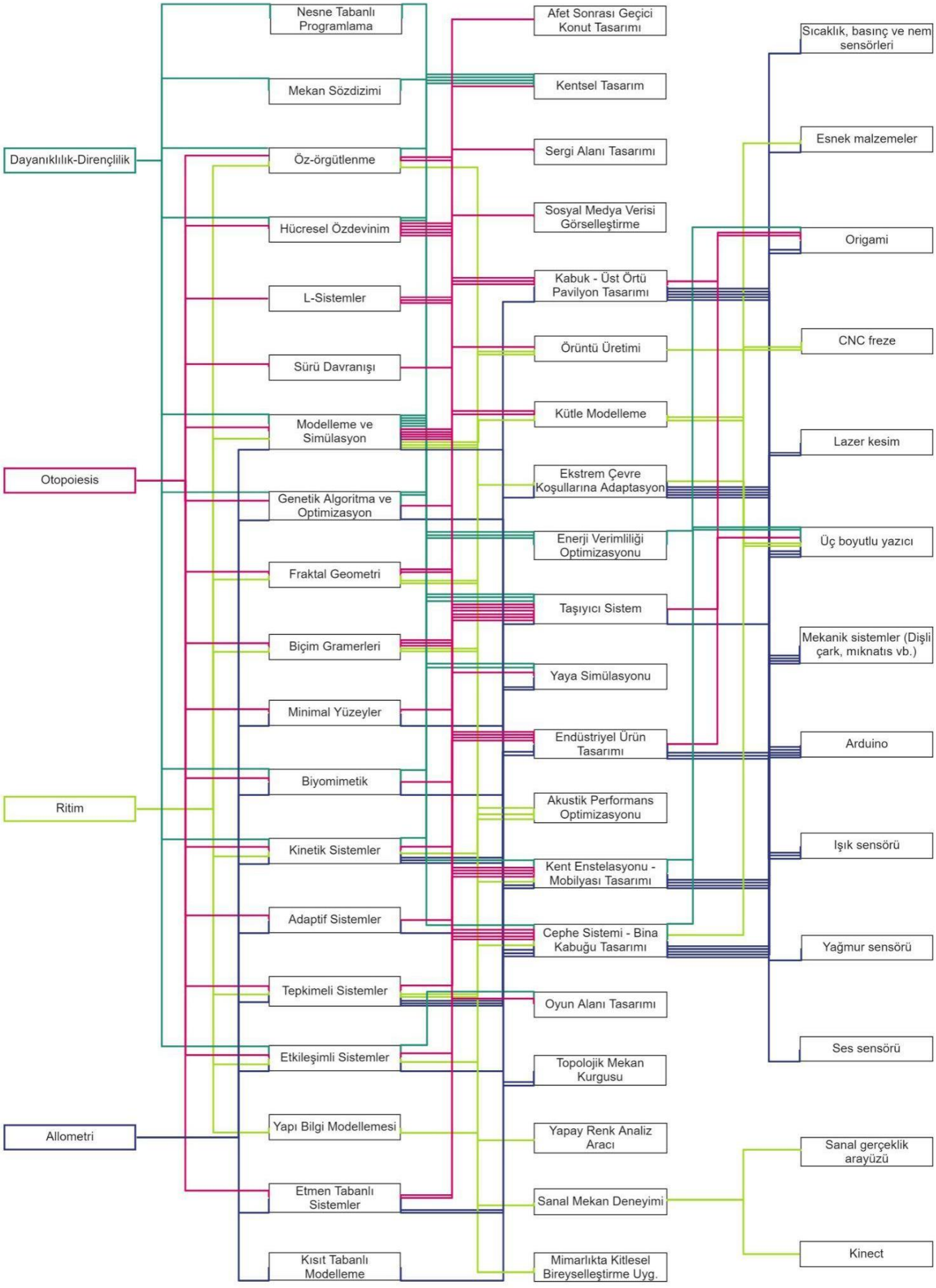
Lisansüstü öğrencilere iki dönem boyunca haftada üç saat olmak üzere; hesaplamalı tasarım alanının temel yaklaşımlarını, uygulamalarını ve kuramlarını içeren teorik anlatımlar, makaleler ve tartışma ortamları sunulmaktadır. Derslerin amaçları doğrultusunda; Dayanıklılık/Dirençlilik/Esneklik (Resilience), Otopoiesis (Autopoiesis), Ritim, Allometri (Allometry), Yörünge (Trajectory), Anizotropi (Anisotropy), Belirme (Emergence), Entropi (Entropy), Morfogenetik (Morphogenesis) ve Lorenz Çekicileri (Lorenz Attractor) gibi hayal gücünü tetikleyici, farklı ölçeklerde kurgulanabilir, içerik ve bağlamda serbestlik sağlayacak disiplinler ötesi kavramlar dönem teması olarak belirlenmektedir. Hesaplamalı düşünmeyi geliştirebilmek amacıyla öğrenciler, belirlenen disiplinler ötesi kavramlar odağında, seçtikleri araçları kullanarak yaratıcılık potansiyellerini dönemlik projeler üzerinden deneyimlerler.

Proje çalışmalarında belirlenen kavramı üretken sistemler bağlamında ele alarak; ürün, malzeme, yapı elemanı, strüktürel sistem, mekanik, kentsel tasarım, mimari form üretimi, sosyal ve fenomenolojik analizler gibi farklı ölçek ve kapsamlarda tartışarak tasarıma yansıtırlar. Geçmiş dönemlerde seçilen Dayanıklılık/Dirençlilik, Otopoiesis, Ritim ve Allometri kavramları odağında öğrencilerin seçtikleri hesaplamalı tasarım yaklaşımları, tasarım konuları ve yapım araçları arasındaki bağlantı **Tablo 1**'de gösterilmiştir. Bu tablo disiplinler ötesi terimlerin çeşitliliği ve yaratıcılığı tetiklemede etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

Öğrenciler; tasarımda disiplinler ötesi etkileşimi arttırmak için seçilen bu kavramların temsil ettiği anlamları, yapıları, bağlantıları, ilişkileri, kuvvetleri ve davranışları araştırarak:

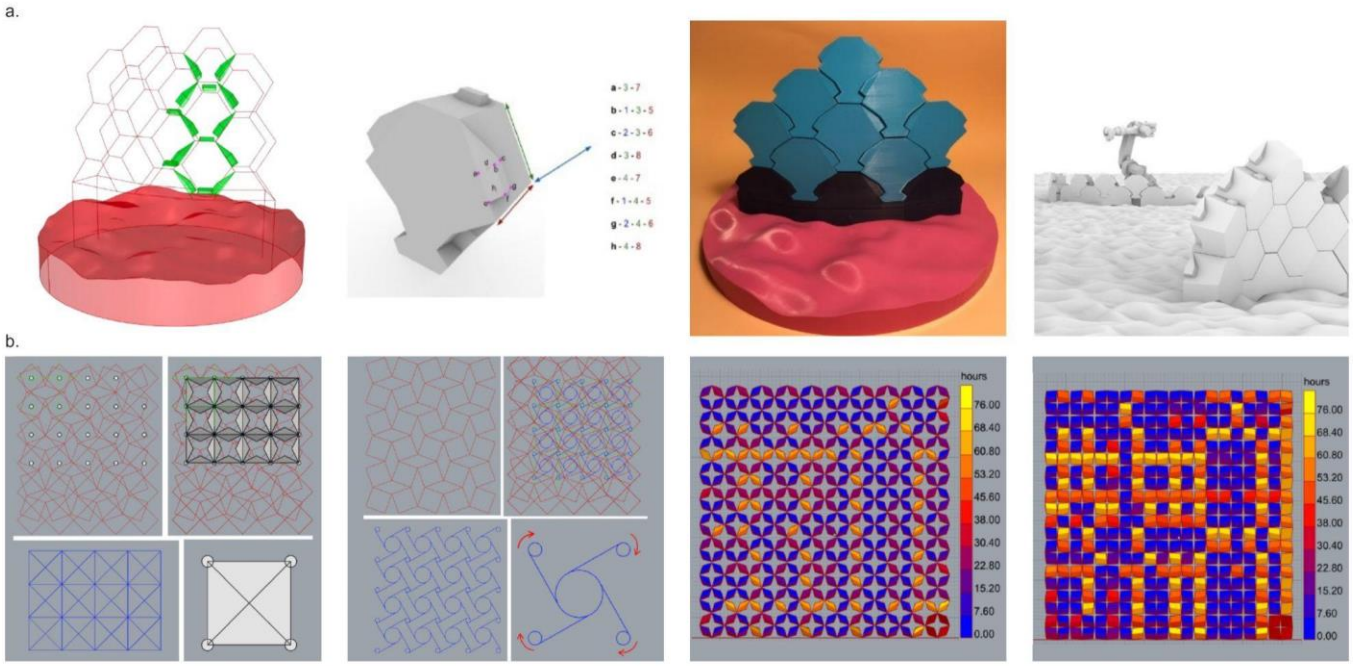
- Rasyonel ilişkileri çözümler,
- Süreci sistemleştirir,
- İlişkileri yeniden yorumlar,
- Kural sistemlerini oluşturur,
- Matematiksel modelleri geliştirir, uygular ve üretirler.

**Tablo 1:** Disiplinler Ötesi Kavramlar, Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımları, Tasarım Konuları ve Prototipleme Araçları
(Tablo Tasarımı: B. Hamzaoğlu)



**Dayanıklılık/Dirençlilik/Esneklik:** Bu kavram, sistemlerin karmaşık dinamiklerden oluşan ekolojilerde ilişkileri koruyarak ve zaman zaman dönüştürerek devamlılığını sağlama kabiliyetini ifade eder. Sistemlerin parça-bütün ilişkileri, sınırları ve algoritmik kurguları ile ilişkilendirilebilir. Mimari ve kentsel tasarım bağlamlarında dayanım ve esneklik; iklimsel, sosyal, kültürel, yapısal olarak ve daha pek çok farklı şekillerde kurgulanabilir.

Öğrenciler bu kavramı kentsel tasarım, taşıyıcı sistem tasarımı, üst örtü ve kabuk tasarımı, yaya simülasyonu modelleri ve kent mobilyası tasarımı gibi pek çok farklı ölçekte ele almış ve tasarım ve prototipleme aşamalarında dijital ve fiziksel birçok araçtan faydalanmışlardır. Katmanlı üretime dayalı modüler kabuk modeli tasarımı (**Şekil 1a**) isimli çalışmayı yapan öğrenci Mars yüzeyinde kurulacak bir kolonide, yaşam alanlarını solar ve kozmik radyasyonlardan koruyacak, katmanlı üretime uygun modüler bir kabuk tasarımını ve tasarım çıktılarının değerlendirilmesini konu edinmiştir. Ayrıca bu çalışma kabuğu oluşturan modüllerin Mars yüzeyinde bulunan kayaçlardan elde edilen, geri dönüştürülebilir bir malzeme ile üretilmesini, kabuk yapısının modüler oluşuyla oluşacak hasarların kolaylıkla giderilmesini ve kabuğun otonom inşasını hedeflemektedir. Oksetik malzeme davranışı temelli cephe tasarımı ve analizi (**Şekil 1b**) isimli çalışmayı yapan öğrenci ise mevcut cephe sistemlerinin taşıyıcı sistem, malzeme davranışı ve üretim süreçlerini dayanıklılık ve esneklik kavramı üzerinden ele alarak sistem potansiyellerini keşfetmeyi, malzeme kullanımı ve enerji kazanımıyla optimum verimliliği sağlamayı hedeflemiştir. Bu doğrultuda Oksetik metamalzeme özellikleri ve sistem davranışlarını göz önünde bulundurarak metal cephe kaplamalarının ısıl değişime bağlı performanslarını, ventilasyon ve enerji korunum oranlarını ölçmek, simüle etmek ve değerlendirmek gibi çalışmalar üretmiştir. Ayrıntılı olarak incelenemeyen diğer öğrenci çalışmaları da göz önüne alınırsa bu kavramın öğrencileri adaptasyon, sistem tasarımı ve simülasyon gibi hesaplamalı tasarım alanlarına yönelttiğini söylemek mümkündür.

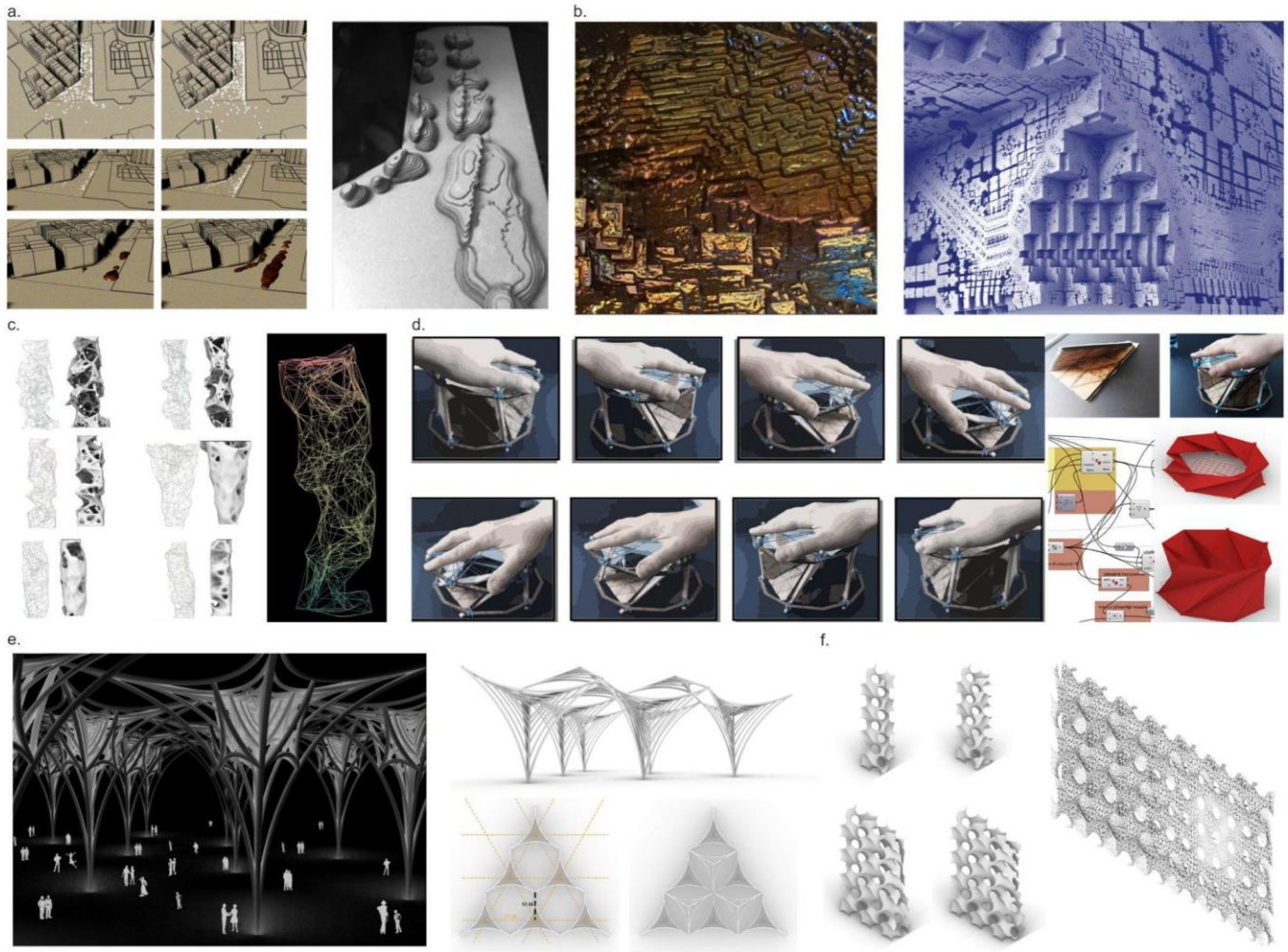



**Şekil 1:** Dayanıklılık kavramı üzerinden geliştirilen öğrenci çalışmaları **a:** Katmanlı üretime dayalı modüler kabuk modeli tasarımı **b:** Oksetik malzeme davranışı temelli cephe tasarımı ve analizi

**Otopoiesis:** Otopoiesis, kendini yaratan sistemleri tarif etmek için 1971'de Humberto R. Maturana ve Francisco J. Varela isimli iki biyolog tarafından ortaya atılmış bir kavramdır. Kavramın ortaya çıkışı, yaşayan sistemlerin ayırt edici özelliğinin kendini üretme mekanizmasına dayalı olmasına ilişkin düşünceye dayanır. Kavram sibernetikten sosyal sistemler teorisine pek çok disiplinler ötesi bilimi etkilemiş ve etkilemeye devam etmektedir. Günümüzde dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte dijital bir sistemin kendini yaratma/üretme bağlamında yaşayabilmesi sorgulanabilir.

Öğrenciler bu kavramı biyomimetik tasarım, taşıyıcı sistem tasarımı, üst örtü ve kabuk tasarımı, kinetik ve tepkimeli cephe tasarımı, malzeme tabanlı tasarım, yaya simülasyonu modelleri, endüstriyel ürün tasarımı ve kent mobilyası

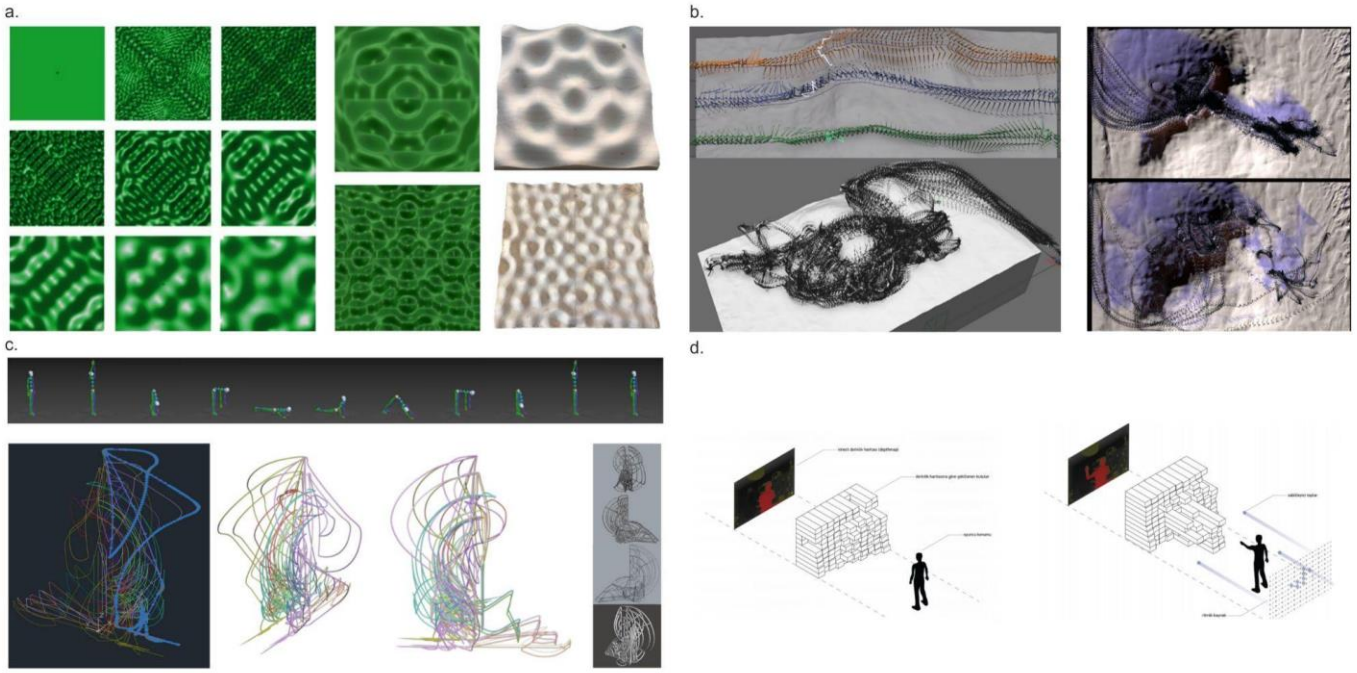
tasarımı gibi pek çok farklı ölçekte ele almıştır. Yaya sirkülasyonu verisine dayalı kent mobilyası tasarımı (**Şekil 2a**) isimli çalışmayı yapan öğrenciler kullanıcı hareketlerinin ürünü doğrudan etkilediği, gerçek verilerden oluşturulan hareket simülasyon modellerini kullanarak, Taksim Meydanı'nda bir kent mobilyası tasarımını konu edinmişlerdir. Tasarımlarını, Grasshopper algoritmik tasarım yazılımı arayüzünde Metaball ve Quela eklentilerini kullanarak modellemiş ve lazer kesim aracını kullanarak prototiplemişlerdir. Bakır Sülfat ve Bizmut Kristali tabanlı fraktal kurguya dayalı benzetim modeli (**Şekil 2b**) isimli çalışmayı yapan öğrenciler kavramdan yola çıkarak tasarlanmış modelin, Processing, Incendia ve Mandelbulb 3D programları yardımıyla benzetim modellerinin varyasyonlarını oluşturmayı konu edinmişlerdir. Bu varyasyonların üretim sürecinde fiziksel ortamda Bakır Sülfat ve Bizmut Kristallerini gözlemleyerek kural tabanlı bir sistem oluşturmaya çalışmışlardır. Strüktürel eleman olarak karınca ve termit yığınları ve oyuntuları (**Şekil 2c**) isimli çalışmayı yapan öğrenci karınca ve termitlerin yaşam alanlarındaki hücrelerin ilişkilerini, su, sıcaklık ve havalandırma gibi çevresel faktörlerle çalışmasını, strüktürel dayanımını ve verimli malzeme kullanımlarını incelemeyi konu edinmiştir. Bu bilgilerin taşıyıcı sistem tasarımında nasıl etkin olarak kullanılabileceğine dair Grasshopper/Python ve Houdini/VEX ortamında benzetim modelleri oluşturmuştur. Mimosa Pudica bitkisinden esinlenen katlanabilir duyarlı strüktür modeli (**Şekil 2d**) isimli çalışmayı yapan öğrenci otopoietik sisteme sahip bitki morfolojilerini biyomimetik mimari tasarım yöntemiyle inceleyip kendi sistem devamlılığını sağlayacak strüktürel bir sistemi tasarlamayı konu edinmektedir. Bu bilgilerin mimari mekana nasıl yansıtılabileceğini araştırmış, geometri ve katlama kurallarından faydalanarak fiziksel ortamda yapılan deneylerle zenginleştirmiş ve Grasshopper'da yapılan benzetim modelleriyle kuvvete duyarlı bir form önerisinde bulunmuştur. Sistemleri tanımlamaya yönelik olarak kullanılan Otopoiesis teriminin öğrencilerde hayal gücünü destekleyici etki yaptığı ve özerk sistem tasarımlarına ve benzetim modellerine öğrencileri yönlendirdiği söylemek mümkündür (**Şekil 2e & 2f**).




**Şekil 2:** Otopoiesis kavramı üzerinden geliştirilen öğrenci çalışmaları **a:** Yaya sirkülasyonu verisine dayalı kent mobilyası tasarımı **b:** Bakır Sülfat ve Bizmut Kristali tabanlı fraktal kurguya dayalı benzetim modeli **c:** Strüktürel eleman olarak karınca ve termit yığınları ve oyuntuları **d:** Mimosa Pudica bitkisinden esinlenen katlanabilir duyarlı strüktür modeli **e:** Fraktal kurguya dayalı taşıyıcı sistem tasarımı **f:** Üç yönlü periyodik minimal yüzeyler ile güneş kırıcı cephe paneli tasarımı

**Ritim:** Ritim, tekrar eden öğelerin zaman ve mekan içinde sürekliliğini ifade eder. Bütün içindeki parçaların düzeni ve uyumu ile ilişkilidir. Ritim kavramı, bir biçim, eylem ya da mekansal düzende algılanabileceği gibi tasarım ve yapım süreçlerine de dahil olabilir. Tasarım sürecinde üretkenliği tetikleyen yeni parça-bütün ilişkilerinin ve fiziksel-mekansal etkileşimlerin tanımlanması ve sürecin tasarlanması, üretken tasarım yaklaşımlarının hedefleri arasındadır.

Öğrenciler bu kavramı biyomimetik tasarım, taşıyıcı sistem tasarımı, kinetik ve tepkimeli cephe tasarımı, örüntü üretimi, endüstriyel ürün tasarımı gibi farklı ölçeklerde ele almıştır. Ses verisine göre değişen desenler ile cephe elemanı tasarımı (**Şekil 3a**) isimli çalışmada öğrenciler dış ortamdan alınan ses verilerine göre değişkenlik gösteren cephe elemanlarını konu edinmişlerdir. Cephe elemanları, aldığı sesleri simatik fenomeninden gelen matematik hesaplamaları ile işleyerek farklı frekanslara göre farklı desenler oluşturan bir algoritma yardımıyla tasarlanmaktadır. Prototipleme aşamasında ise desenler CNC cihazı yardımıyla ahşap bloklardan çıkarmalı olarak üretilmiştir. Fotogrametrik arazi modeli üzerinde bilgi tabanlı biçim üretimi (**Şekil 3b**) isimli çalışmada öğrenciler kavramdan yola çıkarak biçim üretimi için ArcGIS, Maya, 3Ds Max, Agisoft Photoscan gibi programları farklı yöntemlerle biçim elde edilmesi için deneysel süreçlere tabi tutmayı hedeflemişlerdir. Elde edilen parametrik modellerin fiziksel ortamda üretilmesi için hesaplamalı maketler ve alçı ile çalışıp, üretilen maket üzerinde fotogrametri ile yeniden biçim üretimi yapmışlardır. Hareket animasyonu verisinden biçim üretimi (**Şekil 3c**) isimli çalışmada öğrenci insan bedenini ele alarak yogadaki Güneşe Selam A (Surya Namaskara A) akışını konu edinmiştir. 3Ds Max ve Grasshopper ortamında hareket modellerini ürettikten sonra elde edilen biçimleri süperpoze ederek 3B Yazıcı yardımıyla fiziksel prototipi üretmiştir. Kullanıcı hareketi ile etkileşimli sanal mekan deneyimi (**Şekil 3d**) isimli çalışmada öğrenci kullanıcı etkileşimi ile şekil değiştiren bir sanal deneyim mekanı oluşturmayı konu edinmiştir. Oluşturulan sanal mekan bir bilgisayar oyunu çevresi olarak düşünülmüş ve oyun çevresi sabit bir zeminden ve etkileşim ile değişecek duvarlardan meydana gelmektedir. Ayrıntılı olarak incelenemeyen diğer öğrenci çalışmaları da göz önünde bulundurulduğunda bu kavramın öğrencileri biçim üretimi ve etkileşimli sistemler gibi hesaplamalı tasarım alanlarına yönelttiğini söylemek mümkündür.




**Şekil 3:** Ritim kavramı üzerinden geliştirilen öğrenci çalışmaları **a:** Ses verisine göre değişen desenler ile cephe elemanı tasarımı **b:**Fotogrametrik arazi modeli üzerinde bilgi tabanlı biçim üretimi **c:** Hareket animasyonu verisinden biçim üretimi **d:** Kullanıcı hareketi ile etkileşimli sanal mekan deneyimi

**Allometri:** Biyolojik bir terim olan Allometri, bir canlının belli parçalarının birbirlerine göre daha farklı oranda büyümeleri olarak açıklanabilir. Bu büyüme canlının embriyo döneminden yaşamının sonuna kadar olabilir. Allometri sadece genetik faktörlere bağlı kalarak gerçekleşen bir durum değildir. Çevresel faktörlerde de canlıların büyümelerinde değişik oranlar görülür. Bir bitkinin güneşe yönelmesi ve güneşe bakan tarafında daha çok yaprağa sahip olması da allometrik bir örnek olarak gösterilebilir.

Öğrenciler bu kavramı biyomimetik tasarım, benzetim modelleri, adaptif sistemler, kinetik ve tepkimeli cephe tasarımı, ekstrem koşullarda tasarım, biçim üretimi ve endüstriyel ürün tasarımı gibi farklı ölçeklerde ele almıştır. Yağmur suyuna göre şekil değiştiren kinetik kent enstalasyonu (**Şekil 4a**) isimli çalışmada öğrenciler kavramı mimari elemanların geometrisinin zamanla evrilmesi olarak ele alıp zemin geometrisinin su gibi çevresel verilerle biçim değiştirmesini konu edinmişlerdir. Dijital ortamda tasarımın modellenmesinden sonra parçaları lazer kesim cihazıyla prototiplenip Arduino ve çeşitli sensörler kullanılarak ölçekli olarak hareketli modeli üretilmiştir. Işığa duyarlı kinetik cephe paneli (**Şekil 4b**) isimli çalışmada öğrenciler güneş ışığına uyum sağlayıp kendini adapte edebilen kinetik bir cephe paneli sistemini konu edinmiştir. Tasarımın dijital modeli Grasshopper'da üretildikten sonra Arduino ve ışık sensörleri yardımıyla 3B yazıcı ile prototiplenmiş çalışan bir model üretilmiştir. Ekstrem çevre koşullarına uyum sağlayan kabuk sistemi (**Şekil 4c**) isimli çalışmada öğrenci Mars'ta inşa edilecek bir yapının rüzgar, toz fırtınası, sıcaklık değişimi gibi atmosferik koşullardan korunmasını sağlayan, sensörler ile aldığı verilerle kinetik tepki verebilen bir kabuk tasarımını konu edinmiştir. Veri alıcılar kullanılarak projenin detaylarının nasıl çözülebileceği irdelenmiş ve fiziksel bir ilk prototip üretilmiştir. Ortamdaki ses verisine göre şekil değiştiren kinetik yüzey modeli (**Şekil 4d**) isimli çalışmada öğrenciler Grashof Teoremi'ni çıkış noktası kabul ederek sese tepkimeli bir sistem mekanizmasını konu edinmiştir. Ses verilerini sensörler ve Arduino ile toplayarak mekanik tepkiye dönüştürmüş ve çalışan bir prototip ile kinetik yüzeyi deneyimleme şansı sunmuşlardır. Canlılardaki oran ve orantı ilişkisini tanımlayan bu terim öğrencileri, kinetik ve biçimlerini değiştirebilen tasarımlara yöneltmiş ve yaratıcılıklarını desteklemiştir.

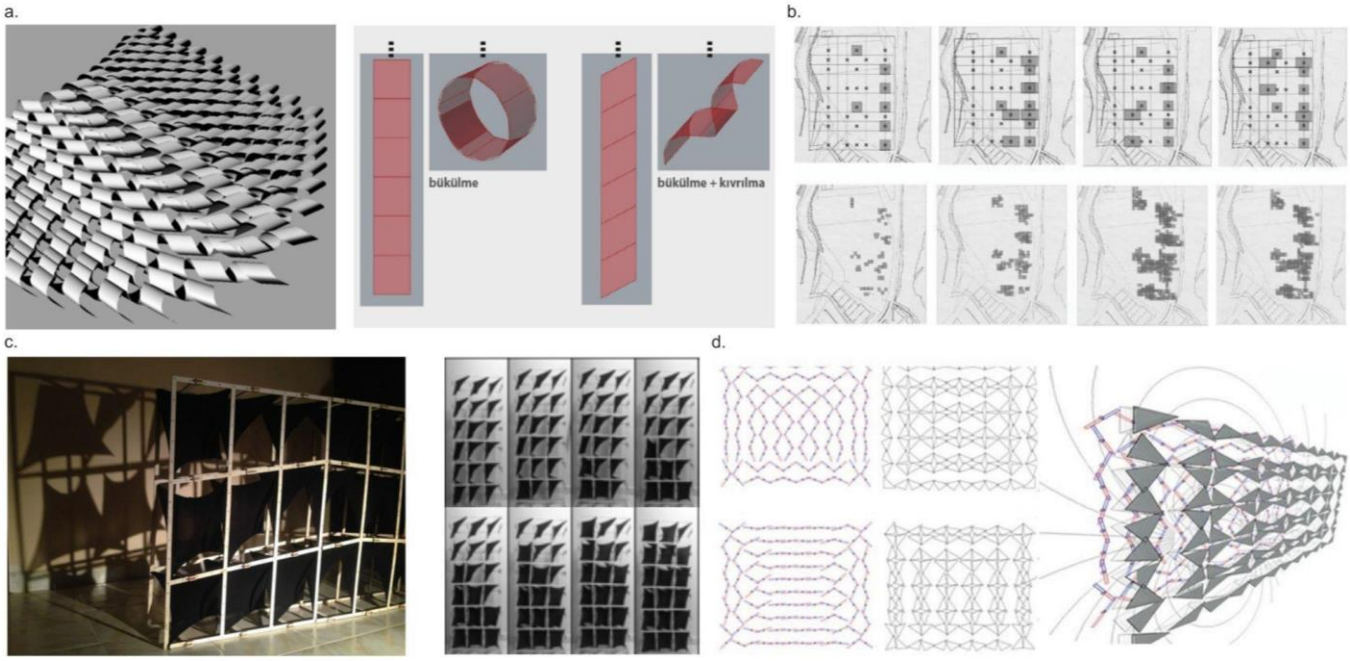
**Şekil 4:** Allometri kavramı üzerinden geliştirilen öğrenci çalışmaları **a:** Yağmur suyuna göre şekil değiştiren kinetik kent enstalasyonu **b:** Işığa duyarlı kinetik cephe paneli **c:** Ekstrem çevre koşullarına uyum sağlayan kabuk sistemi **d:** Ortamdaki ses verisine göre şekil değiştiren kinetik yüzey modeli

**Anizotropi:** Biyolojik yapısal elemanların kesit ve malzeme özelliklerindeki varyasyonlar, genellikle geleneksel mühendislik yapılarında benimsenen sabit kesite göre çok önemli avantajlar sunar. Anizotropi, doğal sistemin dış kuvvetlere bağlı olarak yapısal ve yönetsel olarak değişebilme yeteneğidir. Yükseklik ve narinliğine göre hücrelerin, liflerin ve demetlerin farklılaştırılmış dağılımı, kesit varyasyonları, dinamik ve öngörülemeyen yüklere direnmek için anizotropik davranış gösterir. Dolayısıyla bu davranış, sadece bir olgunun çalışma mekanizmasındaki karşılıklı ilişkileri değil, aynı zamanda bir uzamsal kuralın, bir düzenin, bir organizasyonun ve varyasyonunun varlığını da ifade eder.

Öğrenciler bu kavramı malzeme tabanlı tasarım modelleri (**Şekil 5a**), kentsel tasarım ölçeğinde hücresel özdevinim modeli (**Şekil 5b**), endüstriyel ürün tasarımı, üst örtü ve kabuk tasarımı gibi farklı ölçeklerde ele alıp yorumlamışlardır. Bu kavram öğrencileri sistemlerdeki küçük değişimlerin sistemin genelinde farklı ölçeklerde sonuçları olabileceğine yönlendirerek yaratıcılıklarını tasarım kurgularını zenginleştirir.

**Yörünge:** Gidiş yolu, takip edilen yol, gidilen iz, rota anlamında kullanılan kavram bir oluşumun yapısı ve işleyişindeki karşılıklı kuvvetlerin ve ilişkilerin yanı sıra, mekansal bir organizasyonun / düzenin / sistemin / kuralın varlığını ve çeşitliliğini de işaret eden bir kavramdır. Yörüngelere bu yönden bakıldığında, tasarımın üretiminde yeni bir yaklaşımı da ortaya koyabilir. Tasarım içindeki farklı etmenler arasındaki ilişkileri tanımlamak ve farklı kuvvetler etkisinde meydana gelen yörüngeleri tanımlamak tasarımcıların sıkça başvurdukları bir analiz yöntemi iken bir diğer yandan, yeni fiziksel-mekansal temas biçimleri önermek ve bunları düzenlemek, üretken tasarım yaklaşımlarının önemli hedeflerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Öğrenciler bu kavramı etkileşimli modül tasarımı (**Şekil 5c**), manyetik cephe modeli (**Şekil 5d**), pavyon tasarımı, kentsel tasarım modeli gibi farklı ölçeklerde yorumlamışlardır. Bu kavram öğrencileri düzenleri ve kuralları keşfetmeye yönlendirerek tasarımlarına ve hayal güçlerine katkı sağlar.




**Şekil 5:** Anizotropi ve Yörünge kavramları üzerinden geliştirilen öğrenci çalışmaları **a:** Anizotropik davranışa duyarlı malzeme tabanlı tasarım modeli **b:** Kentsel kurguya bağlı hücresel özdevinim modeli **c:** Etkileşimli modüller ile kinetik duvar paneli tasarımı **d:** Manyetik etkileşim ile öz-örgütlenen cephe tasarım modeli

## 5. Sonuç ve Tartışma

Bu bildiri kapsamında, hesaplamalı tasarım kuramları bağlamında, disiplinler arası/ötesi kavramların tasarım sürecinde yorumlanmasıyla, üretken sistemler çerçevesinde geliştirilen, öğrencilerin tasarım denemeleri süreç ve ürün bazında açıklanmıştır.

Geliştirilen tasarım ürünlerinin fabrikasyon teknolojileriyle üretimi, tasarımcıları, farklı bilimlerdeki bu kavramları, malzeme ile modelleme yazılımına gömülü geometri ve matematik ile ilişkilendirmeye ve birlikte düşünmeye yönlendirmiştir. Tasarım çalışmalarının tümü, geliştirilen algoritmalarla üç boyutlu ve dijital olarak tasarlanmış ve büyük bir bölümü fiziksel üretim ortamına aktarılmıştır. Çalışmaların bir bölümü Grasshopper ve Rhino ortamında modellenmiş, bazı modeller 3B yazıcıda üretilmiş, bazıları CNC'de üretilerek etkileşimli modele aktarılmıştır. Bazı modeller de sensörler ve Arduino kullanılarak etkileşimli ve dinamik ürünlere dönüştürülmüştür.

Günümüzde mimari tasarımda hesaplamalı yaklaşımlar, getirdiği pek çok yenilik ile mimari tasarım paradigmalarında önemli değişim ve gelişmelere sebep olmaktadır. Üretken tasarım; belirli deterministik ya da stokastik algoritmalara dayalı formun üretimi, tasarım ürünü olarak yorumlanması ve değerlendirilmesi sürecinde, tasarımcının yaratıcı yönünü destekleyerek tasarım uzamının genişletilmesine yardımcı olur.

**Teşekkür**

İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı'nda yürütmekte olduğum, Bilgi Tabanlı Mimari Tasarım ve Mimari Tasarımda Üretken Sistemler derslerine farklı dönemlerde değerli ve özverili katkılarda bulunan Dr. Öğretim Üyesi Ethem Gürer, Araş. Gör. Zeynep Bacınoğlu, Araş. Gör. Begüm Hamzaoğlu ve Araş. Gör. Burak Delikanlı'ya teşekkür ederim. Ayrıca, bu bildiride yer alan projeleri gerçekleştiren O. Balcı, Z. Candar, F. Yılmaz, B. Atay Tosun, R. İmam, S. B. Esirger, M.C. Güneş, E. Ünlü, İ. Yıldan, V. Yücel, D. Taş, O. Sümer, H. Gökbora, E. Nardereli, E. Yavuz, S. Yalçınkaya, Ş.A. Gürbüz, R. Eroğlu, H.O. Bor, G. Özerol, B. Ürkmez, B. Yıldız, H. Oral, G. Kırdar, C. Yeni, B. Hamzaoğlu ve proje ve isimlerine burada yer veremediğimiz dersleri alan tüm öğrencilerimize değerli katkıları ve yüksek motivasyonları için teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

BBC Bitesize. (n.d.). Computational thinking - KS3 Computer Science. BBC. Retrieved June 4, 2021, from https://www.bbc.co.uk/bitesize/topics/z7tp34j

Bovill, C. (2013). *Fractal geometry in architecture and design*. Birkhäuser Boston.

Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. Frontiers of Architectural Research, 9(2), 287–300. https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008

Çağdaş, G. (1994). Fraktal geometri ve bilgisayar destekli mimari tasarımdaki rolü. CAD+ Bilgisayar Destekli Tasarım ve Ötesi, 23, 28–31.

Güner, Y. R. (2016). Üç yönlü periyodik minimal yüzeyler ile oluşturulan bir tasarım önerisi. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Polen. http://hdl.handle.net/11527/13112

Güner, Y. R., & Çağdaş, G. (2019). Üç yönlü periyodik minimal yüzeyler ile biçim arama yaklaşımı. Journal of Computational Design, 1(1), 35–54. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jcode/issue/52432/687537

Öksüz, E. B. (2020). Tasarımcı bakış açısıyla hesaplamalı düşünmede prosedürel soyutlamanın değerlendirilmesi için bir yöntem. [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].

Öksüz, E. B., & Çağdaş, G. (2020a). An assessment method for a designerly way of computational thinking. A/Z : ITU Journal of Faculty of Architecture, 17(2), 199–208. https://doi.org/10.5505/itujfa.2020.86729

Öksüz, E. B., & Çağdaş, G. (2020b). The convergence of computational thinking and its cognitive aspects in architectural education. IJARR: International Journal of Advanced Research and Review, 5(3), 29–39.

Patrzalek, E. (n.d.). Introduction to Fractal Geometry. Fractal.Org. Retrieved June 4, 2021, from http://www.fractal.org/Bewustzijns-Besturings-Model/Fractals-Useful-Beauty.htm

Singh, V., & Gu, N. (2012). Towards an integrated generative design framework. Design Studies, 33(2), 185–207. https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.06.001

Stiny, G., & Gün, O. Y. (2012). George Stiny ile hesaplamalı tasarım üzerine açık bir söyleşi. Dosya 29: Hesaplamalı Tasarım, 6–11. http://www.mimarlarodasiankara.org/dosya/dosya29.pdf

Wing, J. M. (2017). Computational thinking's influence on research and education for all. Italian Journal of Educational Technology, 25(2), 7–14. https://doi.org/10.17471/2499-4324/922

Wiscombe, T. (2005). Emergent processes. Oz, 27(1), 42–49. https://doi.org/10.4148/2378-5853.1422

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Sayısal Tasarım Eğitiminde Portfolyo Değerlendirme Yönteminin Kullanımı

Selin Oktan [1]; Serbülent Vural[2]
[1,2]Karadeniz Teknik Üniversitesi
[1,2] avesis.ktu.edu.tr/arastirma-grubu/codefab, [1]oktanselin@gmail.com; [2]svural@ktu.edu.tr

## Özet

*Sayısal tasarım alanında bilginin öğrenilmesi ve deneyimlenmesi süreçleri eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Sayısal tasarım alanının yanı sıra, mimarlık alanında da deneyimleme eylemi önemli bir yer tutmaktadır. Deneyime odaklı eğitimde öğrenme süreci her öğrenci için farklı biçimde gerçekleşmekte ve öğrenci kendi öğrenme tarzını kendisi oluşturmaktadır. Öğrenci kendi düşünme süreci üzerine düşünür, kendine sorular sorar ve bu sorulara verdiği cevaplar öğrenme sürecini inşa etmesine yardımcı olur. Bu öznel sürecin her öğrenci için kendi içinde değerlendirilmesi gerektiği düşünüldüğünde geleneksel değerlendirme yöntemlerinin bir çıkmaz yarattığı söylenebilmektedir. Buna ek olarak pandemi süreci de öğrencilerin değerlendirilmesi ile ilgili sorunları gün yüzüne çıkarmıştır. Geleneksel değerlendirme yöntemleri, uzakta olan öğrencinin öğrenme durumunu tam olarak yansıtamamakta ve öğrencinin bilgi düzeyinin doğru bir biçimde ölçülebilmesi ile ilgili soru işaretleri yaratmaktadır. Bu bağlamda, öğrencinin kişisel olarak değerlendirilebileceği yöntemlerin üzerine tartışılması gerekmektedir. Portfolyo değerlendirme yöntemi öğrencinin bireysel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Öğrencinin gelişimi, uygulamalardaki başarısı, anladığı ve anlayamadığı noktalar belirlenebilmektedir.*

*Bu çalışmada sayısal tasarım odaklı seçmeli derslere ilişkin değerlendirme sürecinde kullanılmış olan portfolyo yöntemine yönelik deneyimler ve sonuçlar paylaşılacaktır. Portfolyo yöntemi, lisans düzeyinde dört adet seçmeli ders kapsamında toplamda üç dönem boyunca uygulanmıştır. Bu seçmeli dersler bir dizi egzersizden oluşmakta ve öğrencinin sayısal tasarımı ve dijital fabrikasyonu deneyimleyerek öğrenmelerini hedeflemektedir. Bu bağlamda, her bir öğrencinin egzersizlerdeki performanslarını tespit edebilmek ve egzersizlerin amaçlarına ulaşıp ulaşmadığını kontrol edebilmek için portfolyo değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Portfolyo yöntemi rubrik sistem ile birlikte uygulanmıştır. Öğrenciler notlarını hazırlamış oldukları portfolyo üzerinden ve önceden ilan edilmiş olan puanlara göre almışlardır.*

*Portfolyo değerlendirme yöntemi, bir öğrencinin dönem içerisindeki değişimini net bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu yönüyle mimarlık bölümlerindeki dersler gibi üretim ve tasarım odaklı eğitimin gerçekleştiği süreçlerde kullanılabilecek bir yöntemdir. Örneğin proje derslerinde öğrencilerin portfolyo hazırlaması istenip, dönem sonunda öğrencinin ne yönde geliştiği gözlenebilir. Portfolyo değerlendirme sürecinin standart bir altlığa oturtulması ve rubrik sistemle bütünleştirilmesi, dönem sonunda verilen notların adil bir sistemle verilmesini sağlamıştır. Notlandırma sürecinde ortaya çıkan sonuç ürünün niteliğine değil, sürece not verilmiştir. Böylelikle öğrencilerin yeni bir şeyler deneyip başarısız olmaları halinde düşük not almalarının önüne geçilmiştir. Portfolyo değerlendirme yöntemi, çalışmaya katılan öğrencilerin gelişimlerinin görülmesi açısından önemli bir araç olmuştur. Öğrencinin kullandığı terminolojinin, sayısal tasarım ve modelleme becerisinin ne yönde geliştiği tespit edilebilmiştir. Sonuç yerine süreç odaklı bir ölçme imkânı sağlaması açısından değerlidir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Portfolyo, sayısal tasarım, eğitim, değerlendirme yöntemleri.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Oktan, S., & Vural, S. (2021). Sayısal tasarım eğitiminde portfolyo değerlendirme yönteminin kullanımı. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 105-113). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# The Use of Portfolio Evaluation Method in Computational Design Education

Selin Oktan [1]; Serbülent Vural[2]
[1,2]Karadeniz Technical University
[1,2] avesis.ktu.edu.tr/arastirma-grubu/codefab, [1]oktanselin@gmail.com; [2]svural@ktu.edu.tr

## Abstract

*In the field of computational design, the processes of learning and experiencing occur concurrently. Similarly in the field of architectural education the act of experiencing has an important place, too. In experience-oriented education, the learning process takes place differently for each student, and the students create their own learning styles. The students think on their own thinking processes, ask themselves questions, and the answers to these questions help them to build their learning processes. Considering that this subjective process should be evaluated within itself for each student, it can be said that traditional evaluation methods create a dead end. In addition to this, the pandemic process has also revealed problems related to the evaluation methods. During the distant learning process, conventional evaluation methods cannot fully reflect the learning situation of the student and it creates question marks about the correct measurement of the student's knowledge level. Within this context, it is necessary to discuss the methods by which the student can be personally evaluated. Portfolio evaluation method allows the students to be evaluated individually. The development of the students, the success of the exercises, the points that they understand and do not understand can be determined.*

*In this study, the experiences and results of the portfolio evaluation method used in the process of the elective courses focused on computational design will be shared. The portfolio method was applied for three semesters in total within the scope of four elective courses at the undergraduate level. These elective courses consist of a series of exercises and aim the students to learn computational design and digital fabrication by doing. Portfolio evaluation method was used to determine the performance of each student in the exercises and to check whether the exercises reached their goals. The portfolio method was applied together with the rubric system. In this context, the students took their grades on the portfolio they prepared and according to the previously announced scores.*

*The portfolio evaluation method clearly reveals the progress of a student during the term. In this respect, it is a method that can be used in the processes of production and design-oriented education, such as courses in departments of architecture. For example, during studio courses, students can be asked to prepare a portfolio, and at the end of the term, the progress of the student can be observed. Placing the portfolio evaluation process on a standard basis and integrating it with the rubric system ensured that the grades were given in a fair system. The grades were given not on the quality of the product, but on the process. In this way, students were prevented from getting low grades if they tried something new and were unsuccessful. The portfolio evaluation method has been an important tool in terms of determining the progress of the students. It can be evaluated that, how the terminology the students use, computational design and modeling skills of the student have developed. In portfolio assessment process, it is valuable that it provides a process-oriented measurement opportunity rather than a result.*

***Keywords:*** *Portfolio, computational design, education, evaluation methods.*

**Citation in APA Style:** Oktan, S., & Vural, S. (2021). The use of portfolio evaluation method in computational design education. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 105-113). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Sayısal tasarım eğitimi, sayısal düşünme, sayısal modelleme, dijital fabrikasyon gibi süreçleri kapsayan çok yönlü bir öğrenmeyi ifade etmektedir. Sayısal tasarım alanı, henüz inşa edilmemiş ve inşa edilmeyi bekleyen bilginin üretimi için potansiyel barındırmakta ve bu henüz açığa çıkmamış bilginin inşa edilebilmesi de üretme ve deneyimleme eylemlerini beraberinde getirmektedir. Sayısal tasarım eğitiminde bilgiyi inşa etme ve öğrenme eylemleri eş zamanlı olarak gerçekleşmekte ve bu nedenle sürecin üretmeye odaklı olarak sürdürülmesi öğrenmeyi olumlu etkilemektedir. Bu bağlamda sayısal tasarım eğitimini konvansiyonel yöntemler kapsamında değil, deneyimlemeye dayalı yöntemler kapsamında ele almak gerekmektedir. Çünkü deneyimlemeye ve yapmaya dayalı yöntemler öğrenciyi merkeze alan ve keşfetme odaklı bir öğrenme sürecini ifade etmektedir (Liu ve Matthews, 2005).

Sayısal tasarım eğitiminin süreç ve üretme odaklı olması, ölçme ve değerlendirme üzerine sorgulamaları da beraberinde getirmektedir. Sayısal tasarım eğitiminin yanı sıra mimarlık eğitimi sürecinde stüdyo dersleri, temel tasarım dersleri gibi tasarım ve süreç odaklı dersler de bu bağlamda sorgulanabilmektedir. Ölçme ve değerlendirme teknikleri öğrencinin öğrenme durumunu tespit edebilmek ve ölçebilmek için önemlidir. Sayısal tasarım ile birlikte dönüşen/dönüşmesi gereken eğitim süreçleri, değerlendirme teknikleri üzerine yeniden düşünmeyi gerektirmektedir. Mevcut eğitim süreçlerinde sıklıkla başvurulan konvansiyonel değerlendirme yöntemleri, değişen teknolojiye, dönüşen eğitim sistemine, yeni neslin öğrenme süreçlerine karşı bir esneklik gösterememekte; öğrenme süreçlerinin değerlendirilmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışma, dönüşen öğrenme süreçlerine yönelik bir potansiyel taşıyan portfolyo değerlendirme yöntemini yeniden tartışmaya açmakta ve bu yöntemin sayısal tasarım eğitimi süreçlerinde kullanımına yönelik bir öneri sunmayı amaçlamaktadır.

Çalışma, sayısal tasarım odaklı ve lisans düzeyinde dört adet seçmeli ders kapsamında toplamda üç dönem boyunca uygulanmıştır. Bu seçmeli dersler bir dizi egzersizden oluşmakta ve öğrencinin sayısal tasarımı ve dijital fabrikasyonu deneyimleyerek öğrenmelerini hedeflemektedir. Bu bağlamda, her bir öğrencinin egzersizlerdeki performansını tespit edebilmek ve egzersizlerin amaçlarına ulaşıp ulaşmadığını kontrol edebilmek için portfolyo yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, konvansiyonel değerlendirme yöntemlerinin normlarından sıyrılarak bireysel gelişimi görebilmek açısından önem taşımaktadır.

Konvansiyonel değerlendirme süreçlerinin yalnızca sonuç odaklı bir değerlendirme imkanı yaratıyor olması pandemi sürecinde uygulanmak zorunda kalınan uzaktan eğitim sürecinde bir problem olarak geri dönmüştür. Çünkü konvansiyonel değerlendirme yöntemleri, uzaktan eğitim sürecinde öğrencinin öğrenme durumunu tam olarak yansıtamamakta ve öğrencinin bilgi düzeyinin doğru bir biçimde ölçülebilmesi ile ilgili soru işaretleri yaratmaktadır. Bu bağlamda, öğrencinin kişisel olarak değerlendirilebileceği yöntemlerin üzerine tartışılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Portfolyo değerlendirme yöntemi, pandemi öncesinde deneyime dayalı öğrenme sürecini ölçebilmek için denenmeye başlanmış; pandemi sürecinde ise öğrencinin dönem içi performansının bireysel olarak ölçülebilmesi açısından kullanılmaya devam edilmiştir. Bu bağlamda çalışma kapsamında sayısal tasarım odaklı ders süreçlerinde uygulanmış olan portfolyo değerlendirme yöntemine yönelik örnekler sunularak; bu yöntemin sayısal tasarım odaklı bir eğitim sürecine nasıl entegre edildiği üzerine tartışılacaktır.

## 2. Portfolyo Yöntemi

Sayısal tasarım odaklı eğitim süreçleri, sayısal fabrikasyon araçları ile bütünleşik olarak kurgulandığında öğrencinin hem tasarım sürecini hem de üretim sürecini deneyimlemesi olanaklı hale gelmektedir. Bu durum, deneyimlemeye odaklı bir öğrenme sürecinin uygulanmasını beraberinde getirmektedir. Deneyime odaklı eğitimde öğrenme süreci her öğrenci için farklı biçimde gerçekleşmekte ve öğrenci kendi öğrenme tarzını kendisi oluşturmaktadır. Öğrenci kendi düşünme süreci üzerine düşünür, kendine sorular sorar ve bu sorulara verdiği cevaplar öğrenme sürecini inşa etmesine yardımcı olur. Bu öznel sürecin her öğrenci için bireysel olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünüldüğünde geleneksel değerlendirme yöntemlerinin yetersiz kalabildiği söylenebilmektedir.

Portfolyo değerlendirme yöntemi bireysel olarak bir ifade biçimi yaratabildiği için mimarlık eğitimi gibi deneyimlemenin ön planda olduğu bölümlerde kullanılabilecek bir yöntem olma potansiyeli taşımaktadır. Portfolyo değerlendirme yöntemi, öğrencinin ne yapabildiğini, gelişimini, başarısını ve çabasını gösteren çalışmalarının

derlemesidir (Hamm & Adams, 1991; Hypki, 1994). Portfolyo; değerlendirme, öğrenme çıktılarının kayıt altına alınması ve bunun yanında iş başvuruları alanlarında kullanılmaktadır (Crehan ve diğ., 2012).

Portfolyolar öğrenme performansını yansıtmakta ve öğrenci tarafından başarılan durumları ispatlamaktadır (Popescu-Mitroia ve diğ., 2015). Deneyimlemeye odaklı öğrenme sürecinde öğrenciler aynı bilgiyi farklı şekilde öğrenebilirler. Her öğrenci için farklı etkileri olabilecek bu sürecin sonuçlarının tespit edilebilmesi için kişisel performansın ölçülebileceği bir sistemin kullanılması uygun olacaktır. Portfolyo değerlendirme yöntemi, öğrencilerin ders döneminin başından sonuna gelişimlerini görebilme imkânı vermektedir. Böylelikle egzersiz çalışmalarının anlamını öğrencinin perspektifinden görebilmek, egzersizlerin amaç ve hedeflerine ulaşıp ulaşmadığını anlayabilmek mümkün olmaktadır. Portfolyo, bir öğrencinin neyi bildiğinden çok neyi yapabildiğini ölçmektedir. Bu da deneyimlemeye odaklı öğrenmenin süreç odaklı yapısına uyum sağlamaktadır. Deneyimlemeye dayalı öğrenme teorisinde değerlendirmeye ilişkin kriterler aşağıdaki gibi derlenebilmektedir (Büyükduman & Şirin, 2010):

- Ödev, öğrenci merkezli ve çıktı odaklı olmalıdır.
- Ödev teknikleri süreci açıklamaya yönelik olarak geliştirilmelidir.
- Gerektiğinde notlandırma yapılabilir.
- Notlandırmanın yapılmadığı seçenekler ve portfolyo ödevleri de olmalıdır.
- Öğretmen değerlendirmesinin yanında öğrenciler de kendini değerlendirmelidir.
- Performans standartları oluşturulmalıdır.
- Bir notlandırma sistemi oluşturulmalıdır.
- Sonuç üründen çok, öğrencinin bilgiyi nasıl organize ettiğine bakılmalıdır.

Portfolyo değerlendirme yönteminde portfolyo ile rubrik sistemin bir arada kullanıldığı görülebilmektedir (Büyükduman & Şirin, 2010). Rubrik değerlendirme yöntemi, bir puanlama düzeninin oluşturulması anlamına gelmektedir. Rubrik değerlendirme yönteminde öğrenciye nasıl bir puanlama sistemi ile değerlendirme yapılacağı sürecin başında açıklanmaktadır. Portfolyonun notlandırılmasında sonuç ürüne değil, öğrencinin çalışmayı yapıp yapmadığına, sorulara verdiği cevaplara ve zamanında teslim edip etmediğine bakılmaktadır. Böylelikle sonuç ürün odaklı değil, süreç odaklı bir değerlendirmenin yapılabilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında, sayısal tasarım süreçlerine yönelik lisans düzeyinde birtakım uygulamalar yapılmış ve öğrenciler yaptıkları her bir uygulama için, o uygulamanın sonunda kendilerine verilen portfolyo altlığını doldurmuşlardır. Her uygulama için iki sayfa olarak hazırlanmış olan portfolyo bölümleri dönem sonunda bir portfolyo kitapçığı haline getirilerek teslim edilmiştir.

### 2.1. Portfolyo Altlığının Oluşturulması ve Notlandırma Sistemi Örneği

Schoenfeld (1987) üstbilişi tanımlarken öğrencinin kendi kendine sorular sorması gerektiği üzerinde durmuştur. Öğrenme sürecinde kendine sorular sormak ve bu soruların cevaplarını açıklayabiliyor olmak öğrenme sürecini içselleştirmek açısından önemlidir. Bu nedenle, portfolyonun hazırlanması sürecinde öğrencinin kendi kendine sorular sormasını teşvik edebilmek gerekmektedir. Bu sayede, öğrencilerin öğrenme süreci üzerine derinlemesine düşünmeleri hedeflenmekte, problemi analiz etmeleri, bilgiyi sentezlemeleri ve süreci değerlendirerek bir sonuca ulaşmaları sağlanmaktadır. Bloom (1956) ve King'in (1993) de vurgulamış olduğu analiz, sentez ve değerlendirme süreçlerinin gerçekleştirilmesi ile öğrenme sürecinin başarılması sağlanmaktadır.

Portfolyo hazırlık sürecinde, alt başlıkların yürütücü tarafından belirlenmesi, egzersiz özelinde vurgulanması gereken noktalar üzerinde öğrencilerin düşünmesini sağlayabilmek açısından önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen portfolyo değerlendirmesi sayısal tasarıma yönelik seçmeli dersler kapsamında deneyimlenmiştir. Çalışma özelinde uygulanan sayısal tasarım süreçleri odaklı uygulamalar, hem sayısal modellemeye hem de sayısal fabrikasyona yönelik egzersizler üzerine kurgulanmıştır. Bu nedenle portfolyoda da hem sayısal modelleme hem de sayısal fabrikasyona yönelik sorular bulunmaktadır. Portfolyoda yer alan sorular uygulamalar özelinde değişkenlik gösterebilir. Bu çalışma kapsamında hazırlanan portfolyo aşağıdaki sorular ve süreçler üzerine öğrenciyi düşündürmeyi hedeflemektedir:

- Bu çalışmanın amacı nedir?: Bu soru öğrencilerin çalışmaların amacı ile ilgili düşünmelerini hedeflemektedir. Böylelikle çalışmanın hangi temele dayandığı sorgulanmakta ve süreç bir amaç çerçevesinde yeniden

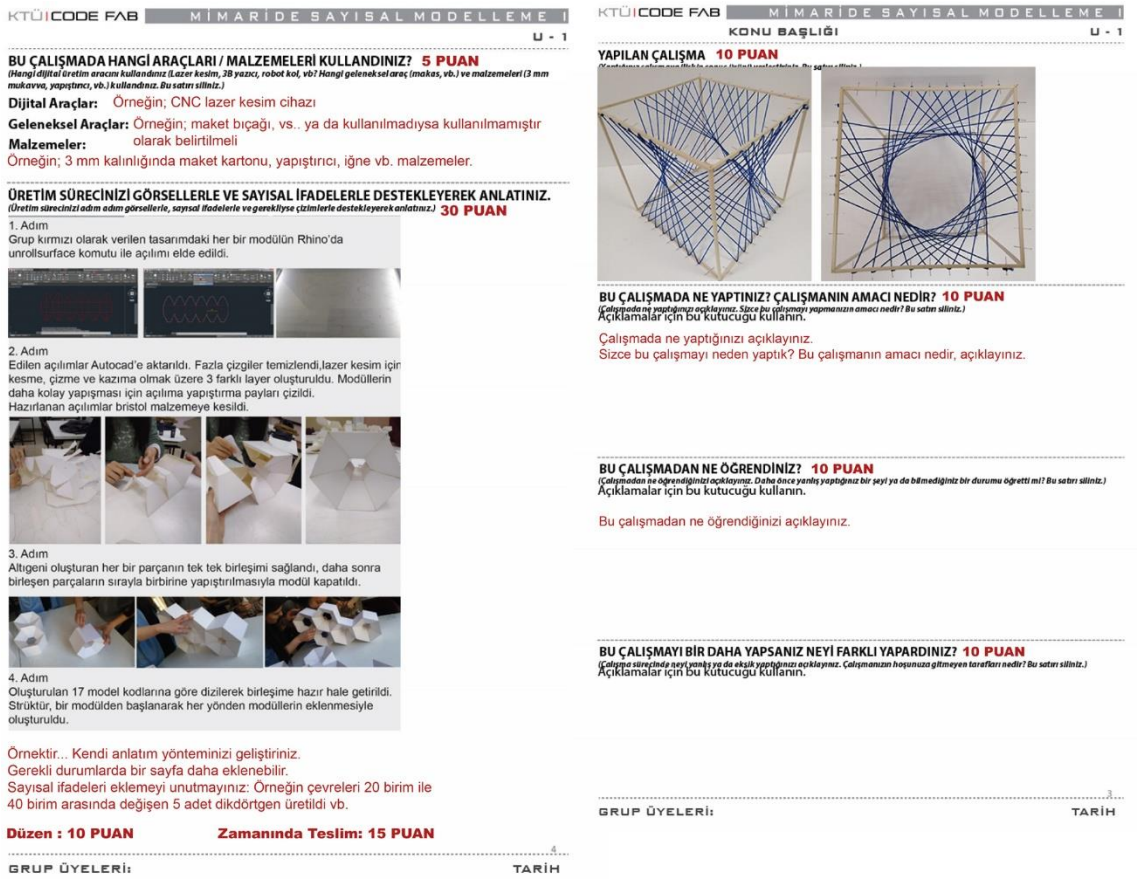
sorgulanmaktadır. Soruya verilen cevaplardan hareketle, yürütücü kendi belirlemiş olduğu amaç ile öğrencilerin cevaplarını karşılaştırma fırsatı bulmaktadır.

▪ Bu çalışmadan ne öğrendiniz?: Bu soru öğrencilerin uygulama sonucunda neleri öğrenebildiğini sorgulamasını hedeflemektedir. Böylelikle yürütücünün öğretmek istedikleri ile öğrencinin öğrenmiş oldukları karşılaştırılabilmekte ve varsa eksik noktalar tespit edilebilmektedir. Böylelikle ders içi uygulamanın hedefine ulaşıp ulaşmadığı da kontrol edilebilmektedir. Bu sorudan hareketle tespit edilen eksik noktalar tamamlanarak, öğrencinin bir sonraki uygulamaya hazır hale gelmesi mümkün olmaktadır.

▪ Üretim sürecinizi görsellerle ve sayısal ifadelerle destekleyerek anlatınız: Bu soru çalışma kapsamında yapılmış olan uygulamalar özelinde sorulmuştur. Uygulamalar sayısal tasarım ve fabrikasyon süreçleri odaklı olduğu için, öğrencinin üretim sürecini eksiksiz bir biçimde ifade edebilmesi, süreci doğru bir şekilde öğrenebildiğini de göstermektedir.

▪ Sayısal modelleme sürecinin sayısal ilişkiler ile açıklanması: Sayısal modelleme süreçleri algoritma mantığında olduğu gibi adım adım ve sayısal ilişkileri de düşünerek bir kurgu oluşturmayı içermektedir. Portfolyoda açıklanması istenen bu durum, öğrencinin algoritma mantığı çerçevesinde düşünmeye teşvik etmekte ve sayısal modelleme sürecinde gerçekleştirmiş olduğu adımları sözlü olarak ifade edebilmesini sağlamaktadır.

▪ Sayısal modelin ve alternatif sayısal modelin ekran görüntüleri: Sayısal modelleme süreci sonunda bir çözüm uzayına ulaşılıp ulaşılamadığı önem taşımaktadır. Model üzerinde belirlenmiş olan parametreler değiştirildiğinde yine anlamlı bir sonuç ürünün elde ediliyor olması modelleme sürecinin başarı ile gerçekleştirildiğini göstermektedir.




**Şekil 1:** Uygulama odaklı egzersizlere yönelik portfolyo altlığı ve puanlandırma sistemi

Bu sorular, öğrencinin yapmış olduğu çalışmayı doğrudan sorgulatan birincil derecede değere sahip sorulardır. Bu sorulara ek olarak, yapmış olduğu çalışmaya ilişkin ekran görüntülerini veya fotoğrafları paylaşması, çalışma sürecinde yaşadığı zorlukları belirtmesi, bu zorluklara nasıl çözüm ürettiğini sorgulamasına yönelik sorular da portfolyo altlığında öğrencilere sorulmuştur (**Şekil 1**). Böylelikle öğrencinin egzersiz sürecinde zorlandığı veya anlamadığı noktaları tespit edebilmiş ve sonraki derste varsa eksik kalan bilginin tamamlanması sağlanmıştır.

Ders kapsamında yapılmış olan egzersiz çalışmaları sayısal modelleme ve yapmaya odaklı uygulama olmak üzere iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Portfolyo altlığını oluşturan sorular da bu iki tip çalışmaya göre özelleşmektedir. Portfolyoyu oluşturan her bir başlık, sayfa düzenine gösterilen özen ve zamanında teslim edip etmediği dönem

başında ilan edilen puanlar üzerinden notlandırılmıştır (**Şekil 2**). Her başlığın not değerinin önceden belirlenmiş olduğu rubrik sistem ile portfolyonun bütünleştirilmesi, öğrencinin portfolyo hazırlama sürecini ciddiye almasını ve böylelikle daha nitelikli verilerin elde edilebilmesini sağlamaktadır.

| Öğrenci | Sayfa Düzeni 10 puan | Kontrol Listesi 5 puan | Karşılaşılan Zorluklar 15 puan | Nedenleri 5 puan | Ekran Görüntüsü 15 puan | Sayısal İlişkiler ile Açıklama 25 puan | Alternatif Model 10 puan | Zamanında Teslim 15 puan | TOPLAM | Ortalama |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G-1 | 7 | 5 | 15 | 5 | 15 | 15 | 10 | 15 | 87 | **79** |
| G-2 | 10 | 5 | 15 | 5 | 15 | 25 | 10 | 15 | 100 | |
| G-3 | 5 | 5 | 15 | 3 | 15 | 25 | 10 | 15 | 93 | |
| G-4 | 7 | 5 | 0 | 0 | 15 | 20 | 0 | 15 | 62 | |
| G-5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Sayfa Düzeni 10 puan | Yapılan Çalışma 10 puan | Amacı 10 puan | Ne Öğrendiniz 10 puan | Neyi Farklı Yapardınız 10 puan | Hangi Malzemeler 5 puan | Üretim Süreci Anlatımı 30 puan | Zamanında Teslim 15 puan | | |
| U-1 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 25 | 15 | 90 | |
| U-2 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 30 | 15 | 95 | |
| U-3 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 30 | 15 | 95 | |
| U-4 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 5 | 25 | 15 | 85 | |

**Şekil 2:** Portfolyonun sınav notu olarak değerlendirilmesi

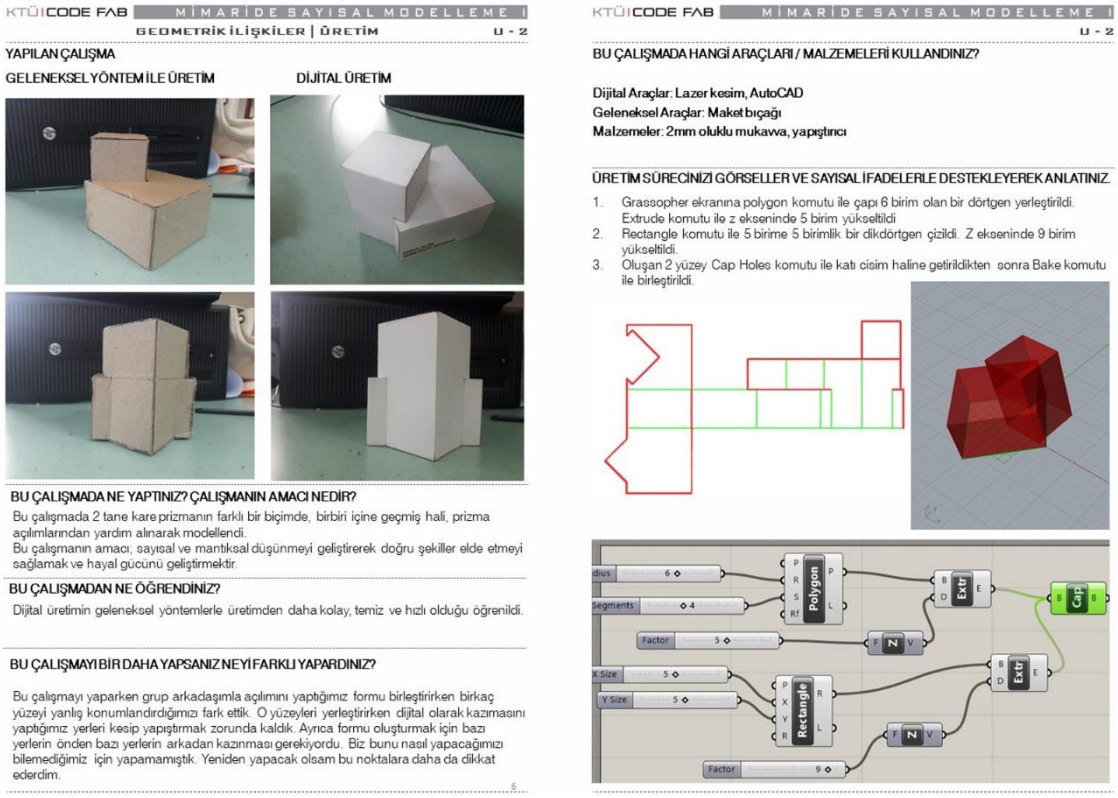
Portfolyo notlandırma sürecinde öğrencinin egzersiz sürecini başarıp başaramamasının herhangi bir önemi yoktur. Öğrenci yanlış da olsa yaptığını anlatmalı, varsa hatasının nerede olduğunu sorgulamalıdır. Notlar sonuç ürünün kalitesi üzerinden değil, sürecin eksiksiz bir şekilde aktarılması üzerinden verilmiştir. Böylelikle öğrencinin not alma kaygısı olmadan egzersiz sürecine yaklaşmasının önü açılmaktadır. Not alma kaygısının yaratıcılığı ve deneyselliği dizginleyebileceği düşünülerek bu şekilde bir notlandırma sistemine gidilmiştir (**Şekil 3**).

**Şekil 3:** Parametrik modelleme odaklı egzersizlere yönelik portfolyo altlığı ve puanlandırma sistemi

## 2.2. Portfolyo Uygulamalarına İlişkin Tartışmalar

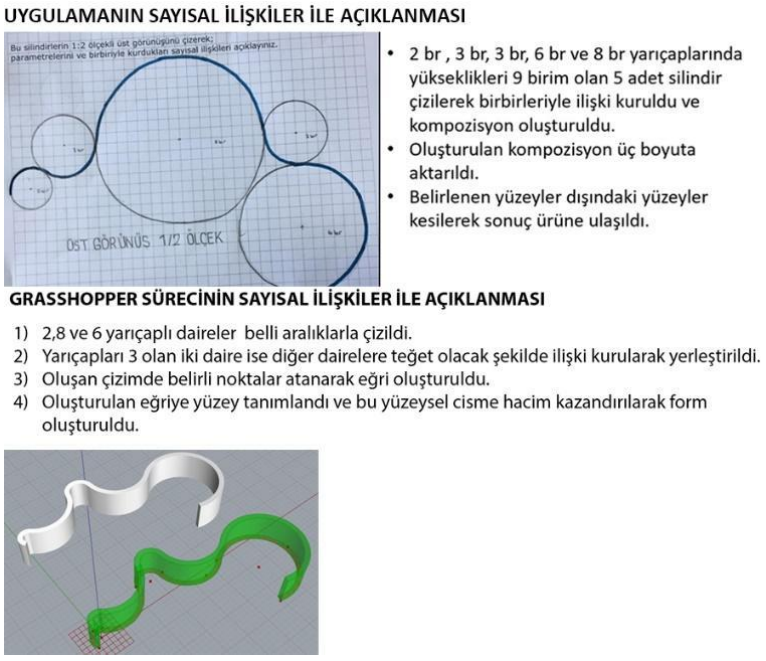
Portfolyolar, öğrencinin dönem başından dönem sonuna gelişimini ortaya koymaktadır. Ders süreçleri genellikle dönem içerisinde giderek karmaşıklaşan bir öğretme düzeni içerisinde kurgulanmaktadır. Öğrencilerin her öğrendikleri bilgiyi sonraki haftalara taşımaları ve kullanmaları beklenmektedir. Portfolyo yönteminde öğrenciler her ders sonrasında portfolyonun ilgili bölümünü hazırladıkları için (**Şekil 4**), öğrencilerin öğrenme düzeyleri sistematik

olarak tespit edilebilmekte ve anlaşılamayan noktaların bir sonraki derste üzerinde tartışılabilmesi mümkün hale gelmektedir.



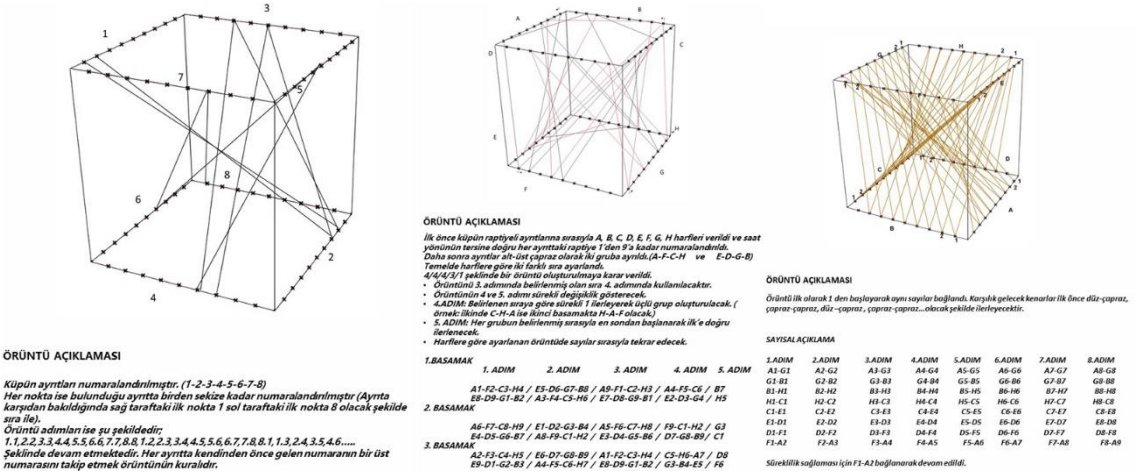

**Şekil 4:** Portfolyo yöntemine ilişkin örnek sayfalar

Portfolyo yönteminde öğrenci bir uygulamaya ilişkin öğrendiklerini sözel ifadelerle anlatmakta ve böylelikle öğrenme sürecini içselleştirebilmektedir. **Şekil 5**'te uygulama süreci ile sayısal modelleme süreci arasındaki ilişkinin öğrenci tarafından açıklandığı görülmektedir. Bu uygulama bağlamında uygulama sürecinde belirlenmiş olan sayısal ilişkiler ile sayısal modelin parametreleri arasındaki bağlantı üzerinde yeniden düşünmektedir. Böylelikle, sayısal ortamın getirdiği soyut ilişkiler ile fiziksel ortamın getirdiği somut ilişkiler arasındaki ilişkiyi fark edebilmektedir.



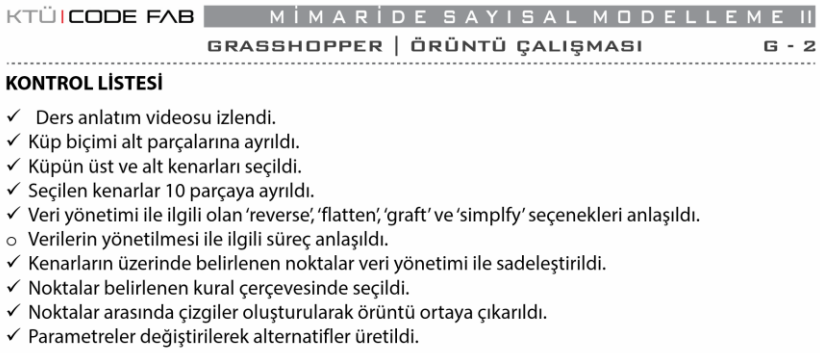

**Şekil 5:** Uygulama süreci ve sayısal modelleme arasındaki ilişki

Portfolyo değerlendirmesinde öğrencilerin konuya yaklaşımlarındaki, süreci ifade etme biçimlerindeki farklar net olarak görülebilmektedir. **Şekil 6**'da aynı uygulamaya ilişkin farklı öğrencilerin süreci ifade etme biçimleri görülmektedir. Öğrencilerden birinin süreci sözel anlatım ağırlıklı, birinin hem sözel hem sayısal ilişkilerle, diğerinin ise sayısal ağırlıklı olarak ifade ettiği görülmektedir. Buradan hareketle, her öğrencinin kendi öğrenme tarzını kendi kurguladığını ve portfolyonun bu süreci izlemek açısından olumlu sonuçlar verdiği söylenebilmektedir.




**Şekil 6:** Aynı uygulamaya ilişkin farklı öğrencilerin ifade biçimleri

Çalışma kapsamında hazırlanmış olan portfolyo altlığındaki bölümlerden birisi de "kontrol listesi" başlığıdır (**Şekil 7**). Bu başlık altında egzersiz sürecinin adımları öğrenci ile paylaşılmış ve öğrencinin bu adımları gerçekleştirip gerçekleştirmediği tespit edilmiştir. Kontrol listesi aynı zamanda öğrencilerin egzersiz sürecinde dikkat etmeleri ve üzerine düşünmeleri gereken noktaları da vurgulamaktadır. Bu başlık, çalışma kapsamında sayısal modelleme odaklı egzersizlerde kullanılmıştır. Liste maddeleri yürütücü tarafından hazırlandığı için öğrenci modelleme adımlarının bir dökümünü görmüş olmaktadır. Bu maddelerde ifade edilen kavramlar, öğrencinin sayısal modelleme sürecinde aslında neyi öğrendiğini ifade etmektedir. Böylelikle öğrencinin çoğu zaman farkına varmadan yaptığı çalışmanın aslında neyi öğretmek hedefinde olduğunu görmesi açısından önem taşımaktadır.


KTÜ | CODE FAB MİMARİDE SAYISAL MODELLEME II
GRASSHOPPER | ÖRÜNTÜ ÇALIŞMASI G - 2

**KONTROL LİSTESİ**

- ✓ Ders anlatım videosu izlendi.
- ✓ Küp biçimi alt parçalarına ayrıldı.
- ✓ Küpün üst ve alt kenarları seçildi.
- ✓ Seçilen kenarlar 10 parçaya ayrıldı.
- ✓ Veri yönetimi ile ilgili olan 'reverse', 'flatten', 'graft' ve 'simplfy' seçenekleri anlaşıldı.
- o Verilerin yönetilmesi ile ilgili süreç anlaşıldı.
- ✓ Kenarların üzerinde belirlenen noktalar veri yönetimi ile sadeleştirildi.
- ✓ Noktalar belirlenen kural çerçevesinde seçildi.
- ✓ Noktalar arasında çizgiler oluşturularak örüntü ortaya çıkarıldı.
- ✓ Parametreler değiştirilerek alternatifler üretildi.

**Şekil 7:** Bir uygulamaya ilişkin kontrol listesi örneği

## 3. Değerlendirmeler ve Sonuçlar

Çalışma sürecinde portfolyo değerlendirme yöntemi sayısal tasarım odaklı seçmeli dersler kapsamında lisans düzeyindeki öğrenciler ile uygulanmıştır. Bu bağlamda portfolyo yönteminin en önemli getirilerinden birisi, öğrencilerin dönem içindeki gelişimlerinin düzenli bir şekilde tespit edilebilmesi olmuştur. Öğrencinin kullandığı terminolojinin, sayısal tasarım ve modelleme becerisinin ne yönde geliştiği tespit edilebilmiştir. Sonuç yerine süreç odaklı bir ölçme imkânı sağlaması açısından değerlidir. Portfolyo yöntemi bu yönüyle mimarlık bölümlerindeki dersler gibi üretim odaklı eğitimin gerçekleştiği süreçlerde kullanılabilecek bir yöntemdir. Örneğin proje derslerinde öğrencilerin portfolyo hazırlaması istenip, dönem sonunda öğrencinin ne yönde geliştiği gözlenebilir. Portfolyo

yöntemi yalnızca bu çalışma değil, deneyimlemeye odaklı eğitim yaklaşımının benimsendiği her çalışma için kullanılabilir bir yöntem olma potansiyeli taşımaktadır.

Portfolyo yönteminde öğrenci, her uygulama sonrasında ilgili portfolyo altlığını doldurarak dersin yürütücüsü ile paylaşmaktadır. Böylelikle öğrencilerin uygulama bazında başarılarının tespit edilebilmesi sağlanabilmektedir. Dönem sonunda ise, öğrencinin dönem başı ile dönem sonu arasında bilgi ve beceri farkı net bir şekilde görülebilmektedir. Portfolyo değerlendirmesi haftalık olarak yapıldığı için, öğrencinin belirli bir düzen içinde öğrenme sürecini tamamlaması sağlanmaktadır.

Portfolyo değerlendirme süreci standart bir altlığa oturtularak ve rubrik sistemle bütünleştirilerek, dönem sonunda verilen notların adil bir sistemle verilmesi sağlanmıştır. Notlandırma sürecinde ortaya çıkan sonuç ürünün niteliğine değil, sürece not verilmiştir. Böylelikle öğrencilerin yeni bir şeyler deneyip başarısız olmaları halinde düşük not almalarının önüne geçilmiştir. Öğrenci de bunu bildiği için ders sürecinde daha serbest fikirlerle üretimler yapabilmişlerdir.

Portfolyo yönteminin uygulanmasına pandemi öncesinde başlanmış olup, uzaktan eğitim sürecinde de bu değerlendirme yönteminin kullanılmasına devam edilmiştir. Bu yönüyle portfolyo değerlendirme yönteminin esnek ve hem uzaktan eğitim hem de yüz yüze eğitim süreçlerinde uygulanmaya elverişli olduğu söylenebilmektedir. Uzaktan eğitime geçilmesi ile birlikte ders süreçlerinde özellikle değerlendirme ve notlandırma süreçleri ile ilgili sorunlar yaşanmış, bu kapsamda üniversiteler öğrencilerin tepkisini çekecek sınav uygulama kararları almışlardır. Çalışma kapsamında uygulanmış portfolyo yöntemi sayesinde ise hem adil bir notlandırma süreci gerçekleştirilebilmiş hem de öğrencilerin dönem sonunda edinmiş oldukları bilgi düzeyleri tespit edilebilmiştir.

## KAYNAKLAR

Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives*. David McKey Company, Michigan.

Büyükduman, İ., & Şirin, S. (2010). Learning portfolio (LP) to enhance constructivism and student autonomy. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 3, 55–61.

Crehan, M., Seery, N., Canty, D., & Lane, D. (2012, Haziran). Constructivist e-portfolios: The use of media in the collecting and evidencing of student learning. ASEE Annual Conference & Exposition, Texas.

Hamm, M., & Adams, D. (1992). Portfolios: A valuable tool for reflection and assessment. Journal of Experiential Education, 15, 1, 48-50.

Hypki, C. (1994). *Thinking about learning and learning about thinking: Using portfolio assessment in adult education a handbook for instructors and tutors.* Essex Community Colege, Baltimore.

King, A. (1993). From sage on the stage to guide on the side. College Thinking, 41, 1, 30-35.

Liu, C. H. ve Matthews, R. (2005). Vygotsky's philosophy: Constructivism and its criticisms examined. International Education Journal, 6, 3, 386-399.

Popescu-Mitroia, M., Todorescu, L. & Greculescu, A. (2015). The usefulness of portfolios as assessment tools in higher education. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 191, 2645–2649.

Schoenfeld, A. H. (1987). Cognitive science and mathematics education: An overview. Cognitive Science and Mathematics Education içinde, Alan H. Schoenfeld (Ed.), (pp. 1-32), Routledge, New York.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# İnsan Hücresi Ölçeğinde Dijital Tasarım: Bir Aşırı Ortam Denemesi

Ece Küreli Gülpınar[1]; Emre Kılıçkaya[2]; Efe Şür[3]; Güzden Varinlioğlu[4]
[1234]İzmir Ekonomi Üniversitesi
[1]http://people.ieu.edu.tr/tr/ecekureli, [1]ece.kureli@ieu.edu.tr; [2]https://missiontherealmwithin.wordpress.com/, [2]emrekilickaya00@gmail.com; [3]https://missiontherealmwithin.wordpress.com/, [3]efesurstd@gmail.com; [4]https://people.ieu.edu.tr/tr/guzdenvarinlioglu, [4]guzden.varinlioglu@ieu.edu.tr

## Özet

*Koronavirüs (COVID-19) pandemisinin etkisiyle insan ve mimarlık eksenindeki tasarım konularına yeni parametreler eklenmiştir. Sağlık çalışanları, bilim insanları ve biyologlar içinde olmak üzere birçok disiplin, pandemi ile mücadelede tıbbi tedavi ve aşı çözümleri üzerinde çalışmaktadırlar. Mimarlık ve tasarım disiplinleri ise COVID-19'un getirdiği yeni normal koşulların ardından hem yaşam mekanları hem de bu mekanları kurgulamada tanımlanabilecek dinamiklerin tasarım araştırmaları üzerinden sorgulanması, giderek geçerlilik kazanan bir önemli konu haline gelmiştir. Özellikle insan bedeninin bu duyarlı dönemde sürdürülebilir, dirençli ve modüler yaşam alanları yaratmada birincil unsur haline gelmesi, mimarlık disiplini ve tasarım odaklı düşünceye yeni bakış açılarından yaklaşmayı gerekli kılmıştır.*

*Bu bildiri, insan bedeni aşırı bir ortam olarak ele alındığında, mimarlık öğrencilerinin bu sorunu, sayısal tasarım süreçleri ve araçları çerçevesinde nasıl ele aldıklarını aktarmaktadır. İzmir Ekonomi Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü 2. sınıf öğrencileri ile iki aşamada gerçekleştirilen "Mission: The Realm Within / Görev: İçimizdeki Âlem" çalıştayı kapsamında, insan bedeni içerisinde iki bilim insanı için laboratuar kapsülü olarak işlev görecek bir yapısal organizma, öğrencilere tasarım problemi olarak verilmiştir. Çalıştayın birinci aşamasında, öğrenciler hücresel ölçeğe küçülebileceği varsayılan koloni üretimine yönlendirilmiştir. Tasarım arayışına destekleyici öğe olarak insan bedeninde bulunan bir hücre tipi, biyomimetik organizma olarak bir öğrenci ekibine tanımlanmıştır. İkinci aşamada ise bu koloniyi oluşturacak kapsül birimleri tasarlamaları ve biçim, yapı ve mekanın sentezi ve bütünleşmesi açılarından incelemeleri istenmiştir. Bildiri kapsamında birinci aşamanın sonuçları üzerinde durulmakta ve ikinci aşamaya kısaca değinilmektedir. Çalıştaya katılan on dört ekip arasından iki proje, evrimsel biyoloji teknolojileri ile mimariyi bir arada araştıran ve geleneksel yöntemlerle tasarımcıların betimleyemeyeceği sayısal modeller üretebilen genetik algoritma ve eniyileştirme (optimization) yöntemi yaklaşımları üzerinden örneklendirilmiştir.*

*Mimarlık öğrencileri çevrimiçi stüdyo eğitiminde iki uç noktayı keşfetmiştir. Biri 2. sınıf stüdyosunun düzenlediği aşırı ortam çalıştay serileri arasında en aşırı ortamı sunan insan vücudu, diğeri ise araştırmada yeni bilgi ve uygulamaları öğrendikleri değişen ve dönüşen bir dijital tasarım bağlamıdır. Makalenin bulguları, pandemi sürecinin neden olduğu kısıtlamaya ve buna bağlı olarak üretim teknolojilerine erişim eksikliğine rağmen, öğrencilerin yaşadığı bu dijital tasarım ve stüdyo sürecinin katkısını değerlendirmektedir. Ayrıca, olağanüstü bir ölçekte ürünler tasarlamanın ve farklı disiplinlerdeki araştırma ve bilginin önemi de değerlendirilmektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Aşırı ortam, kural tabanlı üretim, biyomimikri, mikro ölçek.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Gülpınar, E., K., Kılıçkaya, E., Şür, E., & Varinlioğlu, G. (2021). İnsan hücresi ölçeğinde dijital tasarım: Bir aşırı ortam denemesi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 114-123). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Digital Design at the Scale of the Human Cell: An Experiment within an Extreme Environment

Ece Küreli Gülpınar [1]; Emre Kılıçkaya [2]; Efe Şür [3]; Güzden Varinlioğlu [4]
[1234] İzmir University of Economics
[1]http://people.ieu.edu.tr/tr/ecekureli, [1]ece.kureli@ieu.edu.tr; [2]https://missiontherealmwithin.wordpress.com/, [2]emrekilickaya00@gmail.com; [3]https://missiontherealmwithin.wordpress.com/, [3]efesurstd@gmail.com; [4]https://people.ieu.edu.tr/tr/guzdenvarinlioglu, [4]guzden.varinlioglu@ieu.edu.tr

## Abstract

*With the effect of the coronavirus (COVID-19) pandemic, new parameters have emerged in design issues, located on the architecture-human axis. Researchers from many disciplines, including healthcare professionals, scientists and biologists, are working on medical treatment and vaccine solutions to combat the pandemic. Architecture and design disciplines have similarly seen evolving issues in the wake of the new normal conditions brought by COVID-19, including a questioning of both living spaces and the dynamics that can be defined in constructing these spaces, through design research. In particular, the human body has become the primary element in creating sustainable, resistant and modular living spaces in this sensitive period, which necessitated a new perspective in approaching the discipline of architecture and design-oriented thinking.*

*This paper conveys how architecture students approach this problem within the framework of digital design processes and tools, under the condition in which the human body itself is considered as an extreme environment. Within the scope of the "Mission: The Realm Within" workshop, held in two phases at Izmir University of Economics, Faculty of Fine Arts and Design, Department of Architecture, students were given the design problem of creating a structural organism that will function as a laboratory capsule for two scientists within the human body. In the first phase of the workshop, the students were directed to the production of colonies, and instructions were given that these should be scaled down to the cellular scale. As a supporting element to the design quest, a group of students were invited to consider a cell type found in the human body as a biomimetic organism. In the second stage, they were asked to design capsule units that will form this colony, and to examine the synthesis and integration of form, structure and space. The focus of the paper is the results of the first stage, but the second stage is also briefly mentioned. Among the fourteen teams participating in the workshop, two projects were exemplified through genetic algorithm and optimization method approaches, which allow the joint exploration of evolutionary biology technologies and architecture, and produce numerical models that are impossible to arrive at with traditional design methods.*

*Architecture students explored two extremes in the online studio training. One was the human body, which offers the most extreme environment among the extreme environment workshop series organized by the 2nd-grade studio, and the other extreme was the context of a changing and transforming digital design, in which they learned new knowledge and applications in research. The findings of the paper assess the contribution of this digital design and studio process experienced by the students, despite the limitation caused by the pandemic process and the consequent lack of access to production technologies. Also assessed is the importance of designing products on an extraordinary scale, and research and knowledge in different disciplines.*

***Keywords:*** *Extreme environment, rule-based production, biomimicry, micro scale.*

**Citation in APA Style:** Gülpınar, E., K., Kılıçkaya, E., Şür, E., & Varinlioğlu, G. (2021). Digital design at the scale of the human cell: An experiment within an extreme environment. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 114-123). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

2019 yılı sonlarına doğru yaşamımıza giren Koronavirüs (COVID-19)'ün ardından, her alanda yeni normaller oluşmuştur. Virüsün pandemi[2] olarak adlandırılması ile birlikte birçok sağlık çalışanı, bilim insanı ve araştırmacı, başta aşı olmak üzere çeşitli sağaltım yöntemleri aramaya ve geliştirmeye başlamıştır. Bilim ve tıp dünyasının kesin sağaltımı için zamana karşı yarıştığı bu güncel çerçevede, hastalıkla savaşan insan bedeninin, yalnızca COVID-19'u yenmek için değil, başka bilinen ve bilinmeyen hastalıklar için de alternatif sağaltımlar bulmak, araştırmak ve önlemek için alternatif bir ortam olduğu ortaya çıkmıştır ve bu ortamda başarıya ulaşmak için tasarım da içinde olmak üzere, biyoloji, mühendislik ve matematik gibi disiplinlerin de bir araya geldiği araştırma yöntemlerine gereksinim vardır.

Bu araştırma yöntemlerinden biri, doğada var olan mekanizmaları örnek alarak kodlama yöntemiyle herhangi bir sorunu çözmeyi amaçlayan "genetik algoritma" yaklaşımıdır. Genetik algoritmaların farklı çözüm alternatifleri kümesi üreterek, küresel ölçekte çözüm ve genetik en iyileştirme (*optimization*) sağlama ilkesi sayesinde bir virüse bağlı hastalıkların sağaltımında eldeki aşının insan bedenindeki yoğunluğu ve saldırı hızı modellenebilmekte; böylece aşının en iyi dağıtılma biçimi ve öncelikli gereksinim kodlama yardımı ile hesaplanmaktadır (Goldberg 1989; Beasley ve diğ., 1993; Patel ve diğ., 2005). Doğadan esinlenerek elde edilen bir biçim şemasının sayısal verilere çevrilmesi, tasarım disiplinin de biyolojik modellerin karmaşıklığını bilgisayar ortamı aracılığı ile çözebilme ve eniyileme yöntemleri üzerine çalışmasını sağlamaktadır (Duro-Royo ve diğ., 2015). Bu çerçevede bir tasarım sorunu olarak biyolojik bedenin sunduğu aşırı ortamın, biyomimikri ile ilişkilendirilebileceği ve genetik algoritma yaklaşımına benzer biçimde kodlama yoluyla çözüm alternatifleri sağlayabileceği düşünülmektedir.

Mimarlık öğrencilerinin insan bedenini hücre ölçeğinde keşfederek, sayısal tasarım sürecini mikro ölçekteki bir aşırı ortama nasıl uyarlayabileceklerini ve üretebilecekleri farklı çözüm kümelerini gözlemlemek amacıyla 2. sınıf öğrencileri ile proje dersleri kapsamında 5 haftalık bir çalıştay gerçekleştirilmiştir. Çalıştay kapsamında öğrenciler, insan bedeninin içerisine nanoteknoloji yardımıyla, nanometrik boyutta tasarlanarak yerleştirilecek ve biyomimetik yapıda olacak bir araştırma kolonisi tasarlamayı amaçlamışlardır. Bu bildiride, çalıştay kapsamında ortaya çıkan tasarım ürünleri ve süreci, örnek öğrenci projeleri üzerinden değerlendirilmektedir. Sayısal tasarım araçlarının yardımı ile üretilen koloniler ile öğrencilerin belirlediği hedefler doğrultusunda dayanıklı, esnek ve dirençli alternatif tasarım önerileri sayısal tasarım kullanımının önemi ile birlikte sunulmaktadır. İzmir Ekonomi Üniversitesi'nin eğitim dili nedeniyle öğrencilerin bireysel ya da ekipler olarak hazırladıkları tüm sunum posterleri bu bildiride İngilizce olarak sunulmaktadır.

## 1.1. Literatür Taraması

Tasarımda üretim yöntemlerinin ve araçlarının gelişmesi ve biyomimikri konusu, insan ve doğayı bir araya getiren ortak sorunlara karşı geliştirilebilecek yöntemlere duyulan gereksinim ile ilgili görülmektedir. Biyomimikri, doğanın sunduğu en iyi tasarım fikirlerine biçimsel ve/ya da işlevsel olarak öykünerek geliştiren bir disiplindir. Janine Benyus'un *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* adlı kitabında ilk kez kullandığı bu terim, biyoloji başta olmak üzere insan ve insan yaşamı ile ilgili birçok disiplin arasında köprü kurmayı amaçlamaktadır (Benyus 1997; Pawlyn 2019).

Türk Dil Kurumu'nca tanımı 'kalıtım bilimi' olarak verilen genetik ve 'sonuca en hızlı biçimde ulaşılması işlemi' olarak belirtilen algoritma sözcüğünün birleşmesiyle elde edilen genetik algoritma kavramı ise doğada gözlemlenen evrimsel mekanizmalara benzer mekanizmalar kullanarak çalışan en iyileştirme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Genetik algoritma belki de tüm evrime dayalı arama algoritmalarının en bilinenidir. Genetik Algoritmalar, doğal sistemlerin uyum sağlama süreçlerini açıklamak ve bu doğal sistemlere dayalı yapay sistemler tasarlamak amacıyla John Holland tarafından geliştirilmiştir (Holland, 1973; 1975).

Mimarlık ve tasarım disiplinlerinin genetik algoritma ve biyomimikri ile ilişkilendirilebilecek arayışları, 90'lı yıllarda evrimsel biyoloji teknolojileri ve çağdaş mimarlık sorunlarında görülmektedir (Bentley 1999; Frazer 1995). Mimari projelerde farklı faktörler sonucunda biçimsel ve üretimsel karmaşa düzeyinin günden güne artmasıyla, geleneksel

[2] Bir kıta ya da tüm dünya yüzeyi gibi çok geniş bir alanda yayılan ve etkisini gösteren salgın hastalıkları ifade etmektedir.

yöntemlerle çözülemeyeceği anlaşılan tasarım sorunları, genetik algoritmanın en iyileştirme yönteminden yararlanarak alternatif bir çözüm aracı olarak kullanılmıştır. Çok öğeli ya da karmaşık geometrili yapılar için manuel hesaplamaların yetersiz geldiği durumlarda en iyileştirme tekniklerinin kullanılması kaçınılmaz duruma gelmiştir. Bu bağlamda tasarım alanına giren algoritma tabanlı tasarım parametreleri, matematiksel ve bilgisayar ile modellemeye

dayalı hesaplamalı geometri *(computational geometry*) yöntemleri ile doğadan esinlenen özgür biçimli yüzey ve hacimler üretme olanağı tanıdığı belirtilmektedir (Terzidis 2006; Oxman 2006). Son yıllarda, mimari tasarımda bir tasarım aracı olarak kullanan da bu yeni yöntemler ile beraber, pedagojik bir çerçevede aktarılan bilgi ve becerilerin hesaplamaları işlevler ile mimari tasarıma aktarılması hesaplamalı sayısal tasarım sürecinin daha iyi anlaşılmasını sağladığı ifade edilmektedir (Kotnik 2010). Tüm gunlara ek olarak, genetik algoritmaların ve programlama kodlarının gücü, mimari tasarımcıları, fraktal üreten algoritmalar (*fractals*), hücresel otomatlar (c*ellular automata*), Voronoi gibi özel algoritma araçlarının olağan hacimlerin ötesine geçirebildiği tartışılmaktadır (Azambuja Varela 2013). Genetik algoritmalar mimaride iki çalışma ilkesi üzerinden incelenmektedir: en iyileştirme araçları ve biçim oluşturma araçları olarak. Birincisi yapısal, mekanik ya da termal performans gibi sorunları ele alırken ikincisi evrimsel ortaya çıkış kavramı kapsamında kullanılmaktadır (Fasoulaki 2007). Ancak bu çalıştayı kapsamında genetik algoritma, mimaride bir tasarım aracı olarak rehber edinilmiş ve dijital becerilerin öğretimi için mantıksal ilişkilerin anlaşılmasında kullanılabilecek kuramsal bir altlık olarak incelenmiştir.

## 2. Konuya Yaklaşım ve 'Görev: İçimizdeki Âlem' Çalıştayı

"*Mission: The Realm Within*/Görev: İçimizdeki Âlem" çalıştayı, İzmir Ekonomi Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü 2. Sınıf Bahar stüdyosunca 2017 yılından beri düzenlenen ve farklı tema ve konumlarda dijital tasarım ve üretim araçlarını kolonileşme modelleri üzerinden keşfetmeyi amaçlayan bir aşırı ortamda tasarım çalıştay dizilerinin sonuncusudur. Yedi stüdyo eğitmeni yürütücülüğünde toplam 76 öğrenci 14 ekip olarak çalışmıştır. Çalıştay kapsamında COVID-19'un neden olduğu yeni normal tanımından esinlenerek insan bedeninin çeşitli hastalık ya da anatomik bozuklukların sağaltımı amacıyla kolonileştirilmesi kurgusuna biyomimetik yapısal organizma ve genetik algoritmalardan esinlenerek tasarım önerileri geliştirmeleri beklenmiştir. Biçim üretimi ve görselleştirme aşamalarında kullanılan sayısal tasarım ve modelleme eğitimi verilmiştir.

Öğrencilere bu kapsamda iki aşamalı tasarım problemleri verilmiş ve onlardan çözüm önerilerini pandemi nedeniyle dijital ve çevrimiçi formatta sunmaları beklenmiştir. Birinci aşamada, kural tabanlı tasarım yöntemi ile biyomimetik organizmanın kolonizasyonu, ikinci aşamada ise bu koloninin iki araştırmacı için bir laboratuvar işlevi görecek kapsül birimi (*pod unit*) düzeyinde tasarlanması ve projelendirilmesi istenmiştir. Bu aşamalarda öğrenciler, insan bedeninde ileri bir teknoloji yöntemiyle hücre ölçeğine küçültülerek yerleştirildiği varsayılan bir biyomimetik yapısal organizma tasarlamışlardır. Bu varsayımsal tasarım sorun ile tasarım önerilerinin uygulanabilirliğinden çok; farklı modelleme ve anatomik sunum araçlarının tanıtılarak kullanılması ve buluşsal bir sürecin başlangıcı olması amaçlanmıştır. Modelleme yöntemleri ve araçları aşağıdaki bölümde ayrıntılandırılmıştır.

### 2.1. Kural Tabanlı Üretim ve Kolonileşme Modeli

Çalıştayın birinci aşamasının ana odak noktası insan bedeni içerisine yerleştirilecek ve tıbbi bir duruma (mikrobiyolojik hastalık, genetik bozukluk, morfolojik deformasyon, fizyolojik disfonksiyon, fiziksel travma vb.) çözüm bulabilecek bir koloninin konumlandırılması hedeflenmiştir. Biyomimetik ilkeleri tek bir barınma modülünün tasarımı ve büyüme/yayılma simülasyonun oluşturulmasında kullanılmıştır. İlk aşamada bu kolonilerin insan bedenine ileri bir teknolojiyle küçültülerek yerleştirildiği varsayılmıştır. Bu koloni modelinin beden içerisindeki organik ve inorganik maddeler ile uyumlu ve koşullara dirençli bir yapıda ortaya çıkacağı, genişleyeceği, hareket edeceği ve küçüleceği vurgulanmıştır. Bu bağlamda araştırmacı olarak tanımlanan kullanıcıların robotlar olacağı ve insansal temel gereksinimlerin olmayacağı varsayılmıştır. Son olarak, her bir öğrenci ekibine simülasyon modelinde uygulamak üzere bir insan hücresi atanmıştır. Bu hücreler sırasıyla; kırmızı kan hücreleri (alyuvar), beyaz kan hücreleri (akyuvar), plateletler (kan pulcukları), sinir hücreleri, nöroglial hücreler, kas hücreleri, kıkırdak hücreleri, kemik hücreleri, deri hücreleri, endotel hücreleri, epitel hücreleri, yağ hücreleri, kök hücreler, üreme hücreleri (gametler)'dir.

Gerçek ölçülerde kurulabilir yapılardan farklı olarak, araştırmacı kolonisini oluşturan modelin yaklaşık 1 $cm^2$ bir alanda; 1/0.01'lik ölçekli bir topografyada tanımlanması istenmiştir. Görsel Kodlama Ortamı (*Visual Scripting*

*Environment*) ile yapılan bu yayılım haritasında, Rhinoceros ortamında çalışan Wasp[3] eklentisi çalıştayı yapılmış, ancak, öğrenciler kendi Grasshopper tanımlarını ya da eklentilerini kullanmaları konusunda da desteklenmişlerdir.

### 2.2. Kapsül Tasarımı

Çalıştayın bu aşamasında öğrencilerden bu koloniyi oluşturan araştırmacı kapsüllerini tasarlamaları ve form, yapı ve mekan sentezini incelemeleri istenmiştir. Kapsüllerin moleküler yapılara benzer biçimde birbirine kenetlenebilen bölmeler olarak belirlenmesinin potansiyeli üzerinde durulmuştur. Bu yapıların, geleneksel yapı tipolojilerinden farklı olmalarına karşın mikro boyutları nedeniyle işlevselliğin yanı sıra gereçler ve bağlantı öğeleri ile öğrenciler için teknik bir sorun durumuna gelmesi de hedeflenmiştir. Kapsül yapılarının ergonomik ve aerodinamik bir görünümü olması, barınak oluşturması ve kapsül dışındaki öğelere karşı direnç ve dayanım göstermesi beklenmiştir. Kolayca üretilmeli, monte edilmeli ve büyümeye ya da küçülmeye izin verecek biçimde modüler olmalıdır. Gövde içinde iz bırakmayacak, sökülebilir ya da çözünebilir olmalıdır. Tüm bu bileşenler yapının tektonik niteliğini oluşturmakta tanımlanmıştır.

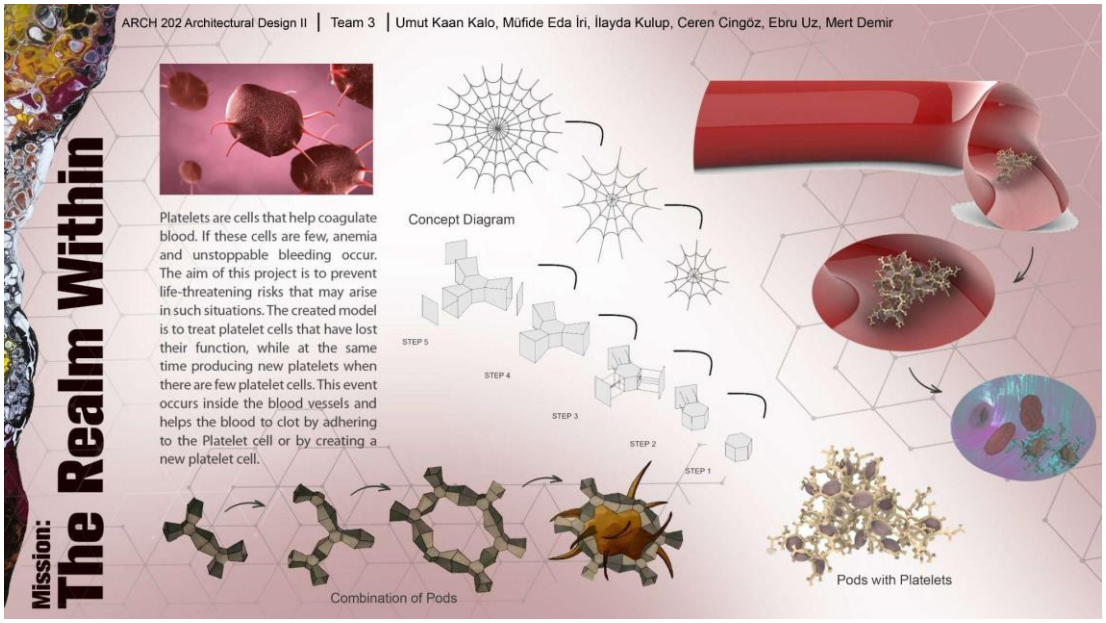
## 3. Öğrenci Çalışmaları

Çalıştayın ilk aşamasındaki aşırı ortamda biyomimetik organizma tasarımı üzerine çalışan 14 öğrenci ekibinin çalışmaları aşağıda özetlenmiştir. Sayısal tasarım araçlarını öğrenme ve tasarım süreci sonuçlarını değerlendirmek için iki ekip (12. ve 14. ekipler) incelenmektedir. Bütün ekiplerin çalışmalarına projenin internet günlüğünden ulaşılabilir.[4]

***Ekip 1:*** Kırmızı kan hücresinin yapısından yola çıkılmıştır. *Bioncave Form* (çift-iç bükey yapı) kullanılmıştır Hücrenin işlevsel özellikleri göz önünde tutularak, koloninin yerleşebileceği en uygun bölgenin kalpte bulunan aort damarı olduğuna karar verilmiştir. Seçilen bölge göz önünde bulundurularak yapının yüzük biçiminde büyümesi hedeflenmiştir.

***Ekip 2:*** Beyaz kan hücresinin yapısından tasarıma başlanmıştır.. Hücrenin yapısal özelliği sonucu koloniyi oluşturan kapsüllerde üstü açılabilen bir tasarım düşüncesi ortaya konmuştur. Tasarımın temel amacı koloninin bedene giren zararlıları hızlıca tanıyıp, bu verileri bağışıklık sistemine aktarmaktır. Koloni yapısının hedef hücre çevresinde kümelenme yoluyla çoğalması hedeflenmiştir.

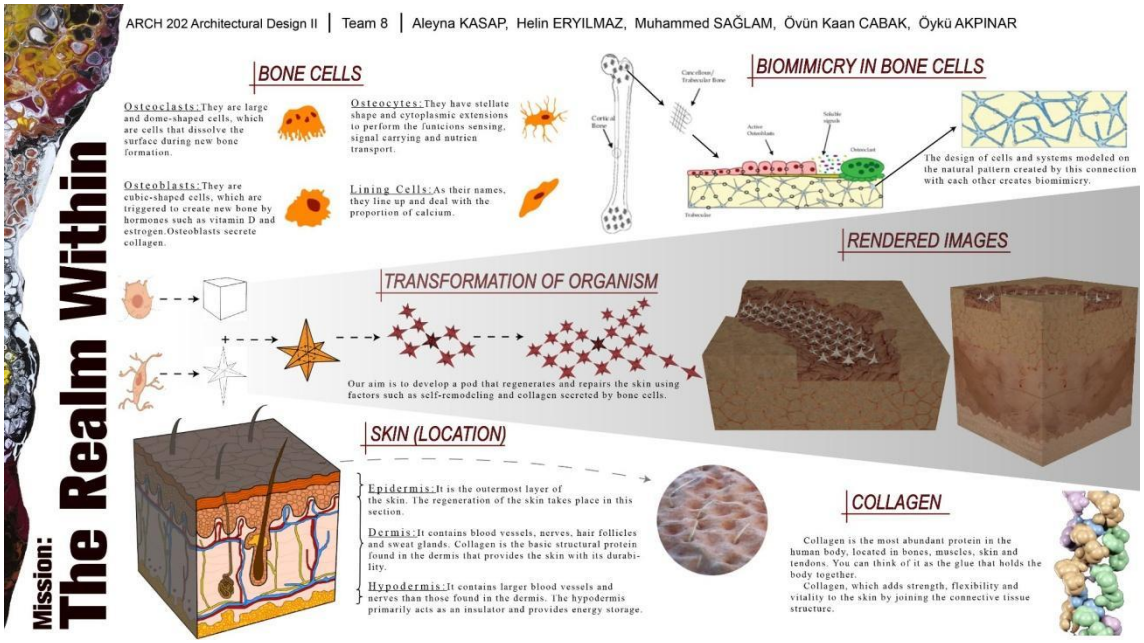
***Ekip 3:*** Platelet yapısından esinlenilmiştir. Platelet, öbür adıyla kan pulcuğunun biçimsiz ve kanama anında ortaya çıkan uzantılı yapısı gereği kolonileşme yapısı bu platelet çevresinde konumlanmıştır. Yapının büyümesinde örümcek ağından yola çıkılmıştır. Belirli bir bölgesi olmayan bu yapı, damarlarda dolaşarak karşılaşılabilecek sorunlara müdahale ederek dayanıklılığı arttırmayı hedeflemektedir (**Şekil 1**).




**Şekil 1:** Ekip 3 sunum paftası

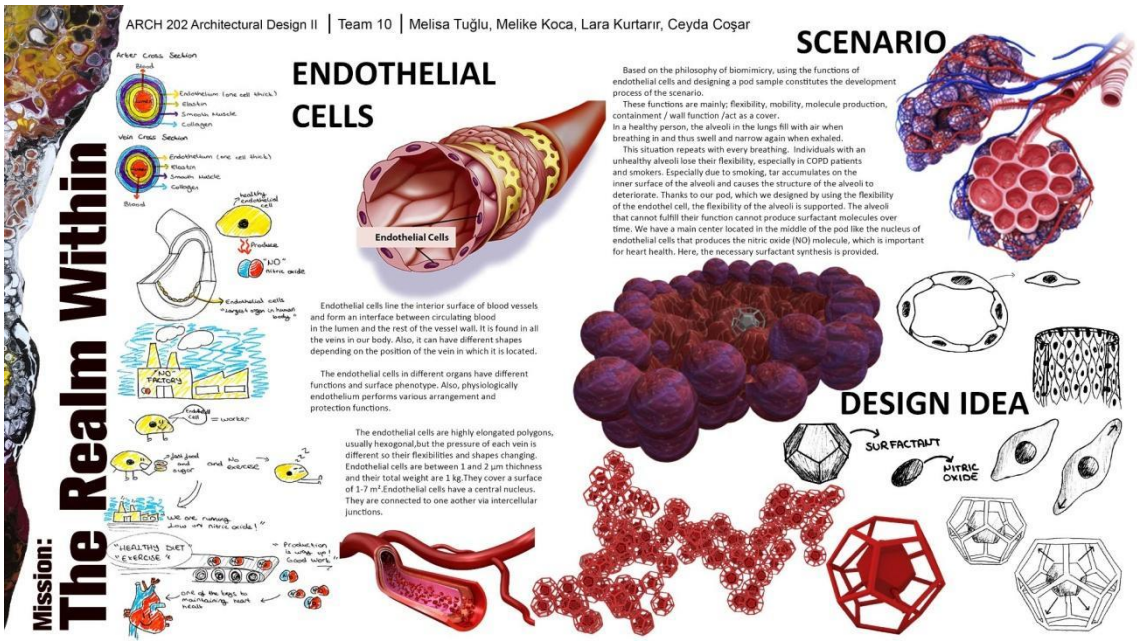
[3] https://www.food4rhino.com/app/wasp
[4] https://missiontherealmwithin.wordpress.com/

***Ekip 4:*** Sinir hücrelerinden esinlenilmiştir. Bölge olarak bellek ve yön bulmada önemli rol oynayan hipokampüsü seçilmiştir. Yapısı bakımından nörondan örnek alınmış, seçtikleri bölge ve hücre sonucuyla Alzheimer hastalığı gibi bellek rahatsızlıklarını çözüme kavuşturmak amaçlanmıştır. Hücre çoğalmasında sinir hücrelerinin bağlanma biçimlerinden yararlanılmıştır.
***Ekip 5:*** Nöroglial hücrelerden yola çıkılmıştır. Koloninin amacı, yeni bir miyelin dokusu oluşturarak, MS hastalığını yok etmektir. Bu bağlamda, sinir hücrelerinin onarımını sağlayarak, bedenin dayanıklılığını arttırmak hedeflenmektedir. Yapı, dalgasal bir düzende çoğalmaktadır.
***Ekip 6:*** Sürece kas hücrelerini örnek alarak başlanmıştır. Hücrenin esnek yapısı ve *Poly-Lactic Acid Stent* (Polilaktik Asit) üzerine çalışan Ekip, kan damarlarının içinde hareket ederek hasar görmüş bölgeleri iyileştirip dayanıklılığı arttırmayı hedeflemiştir. Koloninin oluşumu ve büyümesi düz kas hücresi örneğine göre hesaplanmıştır.
***Ekip 7:*** Kıkırdak hücresi çalıştayın başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Yapısından esinlenilen kıkırdak hücresinin omurilik bölgesinde en verimli biçimde kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu hedefler doğrultusunda, kireçlenme hastalığını önlemek hedeflenmiştir. Ayrıca, omuriliğin yapısından dolayı birleşim biçimi olarak çizgisel bir dizilim uygulanmıştır.
***Ekip 8:*** Kemik hücresinden yola çıkılmıştır. Kemik hücresinin yenilenebilme özelliğinden ilerleyen ekip, kendisine bölge olarak epitel dokuyu (deri) seçmiştir. Deri hastalıklarına ve derinin yenilenmemesi gibi sorunları sağaltarak dayanıklılığı artırmak amaçlanmıştır. Kapsül tasarımı yapısı bakımından osteoblasts ve osteocytes hücrelerinin birleşmesinden yararlanılmış, oluşan yapıların çoğalımında kemik hücrelerinin birleşmesinden esinlenmiştir (**Şekil 2**).




**Şekil 2:** Ekip 8 sunum paftası

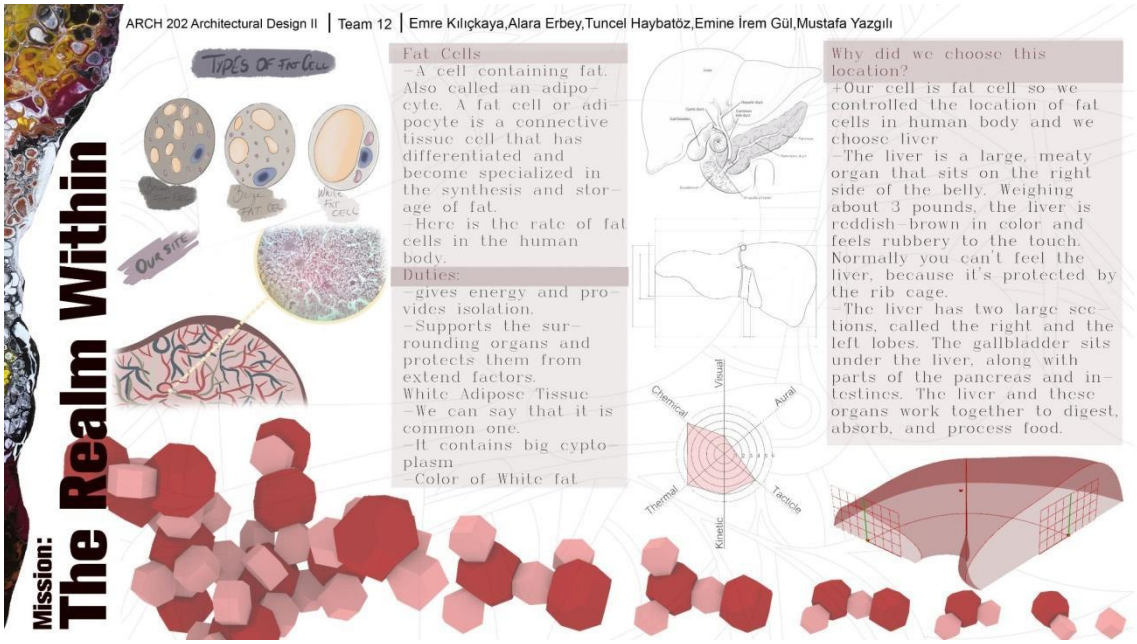
***Ekip 9:*** Deri hücresinden esinlenilmiştir. Vitiligo Hastalığını sağaltmak için melanin hücresini örnek alınmıştır. Melanin hücresinin deriye rengini pigmentlerine dayanarak hastalığa çözüm bulmayı hedeflenmiştir. Seçtikleri bölge, Vitiligonun başlangıç noktalarından biri olan yüzün burun bölgesidir. Ayrıca, yapının büyümesinde ağaç dallarının yapısından yola çıkmışlardır.
***Ekip 10:*** Endotel hücrelerinden esinlenilmiştir. Ekip 10 kendine bölge olarak KOAH hastalığı nedeniyle hücrenin esnekliğini yitirdiği Alveolleri seçmiştir. Bu yapıyla çalışamayan Alveolleri sağaltıp dayanıklılığını arttırmayı amaçlamıştır. Koloninin esnekliğini ve dayanıklılığını fraktalların birbirine bağlanarak oluşturduğu bir kafes tasarımı ile sağlamıştır (**Şekil 3**).




**Şekil 3:** Ekip 10 sunum paftası

***Ekip 11:*** Epitel hücrenin yapısından tasarıma başlanmıştır. Epitel hücrenin koruyucu bir bariyer özelliğinden yola çıkılarak, koloni bölgesi için bronşlar seçilmiştir. Akciğere giren zararlı hücreler saptanarak, bronşlardan geçmesini önlemek ve vücut dayanıklılığını artırmak amaçlanmıştır. Hücrenin yapısından esinlenerek, tasarlanan sekizgen kapsülün çizgisel büyümesi kararlaştırılmıştır.

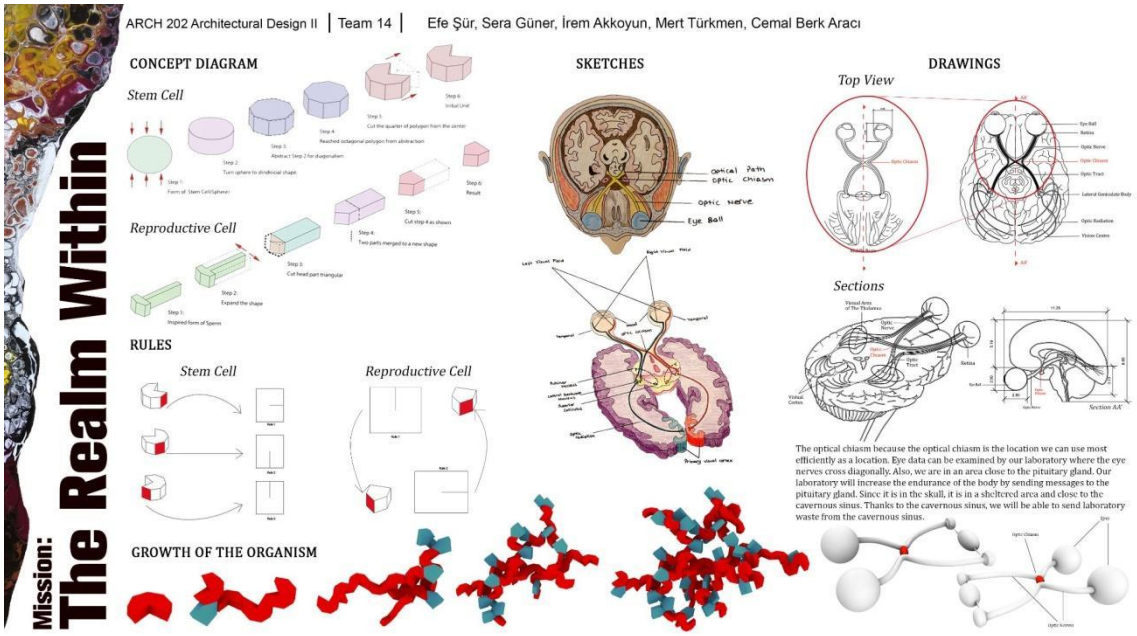
***Ekip 12:*** Sürece yağ hücresi örnek alınarak sürece başlanmıştır. İnsan karaciğeri ile safra kesesi birleşim bölgesine uyum sağlayacak bu hücre türü ile karaciğer atardamarından alınan kan ve safra kesesinden alınan safra sıvısı örneklerinin analizlerine göre oluşabilecek sorunların ön saptamasının yapılması ve kolonin üreteceği çözümler ile vücut direncinin arttırılması hedeflenmiştir (**Şekil 4**).




**Şekil 4:** Ekip 12 sunum paftası

***Ekip 13:*** Üreme hücrelerinden yola çıkılmıştır. Yapısal olarak sperm hücresinin hareket edebilme özelliği; yumurta hücresinin de gövde yapısı kullanılmıştır. Bölge olarak gözün sıvı bölgesi seçilmiştir. Yapının amacı, gözün içerisinde hareket ederek oluşacak göz rahatsızlıklarını sağaltmaktır. Çoğalması yumurta hücresinin çevresinde sperm hücrelerinin yinelenmesiyle oluşan fraktallardır.

***Ekip 14:*** Kök hücrenin yapısı örnek alınarak tasarıma başlanmıştır. İnsan gözü sinirlerinin birleştiği nokta olan optik kiazma bölgesinde laboratuvar işlevi görecek koloni, embriyonik kök hücrenin gerekli hücre ortamı sağlanması durumunda farklılaşarak ortama uyum sağlayabilme özelliği kullanılmıştır. Vücut dayanıklılığını artırma amacıyla hormonal eniyileştirme sağlanmak istenmiştir. Bu bağlamda seçilen bölge olan optik kiazmadan gelecek veriler, vücut iç dengesini sağlayan hipotalamusa gerekli verileri aktarılarak endokrin sistemi denetim altına alınıp, en verimli biçimde kullanılması amaçlanmıştır (**Şekil 5**).




**Şekil 5:** Ekip 14 sunum paftası

### 3.1. Ekip 12 ve Ekip 14

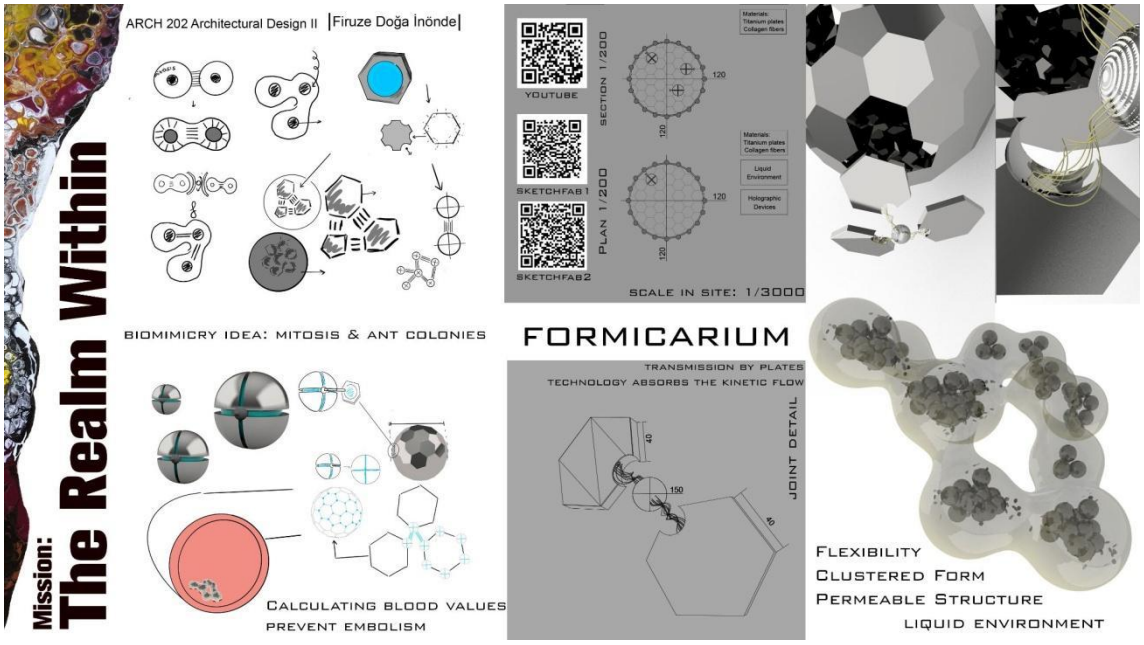
Ekiplerin sayısal tasarım yaklaşımları farklı hücre tiplerine dayanan biyomimetik ilkelere ve genetik algoritma modellemesine dayanmaktadır. Ekip 12, insan karaciğeri ve safra kesesinin birleşim bölgesini yerleşim alanı olarak seçerek biyomimetik organizmanın depo ve üretim işlevleri üstlenecek bir yapı üzerine odaklanmıştır. Laboratuvar işlevi görecek bir yapısal organizma tasarlama amacı ile tasarım sürecine başlamıştır. Biyomimetik ilke olarak yağ hücresinden ve iki parçalı yapısından yola çıkarak kolonileşme modellemesi iki odalı hacimler halinde tanımlanmıştır. Yağ hücrelerinin tek başına küresel, ancak birden fazla hücrenin birleşimi durumunda çok yüzlü formuna atıfta bulunularak on iki yüzlü (*dodekahedron*) ve altı yüzlü (*hexahedron*) birimler hazırlanmıştır. Aynı ilkeler doğrultusunda, yağ hücrelerinin koruma amacıyla bir organı çevrelemesinden esinlenilerek elde edilen koloni bir hacmi çevreleyecek biçimde tasarlanmış ve Rhinoceros ortamında çalışan Wasp eklentisi ile kolonileşme modeli elde edilmiştir.

Ekip 14 ise göz sinirlerinin birleştiği nokta olan optik kiazma bölgesinde kolonileşmeye gitmiştir. Biyomimetik ilke olarak kök hücresinin öbür hücrelere dönüşebilme özelliğini kullanarak tipik bir sinir hücresinin ve bir sperm hücresinin formundan esinlenerek zincire benzer ve eksensel büyüme sağlayan birimler tanımlanmıştır. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesine öykünerek ve kolonileşmenin uç noktalarında sperm hücresinden esinlenen kolonileşme modelinde Rhinoceros ortamında çalışan Wasp eklentisi kullanılmıştır.

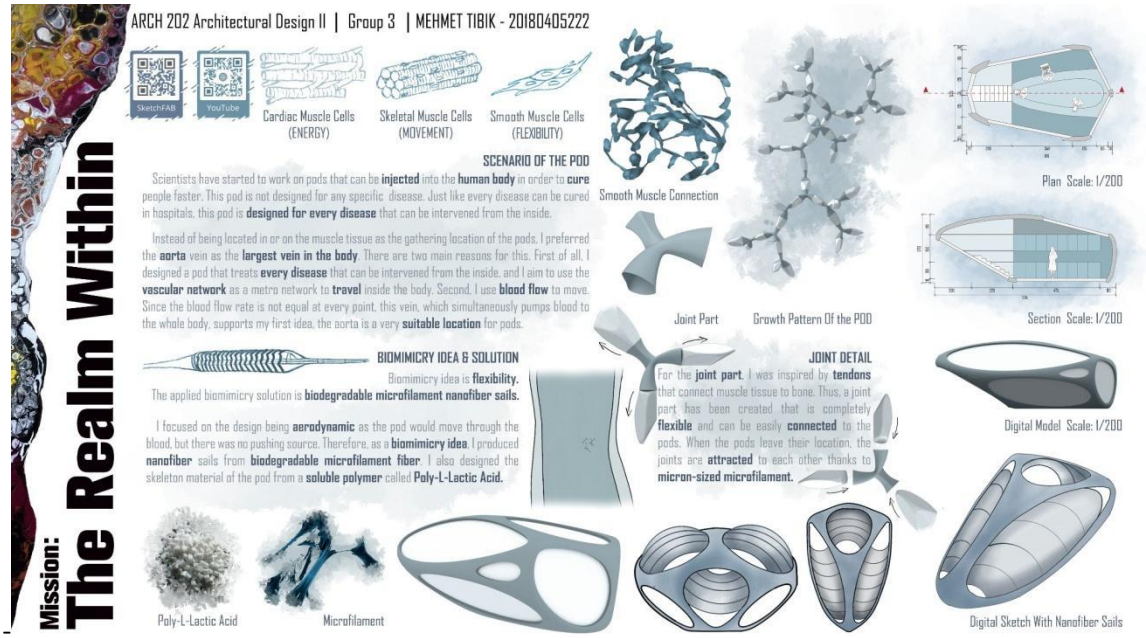
### 3.2. Kapsül Tasarımı

Çalıştayının son aşamasında üretilen kolonin mekansal bir birimi olan ve öğrencilerin form, yapı ve mekanın sentezini ve bütünleşmesini araştırdıkları bir kapsül tasarımı oluşmuştur. Bir araştırma laboratuvarı olarak kurgulanan bu kapsüllerin, birbirine kenetlenebilen bölmeler olmaları istenmiştir. Mimarinin en küçük ölçekli uygulamaları olarak tanımlanabilecek olan kapsüllerin, bu aşamada moleküler yapıların biçimlerini taklit ederek ergonomik ve aerodinamik bir görünüme sahip olması, barınak oluşturmaları ve kapsül dışındaki öğelerden bir ölçüde koruma sağlaması öncelikli tasarım kriterleri olarak belirlenmiştir. Büyümeyi ya da küçülmeyi sağlayacak biçimde modüler olması gereken kapsüller üretim, gereç ve montaj açılarından strüktürel bir sorun olarak da ele alınmıştır. Öğrenciler,

bireysel olarak çalıştıkları bu aşamada üretim ve modelleme yöntemleri açısından serbest bırakılmışlardır. Birçok tasarım örneği arasından kimi öğrencilerin kapsül tasarımında yöntem olarak çokgen ağ modellemesi (*polygon mesh modelling*) kullandıkları (**Şekil 6**), kimi öğrencilerin parametrik modelleme yöntemlerine başvurdukları gözlemlenmiştir (**Şekil 7**).




**Şekil 6:** Kapsül tasarımı sunum paftası (Örnek 1)




**Şekil 7:** Kapsül tasarımı sunum paftası (Örnek 2)

## 4. Sonuçlar

Bu çalıştayda, sayısal tasarım yöntemleri ile ilk kez karşılaşan ikinci sınıf öğrencilerinden insan ölçeğinde tasarım sorununun yeniden düşünülmesi ve tıpta kullanılabilecek alternatif bir araştırma/tedavi yöntemi kapsamında bir araştırmacı kapsülü ve kolonisi önerisi geliştirmeleri beklenmiştir. Böylece öğrencilere sayısal tasarım teknolojilerinin pandeminin kısıtlı ve beklenmedik koşullarında zorunlu bir tasarım yaklaşımı olduğu aktarılmıştır.

Pandemi koşulları nedeniyle sayısal üretim yöntemlerinin kullanılamadığı, üretken sistem ilkelerinin insan bedeni içerisinde mikro/nano ölçekte bir kapsülün yayılışı/yok oluşu ile tek bir birimin formu ve yapısal özelliklerinin araştırıldığı bu çalıştayın ön verileri ve sonuçları değerlendirildiğinde, öğrencilerin öğrenim çıktılarında hesaplamalı tasarım becerilerinin aktarımının başarısı, form ve yapısal özelliklerinde bu becerilerinin kullanımının verimliliği ve yeni düşünme biçimleri ile bilgisayar becerilerinin uyumunda ilerleme sağlandığı gözlemlenmiştir. Ancak uzaktan eğitimin kısıtlamalarına ve sayısal üretim araçlarına erişim olmaması nedeniyle üç boyutlu modelleme ve ölçek kavramının fiziksel model olmadan anlaşılamadığı gözlemlenmiştir Ayrıca dijital tasarım araçlarıyla ortogonal olmayan geometrilerin algoritmalar aracılığı ile modellenebilmesine karşın insan biyolojisi ve hücrelerinin organik yapısını dile getirmede ortogonal yüzeylerin yeğlendiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, damar içi, göz küresi yüzeyi, karaciğer duvarı gibi linear olmayan konumlarda kolonizasyon modellemesi yapabilmeleri için modüllerin beşgen, altıgen, sekizgen gibi çok yüzeyli geometrilere gereksinim duymalarıdır. Bu neden-sonuç ilişkisi bu olağan dışı topoğrafyalarda tekil ve yalın geometrilerin yerine daha karmaşık formların temsilinin tasarım sürecinde kendine yer açan bir süreç olduğu anlaşılmıştır.

2017'den beri beşincisi yapılan aşırı ortam çalıştaylarında hedeflenen bilgisayar destekli tasarım becerilerinin geliştirilmesi pandeminin zorunlu kıldığı kısıtlı koşullarda önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. İnsan bedeni gibi mikro ölçek tanımının öğrencilerin mimari tasarım araştırma becerilerini ve meraklarını canlı tuttuğu gözlemlenmiştir.

**Teşekkür**

2017 yılından bu yana gerçekleştirilen aşırı ortam çalıştaylarında bu akademik çalışmaların ortaya çıkmasına olanak sağlayan ARCH 202 Mimari Tasarım Stüdyosu II öğretim üyeleri Hugh David Clarke, Filiz Keyder Özkan, Hüseyin Onur Dinmez, Ayşe Bozkurt Karal, Çağlar Şendikici ve ders öğrencilerine, konuk konuşmacı Dr. Gülce Küreli'ye ve İzmir Ekonomi Üniversitesi EcoFab kulübü öğrenci dayanışması kapsamında öğrenci asistanlığı yapan Zeynep Gürsel, Begüm Artkıy, Berk Özer, Bilge Belenli, Deniz Çora, İrem Uysal, Miray Deniz Duran, Ömür Şanda, Tunç Çokuysal ve Yağmur Kaynar'a teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

Azambuja Varela, P. (1993). Genetic algorithms in architecture: History and relevance. J.P. Sousa ve J.P. Xavier (Ed.s) *Future Traditions 1ST eCAADe Regional International Workshop* (pp. 113-142). FAUP Publicações. ISBN: 978-989-8527-03-5.

Beasley, D., Bull, D. R., Martin, R. R. (1993). An overview of genetic algorithms: Part 1, Fundamentals. *University Computing, 15*(2), 58-69.

Bentley, P. J. (1999). *Evolutionary design by computers*. Morgan Kaufmann. ISBN-13 : 978-1558606050

Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Perennial.

Duro-Royo, J., Zolotovsky, K., Mogas-Soldevila, L., Varshney, S., Oxman, N., Boyce, M. C., Ortiz, C. (2015). MetaMesh: A hierarchical computational model for design and fabrication of biomimetic armored surfaces. *Computer-Aided Design*, (60), 14-27. https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.05.005.

Fasoulaki, E. (2007). *Genetic algorithms in architecture: a necessity or a trend?* [Paper presentation]. 10th Generative Art International Conference, Milano.

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley.

Frazer, J. (1995). *An evolutionary architecture*. Architectural Association. ISBN-13 : 978-1870890472

Holland, J. H. (1973). Genetic algorithms and the optimal allocations of trials. *SIAM Journal of Computing 2*(2), 88–105.

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. The MIT Press. ISBN: 9780262082136.

Kotnik, T. (2010). Digital architectural design as exploration of computable functions. *International Journal of Architectural Computing, 8*(1), 1-16.

Oxman, N. (2006). "Digital design thinking": In the new design is the new pedagogy. *CAADRIA 2006 [Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia]* (pp. 37-46).

Patel, R., Longini Jr., I. M., Halloran, M. E. (2005). Finding optimal vaccination strategies for pandemic influenza using genetic algorithms. *Journal of Theoretical Biology,* (234), 201-202. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2004.11.032.

Pawlyn, M. (2019). *Biomimicry in architecture*. Routledge. ISBN-13: 978-1859463758.

Terzidis, K. (2006). *Algorithmic architecture*. Routledge. ISBN-13 : 978-0080461298.

# OTURUM 3

# Sayısal Üretim Teknolojileri ve Adaptif Sistemler

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Mimaride Kinetik Yüzeylerin Yapısal Gridlerini Anlamak ve Yorumlamak için Simetri Grupları

Özlem Çavuş [1]; Arzu Gönenç Sorguç[2]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi; [2]Orta Doğul Teknik Üniversitesi
[1]mbl.itu.edu.tr/people/staff/, [1]cavus19@ituedu.tr; [2]archweb.metu.edu.tr/prof-dr-arzu-gonenc-sorguc, [2]arzug@metu.edu.tr

## Özet

*Kinetik yüzeylerin yapısal gridleri, mekanik ve görsel önemlerine rağmen, erken tasarım aşamalarında çoğunlukla ihmal edilmektedir. Grid tasarımı, gridin barındırdığı kinetik yüzey ile birlikte düşünülmelidir çünkü bu yapılar mekanik bileşenleri ile mutlak bir uyum gerektirmektedir. Aksi takdirde, yüzeyin hareketi sırasında en ufak bir değişiklik mekanizmayı bloke edebilir. Kinetik yapılar kontrollü mekanizmalar olduğu için hareket ve mekanizma önem arz etmektedir. Bu nedenle, yapısal verimliliği ve tasarım çeşitliliğini artırmak için tasarımcıların kinetik kaplamaların yapısal gridlerini anlaması ve yorumlayabilmesi gerekir. Bu bağlamda, bu makale, simetri gruplarını tasarımcılar için alternatif bir yol olarak önermektedir. Simetri gruplarının sağladığı desenler kinetik yapıların grid sistemlerine dönüşebilir.*

*Mevcut çalışmalar çoğunlukla bir desen oluşturma aracı olarak simetri gruplarını araştırmaktadır. Yeni desenler yaratmanın ötesinde, simetri grupları tek bir motiften veya bütüncül bir yapısal ağdan oluşan kinetik yüzeylerin gridleri hakkında bir anlayış vermektedir. Bu anlamda, bu makale mevcut çalışmalardan ayrılır. Buna göre, bu makale, simetri grupları ile mimarideki kinetik yüzeylerin grid düzeni arasındaki ilişkiyi göstermeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda simetri gruplarının matematiksel örüntülerini kinetik yüzeylerle ilişkilendirerek bu grupları kinetik yüzeylerin grid tasarımı için yorumlar. Bu yorumlama yüzeyin hareketine dayandırılarak yapılmaktadır çünkü kinetik yüzeyler form değiştiren hareketli bileşenlerdir.*

*Bu çalışmanın kinetik yapılar alanına özgün katkısı, tasarım çeşitliliği için yapısal gridleri anlama ve yorumlamanın alternatif bir yolu olarak mimarlara veya tasarımcılara simetri gruplarını sunmasıdır. Çalışmanın sonucu, bir grid tasarımının yapısal hareketin kendisine doğrudan bağlantılı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kinetik yapıların hareketi sırasında hareketi tanımlayan kılavuz çizgilerinin merceğinden düşünülmeleri gerekir. Tasarımlara bütüncül bir bakış açısı sunmasının yanı sıra, kinetik yüzeylerin simetri gruplarına bağlı olarak oluşan desenlerini dikkate alınarak tasarım çeşitliliği arttırılabilir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Kinetik yapılar, simetri grupları, yapısal grid.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Çavuş, Ö., & Sorguç, A. (2021). Mimaride kinetik yüzeylerin yapısal gridlerini anlamak ve yorumlamak için simetri grupları. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 125–134). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Symmetry Groups for Understanding and Interpreting Structural Grids of Kinetic Skins in Architecture

Özlem Çavuş [1]; Arzu Gönenç Sorguç[2]
[1]Istanbul Technical University; [2]Middle East Technical University
[1]https://mbl.itu.edu.tr/people/staff/, [1]cavus19@ituedu.tr; [2]https://archweb.metu.edu.tr/prof-dr-arzu-gonenc-sorguc, [2]arzug@metu.edu.tr

## Abstract

*Structural grids of kinetic surfaces are mostly neglected in the initial design phases in spite of their mechanical and visual significance. The grid design needs to be considered together with the hosted kinetic surface because these structures should be compatible with their mechanical components. Otherwise, the slightest change in the assigned motion can bloke the mechanism. Motion and mechanism are significant as kinetic structures are controlled mechanisms. Hence, designers need to understand and interpret structural grids of kinetic skins to increase efficiency and design variety. In this regard, this paper proposes symmetry groups as an alternative way for designers since these symmetry groups are related to tessellations. Indeed, These tessellations can be grid systems in architecture.*

*Existing studies mostly investigate symmetry groups as a pattern generation tool. Beyond creating new patterns, they give an understanding of kinetic surfaces' grids whose pattern can be either a single motif or an entire network. In this sense, this paper differs from existing relevant studies. Accordingly, this paper aims to show the relation between symmetry groups and the grid layout of kinetic surfaces in architecture. In this regard, it associates mathematical patterns of symmetry groups with kinetic surfaces. Then, it interprets these groups for grid design of kinetic skins in terms of the motion as kinetic surfaces are the moving bodies shifting their form.*

*The original contribution of this study to the field of kinetic structures is that it offers architects or designers symmetry groups as an alternative way to understand and interpret structural grids for design variety. The result of the study shows that a grid design is linked to the motion during deployment, so they need to be considered from the lens of descriptive guidelines of moving bodies. Considering tessellations of kinetic surfaces based on symmetry groups, design variety can be increased, and their design would be performed from a holistic perspective.*

***Keywords:*** *Kinetic structures, symmetry groups, structural grid.*

**Citation in APA Style:** Çavuş, Ö., & Sorguç, A. (2021). Symmetry groups for understanding and ınterpreting structural grids of kinetic skins in architecture. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 125–134). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Introduction

Many responsive structures have structural grids to which they are implemented buildings main skeleton in performative design. These structures become an integral part of the main building and significantly impact interior space, as exemplified in **Figure 1**. These grids host kinetic surfaces during deployment to allow proper delivery of the assigned motion. Therefore, their design should be compatible with the motion, topology of the kinetic structure, and buildings main structure. Despite their mechanical and visual significance, structural grids of kinetic skins are mostly neglected in the initial design phases. Their design should be considered together with kinetic surfaces since kinetic structures require compatibility of their mechanical components as well as visual aesthetics. Otherwise, the slightest change in the assigned motion can bloke the mechanism. Hence, designers need to understand and interpret structural grids of kinetic skins to increase efficiency and design variety. In this regard, this paper proposes symmetry groups as an alternative way for designers as these symmetry groups are related to tessellations. These tessellations actually can be grid systems in architecture.

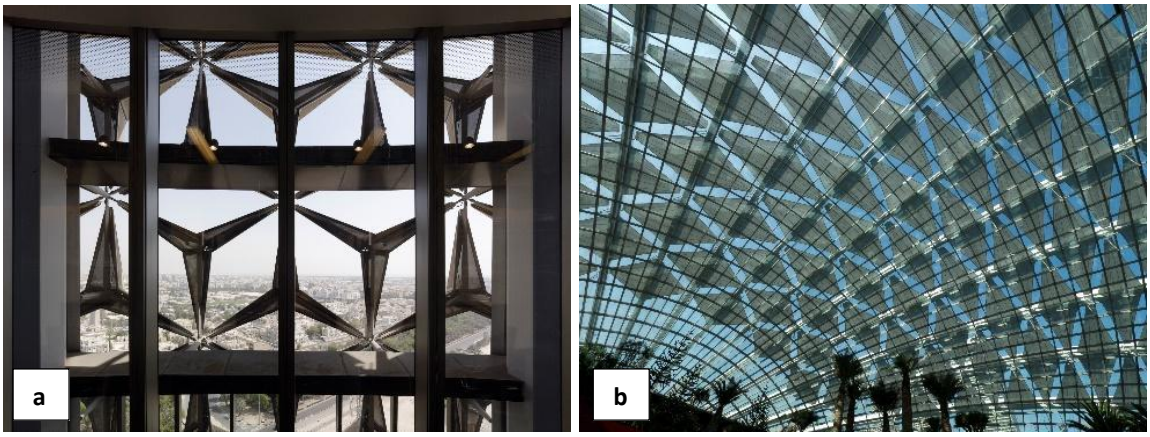



**Figure 1:** The interior view of kinetic structures. **a:** Al Bahar Towers (Richters, n.d.). **b:** Gardens by the Bay (Soh, n.d.).

There are studies concerning symmetry groups linked to tessellations. Miura & Tachi (2010) focus on collapsible cylindrical structures, which have particular importance in the structural engineering field. Authors perform symmetry operations to synthesize space-filling tessellations. This research reveals how tessellations affect structural quality. Schenk (2012) argues that these patterns can be combined with advanced mechanical properties such as increased bending stiffness which enables folded plate roofs to span larger areas. Sareh & Guest (2015) study the Muira-ori pattern in relation to the symmetry groups. Based on manipulations of the initial pattern, design variations are performed, either as flat or curved. These tessellations need to be reviewed from the lens of mathematics since underlying rules directly affect how a pattern is constructed. In this context, Lang (2018) investigates the mathematics of symmetries of tessellations.

According to Mehaffy (2020), the contemporary application of theories of symmetry to architecture and built environments is an immature research field. In recent years, there are studies on symmetry groups concerning human perception. Salingaros (2020) studies human perception relies upon combined symmetries to reduce information overload, yet disorganized information is too much for a human to process. Our brain automatically compares and groups architectural elements into larger wholes. We unconsciously analyze and process the information in any composition using mathematical relations that endow meaning to our environment. When it comes to building facades as the outer surface of the building, Azemati et al. (2020) state that the façade is an important part of the urban-scape and has a significant influence on the aesthetic preferences and physiological reactions of people. Given that the aesthetic experience of the façade as well as its perception and feeling by humans is mostly done through the visual sense and begins with the visual scan of the work, so the study of the interaction between “bottom-up” and “top-down” processes can be accompanied by a study of eye movement behavior in aesthetic experience.

In recent years, another field of study related to symmetry groups in architecture is pertinent to material science concerning performative design. According to Mao et al. (2020), existing architecture design approaches such as bioinspiration, Edisonian, and optimization generally rely on experienced designers' prior knowledge, limiting broad applications of architectured materials. Particularly challenging is designing architectured materials with extreme properties, such as the Hashin-Shtrikman upper bounds on isotropic elasticity in an experience free manner without prior knowledge. Therefore, the authors present an experience-free and systematic approach for the design of complex architectured materials with generative adversarial networks. The networks are trained using simulation data from millions of randomly generated architectures categorized based on different crystallographic symmetries. On the other hand, Tiong et al. (2020) state that the robust and automated determination of crystal symmetry is of utmost importance in material characterization and analysis. Recent studies have shown that deep learning methods can effectively reveal the correlations between X-ray or electron-beam diffraction patterns and crystal symmetry. Despite their promise, most of these studies have been limited to identifying relatively few classes into which a target material may be grouped. On the other hand, the deep learning-based identification of crystal symmetry suffers from a drastic drop in accuracy for problems involving classification into tens or hundreds of symmetry classes severely limiting its practical usage. Hence, the authors demonstrate that a combined approach of shaping diffraction patterns and implementing them in a multistream DenseNet substantially improves the accuracy of classification.

To sum up, existing and emerging studies mostly investigate symmetry groups from the perspectives of cognitive science, material science, and mathematics. Although the prior motive of most of the studies depends on the performative design, they still consider symmetry groups as a pattern generation tool or from their categorization accuracy. Nonetheless, beyond creating new patterns, they give an understanding of kinetic surfaces' grids whose pattern can be either a single motif or an entire network. In this sense, this paper differs from existing relevant studies. Accordingly, this paper aims to show the relation between symmetry groups and the grid layout of kinetic surfaces in architecture. In this regard, it associates mathematical patterns of symmetry groups with the kinetic surfaces and interprets these groups for grid design of kinetic skins in terms of the motion as kinetic surfaces are the moving bodies shifting their form.

## 2. Methodology

The generation of an entire kinetic surface is based on the way modules come together. In fact, it depends on symmetry groups which are based on translation, rotation, reflection, and glide reflection. These groups affect the entire system both formally and structurally. Kinetic structures which are associated with 17 wallpaper groups are the combinations of type of symmetry groups as indicated in **Figure 2**.

Based on the 17 symmetry groups which are briefly explained above, this paper firstly relates symmetry groups with a grid layout of kinetic surfaces. It shows how symmetry operations can be assigned to construct or decode kinetic modules. These modules can be a single motif or an entire surface. Then, these groups are inspected in regard to the motion because grid design can alter during the deployment of moving bodies. It is significant to understand what type of forces should be applied to the kinetic surfaces because some of them are linear that may work with tension and/or compression. Some of them are rotational and there are very few types of hybrid forces. Therefore, symmetry groups are to be employed to analyze these type of motions.

The deployment in assigning symmetry groups takes into account the way grids are applied to the building surface. These grids are considered depending on whether it is mobile during movement of the kinetic surface. The results are then discussed together with possible potentials for future studies.

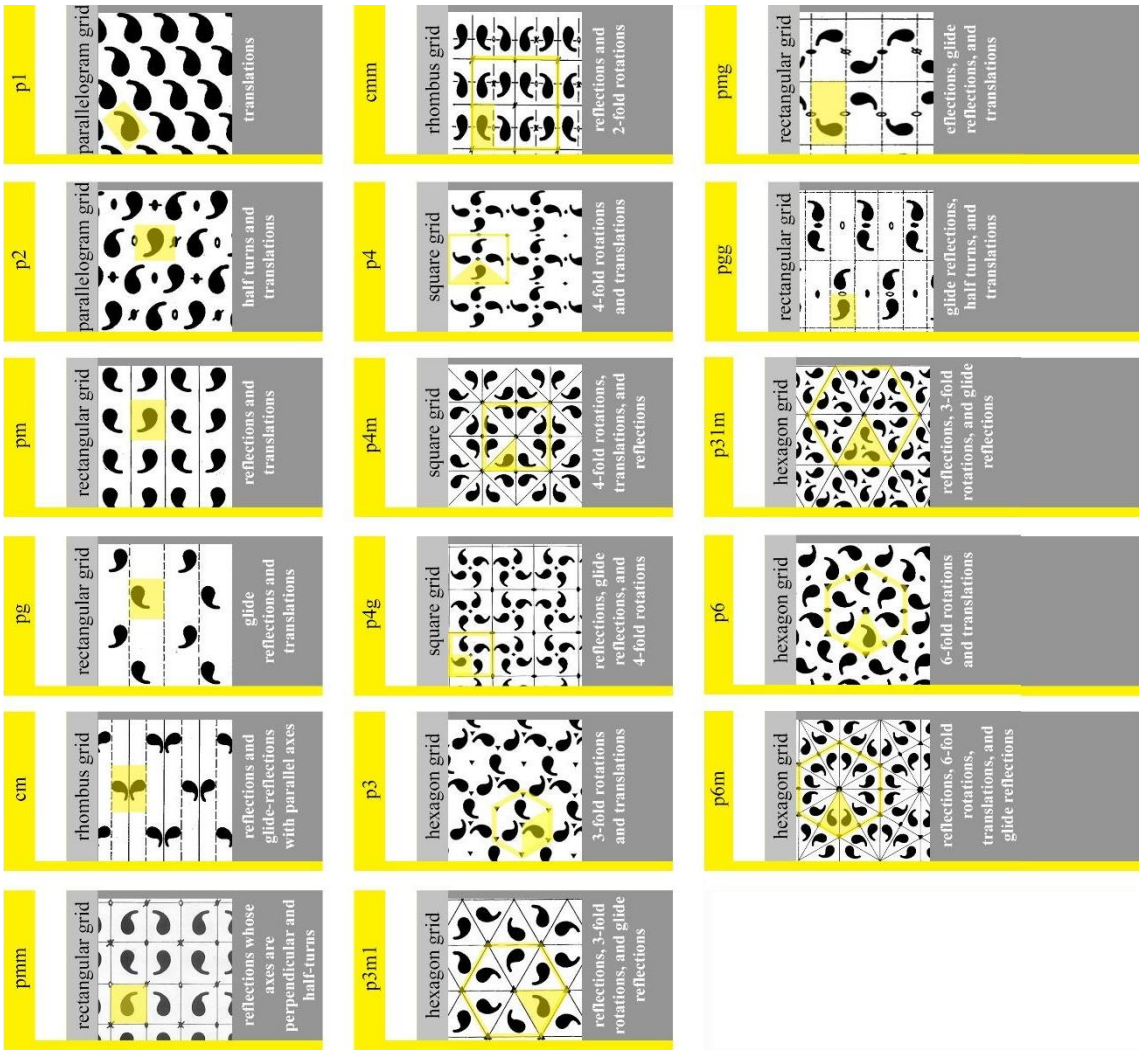



**Figure 2**: Wallpaper groups. Source for the template images (Wallpaper symmetries, n.d.)

## 3. Understanding of Symmetry Groups as A Grid Layout for Kinetic Skins

The construction of symmetry groups is described over symbols, as illustrated in **Figure 3**. Those symbols depict the graphical layout of the isometries to indicate key points or lines where motifs' transformations occur. **Figure 4** exemplifies how patterns are analyzed based on reflection axes and/or rotation centers. However, the selection of a motif plays a crucial role in assigning symmetry groups. For example, the selection creates P4 and PMM symmetry groups according to the way motion is delivered in these pictures. Rather than only a pattern generation, the critical criterion in assigning symmetry groups of kinetic structures is its behavior and response in time.

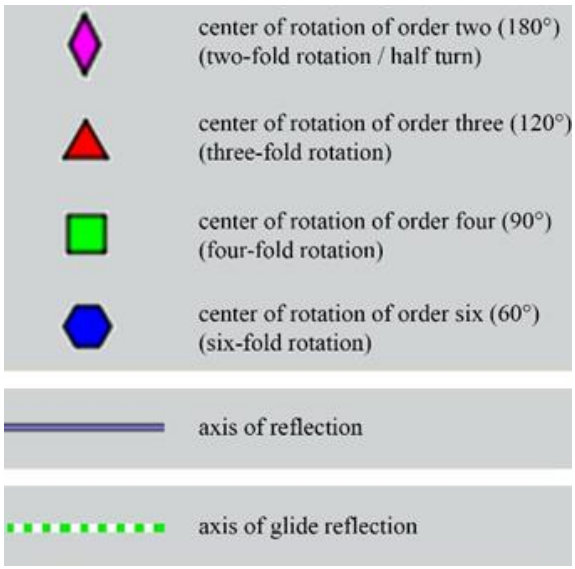



**Figure 3:** Symbols used in isometries of the Euclidean plane.

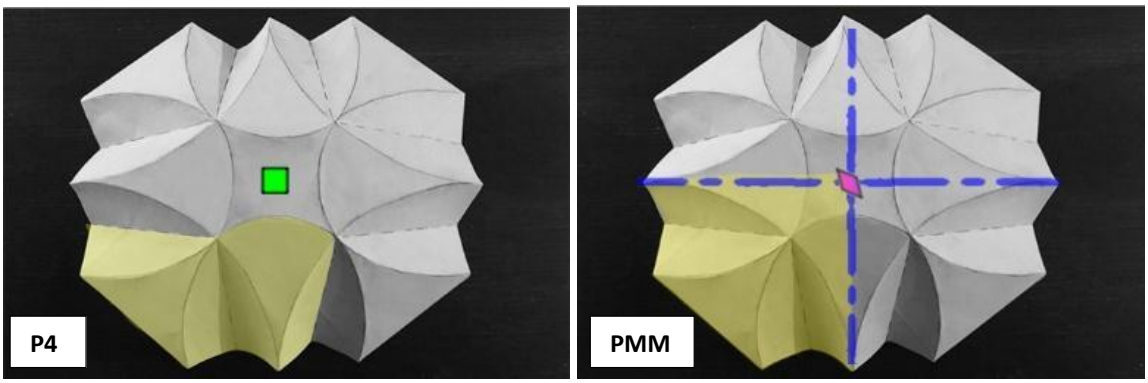



**Figure 4:** Selection of motif changing symmetry group (developed by the authors).

The discussions stated above are exemplified in **Figure 5.** The rectangular grid of the symmetry group is altered based on the direction of applied forces. In fact, rotational motions are frequently sustained by triangular and hexagonal tessellated grids, whereas translational motions are sustained by square and rectangular ones because the tiles come together to create a tessellation that is already rotational. It should be noted that the grid can change based on motion or designers' choice of overall appearance.

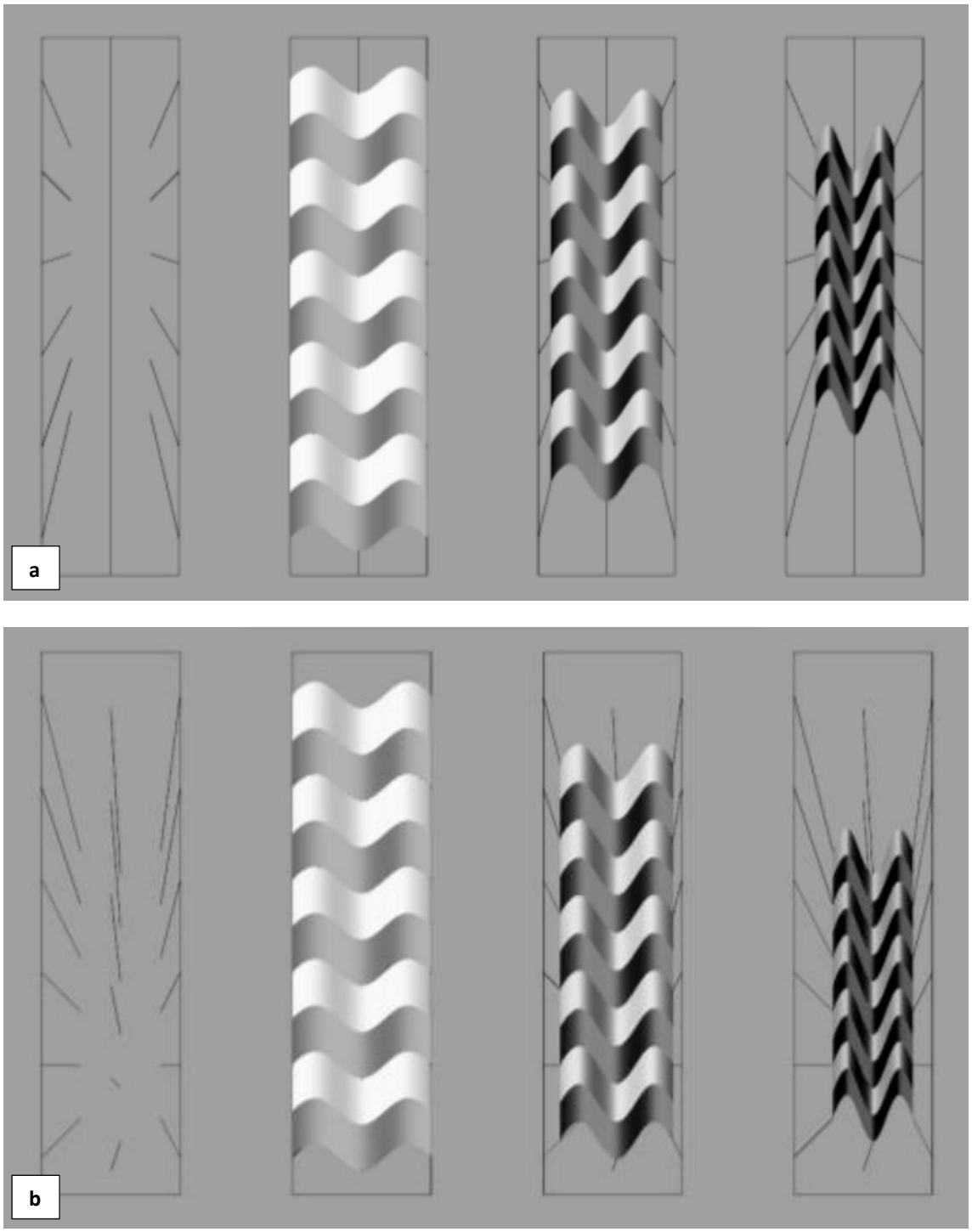



**Figure 5:** Generation of the grid based on applied forces and the symmetry group. Surfaces in Figure **5a** and **5b** have the same modules yet with distinct directions of the applied forces (developed by the authors)

Even if a surface is a free form that is defined randomly, it still represents the relations among its descriptive lines, because it maintains relations between tangent points of curvatures, distances between consecutive lines, and their symmetry axes. Unless descriptive lines were related to each other, it becomes harder to be able to move precisely. Formations of descriptive lines of many patterns represent symmetry adopted mobility. Understanding geometric formations is essential because even in creating digital simulations, mathematical understanding of kinetic surfaces' patterns allows designers to create appropriate mappings of lines that are linked to grid layouts.

In curved folding, the grid may not be linear or perpendicular in shape, as the pattern shrinks from two directions during motion as indicated in **Figure 5**. Hence, it depends on 2 degrees of freedom (DOF). These two directional forces can be eliminated to some extent if the curved system ends with its saddle points. Otherwise, the remaining parts require additional forces for actuation.

Another critical point in assigning symmetries is the scale of kinetic surface modules. Their grids should be compatible with the building form, floor height, and structural components of the building so that kinetic surfaces can be implemented to the building as an integral part. Therefore, it can be beneficial to start with modifying grids accordingly. Then, kinetic motifs can be mapped to the scaled grid. For instance, in **Figure 6** the grid is mapped into a building skin created according to the ruled surface. The significant thing that should be stressed is that motion remains the same regardless of the change in scale, however, the mechanical and structural behavior of the grid would alter. For instance, required amount of forces, cross section of the grid, material strength would change.

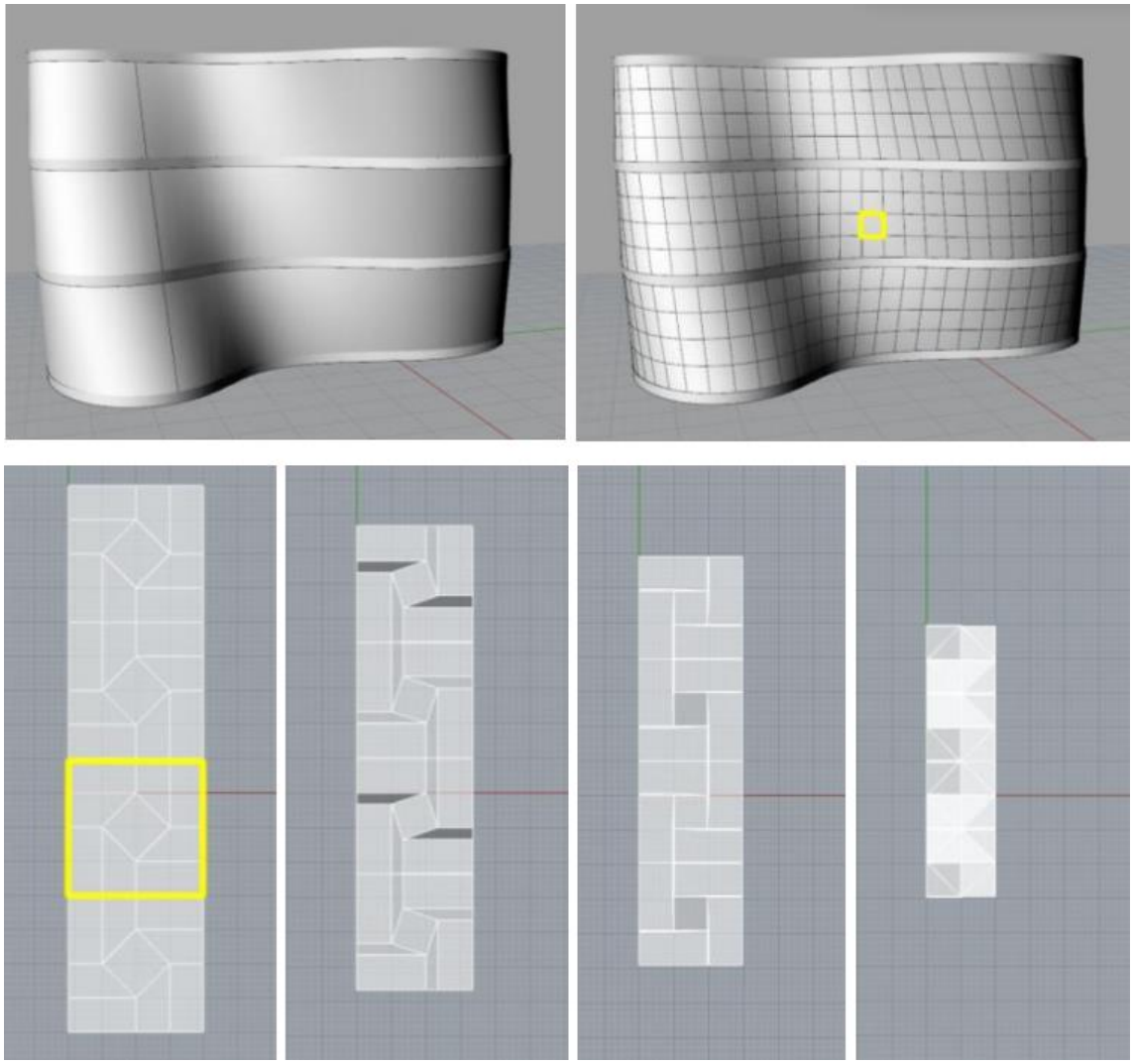


**Figure 6:** Arranging the grid based on building (developed by the authors)

## 4. Interpreting Symmetry Groups for Grid Design of Kinetic Skins in Terms of Motion

Symmetry groups help to understand grids not only as static but also motion embedded patterns. As the moving parts of the kinetic surface, the grid can also be kinetic in harmony with these parts and the building structure itself. Many physical applications in architecture implement kinetic surfaces with orthogonal static grids with regular patterns. This is critical from the interior perspective for residents of the building. Beyond having regular patterns, the grids can be interpreted in different ways concerning motion.

Within the context of motion, the grid can be classified under three categories based on the status of the grid structure's motion: fixed, semi-fixed, and moving. This classification depends on symmetry groups and applied forces. The fixed grid remains static during the deployment of the kinetic surface that it holds. A semi-fixed grid indicates a grid whose structure is static, yet some of its mechanical elements can move partially. The last category is the moving grid which moves together with the kinetic surface as a network.

**Figure 7** exemplifies these three categories over analog origami models. In Figure 7b, the triangular grid holds the belt-like mechanism (ropes) to pull the curved folding shape towards the center of the triangle. This belt can also be a telescopic bar fixed to the corners of the triangle. Moreover, it can be applied sub-grids into its fixed grid to transmit motion in a balanced way, particularly in curved folding (Figure 7a). Sticks are associated with structural grids and rails to allow motion of curved folding.

Furthermore, the grid can also alter its configuration to allow assigned motion. Instead of actuating the panels directly, actuators can trigger the structural grid so that the grid itself triggers the panels or coverings (Figure 7c). However, the definition of joints is different in this case. Sticks are placed in a play dough that behave like a spherical joint based on their associated angles, and their movement is observed in terms of their motion path lines inside the play dough. This observation gives a clue about how joints should be since those holes in the play dough define where to place rigid links and their range of rotation angles.

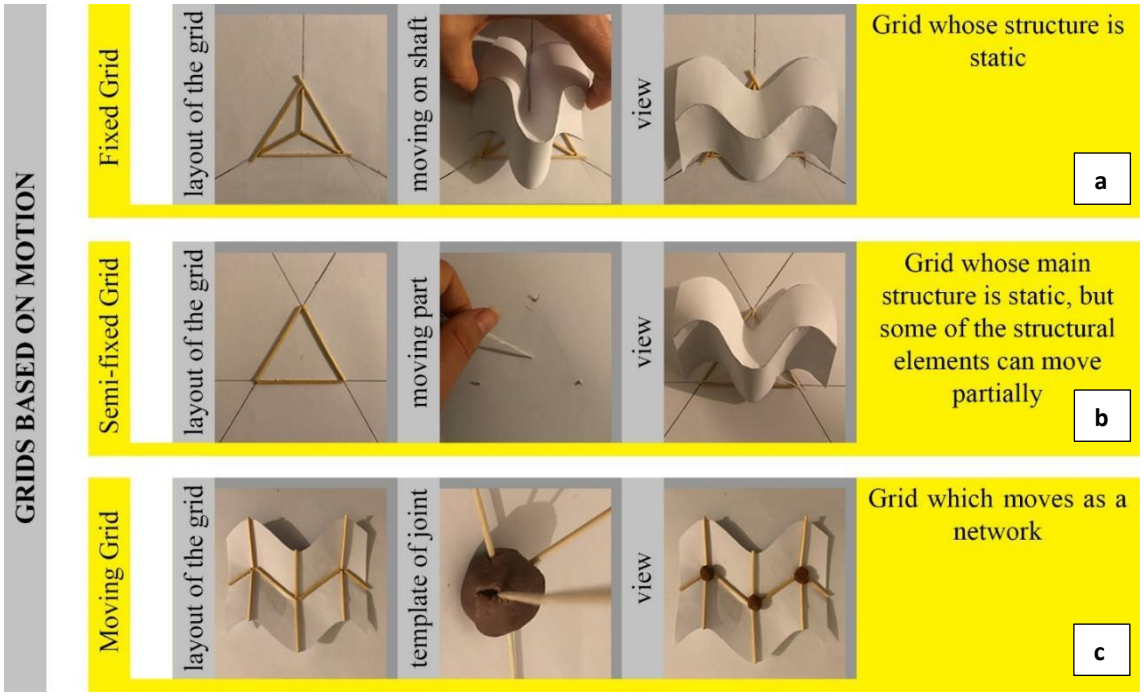



**Figure 7:** Alteration of a grid based on motion (developed by the authors)

## 5. Results and Conclusion

17 symmetry groups are mostly investigated in literature as a pattern generation tool, yet in this paper, they are introduced as a way to define kinetic surfaces' grids. This paper shows the possibility to apply the developed model to the entire kinetic skin through by matching patterns with its symmetries. When designing kinetic surfaces working as an entire network, the 2D layout of patterns are tessellations, yet, the geometry of irregular tessellations is so complex that it is harder to solve and control its kinetic system. Hence, it is beneficial to focus on regular and semi-regular tessellations. They are based on symmetry-adopted mobility either it is a single motif or an entire pattern.

It is hard to find symmetries of randomly drawn fold lines. At this point, symmetry groups can give both a kinetic motif and an entire pattern. If it turns into a whole pattern, it becomes critical to find symmetries between kinetic motifs. If it is found, any randomly drawn sketch can turn into an entire kinetic surface. Therefore, the mathematical idea behind kinetic surfaces should be paid more attention.

Understanding mathematical thoughts behind kinetic surfaces and matching their tessellations with symmetry groups allowed to grids of kinetic surfaces. It reveals the clue about the kinetic systems which is matched with symmetry groups helps to create a new language for architectural kinetic surfaces working as a network.

The assignment of symmetry groups as a layout for structural grids of kinetic surfaces revisits kinetic structures considering their application to the main building. The grid is indeed an interface between kinetic structures and the main building and makes the structures an integral part of the building. Decoding grids through symmetry groups will contribute to design space explorations for developing kinetic structures. Besides, it provokes new design alternatives that change the visual appearance of interior design. Beyond functional use, the girds frame the exterior view. Change in the view would change the user experiences as well.

This study is limited to simple paper models, which give clues about its mathematics. However, one-to-one scale prototypes are essential to understand applied forces, materiality, and detailing of the structure more accurately. In addition to mechanical and structural importance, scale is critical for different observers: people looking at the building from outside and inside. The perception of the scale differs according to the position of the people. One might see an entire kinetic surface of the façade while the other sees only the grid of a single slab. In fact, many kinetic facades used for performative purposes are multi-storey buildings that give significance to their iconic view in the city. This design criterion gives priority to the observation from the outside. Even most of the photographs of the kinetic facades are taken from the outside. This duality of observation points highlights the critical importance of scaled prototypes of structural grids.

Last but not least, different use case scenarios such as design for an exterior skin or a ceiling might have different priorities such as exposure to sunlight, gravity, and slope of the applied surface. Therefore, further study will investigate mathematical relations over one-to-one scaled prototypes in different use case scenarios.

**Acknowledgement**
This research is based on the conclusion session of the MSc Thesis named “Learning from folding for design in kinetic structures in Architecture” within the Building Science Graduate Program of Middle East Technical University. The thesis is written by Özlem Çavuş and supervised by Arzu Gönenç Sorguç.

## REFERENCES

Azemati, H., Jam, F., Ghorbani, M., Dehmer, M., Ebrahimpour, R., Ghanbaran, A., & Emmert-Streib, F. (2020). The role of symmetry in the aesthetics of residential building façades using cognitive science methods. *Symmetry, 12*(9), 1438.

Lang, R. J. (2018). Twists, tilings, and tessellations: Mathematical methods for geometric origami. Boca Raton: CRC Press.

Mao, Y., He, Q., & Zhao, X. (2020). Designing complex architectured materials with generative adversarial networks. *Science Advances, 6*(17), eaaz4169.

Mehaffy, M. W. (2020). The impacts of symmetry in architecture and urbanism: Toward a new research agenda. *Buildings, 10*(12), 249.

Miura, K., & Tachi, T. (2010). Synthesis of rigid-foldable cylindrical polyhedral. *Symmetry: Art and Science,* International Society for the Interdisciplinary Study of Symmetry, Gmuend.

Richters, C. (n.d.). Light matters: Mashrabiyas - Translating tradition into dynamic facades [Online image]. Archdaily. https://www.archdaily.com/510226/light-matters-mashrabiyas-translating-tradition-into-dynamic-facades/5384b031c07a8044af0000be-light-matters-mashrabiyas-translating-tradition-into-dynamic-facades-photo

Salingaros, N. A. (2020). Symmetry gives meaning to architecture. *Symmetry Cult. Sci, 31,* 231-260.

Sareh, P., & Guest, S. D. (2015). A framework for the symmetric generalisation of the Miura-ori. *International Journal of Space Structures, 30*(2), 141-152. https://doi.org/10.1260/0266-3511.30.2.141

Schenk, M. (2012). Origami in engineering and architecture.

Soh, D. (n.d.). Gardens by the Bay [Online image]. WordPress. https://divisare.com/projects/213453-wilkinsoneyre-cooled-conservatories-at-gardens-by-the-bay

Tiong, L. C. O., Kim, J., Han, S. S., & Kim, D. (2020). Identification of crystal symmetry from noisy diffraction patterns by a shape analysis and deep learning. *Computational Materials, 6*(1), 1-11.

Wallpaper symmetries [Online image]. York. https://www.york.ac.uk/depts/maths/histstat/symmetry/all.htm

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Kinetik Cephe Sistemleri Özelinde İç Mekân İşlevi ile Cephe Yüzeyi İlişkisi Üzerine Bir Üretken Tasarım Yaklaşımı

Abdul Samet Engin [1]; Ahmet Emre Dinçer [2]
[1]Kırklareli Üniversitesi; [2]Karabük Üniversitesi
[1]abdulsametengin@klu.edu.tr; [2]aedincer@karabuk.edu.tr

## Özet

*Kinetik cephe sistemlerinin tasarımı; çevresel şartlara, kabuk tasarımına, kullanıcı konforuna, cephe işlevlerine, performans kriterlerine, kinetik cephenin hareket tipolojisine, kontrol mekanizmalarına, teknoloji ile malzeme tabanlı gelişmelere ve uyarlanabilirlik girdilerine göre şekillenebilir. Bu girdiler içerisinde performans, işlev ve kullanıcı konforuna yönelik tüm yapı kapsamında optimum çözümlere ulaşabilmek için; kinetik cephe sistemlerinin yapılan araştırmalarda ağırlıklı olarak kamu veya ofis binalarında tercih edildiği görülmektedir. Bu yapı tiplerinde genellikle, tüm kullanıcılar için standart konfor değerlerinin belirlenmesi, iç mekanların işlev ve kullanım olarak farklılaşmaması, performans (aydınlanma, ısıl konfor, havalandırma vs.) kriterlerinin tüm cephe için ortak değerlendirilmesi, cephe yüzeyinde tekil birim odaklı bir örüntü oluşmasını sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında; bir kinetik cephe için tasarlanan modülün farklı varyasyonlarının; konut gibi mekânsal kullanımın farklılaştığı yapılarda, cephe üzerinde yer alma durumları test edilmiştir. Mevcut bir yapı üzerinde mekân kullanımları plan ve cephe üzerinden analiz edilmiş, her bir mekâna karşılık gelen cephe yüzeyi için mahremiyet gereksinimi göz önünde bulundurularak farklı geçirgenlik (transparency) seviyeleri belirlenmiştir. Birim modül ve türevlerinin belirlenen mekân-cephe yüzeylerinde nasıl yer alacağı geçirgenlik parametresine bağlı olarak çeşitli kural setleri ile tanımlanmıştır. Belirlenen kurallar ile her bir mekân-cephe için farklı kombinasyonlar olabilme durumları ve cephenin bölümlendiği yüzey sayısı, tüm cephe için oluşabilecek tasarım çözümleri evreninin araştırılmasını olanaksız hale getirmektedir. Bu bağlamda, mekân-cephe yüzeylerinin birbirleri ile olan ilişkileri topolojik organizasyon kapsamında, birbirleriyle kesiştikleri noktalar üzerinden, geçirgenliğe ek uygunluk parametreleri hesaplamaya dahil edilmiştir. Çok amaçlı optimizasyon motoru (Rhinoceros 3D> Grasshopper > Wallacei X) yardımı ile; daralan araştırma evreni içerisinden Pareto uygunluk ve son nesil çözümleri kullanılarak tasarımcı tarafından seçim yapılabilecek bir çözüm kümesi oluşturulmuştur. Sonuç olarak; çalışma kapsamında, evrimsel çok amaçlı optimizasyon araçlarının, belirlenen uygunluk kriterleri ile tasarımcının kontrolünde olan bir uzman tasarım sistemi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Benzer modellerde tasarım kriterleri doğru tespit edilmediğinde ve tasarıma dair girdi verilerinin çok çeşitlenmesi durumunda çözüm evrenin kontrol dışına çıktığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, bütünleşik üretken tasarım modelleri ile birimler arasında ilişkisel organizasyonun tanımlanması gerekliliği büyük önem arz etmektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Kinetik cephe tasarımı, üretken tasarım, optimizasyon, çeşitlilik, örüntü.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Engin, A. S., & Dinçer,A. E. (2021). kinetik cephe sistemleri özelinde iç mekân işlevi ile cephe yüzeyi ilişkisi üzerine bir üretken tasarım yaklaşımı. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 135–146). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Generative Design Approach Specific to Kinetic Façade Systems on the Relationship between Interior Function and Façade Surface

Abdul Samet Engin [1]; Ahmet Emre Dinçer [2]
[1]Kırklareli Üniversitesi; [2]Karabük Üniversitesi
[1]abdulsametengin@klu.edu.tr; [2]aedincer@karabuk.edu.tr

## Abstract

*The design of kinetic façade systems can be shaped according to environmental conditions, shell design, user comfort, facade functions, performance criteria, movement typology of the kinetic facade, control mechanisms, technology, material-based developments, and adaptability inputs. Within these inputs, to reach optimum solutions for performance, function, and user comfort within the scope of the whole structure; kinetic facade systems are mostly preferred in public or office buildings as it is seen in the researches. In these building types, the determination of standard comfort values for all users, undifferentiated interior spaces in terms of function and use, the joint assessment of performance (illumination, thermal comfort, ventilation, etc.) criteria for the entire façade provides a single unit-oriented pattern on the façade surface. Within the scope of this study; different variations of the module -designed for a kinetic facade- were tested on the facade of a residence where spatial use differs. The use of space on an existing building was analyzed on the plan and the facade, and different levels of transparency were determined for the facade surface corresponding to each space, taking into account the need for privacy. Depending on the transparency parameter, how the unit module and its derivatives will be located on the determined space-facade surfaces are defined by various rule sets. With the determined rules, the possibility of different combinations for each space-facade and the number of surfaces on which the facade is partitioned, make it impossible to investigate the universe of design solutions that may occur for the entire facade. In this context, additional suitability parameters for transparency are included in the calculation, over the points where the space-facade surfaces intersect with each other, within the scope of the topological organization. With the help of the multi-objective optimization engine (Rhinoceros 3D> Grasshopper > Wallacei X); A solution set that can be chosen by the designer was created by using Pareto front and last generation solutions from the shrinking research universe. As a result, within the scope of the study; It has been determined that evolutionary multi-objective optimization tools can be used as an expert design system under the control of the designer with the specified fitness criteria. In similar models, when the design criteria are not determined correctly and the input data for the design is very diverse, it is seen that the solution universe can be out of control. Therefore, the necessity of defining the relational organization between units with integrated generative design models has great importance.*

***Keywords:*** *Kinetic facade design, generative design, optimisation, diversity, pattern.*

**Citation in APA Style:** Engin, A. S., & Dinçer,A. E. (2021). A generative design approach specific to kinetic façade systems on the relationship between ınterior function and façade surface. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 135–146). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Kinetik cephe sistemlerinin tasarımı veya tipolojisi, mimari tasarım, çevresel şartlar, cephe biçimlenişi, kullanıcılar, teknolojik araçlar, malzeme ve performans gerekçelerine bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Yapı cepheleri, dış kısım ve iç mekân arasında aracı rolüyle birçok ek işlevi sağlayan bir bileşendir (Böke ve diğ., 2019). İklime duyarlı kinetik cepheler; değişen çevre koşullarına cevap verebilir ve ayarlanabilir olma gibi avantajları ile geleneksel cephe sistemlerinden pozitif yönde ayrılır. Ayrıca, düşük enerji tüketimi ile kullanıcıya çeşitli olanaklar sağlar (Tabadkani ve diğ., 2019). Bu nedenle iç mekân konforunu arttırmak adına en etkili aktif stratejilerden biri olarak kabul edilebilir.

Literatürde incelenen akademik çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, günümüze kadar inşa edilen, kinetik cephe örneklerinin genellikle kamu ve ofis binalarında tercih edildiği gözlemlenmiştir (Böke ve diğ., 2020). Gün içerisinde insanların aktif olarak kullandığı bu yapılarda, işlevsel ve performans tabanlı gereksinimlerin ön planda olması bu durumun temel nedeni olarak gösterilebilir. Bir ofis biriminde çalışan tüm kullanıcıların konfor (aydınlatma, ısı vs.) değerleri aynı olmasa dahi, sistem ortalama standart bir değer elde etmek için çalışmaktadır (Konstantoglou & Tsangrassoulis, 2016).

Tasarım konusu özelinde, kinetik cephe sistemlerinin genellikle iç mekân birimlerinin işlevsel olarak farklılaşmadığı kamu binalarında uygulanması, cephe yüzeyinde oluşan örüntülerin görsel çeşitliliğinin zenginleşmesini kısıtlamaktadır. Bu bağlamda; kamu yapılarından farklı olarak, mekânsal işlevlerin ve kullanıcı ihtiyaçlarının farklılaştığı yüksek yoğunluklu konut ve benzeri yapılarda uyarlanabilir bir kinetik cephe sisteminin tasarım ve uyarlanabilirlik nitelikleri tartışılmalıdır. Ayrıca, cephe ve iç mekân işlevleri kesişimi ile cephe yüzeyinde gerçekleşebilecek değişimler veya örüntü çeşitlemesi, yüzeysel örgütlenme içerisinde bir düzene sahip olmalıdır. Bu bağlamda, çalışmada belirlenen soruna çözüm olarak farklı işlevleri gözeten; iç mekân düzeni ve kullanıcı ihtiyaçlarına duyarlı geliştirilen bir cephe sistemi önerisi tanıtılmakta ve problem çözme yeteneği tartışılmaktadır.

## 2. Konutta Kinetik Cephe Yaklaşımı ve Optimizasyon

Cudzik & Nyka (2017)' ya göre kinetik mimaride hareketin nedeni pragmatik veya estetik gerekçeler olabilir. Dolayısıyla, denemeler çağdaş yaklaşımlar özelinde; deneysellik, üretkenlik ve çeşitli konulara duyarlılık üzerinden gerçekleşebilir. Konut yapıları, kamu yapılarından farklı olarak; kullanıcı tabanında yaşam, dinlenme, eğlence, sosyalleşme ve yiyecek hazırlama gibi öz örgütlenmesinde çok çeşitli işlevleri barındırır. Her mekânın kullanım koşulları ve ihtiyaçları, kesiştiği her bir mimari bileşen için farklı bir yaklaşımı gerektirir. Bu durum cephe ve mekânsal işlev kesişimi için, havalandırma, ısıl konfor, görsel konfor ve mahremiyet gibi etkenlere çözüm üretme ekseninde gerçekleşir. Bu nedenle, mekânsal işlevler temelinde bahsedilen çeşitli gereksinimler için cephenin geçirgenlik kriterleri, kinetik cephenin tasarımı aşamasında belirlenebilmelidir. Örneğin; Caetano & Leitão (2019) cephe geçirgenliğini mahremiyet konusu içinde, cephe yüzeyinin yatak odası gibi özel işlevler ile kesişiminde, cephe elemanlarının az geçirgen veya tamamen opak olması gerektiğini belirtirken; teras veya balkon gibi dışa dönük alanların cephe kesişiminde, yüzey elemanlarının geçirgenliklerinin üst seviyede olabileceğini belirtir.

İşlevsel gereksinimler değerlendirilerek, cephe ve kesişen mekân işlevleri için, farklı geçirgenlik seviyelerine sahip cephe yüzeyleri belirlenebilir. Buna göre; cepheyi bölümlendirmesi planlanan modülün yüzeysel farklılık gösteren varyasyonlarının fenotipleri tanımlanır. Cephe dağılımı için geçirgenlik seviyeleri dikkate alınıp; kural grupları belirlenerek bir çözüm evreni oluşturulabilir. Ancak kinetik cephe örüntüsü için belirlenen modülün türevleri ile oluşturulacak mekâna bağlı cephe yüzeylerinin tüm cephe için olasılıkları dikkate alındığında, bu mekâna bağlı cephe yüzeylerinin birbirleri ile olan komşuluk ilişkilerinin tanımlanması gerekmektedir. Varsayımsal olarak bu durum formüle edilmesi gerektiğinde; bir binanın cephesinde düşük(a), orta(b) ve yüksek(c) geçirgenlik seviyeleri ihtiyacı ile tanımlanmış mekâna bağlı farklı cephe yüzeyleri yer alabilir. Belirlenen modülün; yüzey farklılığı sağlayan türevleri sayesinde çeşitli kural setleri uygulanarak oluşturulabilecek düşük geçirgenlik seviyeli yüzey olasılık sayısı "x"; orta geçirgenlik seviyeli yüzey olasılık sayısı "y" ve yüksek geçirgenlik seviyeli olasılık sayısı "z" olarak düşünülebilir. Bu sistem içerisinde cephe örüntüsünü tanımlayan olasılıklar aşağıdaki formül ile ifade edilebilir.
Bu şartlar altında; işleve bağlı cephe yüzeyleri belli kurallar ile organize edilmediğinde tasarımcı için seçim yapılması zor olan bir tercih evreni ortaya çıkar.

$$x^{a.n} + y^{b.n} + z^{c.n} \quad (1)$$

Bütünleşik üretken tasarım sistemleri; tasarımcının üretim süresince belirleyici rolde olduğu uzman sistemler olarak kabul edilebilir (Singh & Gu, 2012). Bu çerçevede, yapı cephesi bütününde estetik kaygılara cevap veren ve bütüncül bir yaklaşım ile mekâna bağlı yüzeylerin farklı olasılıklar altında, yan yana, alt alta gelmesi durumları bütünleşik bir üretken tasarım modeli ile ilişkilendirilebilir. Modüller ve mekân-yüzeyler arasındaki ilişki ağı; algoritmik seçim modeli, topolojik organizasyon ve çok amaçlı optimizasyon araçları yardımıyla kurgulanabilir. Topolojik organizasyonda, uzaysal birimlerin birbirleri ile örgütlü bir şekilde ilişkilendirmelerini sağlayan düğüm noktaları mevcuttur, bu da aynı organizasyonda farklı biçimsel olasılıkları ortaya çıkarır (Yılmaz, 2017). Bu olasılıkların değerlendirilmesinde bir optimizasyona ihtiyaç duyulur. Optimizasyon araçlarının tasarım süreçlerinde kullanılması ile ilgili olarak; Ostergard ve diğ. (2016) yinelemeli tasarım süreçlerinde bina optimizasyon analizlerinin kullanılmasını şu şekilde özetler:

- Tasarım değişkenleri ve kısıtların tanımlanması,
- Simülasyon araçlarının seçilmesi ve temel modelin geliştirilmesi,
- Hedef fonksiyonların belirlenmesi,
- En iyileme algoritmasının seçilmesi,
- Yakınsak değerler elde edilene kadar simülasyonun çalıştırılması,
- Elde edilen verinin; yorumlanması, görselleştirilmesi ve sunumu.

Bütünleşik üretken tasarım süreçlerinin ve optimizasyon araçlarının bu stratejilerinden faydalanarak, cephe yüzeylerinin komşuluk ilişkileri ve modelin organizasyonunu tanımlayan düğüm noktaları üzerinden, cephe genelinde çeşitlemeyi ve tasarım tercih evrenini daraltacak bir düzen oluşturulabilir. Bu sürecin kurgulayıcısı olan tasarımcı ise; kişisel estetik kaygılar gibi ek bir kriter ile Pareto uygun bireyler içerisinden tercih ettiği çözümü seçebilir (Touloupaki & Theodosiou, 2017).

## 3. Kinetik Cephe Tasarımı Önerisi

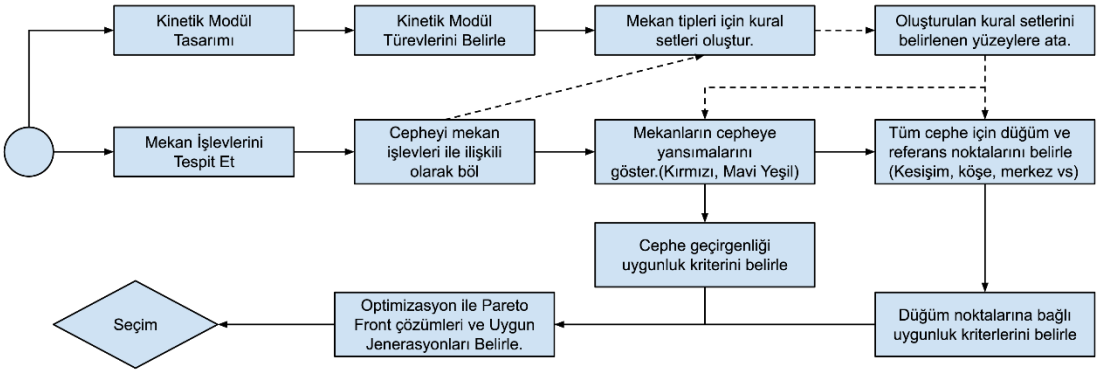
Çalışma kapsamında tespit edilen sorunlar çerçevesinde; yöntem olarak, kinetik bir cephe tasarımı önerisi geliştirilmiştir. Öneri özelinde; "işlev-mekân-kinetik cephe" ilişkisini en iyi şekilde düzenlemek; cephe çeşitliliğini artırmak ve tercih evrenini sınırlandırmak amacıyla üretken tasarım araçları (Rhinoceros 3D+ Grasshopper) yardımıyla algoritmik bir model kurgulanmıştır. Bu algoritmik modelin bir örnek üzerindeki uygulaması ile süreç sıralı bir şekilde açıklanmıştır.

### 3.1. Modelin Algoritması

Modelin algoritmasında, başlangıçta paralel olarak başlayan, etkileşimli olarak ilerleyen ve bir noktada kesişen iki süreç vardır.

İlk süreçte; cephe yüzeyinde kullanılacak kinetik modülün tasarımı yer alır. Bu modülün bina kabuğu ile ilgili belirli gereksinimleri karşılayacak, farklı konulara cevap verebilecek türevleri belirlenir. Daha sonra, bu kinetik modül ve türevlerinin farklı mekansal işlevleri karşılayacak şekilde, çeşitli kural setleri ile cephe yüzeyinde atanacakları yerlerin tanımlamaları yapılır. İkinci süreç ise, örnek olarak seçilen yapının, incelenen planları üzerinden mekan işlevlerinin analiz edilmesi, bu işlevlere bağlı olarak cephenin bölümlendirilmesi ve bunların cephe yüzeyindeki kesişimlerinin belirtilmesi olarak gerçekleşir.

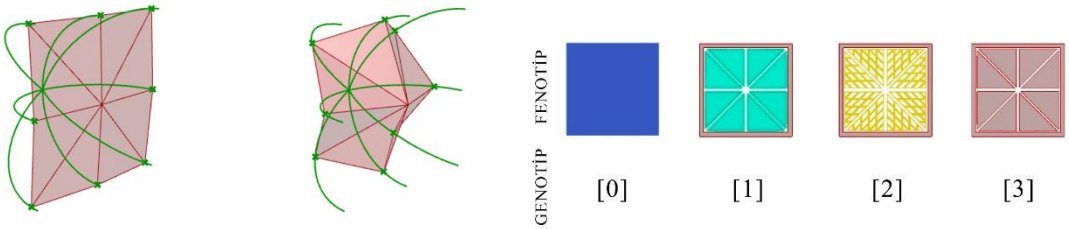
İki sürecin kesişim noktası; mekanların mahremiyet gereksinimleri üzerinden cephe geçirgenliği uygunluk kriterleri ile cephe genelinde modüllerin dağılımında ve sayısında rolü olan topolojik etmenlerin (düğüm noktaları, kesişimler, sınırlar vs.) belirlenmesidir. Modelin son kısmı optimizasyon işlemlerini içerir. Burada uygunluk kriterleri üzerinden bir evrimsel optimizasyon motoru (Wallacei X) aracılığıyla en uygun nesil ve Pareto uygun çözümler ile bir seçim evreni tasarımcıya sunulur.



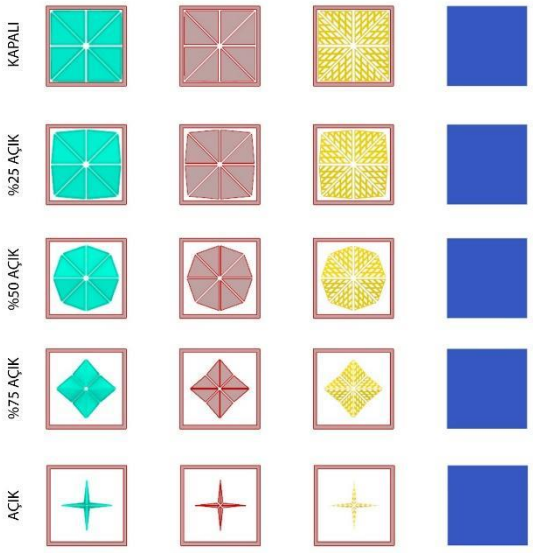

**Şekil 1:** Öneri model algoritma şeması

### 3.2. Modül Tasarımı

Öneri modelde tasarlanan birim modül kare biçimlidir. Parametrik olarak katlamalı tasarım yönteminin vadi ve tepe bileşenlerinden faydalanan, şemsiye mekanizmasına benzer açılma ve kapanma gerçekleştiren bir yapıya sahiptir. Bu birim modülün işleve bağlı olarak yüzeylerde farklı koşullara cevap verebilmesi için geçirgenlik yönünden yarı saydam, perforasyonlu ve saydam olmayan yüzeylere sahip türevleri vardır. Bu farklı modüller ile havalandırma, aydınlanma ve mahremiyet ihtiyaçlarının yanı sıra cephe çeşitliliğinin sağlanması amaçlanır.(**Şekil 2, Şekil 3**)




**Şekil 2:** Birim Modül Çalışma Prensibi ve Türevleri




**Şekil 3:** Birim modüllerin açık/kapalı olma durumları

Modülün türevleri modelde fenotipler olarak tanımlanmıştır. Fenotip(0) modülü balkon veya teras alanlarında kapı boşluklarını tanımlamak için kullanılır. Fenotip(1) mahremiyet gereksiniminin düşük olduğu durumlarda gün ışığı geçirgenliğini artırmak için kullanılan yarı saydam elemandır. Fenotip(2) cephenin iç kısmında pencere kanatlarına denk gelen noktalarda doğal havalandırma sağlamak amacıyla kullanılabilen perforasyonlu elemandır. Fenotip(3) ise mahremiyet ihtiyacı yüksek olan, ışık geçirgenliğinin daha keskin ayarlanması istenen alanlarda kullanılabilen saydam olmayan malzemeden üretilen birim elemandır.

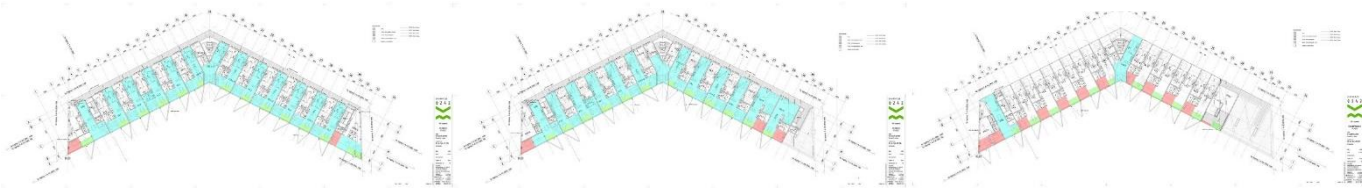
Bu modüllerin ebatları cephe düzenindeki mekânsal genişlik ve yüksekliklere göre değişebilir. Modüller bir araya gelerek daha büyük cephe birimleri tanımlayabilir. Örneğin; bu modüller ile 2*4, 3*6, 2*3, 3*3 ve benzeri düzenler oluşturulabilir.

### 3.3. Modelin Adaptasyonu

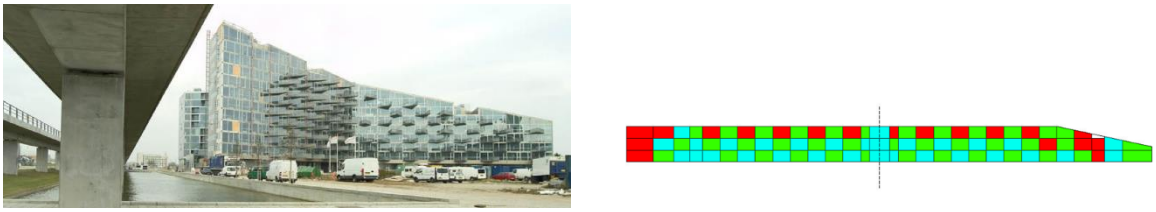
Öneri modelin bir diğer aşaması uyarlanacağı bina cephesinin seçimidir. Seçim ölçütü olarak; kat yüksekliği ve mekân açıklığı bakımından modüler yerleşime sahip bir yapı örneği tercih edilir. Burada cephe ile ilintili farklı mekanların (yatak odası, yaşam alanı, balkon vs.) durumları belirlenir. Plan analizinde, farklı mekanlar üç grupta incelenmiş ve bunlar kırmızı, yeşil ve mavi renkler ile etiketlenmiştir. Kırmızı renk mahremiyet gereksinimi yüksek olan yatak odası gibi alanları; mavi renk mahremiyet gereksinimi üst seviye olmayan günlük yaşam alanlarını ve yeşil renk ise dış ortam ile doğrudan ilişkili balkon, teras vb. gibi mahremiyet gereksinimi en düşük olan alanları göstermektedir. Bu renklendirme seçilen binanın plan çözümlerine göre cephesine yansıtılır. Bunun yanında bina cephesinde modül boyutlarına uygun olarak bölüntüleme işlemleri gerçekleştirilir.

Bu işleyişin bir örneği; Bjarke Ingels Group tarafından tasarlanan ve 2005 yılında Danimarka/Kopenhag' da inşa edilen yüksek yoğunluklu "VM Konut Kompleksi" nin "V Konut Bloğu" üzerinden açıklanabilir. Modüler düzendeki binanın güney cephesi farklı mekân işlevlerine ve gereksinimlerine sahiptir. Binanın kat planları analiz edildiğinde, yatak odası gibi özel kullanıma tabi alanlar, ortak yaşam alanları ve dış mekân ile irtibatlı olan balkon gibi alanlar bulunmaktadır. Model uygulamasında bu mekanların cephe kesişmeleri tespit edilmiş ve renk etiketleri oluşturulmuştur (**Şekil 4, 5**).

Yapının genel aks açıklığı ve kat yükseklikleri dikkate alındığında çoğunluğu 3,60m x 2,40 m ebatlarında birim yüzeyler elde edilmiştir. Bu yüzeyler daha sonra geliştirilen birim modüllerin yerleştirilebilmesi için 1,2m x 1,2 m ebatlarında 6 eşit parçaya bölünmüştür. Model; elde edilebilen kat planları çerçevesinde zemin üzeri 3 kat ile sınırlandırılmıştır.



**Şekil 4:** VM konut kompleksi 1., 2., ve 3. kat planları



**Şekil 5:** VM konut kompleksi ve cephe-iç mekân kesişim analizi

### 3.4. Mekân - Yüzey Kesişiminde Uygunluk Kuralları

Farklı mekân tiplerinin mahremiyet ve geçirgenlik gereksinimlerini karşılayabilmek adına her mekân-yüzey kesişimi için çeşitli kural setleri belirlenmiştir. Bu kurallar ışığında mekân ile ilişkili cephe yüzeyine yerleştirilebilecek varyasyonlar üretilebilmektedir. Bu kural setleri yeşil, mavi ve kırmızı etiketli mekân yüzeylerine göre değişkenlik gösterebilmektedir.

Yeşil etiketli cephe yüzeylerinde; bir balkon ve iç mekânı bağlayacak bir kapı açıklığı ile, düşük mahremiyet seviyesi gereksinimlerini karşılayabilme adına aşağıdaki kural grubu uygulanabilir;

- Kapı boşluklarında en az iki birim alt üst komşu olacak şekilde Fenotip(0) olmalıdır.
- Pencere açıklıklarında en az bir birim hava geçişi için Fenotip(2) kullanılmalıdır.
- Kullanım kolaylığı açısından pencere açıklıklarında Fenotip(2) üst sırada yer almalıdır.
- Açık mekanlarda Fenotip(3) kullanılmamalıdır (**Şekil 6**).

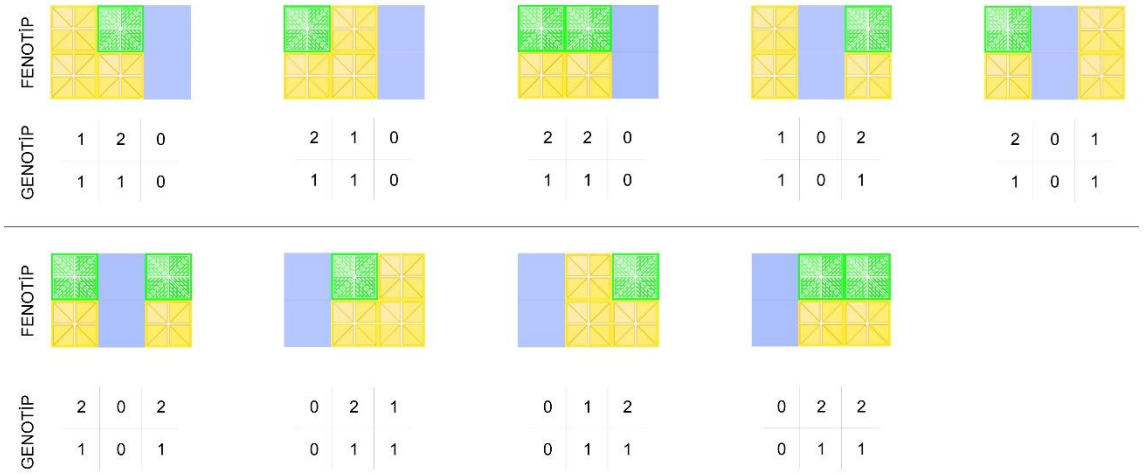
Mavi etiketli cephe yüzeylerinde ise günlük yaşam alanları temsil edilir. Mahremiyet derecesi doğal olarak orta seviye kabul edilir. Bu nedenle yarı saydam modüllerin kullanımı yaygınlaşabilir. Bu bilgiler ışığında kural grubu şu şekilde gerçekleşebilir;

- Kapı için boşluk bırakılmaz.
- Birimlerin en az yarısı Fenotip(1) olmalıdır.
- İki veya daha fazla üyeye sahip bir modülün tüm üyeleri birbirleri ile komşu olmalıdır.
- Pencere açıklıklarında en az bir birim hava geçişi için Fenotip(2) kullanılmalıdır.
- Kullanım kolaylığı açısından pencere açıklıklarında Fenotip(2) üst sırada yer almalıdır (**Şekil 7**).

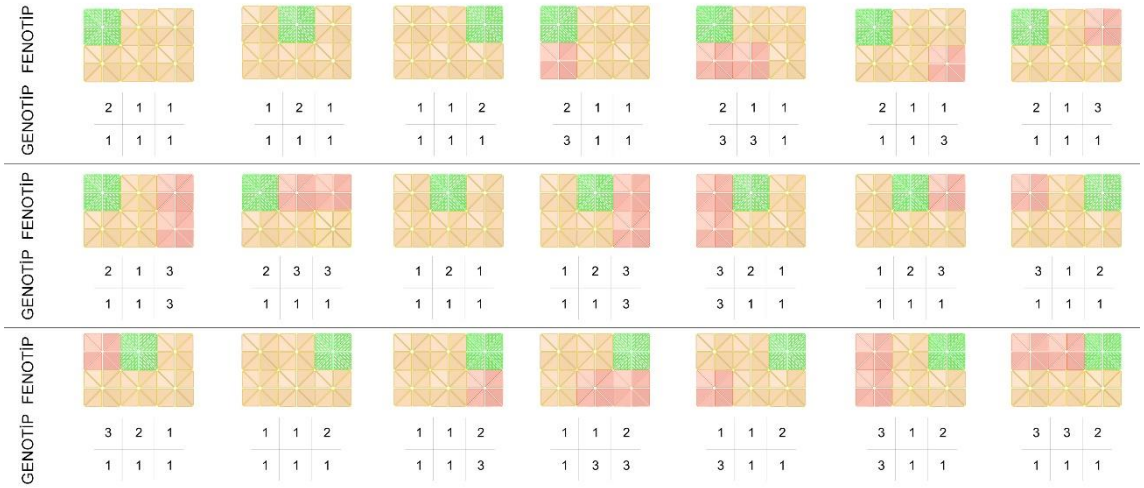
Kırmızı etiketli mekân yüzeyleri için yüksek mahremiyet gereksinimi değerlendirildiğinde, geçirgenliğin daha keskin bir şekilde ayarlanabilmesi adına modüllerin çoğunluğunda Fenotip(3) tercih edilir. Bu yüzeylerin uygunluk kural grupları ise şu şekilde sıralanabilir;

- Kapı için boşluk bırakılmaz.
- Birimlerin en az yarısı Fenotip(3) olmalıdır.
- En az bir Fenotip(3) üst sırada yer almalıdır.
- Pencere açıklıklarında en az bir birim hava geçişi için Fenotip(2) kullanılmalıdır.
- Kullanım kolaylığı açısından pencere açıklıklarında Fenotip(2) üst sırada yer almalıdır.
- Sayısı 1'den fazla olan her modül kendisiyle komşu olmalıdır.
- Tek olan 2 modül varsa, bunlar alt-üst olarak yerleştirilmelidir (**Şekil 8**).

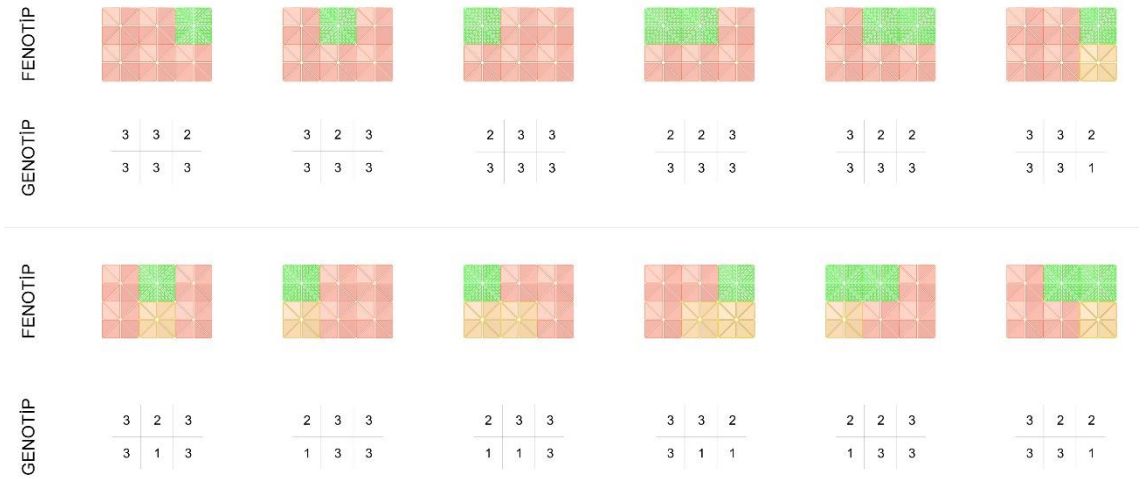
Seçilen örnek modelde, bu kuralların uygulaması sonucunda yeşil etiketli cephe yüzeyleri için 9 farklı türetim; mavi etiketli cephe yüzeyleri için 21 farklı türetim; kırmızı etiketli cephe yüzeyleri için ise 12 farklı türetim gerçekleşmiştir. Kural setlerine bağlı olarak türetilen cephe yüzeylerinin fenotip ve genotipleri **Şekil 6, Şekil 7** ve **Şekil 8**' de gösterilmiştir.




**Şekil 6:** Yeşil etiketli cephe yüzeyi varyasyonları




**Şekil 7:** Mavi etiketli cephe yüzeyi varyasyonları




**Şekil 8:** Kırmızı etiketli cephe yüzeyi varyasyonları

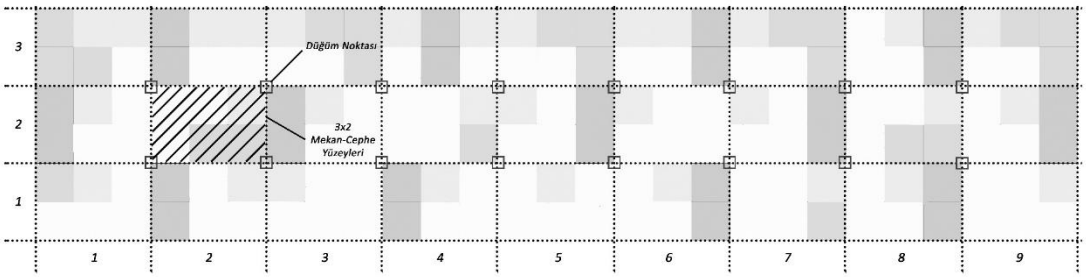
### 3.5. Kompozisyonel Uygunluk Kuralları / En iyileme

Yerleşim kapsamında gruplanan mekân-cephe yüzeyi varyasyonları, tüm cephe genelinde bir kompozisyon oluşturmaktadır. Bu kompozisyonun uygunluğu bu varyasyonların aralarında oluşturduğu düğüm noktaları üzerinden ölçülmektedir. Buna göre, bu düğüm noktaları ve gruplanan yüzeylerdeki birim modüllerin uzaklığı kontrol aracı görevini üstlenmektedir. Bu bağlamda, evrimsel optimizasyon araçlarından (Rhinoceros 3D> Grasshopper > Wallacei X) faydalanılmaktadır. Yani düğüm noktaları, seçilen modül yüzeylerinin bu noktalara olan uzaklıklarını ölçerek kurgulanan algoritma çerçevesinde, olasılıkları hesaplamaya yardımcı bir tasarım bileşeni olmaktadır.

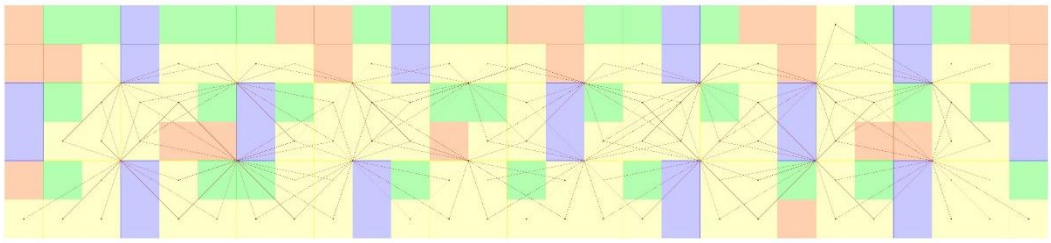
Optimizasyon kurallarında uzaklık ölçümleri seçilen tasarım örneğinin koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenler; cephenin geçirgenlik düzeyleri, kapı pencere gibi açıklıkların cephe yüzeyinde kompozisyonel yerleşim kararları, belirli fenotiplerin sayısının ve düzeninin kontrol edilmesi gibi tasarım ölçütleri çerçevesinde belirlenmektedir.

Bu aşama "VM konutu" üzerinde şöyle uygulanmıştır: Öncelikli olarak optimizasyon motoru ile ulaşılmak istenen değerlere yakın üretilen örnek nesillerin daha iyi değerlendirilmesi için cephenin belirli bir bölümü ele alınmıştır. **Şekil 9'** da görüldüğü üzere cephenin başta belirtilen standart aks açıklığı ve kat yüksekliği değerleri içerisinde yer alan, mekân-cephe yüzey sayısı 9x3 büyüklüğünde bir ızgara üzerinde çalışılmıştır. Model optimizasyonu özelinde yakalanmak istenen 4 uyumluluk değeri belirlenmiştir. Optimizasyon ile bu değerlerden;

- Cephe geçirgenliğinin maksimuma çıkarılması,
- Toplam Fenotip(1) sayısının maksimuma çıkarılması,
- Izgara düzeninin merkezinden kapı boşluklarına olan uzaklıkların maksimuma çıkarılması,
- Düğüm noktalarından Fenotip(1) merkezlerine olan uzaklıkların ise minimuma düşürülmesi istenmiştir (**Şekil 10**).

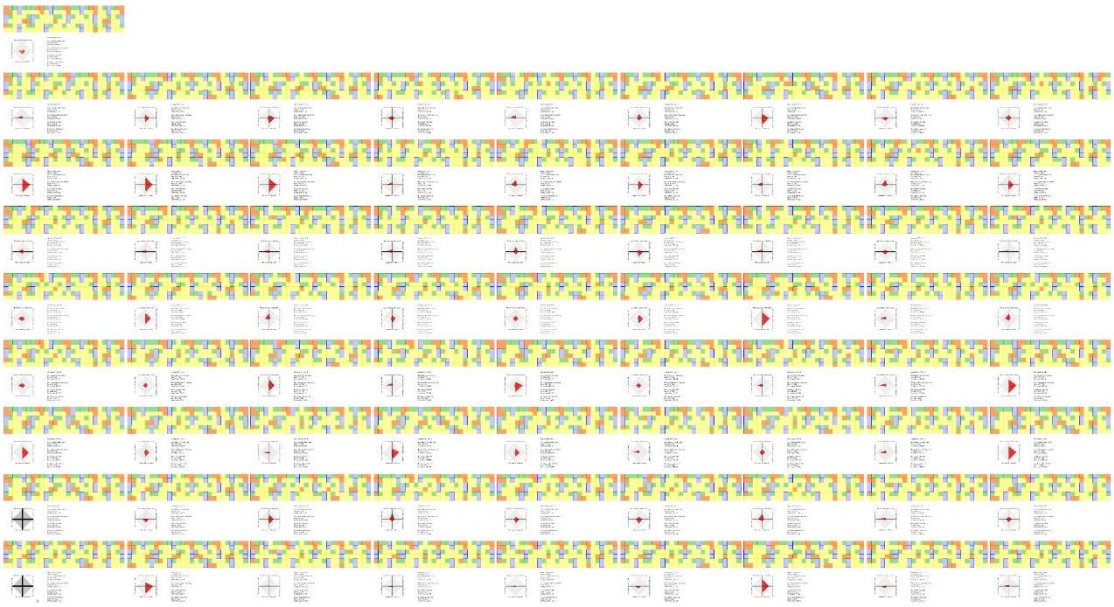



**Şekil 9:** Cephenin bölümlenme şeması, 9x3 ızgara düzen, düğüm noktaları ve mekân-cephe yüzeyi gösterimi



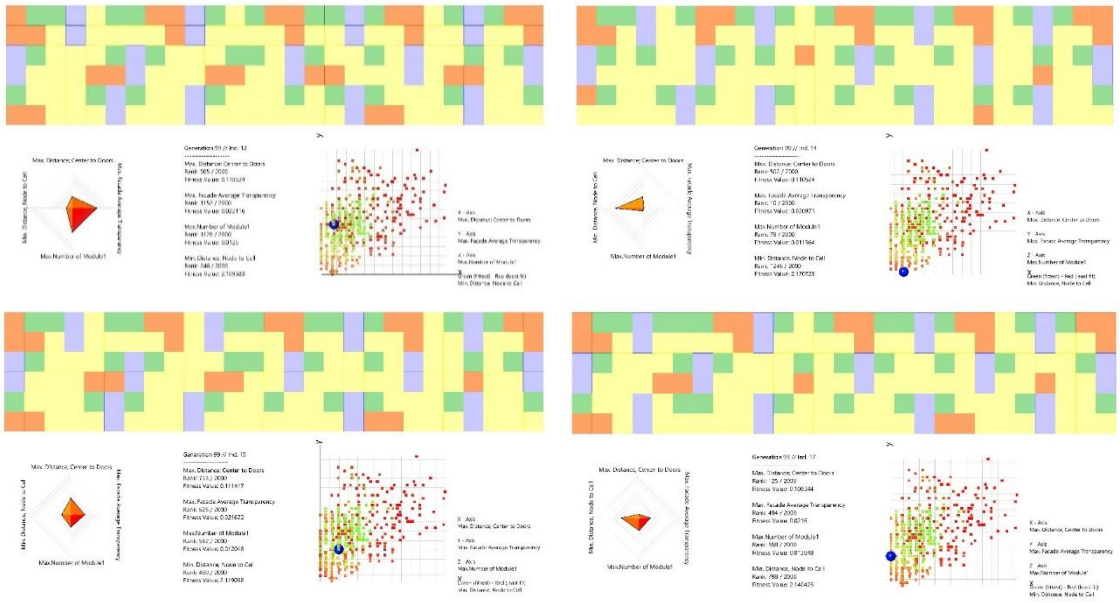
**Şekil 10:** Düğüm noktaları ve Modül(1)'ler arasındaki mesafe ilişkisi

Mevcut koşullar altında, belirlenen uyumluluk değerlerine etki eden 27 değişken mekân-cephe yüzeyi modülü ve bu değişkenlerin alabileceği 366 değer bulunmaktadır. Cephenin ızgara yapısı, değişkenler ve değerler hesaba katıldığında araştırma uzayının büyüklüğü $5x10^{30}$' a yaklaşmaktadır.

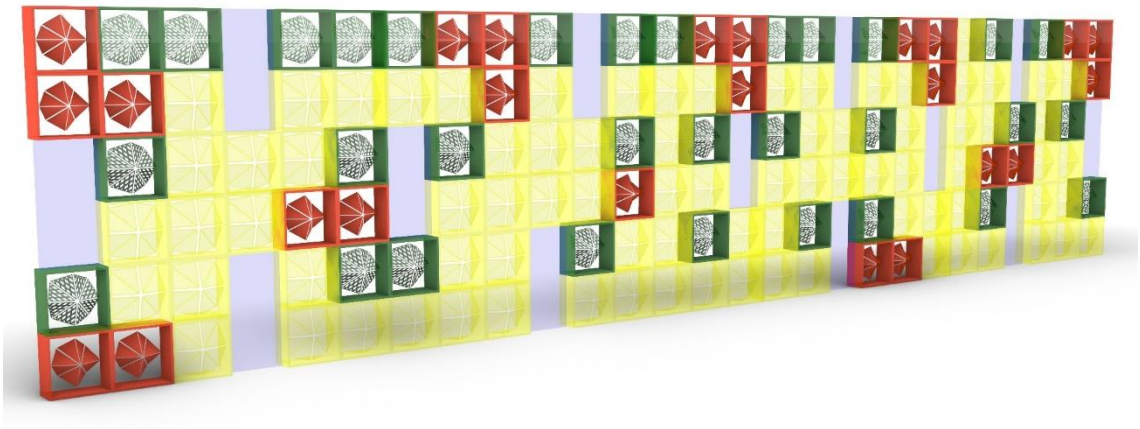


**Şekil 11:** Nesil 100 ve pareto front çözümleri

Optimizasyon için çözüm büyüklüğü 20 bireyli 100 nesil üzerinden 2000 elemanlı bir araştırma evreni simüle edilmiştir. Simülasyon sonucunda ise; uyumluluk değerlerine uygun son nesilin tüm bireyleri ve Pareto uygunluğuna ait bireyler çözüm kümesi olarak belirlenmiştir. Pareto uygun ve "nesil 100" çözüm kümelerinin birleşimi 73 çözüm ortaya çıkarmaktadır (**Şekil 11**). Bu 73 elemanlı çözüm kümesinin bireylerinin tekil olarak seçimi, uyumluluk kriterlerinin elmas biçimli tabloda gösterimi ve hedef uzaydaki konumları Grasshopper üzerinde Wallacei X bileşenleri ile görselleştirilmiştir. **Şekil 12**' de Pareto uygun ile nesil 100 kümelerinin kesişimleri olan N100; Ç12, Ç14, Ç15 ve Ç17 bireylerinin uyumluluk dereceleri ve hedef uzaydaki konumları örnek olarak verilmiştir.

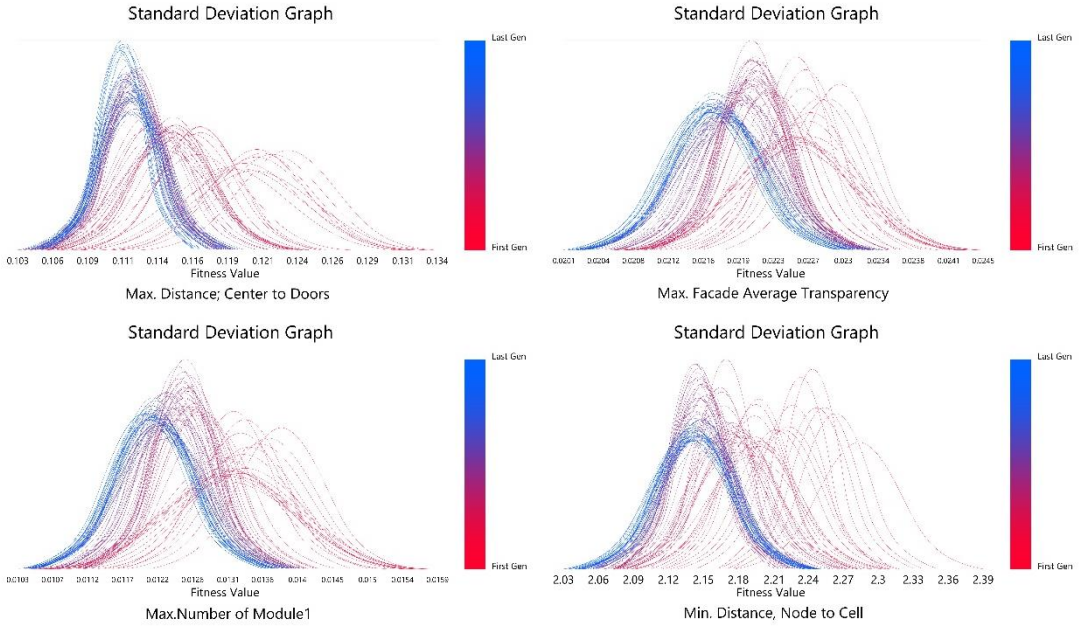


**Şekil 12:** Nesil 100, pareto uygunluğuna ait seçilen çözümler ç12 (sol üst), ç14 (sağ üst), ç15 (sol alt), ç17 (sağ alt)



**Şekil 13:** Çözüm kümesi bireyi, nesil97, ç16' nın 3b görünümü

Simülasyon sürecinde evrimsel optimizasyon motorunun, en iyileştirme sürecini ve nesiller arasındaki geçişi gösterebilmek için "Standart Sapma" grafikleri tercih edilmiştir. Bu grafiklerde kırmızı çizgiler ilk nesilleri temsil ederken mavi çizgiler ise son nesilleri belirtmektedir. Grafiklerde yer alan eğrilerin daralması uygunluk kriterlerine yakınsamayı, yataya yakın seyretmesi ise artan varyasyonları tanımlamaktadır. Ayrıca grafiğin sağdan sola doğru gelişmesi o uygunluk kriterinin optimum çözüm için en uygun ortalama standart sapma değerini sağladığı noktayı açıklamaktadır (Wallacei X). Grafiklerden de anlaşılacağı üzere çok hedefli optimizasyonlarda tüm uygunluk kriterlerini aynı anda en iyileştirmek mümkün değildir. En iyi çözümler tüm kriterlerin toplama dahil edilmesi ile belirlenebilir. Bu bağlamda grafiklere bakıldığında, ilk nesilden son nesile simülasyonda bir numaralı uygunluk kriterinin (merkezden kapılara mesafe) en iyileme özelinde önceki nesiller dikkate alındığında maksimum uygunluğa erişebildiği görülmektedir. Ancak, diğer uygunluk kriterlerinde (cephe geçirgenliği, Fenotip(1) sayısı ve düğüm noktalarından hücrelere mesafe) ise önceki nesiller dikkate alındığında, tümünde ortak en iyilemeyi sağlamak için istenilen uygunluk seviyelerinin en üst değerlerinin kullanılmadığı görülebilmektedir (**Şekil 14**).




**Şekil 14:** Tüm nesillerin uygunluk kriterleri ile standart sapma grafiği

## 4. Sonuç

Çalışma çerçevesinde geliştirilen öneri yöntem ile, kinetik cephe sistemleri özelinde günümüze kadar gerçekleşmiş olan tasarım uygulamalarından farklı olarak cephe tasarımının görsel çeşitliliği ile mekân – işlev tabanlı kurgunun cephe sistemine yansıması deneyimlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında çalışma ile ilgili olarak şunları söylemek mümkündür:

- Bu çalışmada örnek olarak seçilen VM binasında olduğu gibi benzer modüler düzene sahip farklı tasarım örneklerinde, mekân-cephe yüzeylerinin farklı boyut ve sayılarda gruplanarak cephe yüzeylerine uygulanabileceği görülmüştür.
- Aynı modülün varyasyonları ve cephe-mekân ilişkili yüzey değişiklikleri herhangi bir sistem içerisinde organize edilmediği takdirde, tercih evreni üstesinden gelinebilecek büyüklüğün ötesinde oluşabilmektedir. Dolayısıyla algoritmik tercihler, topolojik organizasyon kuralları ve optimizasyon süreçleri tercih evrenini çözümlemekte ve sınırlamakta etkilidirler.
- Optimizasyon açısından modelin uygulanacağı yapının modüler bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Modüler olarak bölümlendirilemeyen alanlar model kapsamında belirsizliğe neden olabilecektir. Belirsiz alanların artması tercih evreninde yapılabilecek seçimlerin öngörülemez hale gelmesine neden olabilir. Bu durumda, oluşabilecek belirsiz alanlar için genişleme kapasitesine sahip bir kural grubu oluşturmak gerekmektedir.
- Optimizasyon araçlarının karar verme süreçlerine objektif katkıları olduğu teyit edilmiştir.
- Yapılan çalışma, cephe yüzeyi örüntü çeşitliliği açısından ele alınmıştır. Yani tasarım yönünden üretkenlik potansiyelinin sınanmasını kapsamaktadır. Ancak, özellikle performansa dayalı tasarım yaklaşımları ile bütünleştirilerek uygun çözümlerin optimizasyonu yönünden geliştirilebileceği düşünülmektedir.
- Cephe genelindeki kompozisyonel örüntü, birim modüllerin ve varyasyonlarının çeşitlenmesi ile çok daha zengin bir çözüm havuzu elde edilebilir. Bu çeşitliliğin sadece biçimsel yönden değil, malzeme kullanımı açısından da sağlanabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen kurallar bütünüyle kinetik cephelerin tasarımı konusu özelinde üretken bir tasarım metodolojisinin alt yapısı oluşturulabilir. Çalışmanın bir sonraki hedefi, elde edilen sınırlı tercih evreni içerisinde yer alan tasarım varyasyonlarının performanslarının test edilmesidir.

## KAYNAKLAR

Böke, J., Knaack, U., & Hemmerling, M. (2019). Superposition matrix for the assessment of performance-relevant adaptive façade functions. *Journal of Facade Design & Engineering* (Vol. 7). https://doi.org/10.7480/jfde.2019.2.2463

Böke, J., Knaack, U., & Hemmerling, M. (2020). Automated adaptive façade functions in practice - Case studies on office buildings. *Automation in Construction*, *113*. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103113

Caetano, I., & Leitão, A. (2019). Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio. *Journal of Computational Design and Engineering*, *6*(3), 327–336. https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.11.004

Cudzik, J., & Nyka, L. (2017). Reasons for Implementing Movement in Kinetic Architecture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *245*(4). https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/4/042073

Østergård, T., Jensen, R. L., & Maagaard, S. E. (2016). Building simulations supporting decision making in early design–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *61*, 187-201. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045

Konstantoglou, M., & Tsangrassoulis, A. (2016). Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 60. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.246

Singh, V., & Gu, N. (2012). Towards an integrated generative design framework. *Design studies*, *33*(2), 185-207. https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.06.001

Tabadkani, A., Valinejad Shoubi, M., Soflaei, F., & Banihashemi, S. (2019). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction*, *106*(August 2018), 102857. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102857

Touloupaki, E., & Theodosiou, T. (2017). Energy performance optimization as a generative design tool for nearly zero energy buildings. *Procedia engineering*, *180*, 1178-1185. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.278

*Wallacei*. *Wallacei X: Evolutionary Engine for Grasshopper3D.* Retrieved June 11, 2021, from www.wallacei.com

Yilmaz, I. (2017). Move-tecture: A Conceptual Framework for Designing Movement in Architecture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *245*(4). https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/4/042061

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Robotik Fabrikasyon Destekli Tasarım İçin Sürü Zekası Tabanlı Bir Çerçeve

Özlem Çavuş [1]; Sema Alaçam[2]
[1;2] İstanbul Teknik Üniversitesi
[1;2]mbl.itu.edu.tr, [1]cavus19@itu.edu.tr; [2]alacams@itu.edu.tr

## Özet

*Robot destekli mimari tasarım gittikçe önem kazanıyor, ancak çoğunlukla endüstriyel robotlar üzerinden ilerlemekte. Mevcut bir aracı, tasarım ve üretim süreçlerine uyarlamak oldukça karmaşıktır ve mimarlar aracı kullanmakta ve anlamakta zorluk çekmektedir. Bu zorluk, amaçlanan sonuçlar ile robotun gerçekte verebilecekleri arasında bir boşluğa yol açar. Yine de sürü robotları (SR) aracılığıyla robotik üretime farklı bir açıdan bakmak mümkün. Acil durumlarda SR'nin potansiyelleri vardır, ancak SR'nin tasarlanması ve geliştirilmesinde disiplinler arası çalışmaların gerekliliği nedeniyle bu potansiyeller mimaride tam olarak keşfedilmemiştir. Bu nedenle, mimarların tasarım süreçlerinde etkili bir şekilde nasıl kullanılabileceklerini anlamadaki karmaşıklığı nedeniyle, SR' uygulama alanları tasarım, imalat ve inşaatta sınırlı kalmaktadır. Tasarımcılar, ancak bu karmaşık robotların nasıl çalıştığını ve etkileşime girdiğini anlarlarsa potansiyellerini keşfedebilir ve zorluklara çözümler sağlayabilir. Bu sayede tasarım süreçlerinde daha verimli kullanılabilirler. Kategorizasyon yoluyla SR'nin çalışma prensiplerine odaklanan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma, mimarlıkta tasarım ve fabrikasyon süreçlerinde ortaya çıkışın tartışılması nedeniyle mevcut çalışmalardan farklılık göstermektedir. SR, tasarım, imalat ve inşaatta ortaya çıkma konusunda avantajlar sunar. Bu bağlamda, bu makale tasarımcılara teknik özellikleri açısından bir sürü bot çerçevesi önermekte ve SRS'nin potansiyellerini ve zorluklarını tartışmaktadır. Amaç, tüm örnekleri veya tüm teknik özelliklerini listelemek değildir. Aslında, bu makale, kullanım senaryolarına dayalı bir algoritma şemasının teknik gerekliliklerine ilişkin öne çıkan özellikleri özetlemektedir. Teknik ihtiyaçlar, çalışma ve hareket prensipleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu çerçeve, sürü zihniyetinde robot kullanmanın yararlarını sorgulayarak alana özgün ve değerli bir katkı sunduğu için bu çalışmanın ana katkısıdır. Sürü çalışmaları genellikle farklı kavramsal katmanlarla ilgili olduğundan, yazarlar incelemenin itici gücü olarak emergence kavramıyla ortaya çıkmaktadır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Sürü robotik sistemleri, sürü botları, robotik, kategorizasyon.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Çavuş, Ö., & Alaçam, S. (2021). Robotik fabrikasyon destekli tasarım için sürü zekası tabanlı bir çerçeve. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 147–158). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Swarm Intelligence Based Framework for Robotic Fabrication Aided Design

Özlem Çavuş [1]; Sema Alaçam[2]
[1;2] İstanbul Teknik Üniversitesi
[1;2]mbl.itu.edu.tr, [1]cavus19@itu.edu.tr; [2]alacams@itu.edu.tr

## Abstract

*Robot-aided architectural design is becoming important, yet mostly goes through industrial robots. Adapting an existing vehicle to design and production processes is highly complex, and architects have difficulty in using and understanding the tool. This difficulty leads to a gap between intended outcomes and what the robot can actually give. Still, it is possible to look at robotic production from a different view via a swarm robot (SR). There are potentials of SR in emergent situations, yet these potentials have not been fully discovered in architecture due to the requirement of interdisciplinary studies in designing and developing SR. Hence, SR' application areas remain limited in design, fabrication, and construction because of the complexity for architects in understanding how they can be used in design processes effectively. Designers can discover their potentials and provide solutions for challenges only if they understand how these complex robots work and interact. In this way, they can be used more efficiently in design processes. There are studies that focus on the working principles of SR through categorization. This study differs from the existing ones due to the discussion on emergence in design and fabrication processes in architecture. SR offers advantages in emergence in design, fabrication, and construction. Within this context, this paper proposes designers a framework of swarm bots in terms of their technical features and discusses the potentials and challenges of SRS. The aim is not to enlist all examples nor their all-technical features. Instead, this paper outlines prominent features concerning the technical necessities of an algorithm scheme in regards to using case scenarios. Technical necessities are associated with working and movement principles of SR. This framework is the main contribution of this study, as it offers an original and valuable contribution to the field by questioning the benefits of using robots in a swarm mentality. As swarm studies generally relate to different conceptual layers, the authors here take emergence as a driving force of the examination.*

***Keywords:*** *Swarm robotic systems, swarm bots, robotics, categorization.*

**Citation in APA Style:** Çavuş, Ö., & Alaçam, S. (2021). A swarm ıntelligence based framework for robotic fabrication aided design. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 147–158). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Introduction

Today, robotic fabrication types and used machines have started to dominate the digital design processes. Robot-aided architectural design is becoming important, yet mostly goes through industrial robots. According to Brell-Cokcan (2013), what makes industrial robots so popular is their multi-functionality and low price. A multi-functional robotic arm can be equipped with a wide range of end effectors rather than developing specialized machines. Although industrial robots have many benefits in robotic fabrication and design, they also have limitations in use case scenarios. They are mainly used for additive and subtractive manufacturing and forming and have limited integration in early design phases. These limitations are closely linked to technical restrictions such as the maximum span of a robotic arm, implementation of electrical installations, and hardens in the relocation of the machine. Besides, the development of the machine based on a specific task requires interdisciplinary effort. Hence, architects mostly reuse existing machines and face their limitations. These sorts of limits become critical in emergence in design because the adaptation of the robotic fabrication machine and its system is not easy for the changing conditions in the design and fabrication process.

Based on the above-stated discussions on industrial-scale robots in architecture, there is a need for a framework that is easy to operate and control. There is a need for bottom-up solutions allowing higher tolerance in the emergence. Rather than using robot-assisted fabrication and design, this research highlights robotic fabrication aided design to question the use of robots as an experience and representation tool in the ambiguous design process for an inquiry and analysis of new design ideas. Can robotic fabrication-aided design be considered as an input to the design process? Beyond being self-assembly, can fabrication with robots be considered over an unfinished design object at an early stage of the design within the scope of emergence?

According to Johnson (2002), "emergence" indicates systems and situations where the interaction of parts can produce more complex outcomes, where the whole is more than the arithmetic sum of the parts, including unexpected or unpredictable results. Similar to this definition, the term emergence used in this paper indicates the change in exterior conditions, environment, and ill-defined problems in the design process. Emergence in design is significant because design problems are ill-defined, and there can be unexpected outcomes beyond designers' prior expectations in the fabrication process. To illustrate, an accidental situation can occur during physical mockup making. The complexity of the process increases based on the number of defined design constraints, design parameters, and part relations. However, a behavior or a situation that can be seen as ambiguous in case A can be different in case B. A quest allowing randomness and variation in the design process nourishes designers. Indeed, complexity and uncertainty are related to the scale. Instead of a deterministic system, there is a need for an understanding that does not require high precision and responds to complexity. In this regard, a bottom-up process is essential for the initial design phases.

A bottom-up process is also significant in regards to technical concerns. For instance, today, multiple robots work collaboratively in distant unfamiliar project sites such as Attics and Mars. There can be a sudden electricity cut, and the system can stop working. In this sense, the adaptation of the robotic system to emergent situations becomes critical and essential. Hence, a framework needs to be scalable, robust, and autonomous.

From an architect's perspective, adapting an existing machine to design and production processes is highly complex, so they have difficulty using and understanding the tool. This difficulty leads to a gap between intended outcomes and what the robot can actually give. Still, it is possible to look at robotic production from a different view via a swarm robot (SR) that depends on local relations defined in the bottom-up process. SR offers advantages in emergence in design, fabrication, and construction. These advantages are exemplified in the list below. For instance, centralized multi-robotic systems are beneficial for systems with a limited number of robots that operate in known and unchanging surroundings. In a decentralized multi robotics system, each robot can function as an autonomous unit that adapts its functionality following the state of its surroundings. This is critical in situations such as broken or non-functioning of some of the robots in the architectural realm.

- decentralized control,
- robustness,
- scalability,
- adaptability,

- fault-tolerance,
- energy efficiency,
- low cost,
- autonomous,
- ability to operate in a dynamic environment on their own by making appropriate decisions,
- on-site production.

There are existing and emerging potentials of SR. Yet, these potentials have not been fully discovered in emergence in architecture due to the requirement of interdisciplinary studies in designing and developing SR. Hence, SR's application areas remain limited in design, fabrication, and construction because of the complexity for architects in understanding how they can be used in design processes effectively. Designers can discover their potentials and provide solutions for challenges only if they understand how these complex robots work and interact in the use case scenarios. In this way, they can be used more efficiently in design processes.

Studies that focus on SR's working principles through the categorization, as exemplified in **Table 1**. This study differs from the existing ones due to the discussion on emergence in design and fabrication processes in architecture over scenario-based classification. Current works mainly classify these systems from a technical point of view without relating to their design and fabrication usage within the scope of emergence.

**Table 1:** Prominent categorization types of SR in the related studies

| **Author** | **Categorization Criteria** |
|---|---|
| Bayındır & Şahin (2007) | communication, modeling |
| Brambilla et al. (2013) | methods and collective behaviors |
| Wilson et al. (2016) | processor, sensing, communication, manipulator, and cost |
| Nedjah & Junior (2019) | existing taxonomies |
| Iocchi et al. (2020) | cooperation, knowledge, coordination, and organization levels |
| Schranz et al. (2020) | environment, application, robot type, number of robots, swarm behaviors, and availability |

There are scenario-based classifications like the study conducted by Schranz et al. (2020), yet it overviews SR in a general way. This research classifies SR through emergence, which is defined in architecture. Emergence in existing works is limited to areas such as search and rescue in architecture, and they are primarily superficial.

This paper proposes designers a framework of swarm bots in terms of their usage and required technical features. It discusses the potentials and challenges of SRS. The aim is not to enlist all examples nor their all-technical features. Indeed, this paper outlines prominent features concerning the technical necessities of an algorithm scheme in use case scenarios. This study offers an original and valuable contribution to the field by questioning the benefits of using robots in a swarm mentality. As swarm studies generally relate to different conceptual layers, the authors here take emergence as a driving force of the examination. There are questions in creating classification schemas. These questions and the proposed taxonomy are the original contributions of this study.

## 2. Methodology

Swarm-bots are inspected based on three main categories listed below. These categories are essential to analyze and decode general principles of SR regarding their primary design criteria, the working idea behind the software, and motion enablers.

- Design principles: initial design concerns of SR
- Working principles: technical concerns of SR particularly related to software necessities
- Movement principles: motion enabling concerns of SR

SR is used in architecture in different use case scenarios such as in shape construction and carrying an object, thus represent distinct behaviors. Accordingly, they have different abilities. **Table 2a** indicates the design of the SR in four main categories: use case, adaptation, abilities, and swarm behavior. Based on these four initial design principles, they have distinct technical needs associated with working and movement principles—their hardware and software change according to the technical necessities based on use cases.

**Table 2: a:** Design of the SR; **b:** Design for the SR: Working principles in relation to decision making in assigned function; **c:** Design for the SR: Movement principles

| **A** | **Design of principles** | **Questions** | **Technical needs** |
|---|---|---|---|
| | Use case | In which field it is used | Technical needs are based on detection of the working and movement principles |
| | Adaptation | To which it is adapt | |
| | Abilities | Of which tasks it is used | |
| | Swarm Behavior | Usage in the field | |

| **B** | **Working principles** | **Questions** | **Needs** |
|---|---|---|---|
| | Localization of SR | Where am I? | sensing, communication, and coordination types |
| | Awareness of the environment | Who is around me? | |
| | | What is around me? | |
| | Detection of the obstacle | Are there any obstacles? | |
| | Task allocation | Is there another SR who is already working on the task | sensing, communication, and coordination types, task allocation |
| | Understanding of the completion of the task | Is the task completed? | |

| **C** | **Movement principles** | **Questions** | **Needs** |
|---|---|---|---|
| | The way movement sustained with | How to sustain motion? | Detection of hardware |
| | Hardware needs | What are the physical components allowing motion? | |
| | Priority in decision-making criteria | What is a priority in motion? | Detection of priorities |

Regardless of these different needs, any swarm bot should answer questions in **Table 2b**. These questions are an essential start in understanding SR, and they are one of the original sides of this study. Any SR should understand where it is. This localization problem of any SR is related to sensing, communication, and coordination types. Also, it should be aware of who is around it and what is around it. This awareness of the surrounding can be achieved by shared memory or individual sensing. The environment should also be distinguished whether there is any obstacle in task allocation. Lastly, SR should understand whether it completes the task. The scheme in **Table 2b** answers these steps and consists of the corresponding technical needs. These working principles are related to decision-making in the assigned function.

Another design for principles of the SR is the movement principles. Basically, they need particular hardware, such as a gripper based on the way motion is sustained. Decision-making in motion is guided by priority such as following a specific path and accommodating relative position with other SR. **Table 2c** groups these principles according to technical sides.

These questions are answered through use case scenarios. It has been developed over a scenario-based classification instead of giving away its technical features as in the current studies. This classification reveals how they provide their movements in a coordinated way together with hardware and software. It is created with this concern.

Gero & Kannengiesser (2003) offer a general architectural framework for a situated agent allowing different modes of reasoning. This framework discusses a function behavior structure for situated agents used in the design process.

Taking into account this function behavior model, the proposed framework is also investigated concerning how it would correspond with physical layers in use case scenarios. Note that it considers the agents as physical entities beyond the simulation model. Pantazis & Gerber (2017) offer an emergent order through swarm fluctuations in the physical environment by investigating the generation of 2D self-organizing structures. They change the geometry of the robots, the parts, and the environment. This research differs from this study in terms of the discussion on robotic fabrication aided design in the emergence in architecture. In addition to formal considerations of materials, this paper also deals with movement scenarios and initial design criteria thus offer a holistic framework.

## 3. Proposed Framework

The proposed framework is a workflow proposal consisting of variables of the use case, working, and movement principles like a checklist. That is, this framework defines variables and rule sets as a template. An architect can determine design parameters and select from the framework. **Figure 1** indicates the relationship among the principles. Accordingly, a designer determines the initial design criteria that inform the main processer, such as computers or tablets. This processor then triggers the SR in regards to the local rule sets based on working principles. The body part is the physical swarm robots assigned to accomplish a specific task collaboratively. Movement principles should be defined to enable performing the task. According to the resulted swarm behavior, a designer can redefine the parameters. SR is mainly decentralized controlled. Nonetheless, there are central and mixed control schemas where the main processor directly interacts with SR. Figure 1 outlines this process, whose principles are further evaluated in **Figures 2a, 2b, and 2c.**

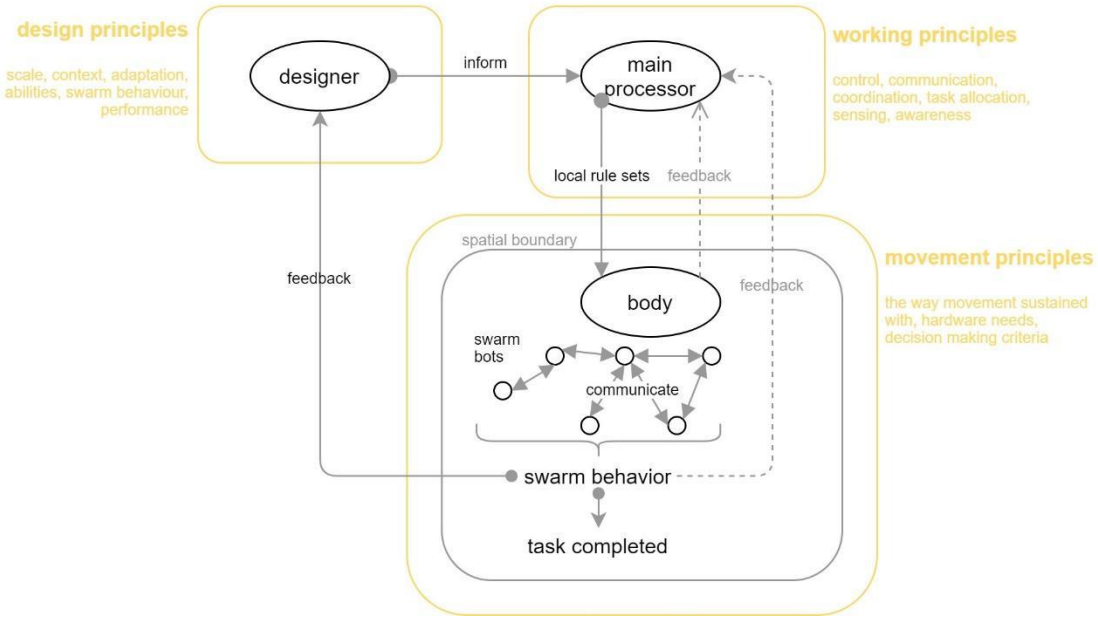



**Figure 1:** Relationship among the principles

Based on the above-stated principles, the use case scenarios require distinct technical consideration in adapting to emerging conditions. Therefore, they represent different swarm behaviors in the task allocation and during the deployment process. Their awareness and sensing features may vary depending on their abilities given to accomplish the task. They communicate and coordinate accordingly. In this regard, they move with the specific hardware necessities enabling motion. In this movement scenario, there is a priority in motion. All these features are briefly explained together with their sub-categories, as indicated in **Figures 2a, 2b, and 2c**. These features are an answer pool for the questions in **Table 2**.

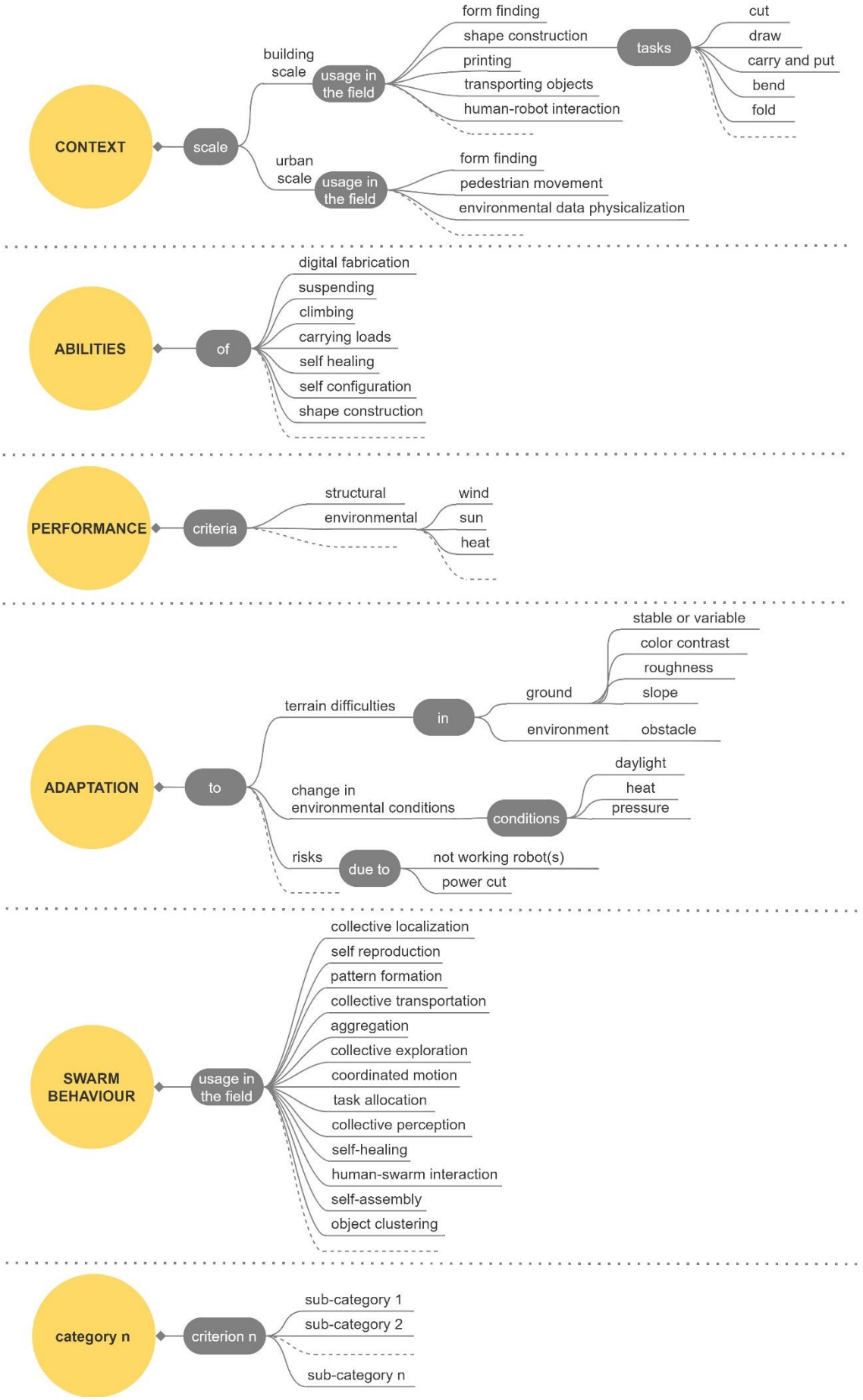



**Figure 2a:** Variables for design principles of SR

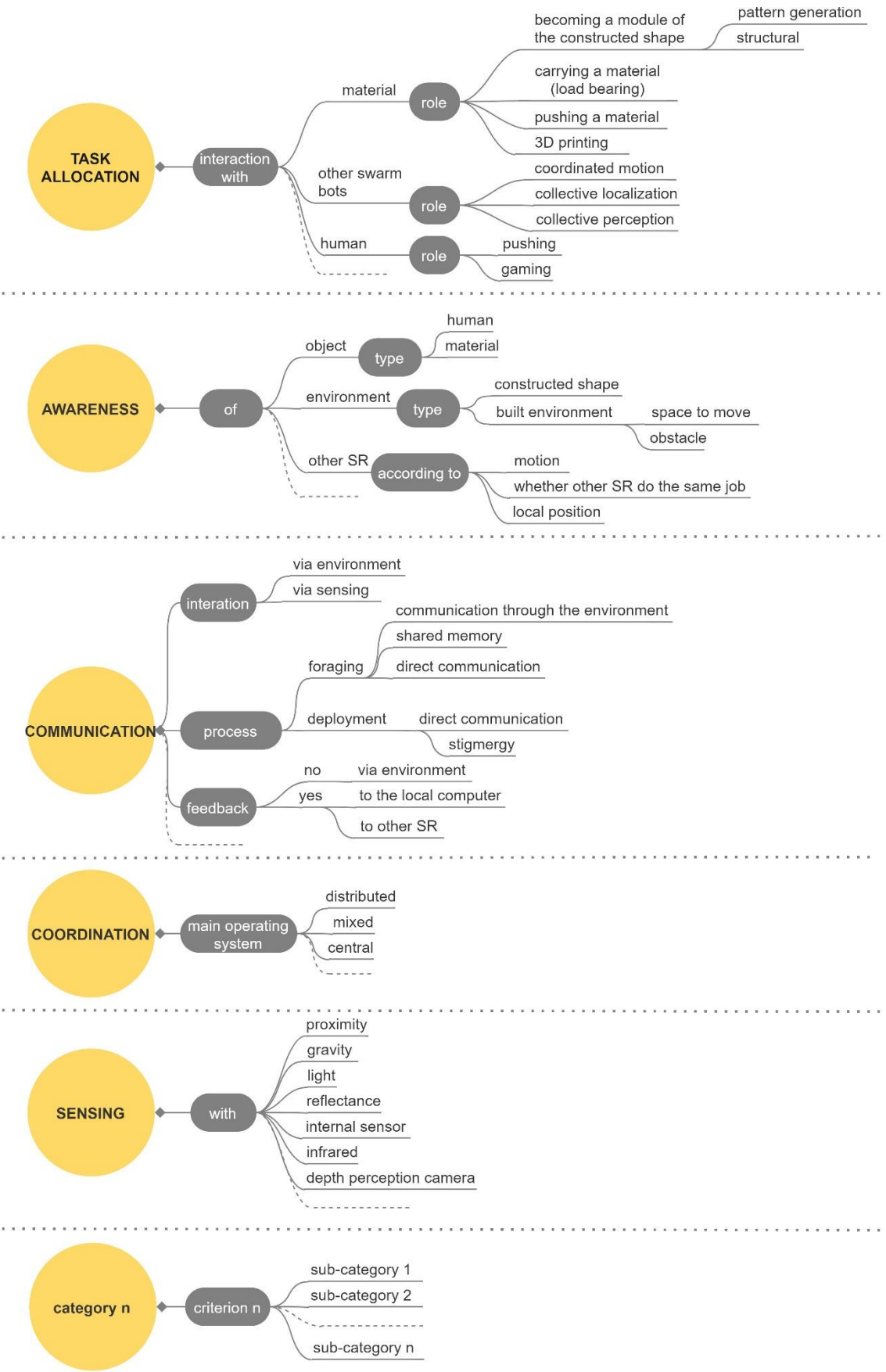



**Figure 2b:** Variables for working principles of SR

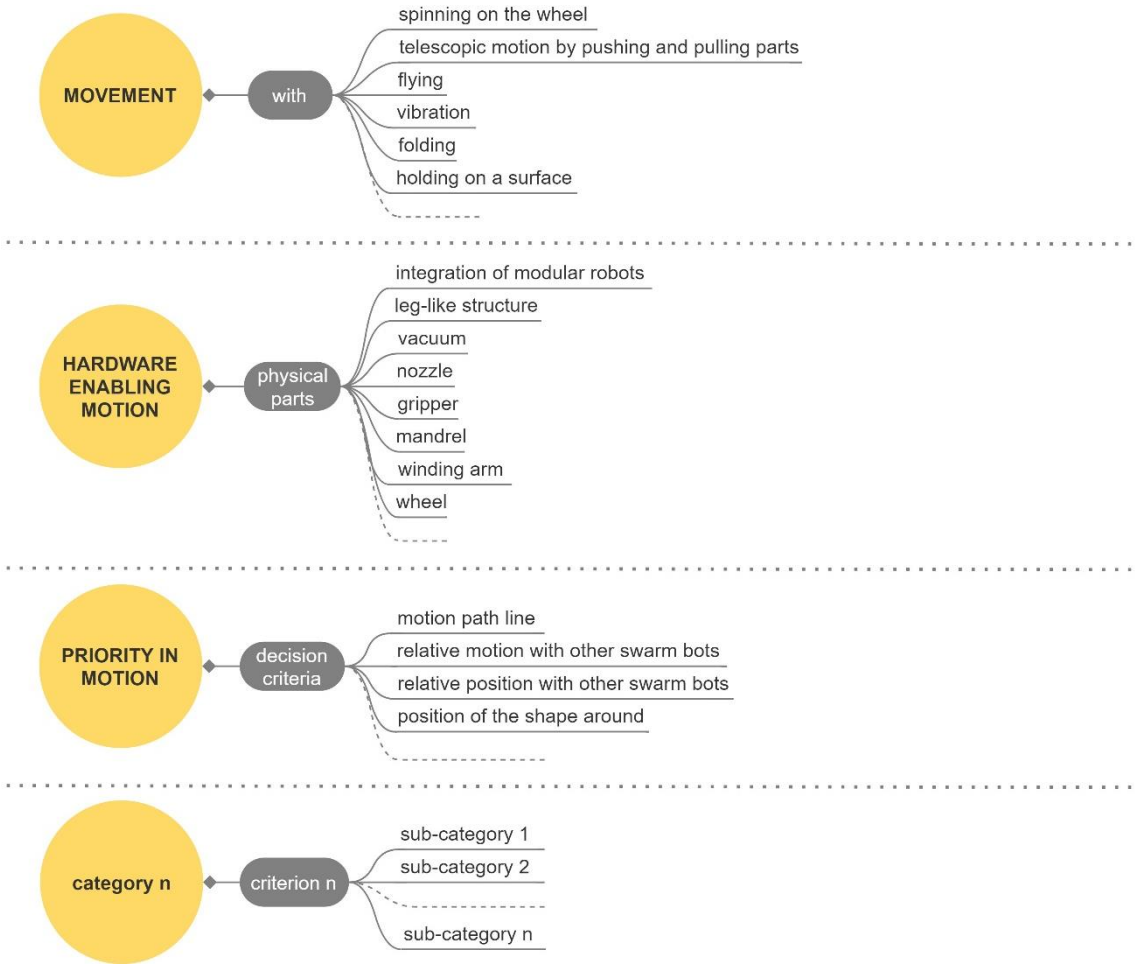



**Figure 2c:** Variables for movement principles of SR

Note that categorization of the swarm behavior and communication levels in **Figures 1a and 1b** are cited from the studies of Brambilla et al. (2013) and Bayındır & Şahin (2007). The other categorizations are inferred from existing applications of SR by the authors. This inference depends on the modeling of SR from the architectural point of view. For instance, the authors discuss SR's role in the task allocation category beyond the technical perspective. Yellow circles, which refer to the main categories in this framework, can be extended with the emerging developments in the robotic and architectural fields.

Based on the proposed framework, **Figure 3** exemplifies use case scenarios both in building and urban scales. In scenario 1, swarm-bots function as carriers of material to construct a shape. It is used in transporting objects with a gripper in building scale. The robots can move according to the relative position with other robots. The data can be obtained from a proximity sensor which triggers robots to move with spinning on the wheel. In the second scenario, robots are assigned as a building material. That is, swarm-bots themselves turn into a part of a constructed shape. They can move according to the position of the shape around and the relative position of other robots. This movement can be accomplished with spinning on a wheel or vibration. Hence, they may have wheels or leg-like structure. In addition to these building scale examples, scenario 3 exemplifies an urban scale scenario where SR functions as a data physicalization tool according to the sun's direction. They come together concerning the level of the sunlight to real-time visualize shadow formation. They may have proximity and light sensor. Their movement can be akin to the scenario 2.

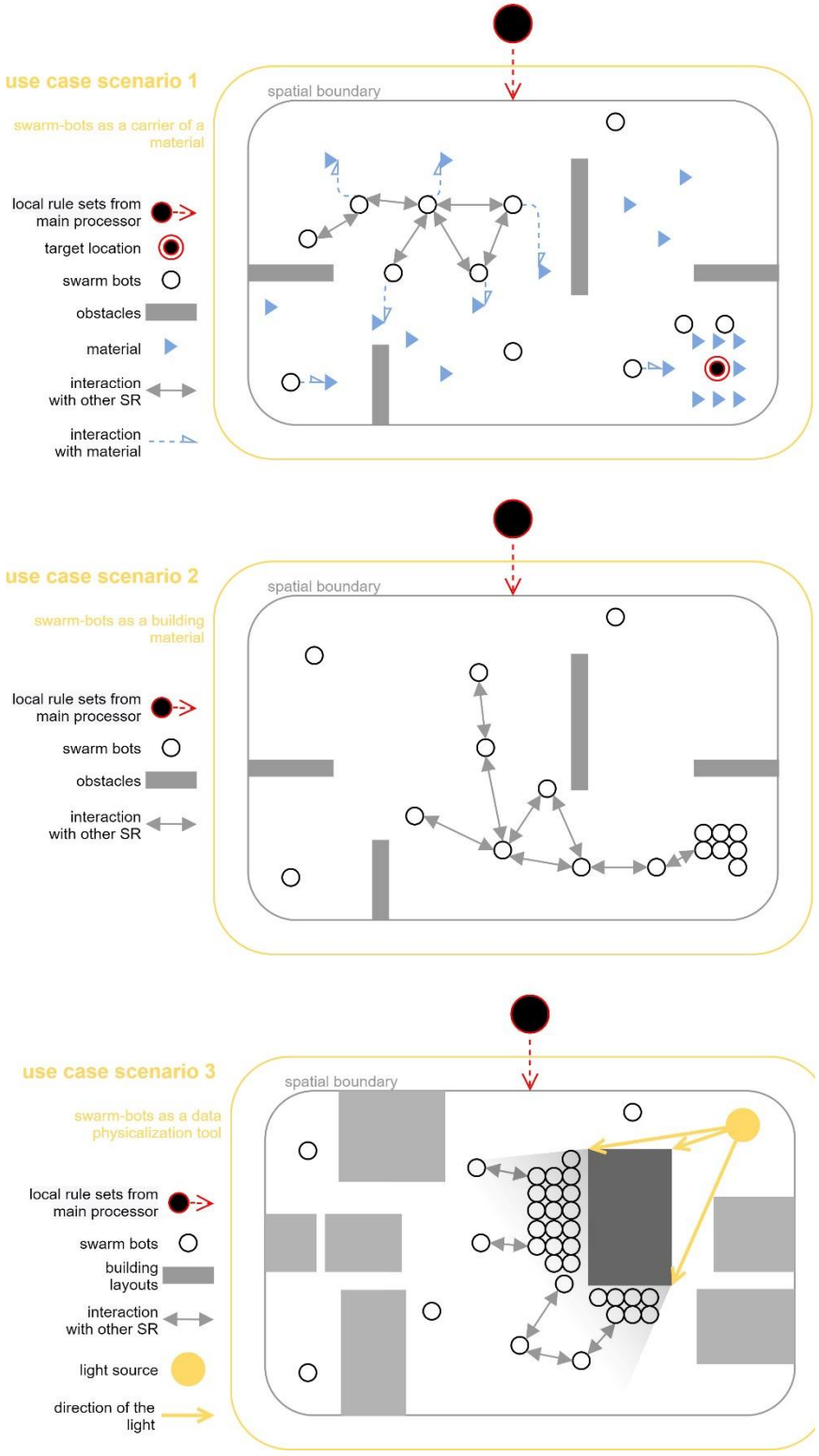



**Figure 3:** Use case scenarios

## 4. Results and Conclusion

This study offers an original and valuable contribution in questioning the benefits of using robots in a swarm mentality where emergence is a driving force of the examination. The proposed layers in the framework respond to emergence focusing on design, modeling, and construction processes. Emergence in multi-robot-aided manufacturing can be used in different scenarios opening architects a significant field. Especially in scenarios where industrial robots have bottlenecks in adapting to changing environments and conditions, SR offers potential.

This research defines a general framework for digital models of a bottom-up design through ambiguous processes. Emergence and intelligence concepts in the design process are discussed over rule-based local relations of small-scale systems such as agent-based and particle systems. These local relations in swarm behavior are mostly discussed in existing design research through scenarios such as determining escape scenarios during a fire or wayfinding in a museum. In the realm of robotics, SR now behaves like a Lego to create a whole 3D pattern, carry a piece of material to only place into a constructed shape, or construct a structure via 3D printing (Li et al., 2016; Werfel et al., 2011; Kayser et al., 2018). That is, SR themselves can act as building elements or only manipulate a building element. However, these projects are experimental studies in laboratories, and there is no consideration of fabrication, material, and design.

In contrast to these existing studies, techniques and methods for form-finding in robotic fabrication are limited in addressing design research with physical methods. This research shows a basis for developing the form-finding model considering physical materiality based on these agent-based systems. In this study, we discussed these concerns in the conceptual framework. Looking through SR overuse case scenarios, the proposed layers create an insight into the design of and design for necessities of SR.

Although SR offers designers a significant perspective, their research field is still open to discovering potentials in the making, manufacturing, fabrication, and construction phases of design processes. For instance, they can be used for cutting an object such as Styrofoam when a knife-like tool is adapted to the body of a bot. This sort of collaborative task would impact design education and practice. The use case scenarios can be extended based on design requirements, particularly in the scenarios where industrial robots face difficulties.

Within the scope of robotic fabrication aided design based on swarm intelligence, the following questions arise to extend this study in further discussions. Can these proposed layers in the framework, which is prepared for defining variables, turn into a method suggestion? If it can turn, by which methods can a model be obtained to generate emergent behavior and physical form? How can a scenario-based method apply to architectural scales and physical space?

Last but not least, the physical implementations need properly adapted workflows in modeling and design. Therefore, further study can extend the layers in Figures 1A and 1B regarding SR's technical features for their simulation. The essential thing is the definition of the interrelations among these layers based on use cases.

**Acknowledgement**
The authors would like to thank the reviewers for their constructive criticism.

## REFERENCES

Bayindir, L., & Şahin, E. (2007). A review of studies in swarm robotics. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *15*(2), 115-147.

Brambilla, M., Ferrante, E., Birattari, M., & Dorigo, M. (2013). Swarm robotics: A review from the swarm engineering perspective. *Swarm Intelligence*, *7*(1), 1-41.

Gero, J. S., & Kannengiesser, U. (2003, August). Function-behaviour-structure: A model for social situated agents. In *Workshop on cognitive modeling of agents and multi-agent interactions, International Joint Conference on Artificial Intelligence*

Iocchi, L., Nardi, D., & Salerno, M. (2000, August). Reactivity and deliberation: a survey on multi-robot systems. In *Workshop on Balancing Reactivity and Social Deliberation in Multi-Agent Systems* (pp. 9-32). Springer, Berlin, Heidelberg.

Johnson, S. (2002). *Emergence: The connected lives of ants, brains, cities, and software*. Simon and Schuster.

Kayser, M., Cai, L., Bader, C., Falcone, S., Inglessis, N., Darweesh, B., Costa, J., & Oxman, N. (2018, September). Fiberbots: Design and digital fabrication of tubular structures using robot swarms. In *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design* (pp. 285-296). Springer, Cham.

Li, H., Wang, T., Wei, H., & Meng, C. (2016). Response strategy to environmental cues for modular robots with self-assembly from swarm to articulated robots. *Journal of Intelligent & Robotic Systems, 81*(3-4), 359-376. https://doi.org/10.1007/s10846-015-0235-x

Nedjah, N., & Junior, L. S. (2019). Review of methodologies and tasks in swarm robotics towards standardization. *Swarm and Evolutionary Computation*, *50*, 100565.

Pantazis, E., & Gerber, D. (2017). Emergent order through swarm fluctuations. *Sharing of Computable Knowledge,* 75.

Schranz, M., Umlauft, M., Sende, M., & Elmenreich, W. (2020). Swarm robotic behaviors and current applications. *Frontiers in Robotics and AI*, *7*, 36.

Brell-Cokcan, S., & Braumann, J. (Eds.). (2013). *Rob| Arch 2012: Robotic fabrication in architecture, art and design.* Springer Science & Business Media.

Werfel, J. K., Petersen, K., & Nagpal, R. (2011). Distributed multi-robot algorithms for the TERMES 3D collective construction system. In *Proceedings of Robotics: Science and Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Wilson, S., Gameros, R., Sheely, M., Lin, M., Dover, K., Gevorkyan, R., Haberland, M., Bertozzi, A., & Berman, S. (2016). Pheeno, a versatile swarm robotic research and education platform. *IEEE Robotics and Automation Letters*, *1*(2), 884-891.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Türk Üçgeninin Parametrik Modellenmesi ve Robotik Üretimi Üzerine Bir Yöntem

Barış Çağlar [1]; Hakan Oğuz Bor [2]; Serbülent Vural [3]
[1;3] Karadeniz Teknik Üniversitesi; [2]İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]baris.caglar.mimar@gmail.com; [2]oguzbor@gmail.com; [3]svural@ktu.edu.tr

**Özet**

*Çalışma, geleneksel mimarinin temel yapı elemanlarından olan kubbenin, kare planlı bir mekânın üzerine inşa edilebilmesi için geliştirilmiş çözümlerden biri olan Türk üçgenin ele almaktadır. Bu bağlamda dünümüzde sayısal teknolojiler ile bu yapı elemanının nasıl tasarlanabileceği ve üretilebileceğine ilişkin bir model geliştirilmesi amaçlanmaktadır.*

*Anadolu'da Selçuklu ve Osmanlı İmparatorluğu Dönemlerinde, kubbenin inşa edilebilmesi için geliştirilmiş özgün çözümlerden biri olan Türk üçgeni rasyonel, işlevsel, sağlam ve estetik olması nedeniyle önemli bir değer olarak görülmektedir. Türk üçgeninin gelişen teknolojik olanaklarla yeniden ele alınması, biçimsel karakterinin ve özelliklerinin sayısal olarak çözümlenmesini ve sayısal fabrikasyon yöntemleriyle üretilmesi bu yapı elemanının algılanması ve yorumlanması açısından önemli bulunmaktadır.*

*Geleneksel bir yapı elemanı olan Türk üçgeninin günümüz teknolojisinin olanakları ile yeniden ele alınmasıyla; Türk üçgenine ait geometrik kuralların açığa çıkarılması, iç mekandaki kubbe ile kare mekân arasındaki geçiş ilişkisinin araştırılması, restorasyon çalışmalarında kullanılmak üzere bir altlık sağlanması, yeni inşa edilecek projelere referans olarak kullanılması, mimari ve kültürel bir değer olarak konunun tanıtılması amaçlanmıştır.*

*Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntem, geleneksel mimaride kubbeye geçişi sağlayan Türk üçgeninin sayısal ortamda parametrik bir modelini geliştirmek ve ardından bu parametrik modelin ölçekli bir kesitini robot kol kullanarak frezeleme yöntemiyle üretmektir.*

*Özünde daire planlı bir kubbenin kare planlı bir mekân üzerine yerleştirilme problemine bir çözüm olarak geliştirilmiş Türk üçgeni, rasyonel bir geometrik mantık içermektedir. Böylelikle üretilen parametrik model, Türk üçgeninin içerisinde barındırdığı mantığı strüktürel açıklık, kuşak yüksekliği, ikincil üçgenlerin derinliği gibi çeşitli parametrelere göre hızlıca yeniden kurulmasını sağlamıştır. Benzer yapısal özellik gösteren binalar için parametrik modellerin esnekleşmesi çalışmanın özgün olduğu düşünülen noktalardandır.*

*Çalışma kapsamında Bursa Hacılar Cami incelenerek Türk üçgeni elemanı geometrik olarak çözümlenmiş, parametrik olarak sayısal ortamda üretilmiş ve 1/10 ölçekli köşe kesiti EPS malzeme kullanılarak robot kol ile üretilmiştir.*

*Mimarlıkta gelişen teknolojiden faydalanmak, geleneksel yöntemlerle uzun zaman alacak tasarımların hızlıca modellenmesine aynı zamanda karmaşık geometrilerin çözümlenmesine ve fiziksel olarak yüksek hassasiyette üretilmesine olanak sağlamaktadır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Parametrik modelleme, robotik fabrikasyon, türk üçgeni, üçgenler kuşağı, kubbe.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Çağlar, B., Bor, H. O., & Vural, S. (2021). kinetik cephe sistemleri özelinde iç mekân işlevi ile cephe yüzeyi ilişkisi üzerine bir üretken tasarım yaklaşımı. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 159–169). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Parametric Modelling of the Turkish Triangle and A Method on Robotic Production

Barış Çağlar [1]; Hakan Oğuz Bor [2]; Serbülent Vural [3]
[1;3] Karadeniz Technical University; [2]Istanbul Technical University
[1] baris.caglar.mimar@gmail.com; [2]oguzbor@gmail.com; [3]svural@ktu.edu.tr

**Abstract**

*The study's aim is to create a model proposal for how the Turkish triangle, a traditional transition between the square planned space and the dome, might be built and constructed today using digital technologies. The Turkish triangle, one of the original solutions developed for the construction of the dome, occupies an important place, particularly in symbolic buildings in Anatolia during the Seljuk and Ottoman Empire Periods. It is regarded as an important value due to its rational, functional, robust, and aesthetic qualities. Reconsidering the Turkish triangle using today's digital technology, quantitatively defining its formal aspects, and producing it with a digital fabrication method are all important for today's understanding and interpretation of this fundamental structural element.*

*Thus, by producing the Turkish triangle using today's digital design and fabrication processes, it is aimed to disclose the geometric rules, to investigate the transition relationship between the dome and the square space, give a base for restoration work, serve as a reference for new projects to be developed, and introduce the subject as an architectural and cultural asset.*

*The method used in this study develops a parametric model of the Turkish triangle in a digital environment and then mill a scaled section of this parametric model using a robotic fabrication method.*

*The Turkish triangle, created as a solution to the challenge of placing a circular dome over a square planned space, has a rational geometric logic. This allows the system to be digitally evaluated and parametrically modeled. As a result of the generated parametric model, the Turkish triangle could be swiftly reconstructed based on various parameters such as structural span, girdle height, and depth of secondary triangles. One of the study's original statements is the flexibility of buildings with similar structural features using parametric models.*

*Within the scope of the study, Bursa Hacılar Mosque was analyzed and the Turkish triangle element was analyzed geometrically, parametrically fabricated in digital environment and 1/10 scale corner section was produced with a robot arm using EPS material.*

*Utilizing new technology in architecture allows designs that would take a long time to model using traditional methods to be modeled fast, as well as solving complex geometries and producing them with high physical precision.*

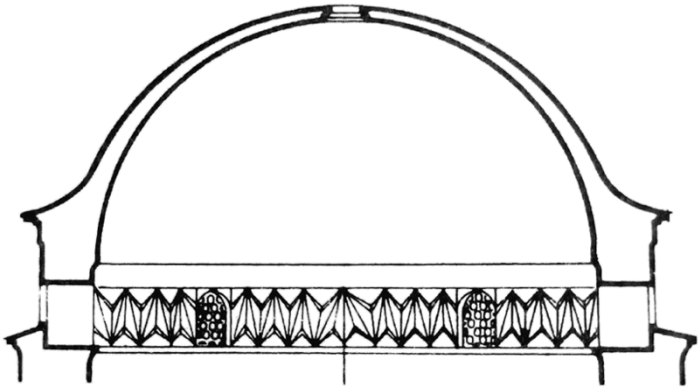
***Keywords:*** *Parametric modelling, robotic fabrication, turkish triangle, drum, dome.*

**Citation in APA Style:** Çağlar, B., Bor, H. O., & Vural, S. (2021). Parametric modelling of the turkish triangle and a method on robotic production. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 159–169). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

Geleneksel mimarinin en temel yapı elemanlarından biri olan kubbenin kare planlı bir mekânın üzerine inşa edilebilmesi için geliştirilmiş çözümlerden biri olan Türk üçgeninin, günümüzde sayısal teknolojilerin olanakları ile nasıl tasarlanabileceği ve üretilebileceğine ilişkin bir model önerisi bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Özellikle Anadolu'da Selçuklu ve Osmanlı Dönemlerindeki simgesel binalarda önemli bir yer tutan kubbenin inşa edilebilmesi için geliştirilmiş özgün çözümlerden biri olan Türk üçgeni rasyonel, sağlam ve estetik olmaları nedeniyle önemli bir değer olarak görülmektedir (**Şekil 1**). Türk üçgeninin günümüz sayısal teknolojilerinin getirdiği olanaklarla yeniden ele alınması, biçimsel karakterinin ve özelliklerinin sayısal olarak tanımlanması ve fiziksel olarak robotik yöntemle üretilmesi bu geçiş elemanının günümüzde algılanması ve yorumlanması açısından önemli bulunmaktadır.

Böylelikle gerçekleştirilen çalışmada geleneksel bir yapı elemanı olan Türk üçgeninin günümüz teknolojisine ait sayısal tasarım ve fabrikasyon yöntemleriyle üretilerek; Türk üçgenine ait geometrik kuralların açığa çıkarılması, iç mekandaki kubbe ile kare mekân arasındaki geçiş ilişkisinin araştırılması, restorasyon çalışmalarında kullanılmak üzere bir altlık sağlanması, yeni inşa edilecek projelere referans olarak kullanılması ve mimari ve kültürel bir değer olarak konunun tanıtılması amaçlanmıştır.



**Şekil 1**: Türk üçgeni (Hasol, 2008)

Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntem geleneksel mimaride kubbeye geçişi sağlayan Türk üçgenini sayısal ortamda oluşturan parametrik bir modeli geliştirmek ve ardından örnek olarak seçilen bir binanın (Bursa Hacılar Cami) geliştirilen parametrik model kullanılarak sayısal ortamda üretilmiş ölçekli bir kesitini robot kol (manipülatör) kullanarak frezeleme yöntemiyle fiziksel olarak üretmektir. Geliştirilen parametrik model; kubbe, Türk üçgeni ve taşıyıcı duvarı bir arada oluşturmaktadır. Kubbe ve taşıyıcı duvarda yer alabilecek fener, pencere, kapı, geçit gibi açıklıklar bu çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

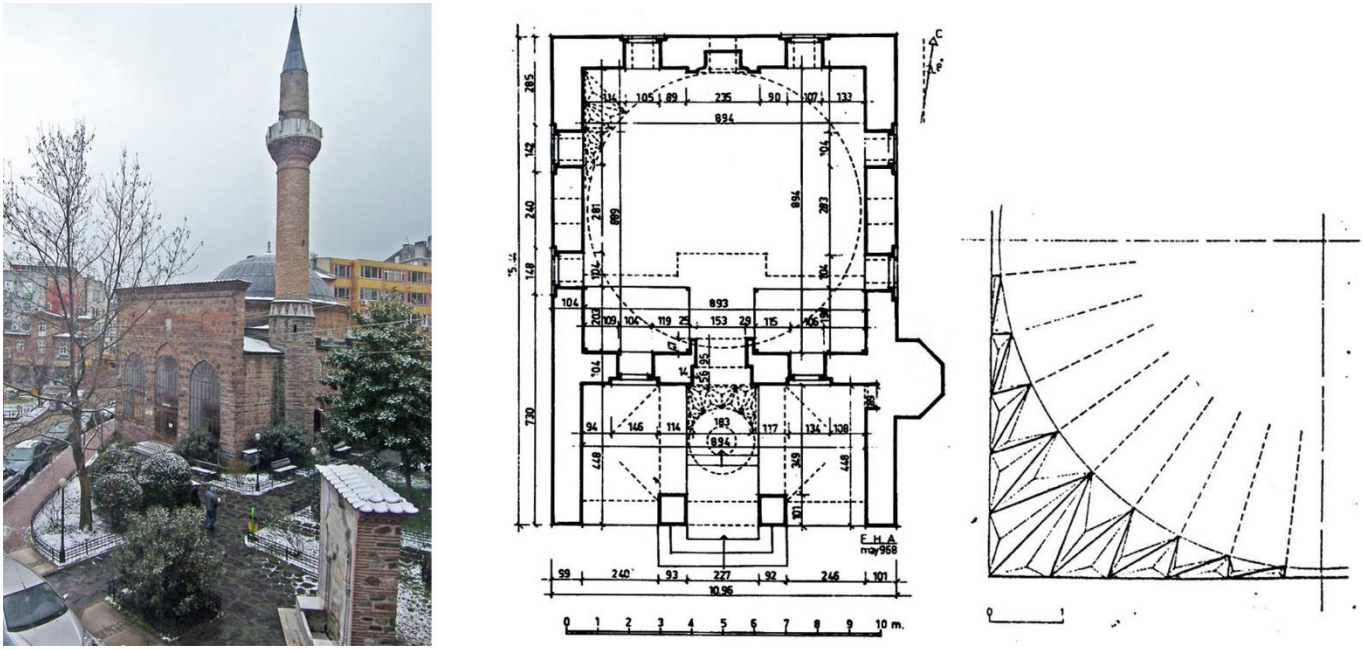
Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Sayısal Tasarım Araştırma ve Fabrikasyon Birimi'nde (CODE FAB) yer alan ekipman ve olanaklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla sayısal ortamda parametrik modelin oluşturulması, CAM yazılımları ile takım yollarının hazırlanması ve robot kol kullanılarak ölçekli bir modelin fiziksel olarak üretilmesidir.
İlk aşamada, gerçekleştirilen literatür çalışmasıyla kubbelere geçişte Türk üçgeni barındıran binalara ilişkin çeşitli teknik çizimlere (plan, kesit, görünüş) ve metinlere ulaşılmıştır. Türk üçgeni kendi içerisinde pek çok çeşit barındırdığı için içlerinden prizmatik üçgenler çalışma kapsamında seçilmiştir. Seçilen örneklere ilişkin çizimler analiz edilerek üçgenler kuşağının oluşturulmasına yönelik bir sayısal model parametrik olarak Rhinoceros 3D (Version 7-7.1.20343.9491, 8.12.2020) yazılımı ve Grasshopper (Build 1.0.0007) ortamında oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, Bursa Hacılar Camisi'ne ait Türk üçgeni, literatürden elde edilen bilgiler ve yerinde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen verilere göre geliştirilen parametrik model kullanılarak sayısal ortamda üretilmiştir. Sonraki adımda modelin ¼ köşe kesiti kubbe, Türk üçgeni ve mekân duvarlarını içerecek şekilde kısmi olarak alınmıştır. Ardından Grasshopper ortamında üretilen kısmi model MasterCAM yazılımına aktarılarak gerekli takım yolları freze üretim yöntemi için çıkarılmıştır. MasterCAM yazılımındaki takım yolları Octopuz robot programlama ve simülasyon

yazılımına aktarılarak üretimin gerçekleştirilebilmesi için gerekli robot hareketleri ve çarpışma testleri gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü aşamada, Octopuz yazılımından elde edilen G-Code alınarak robot kontrol ünitesine aktarılmıştır. Üretim robot kol ile EPS plaka malzemelerin tanımlanan takım yollarına göre frezeleme yöntemiyle üretilmesiyle elde edilmiştir.



**Şekil 2:** Bursa Hacılar Cami (Cavaç, 19 Ekim 2011) (Sol), planı ve Türk üçgeni (Şimşek, 2010) (Sağ)

## 2. Kubbeye Geçiş Elemanı: Türk Üçgeni

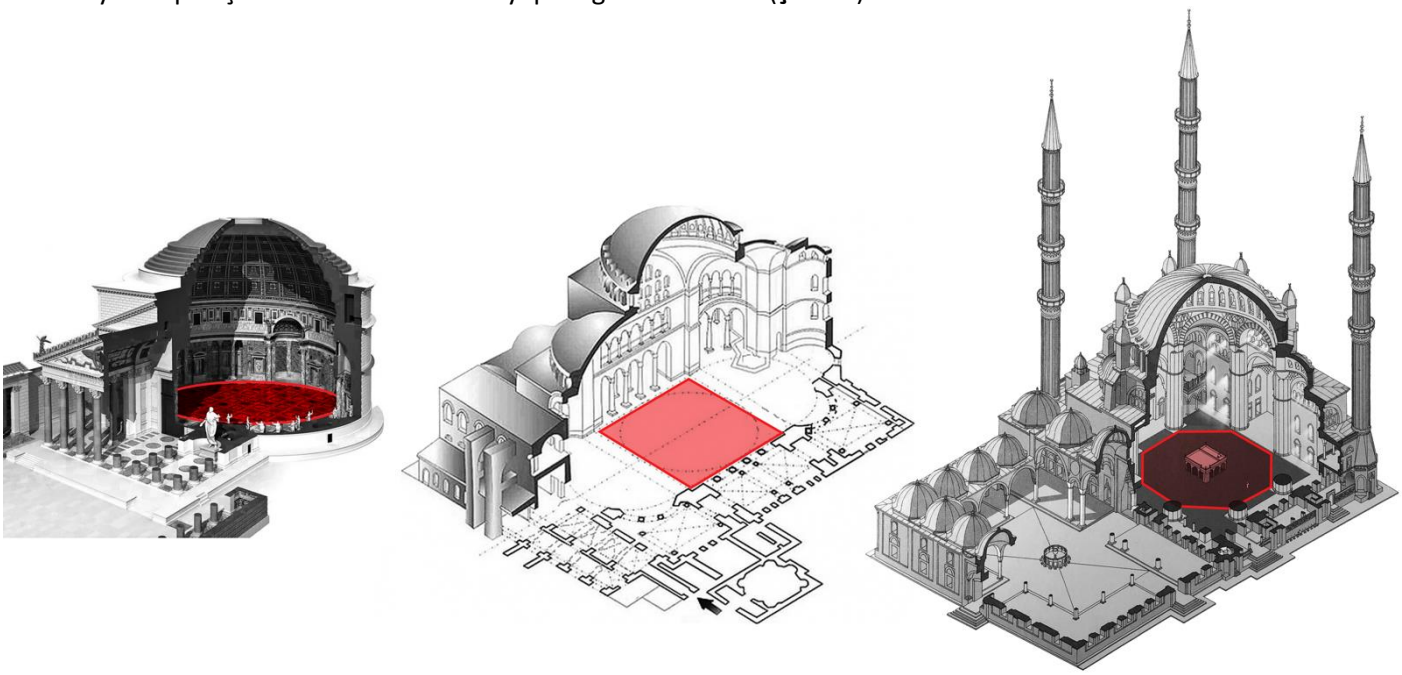
Kubbe, mimarlıkta kökenleri Mezopotamya Mimarisine dayanan, Roma Dönemi'nde etkin olarak geliştirilen ve günümüze kadar yaygın olarak kullanılan önemli bir yapı elemanıdır (Şimşek, 2010). Doğan Hasol (2008) kubbeyi, küre takkesi, yarım küre ya da toparlakça kümbet biçimi verilen yapı örtüsü; bir kemerin, yayının tepe noktasından inen dikin çevresinde dönmesiyle meydana gelen örtü olarak tanımlamıştır. Roth (2006) da kubbenin temelinin bir kemere dayandığını belirtmiştir. Merkezi etrafında üç boyutta döndürülen bir kemer bir kubbe oluşturur. Bu yöntemle beşik kemer düşey ekseni etrafında döndürülerek yarım küre şeklinde bir kubbe elde edilir ve bu en temel kubbe formudur.

Tarih boyunca kubbeler dairesel, kare veya çokgen planlı mekanları örtmekte kullanılmıştır (Hasol, 2008). Roma Dönemi'nde Pantheon gibi yapılarda büyük açıklıkların üzerini örten büyük kubbeler inşa edilerek son derece etkileyici mekânlar oluşturulmuştur. Ancak o günün mimari birikimi ve teknolojisiyle bu kubbeler dairesel planlar üzerine oturtulabilmiştir. Kubbenin altında yer alan dairesel plan ise geometrisinden kaynaklı olarak başka mekânların eklenmesini ve binanın iç mekân alanının arttırılmasını olanaksız kılmamaktadır. Kubbe altındaki mekanların başka mekanlarla birleştirilmesi ihtiyacı özellikle MS 4.yy'da iyice belirgin hale gelmiştir.

Bu soruna Bizanslı mimarların bulduğu çözüm kubbeyi altta kare planın üzerine oturtmak olmuştur. Kare plan hem simetrik yapısı nedeniyle statik olarak kubbeye uyumludur hem de karenin düz kenarlarına başka mekanlar eklenebilir. Bunu yapabilmek için de kare planlı mekândan daire planlı kubbeye geçişi olanaklı kılan pandantif denilen eğri küresel üçgen bingiler geliştirmişlerdir. Pandantif kullanımının en eski ve önemli örneklerinden biri 532-537 tarihleri arasında Miletli İsidoros ve Trallesli Anthemios tarafından tasarlanan İstanbul'da yer alan Ayasofya'da görülür (Roth, 2006).

Özellikle Roma Dönemi Mimarisinde kubbeyle örtülmüş merkezi plan şemasına sahip yapılara daha sık rastlanmaktadır. İmparatorluk Dönemi'nin başlangıcında ortaya çıkan hamam ve imparatorluk sarayı gibi yeni yapı tiplerinde uygulanan kubbeler, mekânın üzerini örtme amacının ötesinde anıtsal bir form olma özelliğini de desteklemek amacıyla kullanılmışlardır (Müller ve diğ., 2012). Anadolu'da benzer şekilde Selçuklu ve Osmanlı

Dönemlerinde kubbe mimarlıkta bir yapı elemanı olarak bir mekânın üzerini örtme işlevinin ötesinde, yapısal geometrisinin sonucu olarak ortaya çıkan küresel formu simgesel anlamlar taşıdığı için kullanılmıştır. Bu nedenle kubbe tarih boyunca pek çok önemli dini ve idari yapıda görülmektedir (**Şekil 3**).



**Şekil 3:** Daire, kare, çokgen plan üzerine oturan kubbeler. Sırası ile: Pantheon, Ayasofya (Bilgiç, t.y.) ve Selimiye Cami (Kuban, D. & Emden, C., 2007)

Farshid Moussavi (2009), kubbelerin biçim yönünden çeşitli değişkenleri olduğunu belirtmiştir:

**Ölçek:** Kubbenin geometrisi, kesitinin eğrilik aralığı ve planda daha küçük yarım kubbeler, yan kemerler veya pandantiflerle bir araya getirilmesiyle oluşturulabilen formda çeşitlilik gösterir.

**Derinlik:** Kubbe bölümünün eğrilik aralığı, sığdan dikine kadar, genel derinliğini değiştirebilir.

**Profil:** Kubbeler, plan düzleminde merkezden yayılan eş merkezli çemberler ve bunları dik kesen ışınlar ile alt parçalara ayrılabilir.

**Etki:** Bir kubbenin altında yer alan mekanların optik algısı, çevresel etkenler ve işlevsel ihtiyaçlara yönelik çözümlerle sınırlarının ötesine geçebilir. Örneğin, ana kubbeye eklenen yarım kubbeler ile simetrik algısının bozulması buna örnek olarak gösterilebilir.

Kubbe kendi başına bir kürenin parçası olması nedeniyle oldukça dayanıklı bir formdur. Bu form plan düzleminde bir çember ile başlamaktadır. Buna rağmen genellikle üzerini örttükleri mekanlar ise çokgen (genellikle kare) planlıdır. Bu da geometrik olarak mekânın üzerinin tam örtülememesi ve kubbenin yerleştirilememesi durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bunun çözümü ise çokgen planlı mekândan (kare, altıgen, sekizgen vb.) daire planlı kubbeye geçişi sağlayan ara geçiş elemanlarının geliştirilmesi ile mümkün olmuştur (**Şekil 3**). Uluengin ve diğ. (2001) Osmanlı Mimarisinde hangi geçiş elemanının hangi durumlarda kullanılacağına dair kesin bir kural olduğunun söylenemeyeceğini bununla birlikte Türk üçgeni ve trompun daha çok Anadolu'da, pandantifin ise İstanbul ve Trakya'da kullanıldığını vurgulamışlardır.

Kare veya çokgen planlı bir mekândan dairesel planlı bir kubbeye geçişi sağlayan elemanlar dört grup altında değerlendirilebilir **(Şekil 4)**:

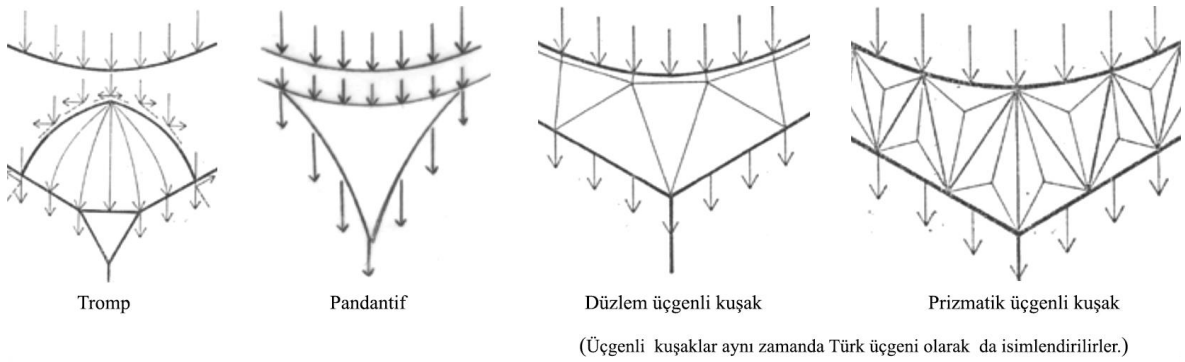
**Pandantif (aslan göğsü, sarkan)**, bir kubbeyi taşıyan kemerler ile kubbe kaidesinin arasını kapatan ve kare bir plandan kubbenin dairesel kaidesine geçmeyi sağlayan küresel üçgendir. Bu küre parçası biçimindeki üçgenler, tabandaki çember, karenin dışından geçtiği durumlarda kubbeyle bütünleşirler. Taban çemberi, karenin içinde ise, pandantifler bağımsız öğeler olarak görünürler (Hasol, 2008). Kuban (2002) kubbe çapının büyüdüğü zaman geçiş kuşaklarının da yüksekliğinin arttığını ve bununla birlikte mekân yüksekliğinin arttığını, bu durumun istenmediği durumlarda ise kubbe geçişinin pandantifle yapılmasının daha uygun olduğunu belirtmiştir.

**Tromp**, bir bina köşesine bindirmeli olarak örülen tonoz parçası; kare planlı kubbeli bir yapının duvarları arasındaki köşelerin üst bölümüne yapılan ve binanın üstünü sekiz kenarlı bir şekil haline koyarak kubbenin oturmasına elverişli bir kaide meydana getirmek üzere köşeleme örülen tonoz, tonoz bingi, köşe tonozudur (Hasol, 2008). Başka bir ifadeyle tromp temelinde bir yarım kubbeden oluşur. Üzeri örtülecek mekânın köşelerinde yer alarak örtülecek alanı plan düzleminde sekizgen hale getirir. Tromp tek başına kare mekânı örtmeye yeterli değildir, bunun için küçük pandantiflerle desteklenmesi gereklidir (Uluengin ve diğ., 2001).

**Türk üçgeni (üçgenler kuşağı, yedi sekiz)**, kübik bir alt yapı ile dairesel bir üst yapı olan kubbenin birleşmesi için alt yapının üzerine kuşak şeklinde yerleştirilen üçgenlerin, bir ters, bir düz olarak yerleştirilerek bitiş seviyesinde dairesel plan oluşturan mimari elemandır (Şimşek, 2010). Türk üçgeni, Türk Mimarlığında duvarla kubbe arasında bir geçiş öğesi olarak kullanılmıştır. Bu üçgenlerden meydana gelen kuşak, kubbeye yumuşak bir geçiş sağlar. Türk üçgenlerinin en basit uygulamaları Uygur kubbelerinde görülse de olgunlaşması Selçuklular Dönemi'ne rastlar (Hasol, 2008). Üçgenler kuşağının ana yapı sistemi prizmatik üçgendir. Kuşak içinde prizmatik üçgenler dışında düzlem üçgenler de kullanılmıştır (Şimşek, 2010).

Türk üçgeni temelinde kubbe hattı boyunca ardışık olarak yerleştirilmiş ters ve düz üçgenlerden oluşur. Bu ters ve düz üçgenler Arapça'daki yedi ve sekiz sayıları arasındaki biçimsel benzerlikleri nedeniyle "yedi sekiz" olarak da adlandırılmaktadır (7=V, 8=Λ). Türk üçgeninde geçiş yapılan elemanlar geometrik olarak küçüldükçe üçgenleri oluşturan kırıklıkları arası azaldığından genellikle tuğla gibi kırılarak şekillendirilmesi kolay malzemeler tercih edilmiştir. Taş malzemenin tercih edildiği durumda blok taş kullanılmıştır. Türk üçgenlerinin çok sade bulunduğu durumlarda onu süslemek için içlerine kabartma veya çökertme, ikincil üçgenler, üç kollu yıldızlar yapılmıştır (Uluengin ve diğ., 2001).

**Diğer Geçiş Elemanları,** olarak sınıflanabilecek kasnak ve taşırma (basit taşırma, mukarnas taşırma, üçgen taşırma) kubbelerin alttaki mekanlarla ilişkisini sağlayan diğer sistemlerdir (Şimşek, 2010).



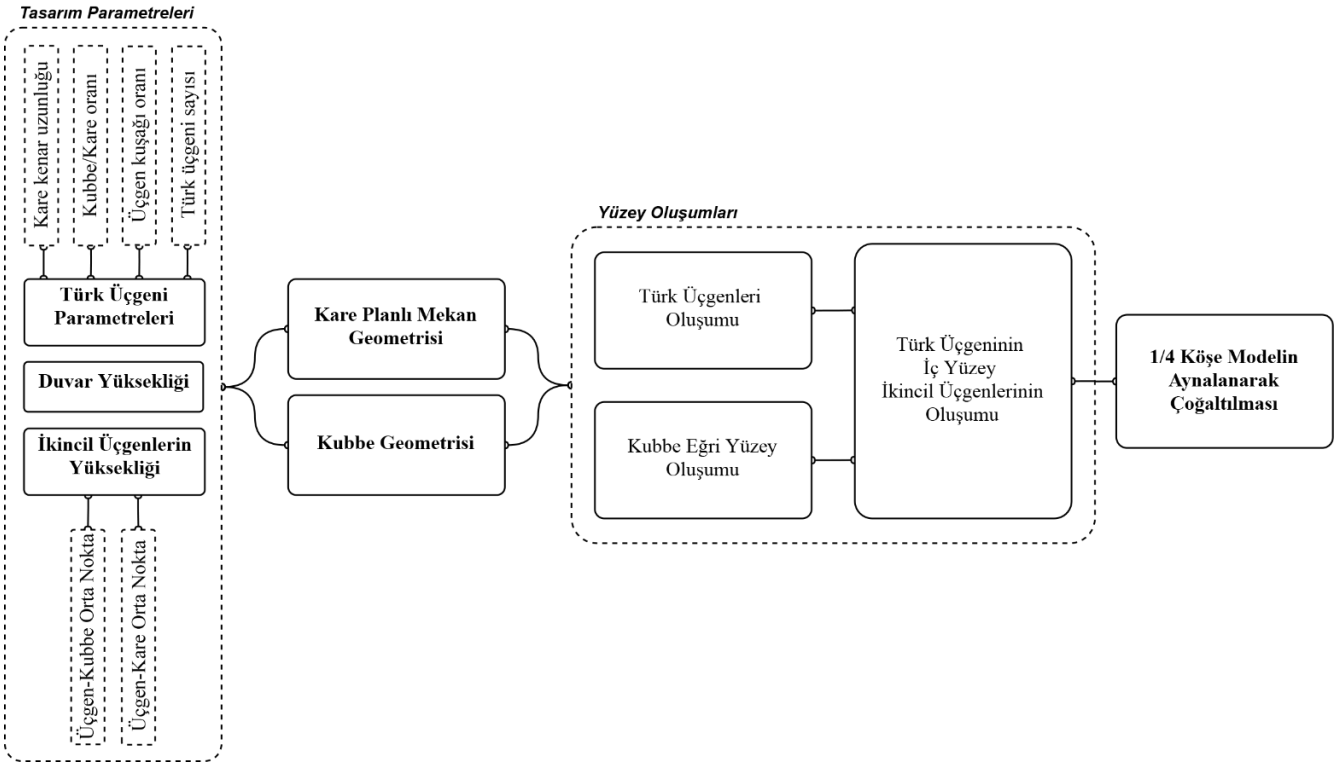

**Şekil 4:** Kubbe geçiş yapı elemanları diyagramları (Turan, Ş. N., & Yaldiz, E., 2018)

## 3. Çalışmalar

### 3.1. Türk Üçgenin Geometrik Yapısının Çözümlenmesi ve Parametrik Modelin Oluşturulması

İlk aşamada Grasshopper ortamında kare tabanlı bir mekân üzerine, kubbe örtüsü yerleştiren ve aradaki geçişi Türk üçgeni ile sağlayan bir parametrik model oluşturulmuştur. Model içerisinde kullanıcının istekleri doğrultusunda modeli hızlıca değiştirebileceği bazı parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler üç grupta ele alınmıştır. Bunlardan

ilki, kare kenar uzunluğu, kubbe/kare oranı, üçgen kuşağı oranı, kuşak yüksekliği, üçgen sayısı alt parametrelerinden oluşan Türk üçgeni parametreleridir. İkincisi, duvar yüksekliği parametresidir. Üçüncüsü ise üçgen-kubbe orta noktası ve üçgen-kare orta noktası alt parametrelerinden oluşan ikincil üçgenlerin parametreleridir (**Şekil 5**).



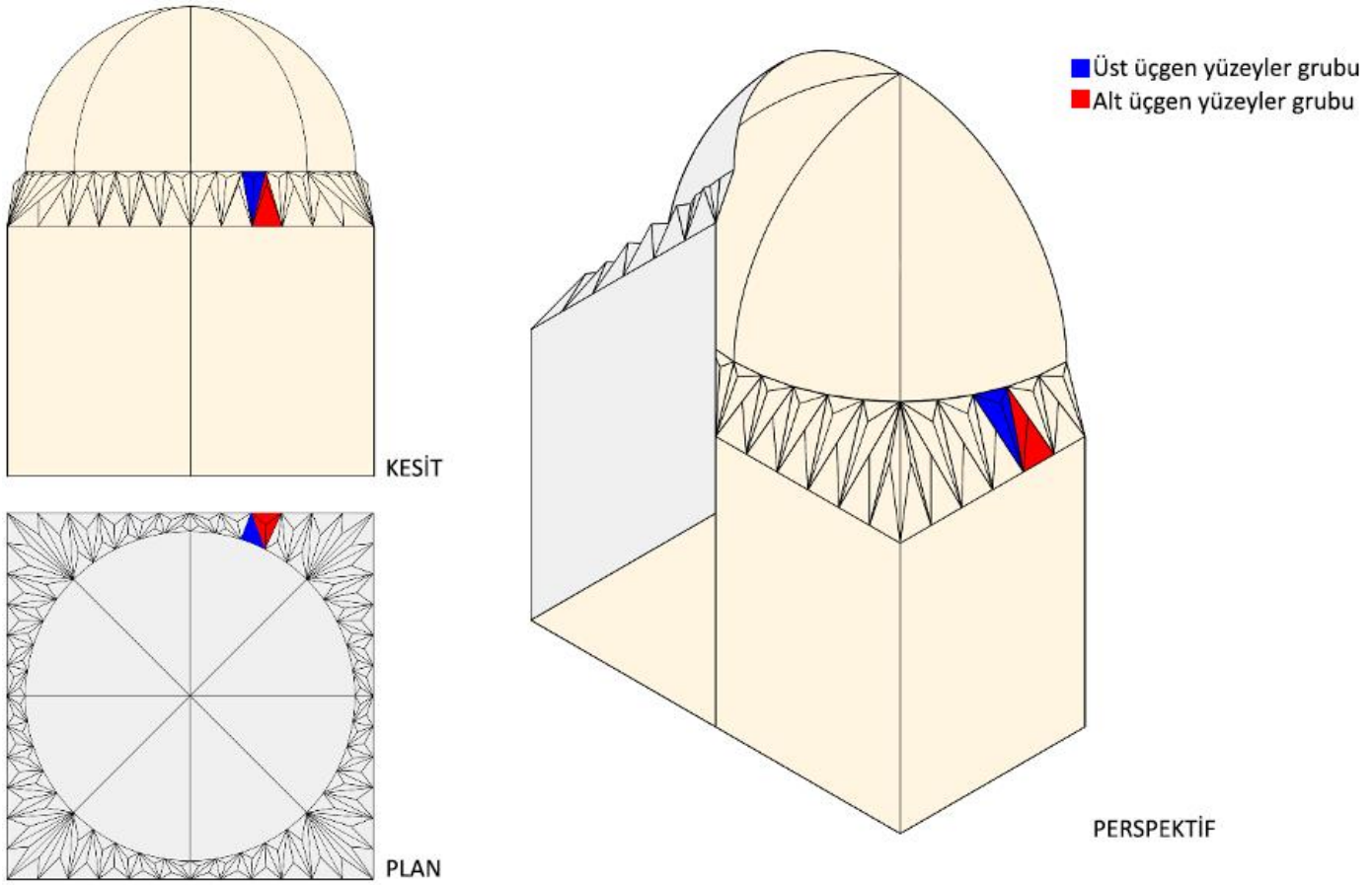

**Şekil 5:** Türk üçgeni oluşturan Grasshopper örüntü diyagramı

Parametrik modelin oluşturulması için öncelikle Türk üçgeni ile inşa edilmiş binalar literatür üzerinden incelenmiş ve bu binalardaki geometrik ilişkiler araştırılmıştır. Türk üçgeni temel olarak kubbe altındaki çember ile kare mekânın üst tarafında yer alan kenarları birbirine bağlar. Bu geçiş sistemi kubbe ve kare mekân arasında bir kuşak oluşturur ve bu kuşağın yüksekliği kubbe boyunca değişmez. Ayrıca bu kuşağın yüksekliği derinliğinden genellikle fazladır. Bu da statik olarak kuşağı daha güçlü kılar. Türk üçgeni içerisinde birbirini bir düz bir ters olarak takip eden üçgenler yer alır (**Şekil 6**). Bu üçgenler kare planın köşe noktalarında en uzun ve en yatık açıda, orta noktalarında ise en kısa ve en dik açıdadır.

Parametrik model önce kubbe, Türk üçgeni ve duvarı içeren 1/8 dilimlik bir kesit tanımlar. Ardından model bu kesitin simetriğini birkaç kez alarak tüm modeli tamamlar. Bu üçgenlerin oluşumu için çember parçası n sayıda eş dilime bölünürken, kare kenarı parçası n+1 sayıda eş dilime bölünür. Ardından bu bölünen noktalar arasına üçgenleri oluşturacak şekilde çizgiler ve ardından da yüzeyler oluşur.

Türk üçgenlerinin içerisinde yer alan ikincil üçgenler modelde ikinci aşamada oluşturulmaktadır. Bunlar birincil üçgenler içerisine otomatik olarak tanımlanan bir noktanın, üçgenin köşe noktalarına bağlanmasıyla elde edilir. Bu noktaların yüksekliği yüzeye derinlik katmak amacıyla z ekseninde parametrik olarak hareket ettirilebilir. Geliştirilen parametrik model tam bir kubbe, Türk üçgeni kuşağı ve duvarları oluşturmaktadır.

Örnek çalışma kapsamında Bursa Hacılar Camisi'nin Grasshopper ortamında parametreleri kare plan kenar uzunluğunu 447 cm (894 cm/2), kubbe çapının kare plana oranının 0.96, Türk üçgenler kuşağının yüksekliği 180 cm, üçgen sayısı 5 adet (çember yayında 5, kare kenar diliminde 6 parça); duvar yüksekliği 608 cm olarak girilerek sayısal model oluşturulmuştur (**Şekil 6**).




**Şekil 6:** Grasshopper modeli ile üretilen Bursa Hacılar Cami Elemanları

### 3.2. CAM Takım Yollarının Hazırlanması ve Robot Simülasyon Yazılımında G-Code Üretilmesi

İkinci aşama, sayısal ortamda parametrik olarak elde edilen 1/10 ölçekli Türk üçgeni köşe kesit modelinin, robot kol kullanılarak üretilmesi için gerekli takım yollarının hazırlanmasını kapsamaktadır. Üretilecek fiziksel modelin iç mekanının görülebilir olması amacıyla modelin plan düzleminde ¼ kesiti alınmıştır. Bursa Hacılar Cami için üretilen fiziksel modelin ölçeği 1/10 olarak belirlenmiştir. Bu aşamada MasterCAM ve Octopuz yazılımları kullanılmıştır. MasterCAM yazılımı takım yollarının çıkarılması sağlamaktadır. Bu yazılım 2, 3 ve 5 eksenli takım yolu üretmeye izin vermektedir.

**Tablo 1:** MasterCAM takım yolu ayarları

| Üretim Çalışması | MasterCAM Takım Yolu | İlerleme Hızı *(Feed Rate)* | Dalma Oranı *(Plunge Rate)* | Geri Çekme Oranı *(Retract Rate)* | Uç Dönüş Hızı (rpm) | Uç Çapı (mm) | Uç Kesim Boyu (mm) | Uç Kanal Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Multisurface Pocket | 20 | 80 | 100 | 12000 | 8 | 120 | 2 |
| | Swarf | 20 | 30 | 100 | 12000 | 8 | 120 | 2 |
| 2 | Facing | 20 | 80 | 100 | 12000 | 8 | 120 | 2 |
| | Surface High Speed (Equal Scallop) | 30 | 100 | 100 | 12000 | 8 | 120 | 2 |
| | Contour (2D) | 10 | 60 | 100 | 12000 | 8 | 120 | 2 |

Fiziksel modelde Türk üçgeninin yüksekliği 18 cm olmaktadır. Bu geçiş elemanının 4 cm (1 plaka) ve 8 cm (2 plaka) kalınlığındaki EPS plakalardan üretileceği düşünülerek sayısal model yatay düzlemde 3 dilime bölünmüştür.
Türk üçgenin üretimi için 2 deneme gerçekleştirilmiştir. İlk üretim çalışmasında "multi-surface pocket" ve "swarf" takım yolları kullanılmıştır. İkinci üretim çalışmasında ise "facing", "surface high speed (equal scallop)" ve "contour (2D)" takım yolları tanımlanmıştır. MasterCAM yazılımında modelin işlenebilmesi için belirlenen ve denenen takım yollarına ilişkin bilgiler **Tablo 1**'de yer almaktadır.

MasterCAM yazılımında elde edilen takım yolu Octopuz yazılımına aktarılarak robot kolun çalışabilmesi için gerekli hareket tanımlamaları, hız değerleri girilmiş ve çarpışma kontrolü simülasyonu yapılmıştır. Ardından bu yazılımda robot kolun kullanacağı üretim aşamalarını içeren G-Code üretilerek robot kol kontrol ünitesine aktarılmıştır.

### 3.3. Fiziksel Üretimin Robot Kol ile Gerçekleştirilmesi

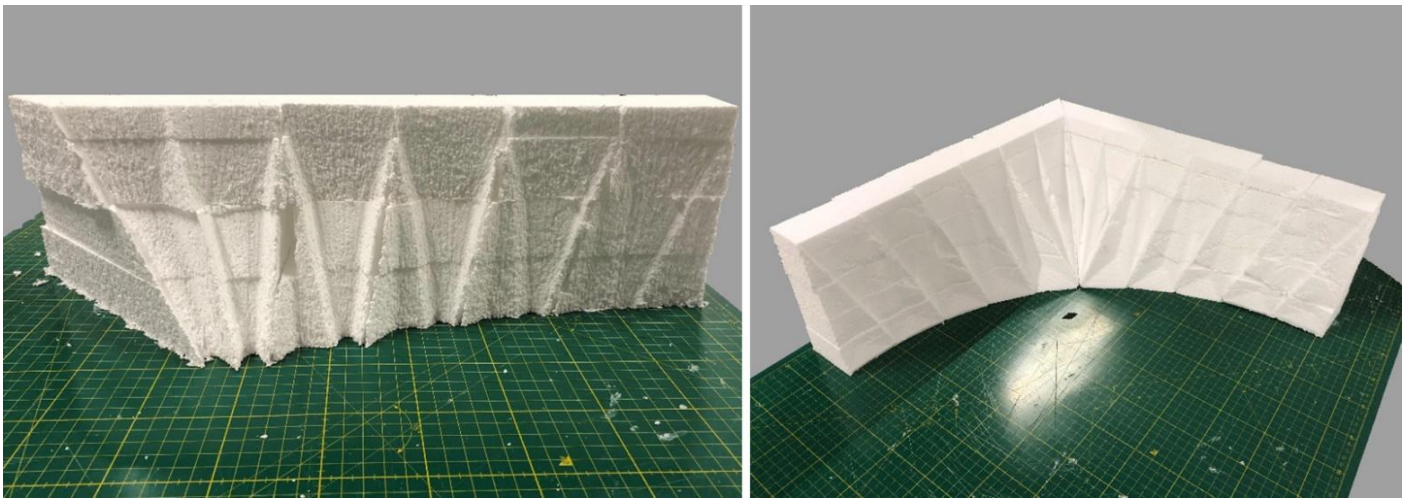
Üçüncü aşamada kubbe, Türk üçgeni ve duvar kesitinin ölçekli olarak üretimi robot kol kullanılarak frezeleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ölçekli modelin üretim için işlemesi kolay, yeterli detay kalitesini gösterebilen, görece ucuz EPS (Expanded Polystyren Foam) plaka malzemenin kullanılması planlanmıştır. Çalışma için kullanılan EPS plaka 50x100x4 cm boyutlarında, 30-32kg/m³ yoğunlukta, beyaz ve ince dokulu yapıdadır.
Robot kol flanşına (bağlantı aynası) entegre edilmiş spindle motor (end effector) ile frezeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 7:** Robot kola entegre edilmiş spindle motor ile gerçekleştirilen frezeleme işlemleri

Çalışma sırasında plaka yerine blok türünde bir malzemenin bütün olarak ele alınarak işlenmesi denenmiştir. Fakat Octopuz yazılımında, kesici ucun uzunluğunun yetersiz kalması dolayısıyla, 5 eksenli kesim hareketlerinde ucu tutan takım tutucunun (pens) ve robot kol flanşının stok malzemeye çarpacak kadar eğilmesi durumu görülmüştür. Bu nedenle bu yöntemden vazgeçilmiştir. Bu nedenle çalışma sırasında mevcut bulunan en uzun strafor ucu (toplam boy: 20 cm, kesim boyu: 12 cm, çap: 8 mm) ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Üretim için tek bir plaka (4 cm) ve iki plakanın üst üste yapıştırılmasıyla (8 cm) çalışma gerçekleştirilmiştir (**Şekil 7**).

İlk fiziksel üretim denemesinde özellikle 5 eksenli çalışan "swarf" takım yolunda kesici ucu tutan takım yolunun stok malzemeye çarpması/ sıyırması durumu yaşanmıştır. "Swarf" takım yolunda kesim işlemi bıçağın ucuyla değil yan yüzeyi ile gerçekleşmektedir. Kullanılan ucun yan kesim işlemindeki sonucu istenilen düzeyde yüzey kalitesi verememiştir. Üretim sırasında zaman zaman stok malzemede parçalanmalar da yaşanmıştır. Kaliteyi arttırmak için

hızın oldukça düşürülmesi bir çözüm olmasına karşın, üretim süresinin optimizasyonu göz önünde bulundurulduğundan çalışmanın devamında bu teknik tercih edilmemiştir (**Şekil 8**).



**Şekil 8:** Üretim çalışması 1 (Sol) ve üretim çalışması 2 (Sağ)

İkinci fiziksel üretim denemesinde belirlenen takım yolları 3 eksende çalışmaktadır. Bu durum, pensin stok malzemeye çarpmasını önlemektedir. Bu takım yolları ile gerçekleştirilen üretimde, yalnızca kesici ucun uç kısmının kullanılması Türk üçgeninin yüzeylerinde kaliteyi "swarf" denemeye göre belirgin şekilde arttırmıştır. 3 eksenli kesimin zayıf yönü ise kare planın orta noktalarındaki dik açılı Türk üçgeni yüzeylerinde yeterli hassasiyeti elde edememesi olmuştur (**Şekil 8**). EPS plakadan üretilen parçalar strafor yapıştırıcı ile yapıştırılarak üretim tamamlanmıştır (**Şekil 9**).

**Şekil 9:** 1/10 ölçekli EPS malzemeden üretilmiş Bursa Hacılar Cami köşe modeli

## 4. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışma kapsamında geliştirilen model, geleneksel bir yapı elemanı olan Türk üçgeninin günümüz olanakları ve bakış açısıyla yeniden değerlendirilmesini sağlamıştır. Özünde daire planlı bir kubbenin kare planlı bir mekân üzerine yerleştirilme problemine bir çözüm olarak geliştirilmiş Türk üçgeni, rasyonel bir geometrik mantık içermektedir.

Bu da sistemin çözümlenerek, sayısal ortamda parametrik olarak modellenebilmesini sağlamıştır. Böylelikle geliştirilen parametrik model, Türk üçgeninin içerisinde barındırdığı mantığı strüktürel açıklık, kuşak yüksekliği, ikincil üçgenlerin derinliği gibi çeşitli parametrelere göre hızlıca yeniden kurabilmeyi sağlamıştır. Parametrik tasarım araçları yardımı ile üretilen sayısal modeller, benzer üçgenler kuşağı bulunduran binaların da dijital modellerinin hızlıca üretilmesine olanak sağlayacaktır.

Geliştirilen parametrik model; kubbe, Türk üçgeni ve taşıyıcı duvarı bir arada oluşturmaktadır. Kubbe ve taşıyıcı duvarda yer alabilecek fener, pencere, kapı, geçit gibi açıklıklar bu çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında model geliştirilerek kubbe ve Türk üçgeni içerisinde pencere açıklarının otomatik olarak üretilmesi planlanmaktadır.

1/10 ölçekli model üretimi çalışması kapsamında kullanılan EPS plakalar 30-32kg/m³ yoğunluktadır. Bulunabilen en yüksek yoğunluktaki levhaların bunlar olması nedeniyle çalışma kapsamında tercih edilmişlerdir. Bu çalışma için yeterli detay kalitesine ulaşıldığı düşünülse de daha yüksek hassasiyetteki üretimler için daha yüksek yoğunluklu malzeme tercih edilebilir. Malzemenin homojen beyaz renkte olması, model üzerindeki geometriye dikkat çekmesi ve ışık gölge etkilerinin değerlendirilebilmesi için olumlu bulunmuştur.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında 1/1 ölçekli üretim denemeleri yapılması planlanmaktadır. Bu kapsamda mevcut yapılardaki biçimi ve boyutlarına sadık kalınarak tuğla ve taş ile sayısal fabrikasyon üretim denemeleri yapılması düşünülmektedir. Bunun için kubbe, Türk üçgeni ve duvarları bütün olarak çıkartan modelin geliştirilerek yapı bileşeni ölçeğinde de modeller üretecek hala gelmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışma ile mimarlıkta gelişen sayısal teknolojilerden faydalanmanın, geleneksel yöntemlerle uzun zaman alacak tasarımların hızlıca modellenmesine aynı zamanda karmaşık geometrilerin çözümlenmesine ve fiziksel olarak yüksek hassasiyette üretilmesine olanak sağladığını göstermiştir.

**Teşekkür**
Üretim sürecine olan katkılarından dolayı Anıl Emir ve Lütfullah Emre Taşan'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Bilgiç, D. E. (t.y.). *Mimar Sinan Camilerindeki strüktürel ve mekânsal yorumların mimarlık tarihindeki yeri*, Yapı Dergisi, erişim tarihi 07 Haziran 2021, https://yapidergisi.com/mimar-sinan-camilerindeki-strukturel-ve-mekansal-yorumlarin-mimarlik-tarihindeki-yeri/

Cavaç, U. (19 Ekim 2011). *Bursa Hacılar Camii,* Wowturkey, erişim tarihi 12 Haziran 2021, http://wowturkey.com/t.php?p=/tr485/ugurcavac_hacilarcamii.jpg

Hasol, D. (Ed.) (2008). Ansiklopedik mimarlık sözlüğü. YEM Yayınevi.

Kuban, D. (2002). *Selçuklu çağında Anadolu sanatı*: Yapı Kredi Yayınları-Promat AŞ.

Moussavi, F. (2009). *The function of form*. New York: Actar.

Müller, W., Vogel, G., Szasz-Jacobi, I., & Szasz, I. (2012). *Mimarlık Atlası* (D. Tuna, Trans.). İstanbul: Yem Yayın.

Roth, L. M. (2006). *Mimarlığın öyküsü: Öğeleri, tarihi ve anlamı* (E. Akça, Trans. 3 ed.). İstanbul: Kabalcı Yayınevi.

Şimşek, H. (2010). *Erken Osmanlı mimarisinde kubbeye geçiş sistemlerinden üçgenler kuşağı.*(Tez Künye Numarası 313918) [Yüksek Lisans Tezi], Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.

Uluengin, F., Uluengin, B., & Uluengin, M. B. (2001). *Osmanlı anıt mimarisinde klasik yapı detayları*: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Üretken Sistemler ile Postür Bozukluğuna Bir Çözüm Önerisi: EXO-POSTURE

Fatih Uzun [1]; Hazal Parlak[2]
[1, 2]İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]arch.fatihuzun@gmail.com; [2]prlk.hazal@gmail.com

**Özet**

*Kitlesel bireyselleştirme kavramından yola çıkılarak, günlük hayatta birçok insanın problemi olan postür bozukluğunu minimuma indirmeyi hedefleyen bu çalışma, üretken sistem araçları kullanarak bir dış iskelet tasarım sürecini ele almaktadır. Tasarım süreci sonucunda elde edilen prototip ana gövde ve esnek bağlantı kemerleri olmak üzere iki parçadan meydana gelmektedir. Kullanıcının kötü postür ve iyi postür pozisyonları tarama ile dijital ortama aktarıldıktan sonra Blender arayüzünde stres analizi yapılarak alınan veri, Rhinoceros 3D'nin Grasshopper arayüzüne aktarılarak form örüntüsünün bireye özgü elde edilmesi için kullanılmıştır. 3 boyutlu baskı araçlarında tek parça veya birbiri ile kenetlenebilen örüntüye sahip iskelet üretimi hedeflenmiştir. İskeletin günlük hayattaki konforu düşünülerek 3 boyutlu baskıda esnek filament kullanımı tercih edilmiştir. Önerilen üretim sistemi sayesinde tasarım ve üretim tekniği stabil iken parametrelerin kişiye özel verilerden beslenmesi ile tasarımın öznel olduğu üretken sistem modeli önerilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Kitlesel bireyselleştirme, üretken sistemler, postür bozukluğu, stres analizi.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Uzun, F., & Parlak, H. (2021). Üretken sistemler ile postür bozukluğuna bir çözüm önerisi:. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 170-180). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Solution Proposal for Posture Disorder with Generative Systems: EXO-POSTURE

Fatih Uzun [1]; Hazal Parlak [2]
[1;2]Istanbul Technical University
[1]arch.fatihuzun@gmail.com; [2]prlk.hazal@gmail.com

**Abstract**

*Based on the concept of mass individualization, this study, which aims to minimize the problem of posture, which is the problem of many people in daily life, deals with an exoskeleton design process by using productive system tools. In the study the fed by mass individualization, which is the integration of the best components of mass production and individualization, each design is individualized with the condition that the production system remains constant and it was accompanied by original data from the user [1]. The prototype was obtained from the design process consists of two parts, main body and flexible connection belts. After the user's bad posture and good posture positions were digitized by scanning, data were analyzed by stress analysis in Blender's interface, transferred to Rhinoceros 3D's Grasshopper interface, and used to obtain specific form pattern to the individual. In 3D printing tools, it is aimed to produce skeletons with one piece or interlocking pattern. The use of flexible filament in 3D printing is preferred to consider the comfort of the skeleton in daily life. While the design and production technique are stable due to the proposed production system, the productive system model, in which design is subjective, will be proposed by feeding the parameters from personal data.*

***Keywords:*** *Mass customization, generative systems, posture disorder, stress analysis.*

**Citation in APA Style:** Uzun, F., & Parlak, H. (2021). A solution proposal for posture disorder with generative systems: Exo-posture. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 170–180). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Tasarım problemleri ve geleneksel tasarım yöntemleri gelişen teknoloji ile beraber değişmektektedir. Günlük hayatta karşılaşılan problemlerin zaman içerisinde değişmesi; bu problemlere sunulan çözüm pratiklerine yönelik beklentileri de gelişen teknoloji ile beraber artırmaktadır. Teknolojinin hayatımıza kazandırdığı araçlar birçok alanda konfor sağlarken belli sağlık problemlerini de beraberinde getirmektedir. Akıllı telefon kullanmanın getirdiği avantajların yanında parmak eklemlerinde görülen rahatsızlıkların artması bu yeni sağlık problemlerine örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmada da teknoloji araçlarıyla beraber hayatımıza giren yeni araçlar ve yeni alışkanlıklarla giderek artan postür bozukluğunun önüne geçilebilmesi adına bir araştırma süreci ele alınmaktadır.

Teknolojik yeniliklerle birlikte değişen çalışma standartları ile özellikle bilgisayar başında oturarak geçirilen çalışma saatlerinde artış görülmektedir. Gün boyu oturan bireylerin iyi postürü koruması giderek zorlaşmaktadır. Bununla beraber dizüstü bilgisayarların sırtta taşınmaya başlaması ve bunun giderek yaygınlaşması da bir diğer postür bozukluğu sebebidir. Sırt çantası ile yürürken aynı zamanda telefonu ile uğraşan bireyin iyi postürü koruması giderek güç hale gelmektedir.

Bu çalışmada üretken sistem araçları kullanılarak ve kitlesel bireyselleştirme kavramından beslenerek dijital üretim araçları ile bir prototip üretimi hedeflenmektedir. Kitlesel üretim ve özelleştirmenin en iyi bileşenlerinin bir araya getirilerek bütünleştirilmesi olan kitlesel bireyselleştirmeden beslenen çalışmada, her tasarım kullanıcıdan alınan özgün veriler eşliğinde üretim sistemi sabit kalmak koşuluyla bireyselleşmektedir (Yoyovich, 1993). Üretilen prototipin esnek ve ergonomik olması amaçlanmaktadır.

## 2. Kitlesel Bireyselleştirme

"Kitlesel bireyselleştirme" denildiğinde bilgisayar destekli bilgi sistemlerinin, esnek üretim sistemleriyle bütünleştirilmesi sonucunda her bir müşteri için farklı bir ürünün oldukça büyük sayıda müşteri için üretilmesi ifade edilmektedir (Bardakçı, 2004). Bir gözlük satıcısı olan Paris Miki'nin kullanıcının yüz fotoğrafını çekmiş, yüz özelliklerinin analizini bir yazılım ile yapmış ve kullanıcının taleplerine göre önerilen çerçeve modellerini yüz fotoğrafına yerleştirerek kullanıcıya sunmuştur. Kullanıcı tarafından seçilen parçalar hemen bir araya getirilerek hızlıca kullanıcıya verilmektedir (Kotha, 1994).

Belli standartlar altında kullanıcıya özgü optimum seçenekleri sunan bu sistem kitlesel bireyselleştirmeye örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada kitlesel bireyselleştirmenin tercih edilmesinin sebebi ise sağlık probleminde tek tipleşmeye gidilerek sunulan çözümlerin her kullanıcı için optimum olmaması ve kısa ömürlü olması nedeniyle, kullanıcı için en doğru tasarımı üretmektir.

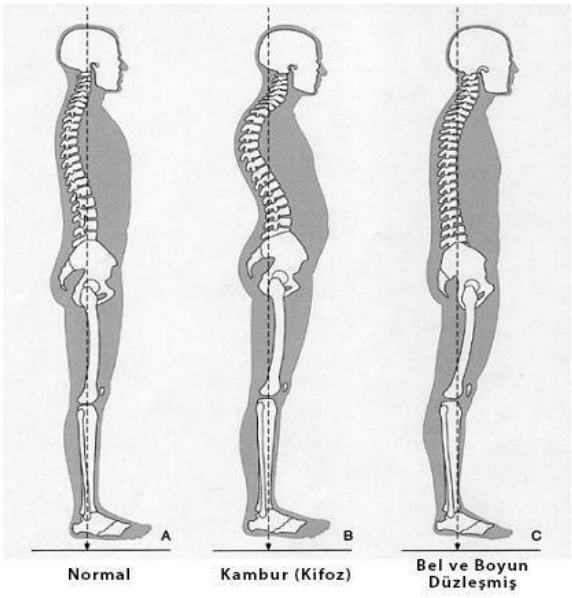
Tüm postür türlerine uygulanabilen tek tip örüntü sisteminin kullanıldığı bir üretken sistem modeli önerilmektedir. Üretken Tasarım, faydalı veya uygulanabilir tasarım olanakları üretmekle ilgilidir. Bu tasarımlardaki parametrelerin verileri başlangıçta rastgele düşünülebilir. Ancak kitlesel bireyselleştirmede bu veriler doğrudan kullanıcıdan alınmaktadır veya tasarımın niteliğine göre kullanıcı kararına bırakılmaktadır.

## 3. Postür Bozukluğu

Amerikan Ortopedi Akademisi Postür Komitesinin 1947 yılındaki tanımına göre postür, iskelet öğelerinin, vücudun destek yapılarını zedeleme ve ilerleyici deformasyondan koruyacak şekilde düzgün ve dengeli dizilişidir (Peköz vd. 2012). Postür, iyi postür ve kötü postür olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İyi postür kaslara minimum çaba yüklenmesi ile maksimum verim sağlayan duruş tipi, kötü postür kasların gereğinden fazla çaba ile daha çok kasılmasına neden olan duruş tipidir. Postürü etkileyen faktörler; yerçekimi, destek yüzeyi ve alanı, çevresel etmenler ve o sırada yapılan eylemdir. Destek yüzeyi, vücut ağırlığı ve yerçekiminin etkisi ile oluşan basıncın taşındığı vücut yüzeyidir (Adak vd., 1999). Kişi otururken destek yüzeyi uyluklar ve kalçalar iken, ayakta duruyorken destek yüzeyi ayaklardır. Postür statik veya dinamiktir. Ayakta sabit durma, yatma veya oturma hallerinde postür statikken bir eylemi yerine getirme sırasında dinamiktir. Postürü etkileyen etmenler sürekli değişkendir, birey gün içerisinde farklı ortamlarda, başka eylemler yerine getirirken postürün her harekette iyi postür halini koruması zordur. Yapılan hareketler sonucunda istemli veya istemsiz oluşan postüral sapmaları korumak için gövdenin fizyolojik sınırlar içerisinde kontrollü

düzeltmeler ile kontrol edilmesi gerekir. Doğru postür için ligament ve kasların dengede olması gerekir. Bozuk postürdeki denge bozukluğu, yorgunluğa iskelette asimetriye ve nosiseptif uyarılarla ağrıya yol açar (Oxman, 2010).

Postür bozukluğunun azaltılması için günlük hayatta bazı aksesuarlar kullanılmaktadır. Bu aksesuarlar kişinin üzerine takması için pratik bulunurken, görsel açıdan gizlenmek istenmektedir. Bu da aksesuarın yalnızca ev ortamında kullanılmaya başlanmasına sebep olmakla beraber, kullanım sıklığını da giderek azaltmaktadır. Bu durum da çözümün geçici olmasına sebep olmaktadır.




**Şekil 1:** Postür durumları (Rohmatun, 2018)

**Şekil 2:** Postür koruma aksesuarı (Rohmatun, 2018)

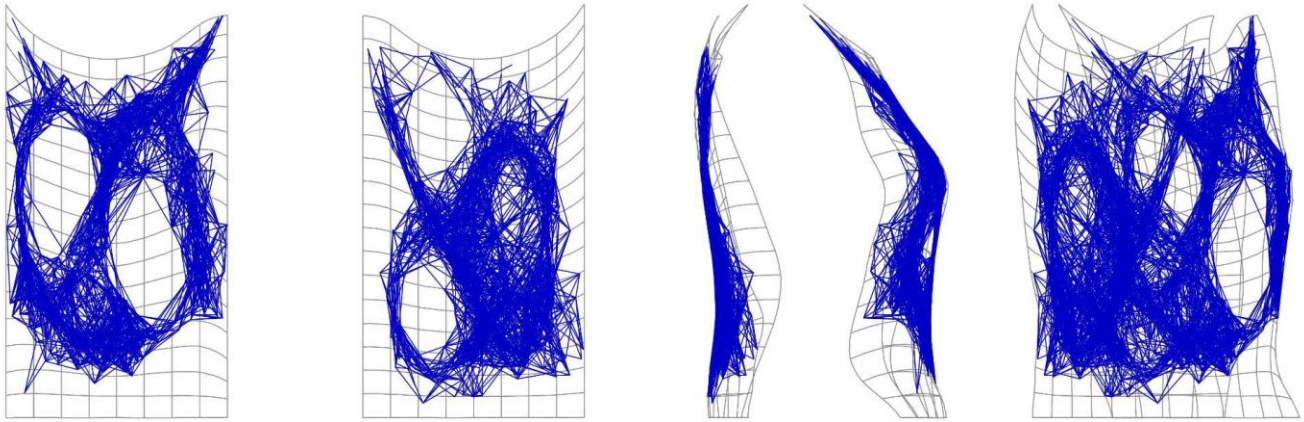
Postür bazlı çalışmalar olmasa da, üretim pratikleri ve örüntü tasarımları hedeflenen çalışmada taslak olarak kabul edilebilecek, bilişim odaklı kıyafet tasarımları yapılmaktadır. Iris van Herpen(Smelik, 2020), Neri Oxman (Oxman, 2010) ve Julia Koerner (Koerner, 2017) hem ekip olarak hem de bireysel çalışmalarında bireysel verilerden beslendikleri parametreler ile beraber 3 boyutlu tasarım, baskı teknolojilerini kullanarak başarılı tasarımlar üretmişlerdir. Bu tasarımların üretim pratiklerinde kullanılan araçlar ve malzemeler sayesinde 3 boyutlu baskıdan elastik ve insan hareketine uyum sağlayan kıyafetler üretilebilmiştir. Julia Koerner 3 boyutlu baskı teknolojilerini kullanarak yapmış olduğu kıyafet tasarımlarını 'hareketli mimarlık' olarak tanımlamaktadır (Koerner, 2017).

**Şekil 3:** Julia Koerner, Hymenium ceket, 'Sporophyte' koleksiyonu

**Şekil 4:** Iris van Herpen, Escapism koleksiyonu

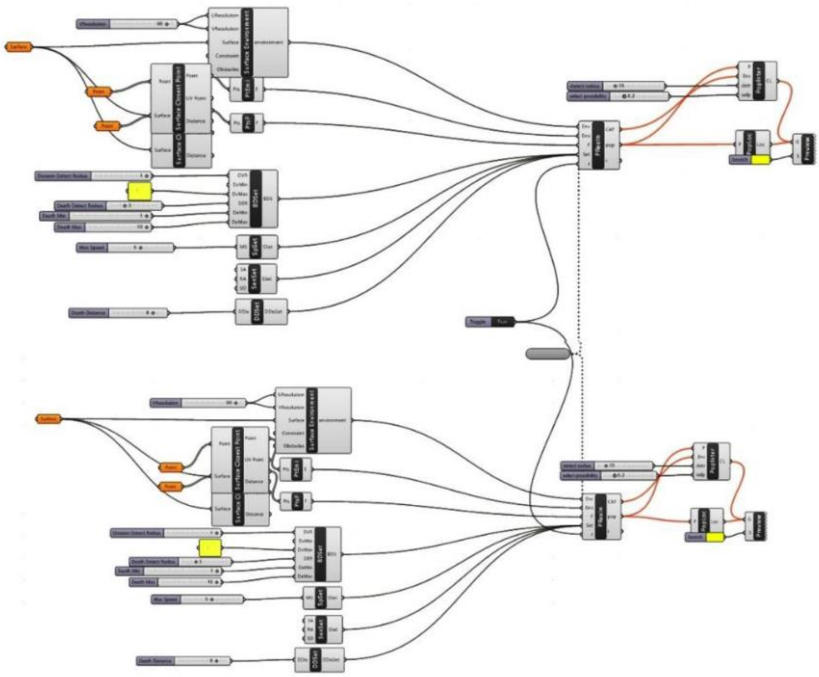
## 4. Etmen Tabanlı Sistem Bazlı Tasarım Denemesi Süreci

Dış iskelet strüktürü için gerekli örüntü yoğunluğu verisinin etmen tabanlı sistem ile elde edilebileceği öngörülmüştür. Etmen tabanlı sistem araştırmaları sonucu Quelea ve Physarealm eklentilerin inistenen örüntü yoğunluğunu belirleyebileceği görülmüştür. Eklentilerin üzerinde çalıştırılacağı, bireyin iyi ve kötü postürü Kinect sensör ile dijital ortama aktarılmıştır. İki postür arasındaki farklara göre Grasshopper'da Physarealm eklentisi kullanılarak örüntü yoğunluğu elde edilmiştir.



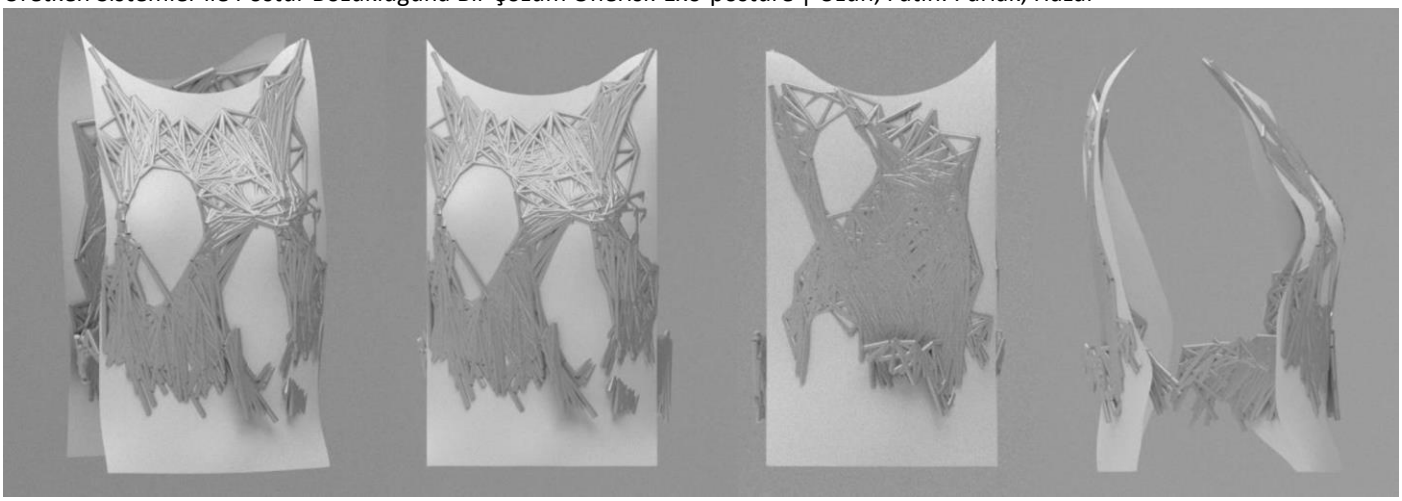
**Şekil 5:** Örüntü ön, arka, sağ yan ve perspektif görünüş

Physarealm eklentisinde tarama üzerindeki örüntüler için atanan bağlantı noktaları iyi postür ve kötü postür verilerindeki farklardan yola çıkılarak belirlenmiştir. Bu veriler eşliğinde sırt ve ön yüzde yoğunluk fazla iken koltuk altı ve yan kısımlarda bu yoğunluğun oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 6:** Grasshopper Physarealm eklentisi ile oluşturulan örüntü bileşen şeması

Etmen tabanlı sistem kullanılarak elde edilen örüntü yoğunluk verisini doğru verirken, üretim için verimsiz bir model oluşturmuştur. Physarealm ile oluşturulan model baskıya uygun olmamakla beraber, alınan örüntü yoğunluğunun çizgiler yerine üretime uygun olabilecek model üretimi için altyapı oluşturabilecek çokgenler veya daire gibi başka geometrik şekillerle sağlanmasına imkan vermemektedir. Bu nedenle etmen tabanlı sistemden vazgeçilerek başka bir sistem ile örüntü verisi alınmaya çalışılmıştır.



**Şekil 7:** Örüntü 3 boyutlu model görseli

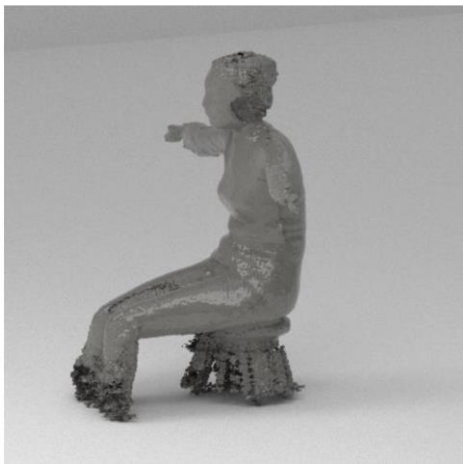
## 5. Prototip Tasarım Süreci

Physarealm eklentisi ile yapılan denemeler sonrası istenen model elde edilemediği için yeni üretim sistemleri denenmiştir. Araştırmalar ve denemeler neticesinde Grasshopper Image Sampler bileşeni kullanılarak stenen örüntü sisteminin istenen geometrik şekillerle alınabileceği görülmüştür ve tasarım süreci baştan alınmıştır. Image sampler bileşenin kullanılabilmesi için postür bozukluğu verisinin görselleştirilmesi gerekmektedir. Bu görselin elde edilebilmesi için postürün stres analizi çıkarılmıştır ve bu analiz görseli Image Sampler'da örüntü yoğunluğunu belirlemek üzere kullanılmıştır.

### 5.1. Kinect Sensör ile Postür Tarama

Postürden alınan verilerin dijitale aktarılması için Xbox One Kinect kullanılmıştır. Birey öncelikle doğal günlük hayattaki doğal duruş pozisyonu sabit tutularak taranmıştır. Bu bireyin günlük sıklıkla kullandığı kötü postür halidir. Daha sonra iyi postür pozisyonuna getirilerek tekrar taranmıştır ve iki pozisyon da dijital ortama aktarılmıştır.

**Şekil 8:** İyi postür taraması



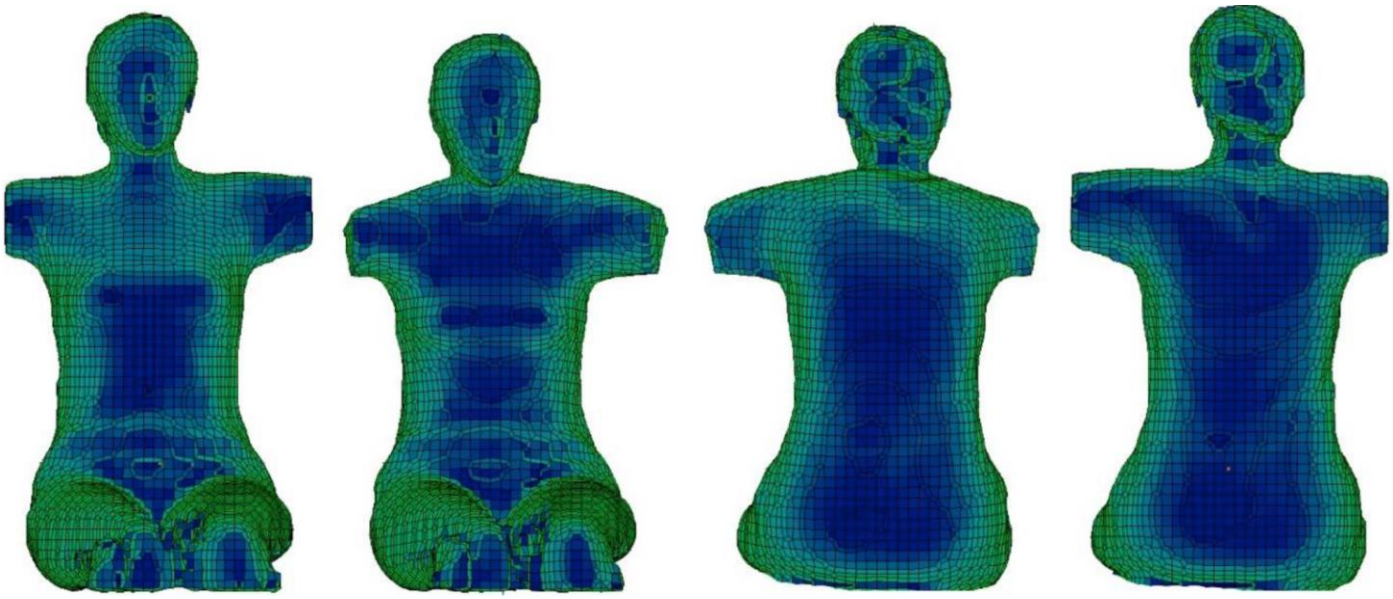
**Şekil 9:** Kötü postür taraması

### 5.2. Stres Analizi

Postürün duruşuna göre gövdenin gerilmesi de değişmektedir. Eğik durma halinde sırt bölgesinin daha çok gerilmesini buna örnek olarak verebilmektedir. Omuzların aşağı eğilmesi ve üst gövdeye yaklaşması sırt bölgesinin daha çok gerilmesine sebep olur. Ön gövde için tam tersi bir durum söz konusudur. Dik, doğru duruşu yakalayabilmek ve bunun sürekliliğini sağlayabilmek için üst gövdenin gergin durması gerekmektedir.

Model üzerinden stres analizi görseli alabilmek için Blender arayüzü tercih edilmiştir. Dijital ortama aktarılan bireyin gövde modeline Blender arayüzünde iskelet sistemi oturtulmuştur. Eklem yerlerinden hareketi sağlanan model üzerinde kötü postür pozisyonu oluşturulduktan sonra stres analizi görseli elde edilmiştir. Sırt bölgesi kötü postür halinde iken gergin olduğu için stres analizi kötü postürde, ön gövde iyi postür halindeyken gergin durduğu için stres analizi iyi postür halinde çıkarılmıştır.

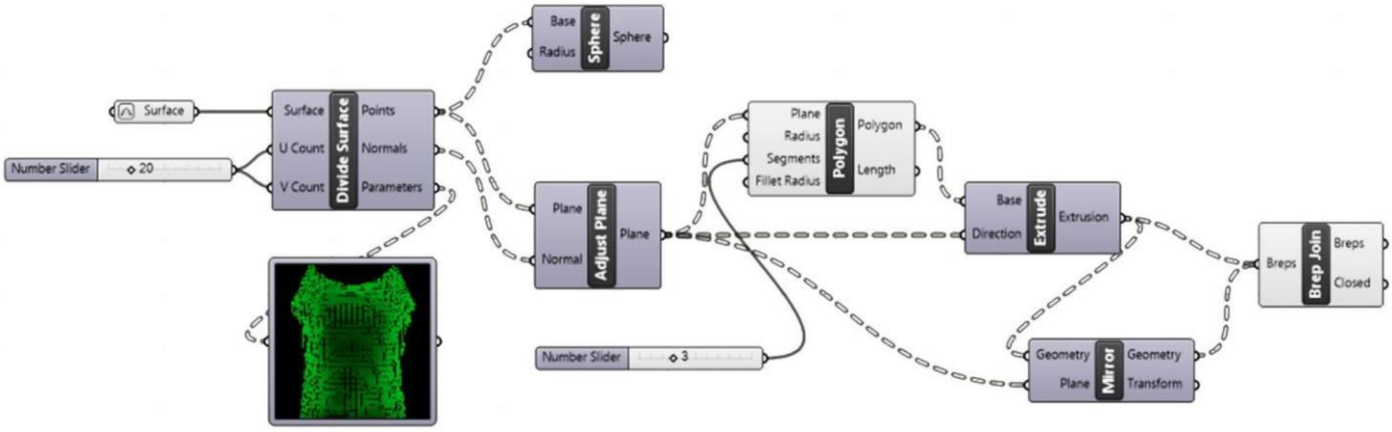
**Şekil 10:** Blender arayüzünde iskelet sistemi eklenmesi



**Şekil 11:** İyi ve kötü postür stres analizi

### 5.3. Image Sampler ile Örüntü Oluşturma

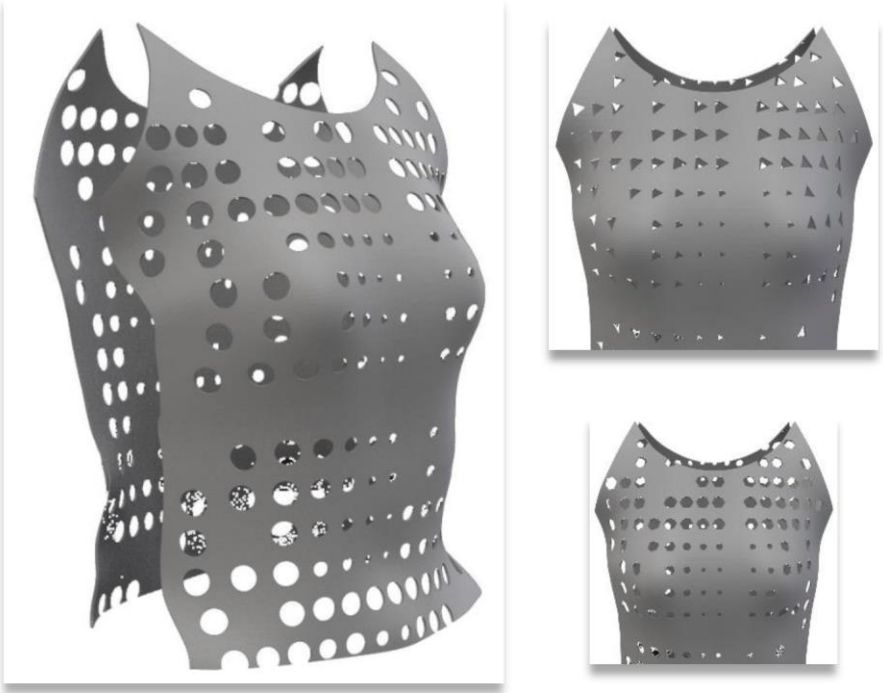
Blender arayüzünden alınan stres analizi verileri Grasshopper'da Image Sampler kullanılarak gövde modeli üzerinde kullanılmıştır. Belli geometrik şekiller atanarak oluşturulan form denemeleri değerlendirilmiştir. Belirlenen geometrik şekillerin ölçüleri üretime uygun olabilmeleri için birbirleri ile kesişmeyecek kadar küçük olmalıyken, esnek filamentin etki gösterebilmesi için olabileceği maksimum büyüklükte olmalıdır. Optimum forma ulaşmak için birçok geometri denemesi yapılmıştır.




**Şekil 12:** Grasshoper Image Sampler ile oluşturulan örüntü bileşen şeması

### 5.4. Üretim Süreci

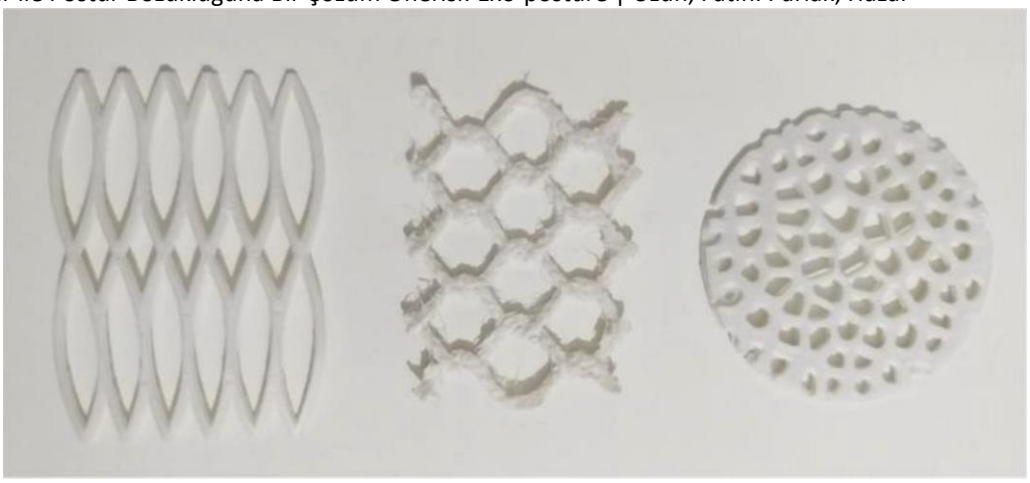
Prototip modelinin oluşturulmasının ardından, 3 boyutlu yazıcıdan esnek ürün alabilmek için TPU tipi filament tercih edilmiştir. Başlangıçta esnek filament ile üretim verimini arttırmak için deneme örüntü baskıları alınmıştır. Prototipin ana gövdesi üretildikten sonra bu iki parçanın birleşim detayları çözülmüştür. Birleşim detayları tasarlanırken kullanımda pratik olması ön planda tutulmuştur.



**Şekil 13:** Geometrik şekil denemeleri | daire-üçgen-altıgen

#### 5.4.1. Malzeme Davranışı

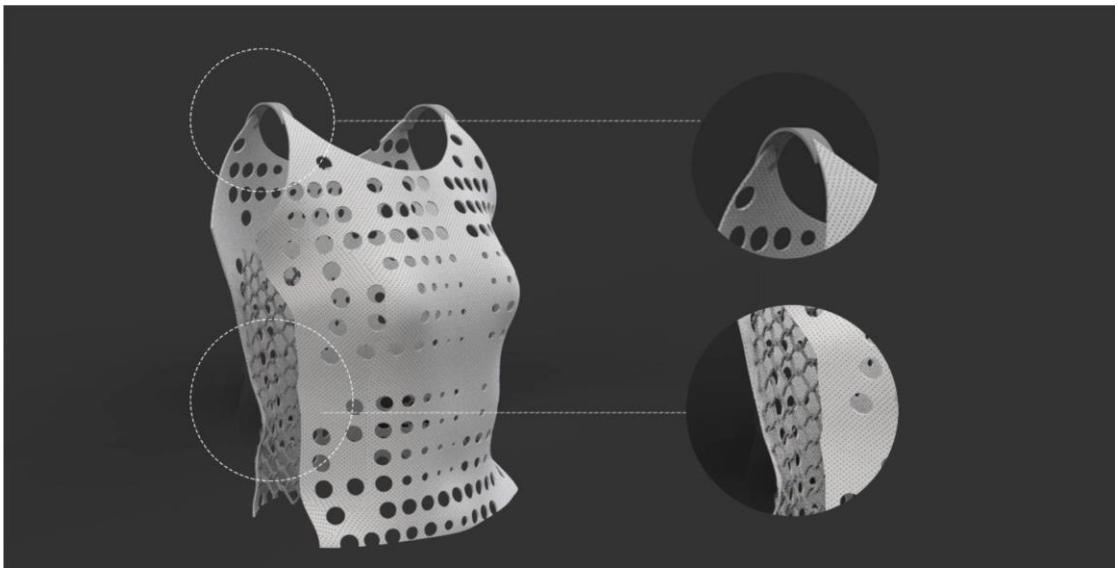
Esnek filament ile alınan baskıda malzeme davranışını incelemek için potansiyel örüntü modellerinin parametreleri değiştirilerek basılmıştır. Bu süreçte likra kumaşta dokuma yönünün önemli olması gibi, esnek filament ile baskı yönünün de önemli olduğu, baskı yönünün esneme yönüne dik olması gerektiği gözlemlenmiştir. Baskısı alınacak modelin kalın olması ve doluluk oranının yüksek olmasının da esnekliği olumsuz etkileyen faktörlerden olduğu öğrenilmiştir.



**Şekil 14:** TPU Esnek filament ile baskı denemeleri

### 5.4.2. Bağlantı Detayları

Grasshopper'da işlenen verilerden elde edilen ana gövde modeli, ön ve arka yüz olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Bu iki parçanın bir araya gelirken kullanıcı tarafından kolay giyilebilir olması öncelik olarak alınmıştır. Kullanıcının hareket konforu ve tasarım bütünlüğü düşünülerek malzeme olarak yine esnek filament tercih edilmiştir. Bağlantı detaylarının düğme veya kancalı sistemle ana gövdelere entegre olması önerilmiştir.



**Şekil 15:** Prototip model ve bağlantı detayı görseli

## 6. Sonuç

İnsanların günlük hayatta sıklıkla yaşadığı postür bozukluğu problemine çözüm önerisi sunmanın hedeflendiği bu çalışmada, postür bozukluğu nedenleri ve bu zamana kadar kullanılan araçlar incelenmiştir. Kullanılan geçici çözümlerden de toplanan veriler ışığında yeni bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Kişinin postürü taranarak alınan veriler kullanılarak, doğrudan kişiye özel bir dış iskelet tasarımı yapılmıştır. Tarama ile dijital ortama aktarılan postürün, Blender arayüzünde içerisine iskelet sistemi oturtularak stres analizi çıkarılmıştır. Stres analizi ile kişinin iyi postür ve kötü postür halindeki gerilme alanları görselleştirilmiştir. Bu görseller Rhinoceros 3D arayüzünde Grasshopper'da veri olarak kullanılarak Image Sampler bileşeni ile kişiye özel parametrik model elde edilmiştir. Modeli oluşturulan iskelet tasarımı 3 boyutlu yazıcıda TPU tipi esnek filament ile üretilmiştir.

**Teşekkür**
İTÜ Mimari Tasarımda Bilişim yüksek lisans programı, Mimari Tasarımda Üretken Sistemler dersi kapsamında geliştirdiğimiz bu projeye desteklerinden dolayı Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Adak, B., Önen, M. Ş., Tekeoğlu, İ., & Arslan, A. (1999). Van ili merkez ilköğretim okullarında skolyoz taraması. *Türkiye Fiz Tıp Reh Derg*, *2*, 45-9.

Bardakçı, A. (2004). Kitlesel bireyselleştirme uygulama yöntemleri. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi, 8,* 1-17.

https://www.hipwee.com/style/5-jenis-korset-yang-belum-banyak-orang-tahu-nggak-melulu-buat-melangsingkan-perut/

Koerner, J. (2017). Digitally crafted couture. *Architectural Design*, *87* (6), 40-47.

Kotha, S. (1994). Mass customization: The new frontier in business competition. Academy of Management Review, 19(3), 588-592. https://doi.org/10.2307/258941

Krish, S. (2010, January 5). Will generative design enable mass customisation? Generative Design Wordpress. https://generativedesign.wordpress.com/2010/01/05/will-generative-design-enable-mass-customisation/

Oxman, N. (2010). *Material-based design computation* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Peköz, M. T., & Sarıca, Y. (2012). Diyabetes mellitusta postür, denge ve yürüme bozuklukları. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, *21* (3), 151-162.

Rohmatun, M. (2018, October). 5 Types of Corsets That not Many People Know. Not Just for Slimming Stomach.

Smelik, A. (2020). Fractal Folds: The Posthuman Fashion of Iris van Herpen. *Fashion Theory*, 1-22.

Uzm. Dr. Ali Şahabettinoğlu Manipülasyon Merkezi, (2019, May). Duruş (Postur) bozukluğu. https://www.manuelinternational.com/durus-postur-bozuklugu/151/2/3

Yovovich, B. G. (1993). Mass customization sparks sea change. *Advertising Age's Business Marketing*, *78*(11), 43-43.

# OTURUM 4

# Sayısal Yöntemler ve Kültürel Miras

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Kayseri Hacı Kılıç Cami Mukarnasının Hesaplamalı Olarak Çözümlenmesi

Sabri Gökmen[1]; Sema Alaçam[2]; Altan Başık[3]; Yusuf Aykın[4]
[1;3;4]Kadir Has Üniversitesi; [2]İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]www.sabrigokmen.com, [1]sabri.gokmen@khas.edu.tr; [2]mbl.itu.edu.tr, [2]alacams@itu.edu.tr; [3]altanbasik@gmail.com; [4]yusufaykin@gmail.com

## Özet

*Mimarlıkta kültürel miras alanında önemli bir kesit oluşturan Anadolu Selçuklu Dönemi yapılarının temsili, çözümlenmesi ve yorumlanması bağlamında, hesaplamalı tasarım araçları yeni olanaklar sunmaktadır. Anadolu Selçuklu Dönemi'nde kendine özgü biçemsel nitelikler ortaya çıkaran mukarnas kullanımı ise günümüz tasarımcıları için zengin bir araştırma zemini sağlamaktadır. En yaygın kullanımı ile cami minarelerinin balkonlarının altında, mihrapların yarım kubbelerinde, tam kubbelerin altında tonozları bağlayan kısımlarda, kornişlerde ve portallarda bezeme elemanları olarak kullanılan mukarnasların ölçek, malzeme, yapıdaki kullanım yeri ve geometrik örüntü açısından farklı uygulamalarına rastlamak mümkündür. Çalışma kapsamında Kayseri Hacı Kılıç Cami portalında yer alan mukarnaslara odaklanılmaktadır. Mukarnasların iki boyutlu izdüşümünden oluşan geometrik kompozisyon hesaplamalı olarak çözümlenerek, büyüyebilirlik ve dallanma davranışlarına yanıt veren üretken bir algoritma geliştirilmiştir. Büyüyebilirlik ve dallanma davranışlarının sayısal ortamında temsilinde ise L-Sistemler'den yararlanılmıştır. Mukarnasın iki boyutlu geometrik örüntüsünde tekrar eden ve yinelemeli kurallar belirlenmiş, kenar ve düğüm noktaları olarak ayrıştırılarak kenar uzunlukları açısal ilişkilere bağlı olarak trigonometrik olarak temsil edilmiştir. Algoritma geliştirme ortamı olarak, Rhino/Grasshopper ve Python kodlama arayüzü kullanılmıştır. Mukarnasın hesaplamalı çözümlenmesinde iki temel büyüme kuralı saptanmış ve kullanılmıştır: Lineer büyüme ve dallanma. Geliştirilen algoritma kapsamında, bir merkezden ışınsal olarak büyüyebilen tek merkezli mukarnasların parça, katman ve büyüme aşamaları parametrik olarak temsil edilebilmekte, parametrelerin kontrolü ile Kayseri Hacı Kılıç Cami mukarnasından farklılaşan varyasyonlar da üretilebilmektedir. Bu varyasyonlar iki boyutlu geometrik örüntünün yanısıra, üç boyutlu mukarnas modelini de içermektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular, tarihi yapılardaki tasarım prensiplerinin analizinde, bezemelerin geometrik dillerinin çözümlenmesinde ve mimarlıkta parça bazlı geometrik üretim kurallarının saptanmasında kullanılabilecek araştırmalara katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır. Bu çerçevede geliştirilen dijital araçların farklı alanlardaki araştırmacılar arasında yeni bir bağ kurması ve mukarnas yapılarının tarihsel, mimari ve kültürel mirasına katkıda bulunması planlanmaktadır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Mukarnas, L-sistem, hesaplamalı tasarım, Hacı Kılıç Cami, Anadolu Selçuklu Dönemi.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Gökmen, S., Alaçam, S., Başık, A., & Aykın, Y. (2021). Kayseri Hacı Kılıç Cami mukarnasının hesaplamalı olarak çözümlenmesi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 182–193). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Computational Analysis of the Muqarnas in Kayseri Hacı Kılıç Mosque

Sabri Gökmen[1]; Sema Alaçam[2]; Altan Başık[3]; Yusuf Aykın[4]
[1;3;4]Kadir Has University; [2]İstanbul Technical University
[1]www.sabrigokmen.com, [1]sabri.gokmen@khas.edu.tr; [2]mbl.itu.edu.tr, [2]alacams@itu.edu.tr; [3]altanbasik@gmail.com;
[4]yusufaykin@gmail.com

## Abstract

*Computational design tools offer new possibilities in the context of representation, analysis and interpretation of Anatolian Seljuk Period structures, which constitute an important section in the field of cultural heritage in architecture. The use of muqarnas, which revealed its own stylistic qualities in the Anatolian Seljuk Period, provides a rich research ground for today's designers. As a decorative element, use of muqarnas appears under the balconies of the mosque minarets, on the semi-domes of the mihrabs, the vault connections of the domes, on the cornices and portals. The use of muqarnas also varies in terms of scale, material, place of use in the building and geometric pattern. In the scope of this study, we focus on the muqarnas of Kayseri Hacı Kılıç Mosque. A generative algorithm that responds to growth and branching behavior is developed by computationally analyzing the geometric composition consisting of two-dimensional projection of muqarnas. L-Systems was employed to represent the growth and branching behaviors in the digital environment. Repetitive and iterative rules were extracted from the two-dimensional geometric pattern of the muqarnas, as well as edges and vertices. Length of the edges were represented trigonometrically depending on the angular relationship of them. Rhino/Grasshopper and Python coding interfaces were used as algorithm development environments. Two basic growth rules have been identified and used in the computational analysis of muqarnas: linear growth and branching. In the scope of the developed algorithm, part, layer and growth stages of single-centered muqarnas that can grow radially from a center can be represented parametrically, and variations that differ from Kayseri Hacı Kılıç Mosque muqarnas can be produced by controlling the parameters. These variations include the two-dimensional geometric pattern as well as the three-dimensional muqarnas model. The findings obtained from this study have the potential to contribute to research that can be used in the analysis of design principles in historical buildings, the analysis of the geometric syntax of ornaments, and the determination of piece-based geometric generation rules in architecture.*

***Keywords:*** *Muqarnas, L-system, computational design, Hacı Kılıç Mosque, Anatolian Seljuk Period.*

**Citation in APA Style:** Gökmen, S., Alaçam, S., Başık, A., & Aykın, Y. (2021). Computational analysis of the Muqarnas in Kayseri Hacı Kılıç Mosque. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 182–193). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Dijital teknolojiler ve hesaplamalı tasarım yaklaşımları, pek çok alanda olduğu gibi mimarlıkta kültürel miras alanında da yaygınlık kazanmakta ve birçok akademik araştırma ve pratik uygulamaya entegre olmaktadır. Hali hazırda bulunan ya da geliştirilen bu yeni araçların çeşitli araştırma alanlarına katılması, uzun vadede tasarımcılar arasında paylaşımcı ve işbirlikçi bir kültür yaratma potansiyeli taşımaktadır. Ülkemizde bulunan tarihsel yapılarının hesaplamalı olarak çözümlenmesi ise bu yapıların korunması, geliştirilen yöntemlerin sayısal miras alanında paylaşılması ve tarihsel yöntemlerin yeniden canlandırılması açılarından önem taşımaktadır.

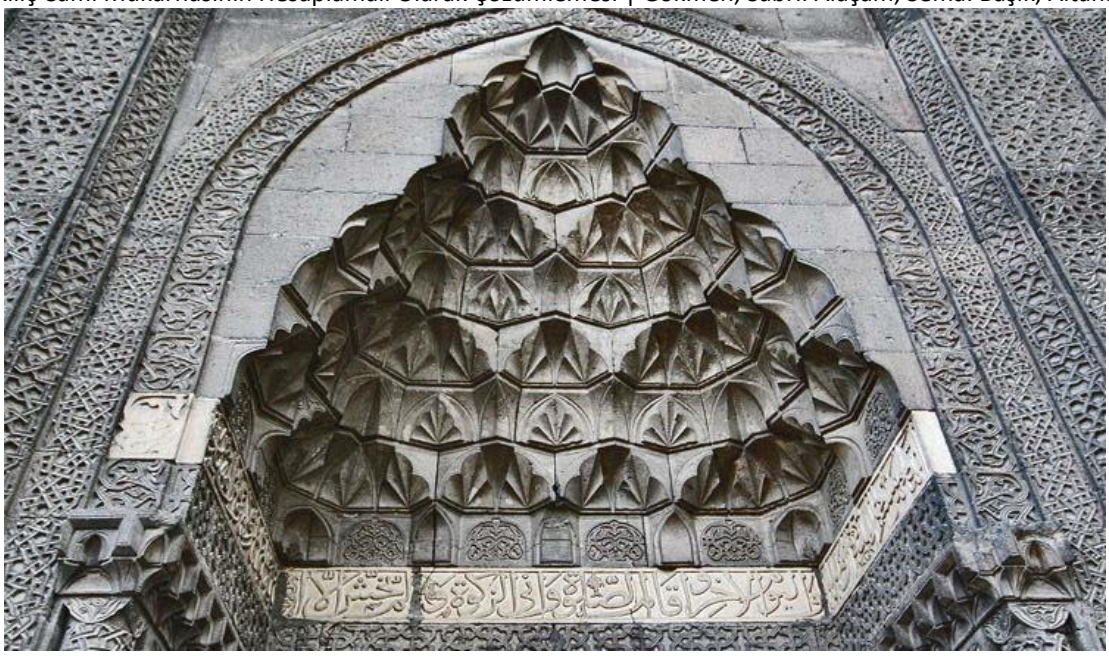
Coğrafyamızdaki kültürel mirasın hesaplamalı araçlarla çözümlenmesi kapsamında hazırlanan çalışma, kuruluşu 11. yüzyılın son çeyreği ve çöküş dönemi 14. yüzyılın başları olarak tarihlendirilen Anadolu Selçuklu Dönemi'ne odaklanmaktadır. Anadolu Selçuklu Dönemi, han, hamam, cami, medrese, kervansaray, imaret gibi yapıların geniş bir coğrafyaya yayıldığı yoğun bir inşa faaliyetine ev sahipliği yapmıştır. Bu dönemde Sivas, Kayseri, Konya, Erzurum gibi şehirler zamanla İpek Yolu ve ticaret ağlarının bir parçası olarak odak noktası haline gelmiştir (Hakkı, 2007). Kesişim ve kavşak noktalarında yer alan şehirler ile bu şehirler arasındaki bağlantı yolları ticari, sosyal ve kültürel etkileşimin ivme kazanmasının yanısıra, mimari üretim faaliyetlerinin de yaygınlaşmasına ve çeşitlenmesine tanıklık etmiştir. Bu çeşitlenme tipolojiden yapım tekniğine, malzeme kullanımından bezeme tiplerine kadar farklı düzeylerde kendini göstermektedir. Geometrik kompozisyon bağlamında zengin bir repertuara sahip dönem, hesaplamalı tasarım yaklaşımlarıyla yeniden ziyaret edildiğinde günümüz araştırmacıları için bir laboratuvar işlevi görmektedir.

Bildiri kapsamında Kayseri'de yer alan Hacı Kılıç Camisi'nin mukarnası geometrik parça ve katmanlar arasındaki simetrik ilişkiler üzerinden incelenmiştir. Yapımı 1249-1250 olarak tarihlendirilen Kayseri Hacı Kılıç Camisi, medrese ve caminin organik olarak iç içe geçtiği ilk örneklerden biri olarak kabul edilmektedir (Öney, 1966). Cami portalı, Kayseri bölgesindeki Anadolu Selçuklu dönemi portalları arasında tipiktir ve mukarnas portal girişinde kullanılmıştır (Öney, 1966). Hacı Kılıç Cami mukarnası, özellikle bulunduğumuz coğrafyadaki tarihi yapılarda sıkça kullanılan bir mimari elemanın analizi için prototip bir örnekleme sunmaktadır. Çalışmada mukarnasların iki boyutlu izdüşümünden oluşan geometrik kompozisyon hesaplamalı olarak çözümlenerek, büyüyebilirlik ve dallanma davranışlarına yanıt veren üretken bir algoritma geliştirilmiştir. Bu çalışmadan çıkacak bulgular ileride diğer tarihsel yapılardaki tasarım prensiplerinin analizinde, süslemelerin geometrik dillerinin çözümlenmesinde ve parça bazlı geometrik mimari üretim kurallarının saptanmasında kullanılabilecek bir metodoloji üretmektedir. Bu çerçevede geliştirilen dijital araçların farklı alanlardaki araştırmacılar arasında yeni bir bağ kurması ve mukarnas yapılarının tarihsel, mimari ve kültürel mirasına katkıda bulunması planlanmaktadır.

## 2. İslami Bezeme ve Mukarnas

İslam mimarisinde sıkça rastlanılan geometrik bezeme elemanlardan olan mukarnaslar, 10. Yüzyılın ortalarına doğru İran'ın kuzeyinde ortaya çıkmış ve buradan Orta Doğu'ya yayılmıştır (Dold-Samplonius, 1992). Arapça kökenli bir kelime olan mukarnas, sarkıt tonoz anlamına gelmekte ve mimari niş ve kubbe tasarımlarında süsleme elemanları olarak kullanılarak düz ve kıvrımlı kısımlar arasındaki geçişi gizlemektedir. Genel olarak mukarnaslar özellikle cami minarelerin balkonlarının altında, mihrapların yarım kubbelerinde, tam kubbelerin altında tonozları bağlayan kısımlarda, kornişlerde ve portallarda süsleme elemanları olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında aynı yapıda birden fazla ölçekte kullanımlarına rastlanmakta ve geometrik özelliklerinin yanında renk kullanımıyla mimariye dekoratif ve estetik değer katmaktadır.

Ülkemizde Anadolu'daki tarihsel mimari yapılarda da zengin mukarnas örnekleri mevcuttur. Bunlar arasında Selçuklu dönemine ait yapılar belirgin karakteristik özellikler ve benzer geometrik düzenlemeler sunmaktadır (Aslanapa, 1971). Kapsamlı olarak değerlendirildiğinde Selçuklu yapıları ortak bir felsefe ve sosyal kültür barındırmakta ve bunun mimari üretimi üzerine yansımalarını soyutlanmış geometrik desenler kullanarak sunmaktadır (Ögel, 1986; Ödekan, 1977). Ayrıca yapılarda kullanılan dekoratif elemanlar Orta Doğu coğrafyasındaki diğer tarihsel yapılarla paralellik göstermekte ve benzer üretim ve tasarım metotları içermektedir.

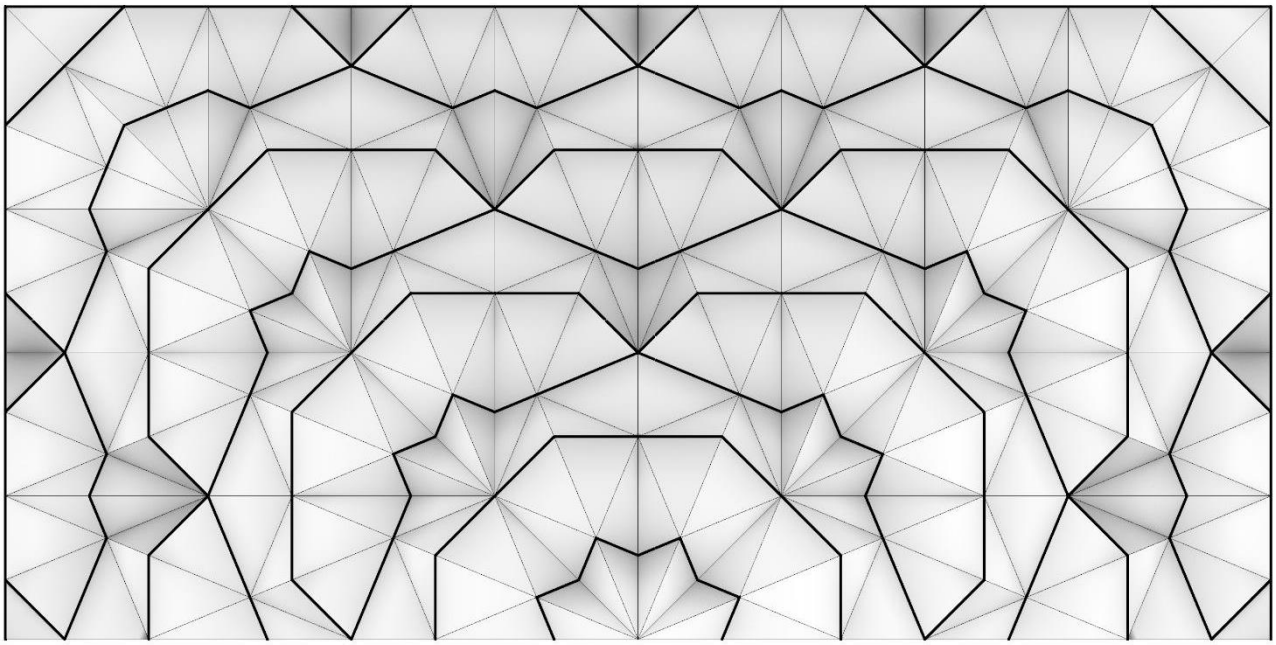


**Şekil 1:** Kayseri Hacı Kılıç Cami mukarnası

Literatürde mukarnasların tarihsel, geometrik ve kural bazlı üretimleri alanlarında çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir (Yaghan, 2000; Harmsen, 2006). Zengin bir mimari dil üretebilen mukarnasların dijital araçlar kullanarak çözümlenmesi ve günümüzdeki kullanımının tekrardan canlandırılmasını amaçlayan çalışmalar olmuştur (Hamekasi ve diğ., 2011). Bu çalışmalar ağırlıklı olarak var olan mukarnasların analizini, sınıflandırılmasını ve dijital olarak modellenmesini kolaylaştırmıştır. Kullanılan yaklaşımlarda genel olarak iki boyutlu plan diyagramlarından dijital modelleme araçları kullanarak üç boyutlu modeller elde edilmesini sağlamaktadır (Yaghan, 2000). Mukarnasların dijital araçlarla modellenmesi ve parça geometrileri, kullanılan oranlar ve farklı hesaplamalı analizleri üzerine araştırmalar çeşitlenerek devam etmektedir. Alaçam ve diğ. (2017) katlama ve çatallanma operasyonları üzerinden İsfahan Cuma Camisi mukarnaslarının mantıksal ve geometrik çözümlemesini yaparak, hesaplamalı biçim bulma süreçlerindeki potansiyelini tartışmaktadır. Dinçer ve Yazar analitik, üretken ve performatif başlıkları altında ayrışan parça, bezeme ve blok bazlı modelleme yöntemleriyle Sultan Han Kervansarayı'ndaki mukarnasın farklı modelleme süreçlerini çalışmış ve kıyaslamıştır (Dinçer ve Yazar, 2021). Bir başka çalışmada Ağırbaş ve Yıldız geliştirdikleri elips geometrisine dayalı biçim grameri yöntemiyle Atik Valide Camisi'nde bulunan mukarnastaki beşgen ve altıgen tabanlı deforme edilmiş yıldız parçaları analiz etmiş ve farklı mukarnaslar üretebilecek bir yöntem önermiştir (Ağırbaş ve Yıldız, 2021). Bu çalışmalara kıyasla Güzelci ve Alaçam Mimar Sinan'ın oniki farklı camisindeki mukarnas dokularına ait plan üzerinden farklı parça tiplerini saptayan ve komşuluk ilişkileri üzerinden entropi hesaplaması yapabilen bir yöntem önermiştir (Güzelci ve Alaçam, 2021). Bu bildiride literatür taramasına kıyasla döngüsel ve parametrik bir algoritma vasıtasıyla mukarnaslardaki katmanlara yayılan büyüme hesaplamalı olarak incelenecektir. Bu çalışmada Kayseri'de bulunan Hacı Kılıç Cami taç mukarnasına odaklanılmıştır (**Şekil 1**).

## 3. Hacı Kılıç Cami Mukarnası'nın Analizi

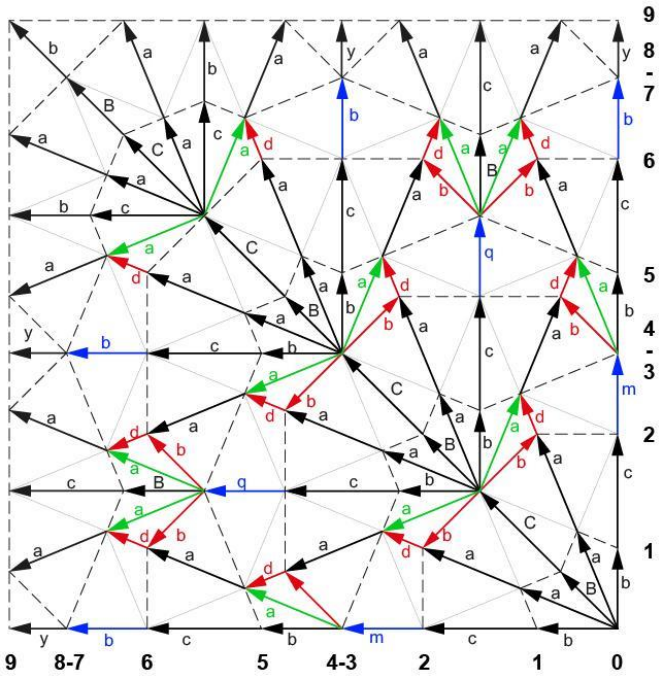
Mimarlık alanında günümüzde yapılan kuramsal araştırmalar, kültürel miras eserlerindeki tasarım prensiplerinin de hesaplamaya dayalı olduğunu ve günümüzde ortaya çıkan dijital araçlarla tekrardan yorumlanabileceğini savunmaktadır (Carpo, 2011). Bu alanda yaygın bir araştırma estetik karakter içeren geometrik örüntülerin parametrik sistemler kullanılarak çözümlenmesi ve bu sayede dinamik tasarım araçları geliştirilmesi üzerinedir (Woodbury, 2010). Bu araçların tarihsel yapılar üzerinde kurgulanmasının, teknolojinin mimari üretime adapte edilmesini kolaylaştıracağına ve bu sayede yenilikçi tasarım araçlarının ve metotların geliştirilebileceğine inanılmaktadır. Mukarnasların dijital araçlar yardımıyla temsili, üç boyutlu modellemesi, geometrik çözümlenmesi ve yeniden üretilmesine odaklanan çeşitli çalışmalar mevcut olsa da, mukarnas mantığıyla üretken formlar oluşturabilen hesaplamalı çözümleme hala ucu açık bir problem olarak durmaktadır.



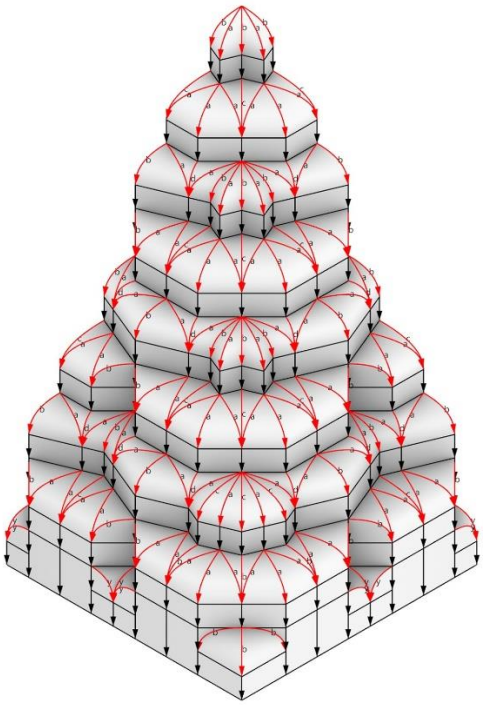
**Şekil 2:** Kayseri Hacı Kılıç Cami giriş mukarnası planı

Mukarnasların hesaplamalı çözümlenmesiyle ilgili en güncel yaklaşım plan şeması üzerinden parçalar arasındaki benzer örüntülerin çizge (graph) olarak saptanmasını içermektedir (Harmsen, 2006). Bu bildiride önerilen çalışma ise yeni bir algoritma ve diyagramatik dil üretmektedir. Başlangıç verisi olarak Hacı Kılıç Cami mukarnasın iki boyutlu düzleme izdüşümü alınmış geometrik örüntüsü temel alınmıştır. **Şekil 2**'de gösterilen plan çiziminde farkı kalem kalınlığı ve koyu renkle temsil edilen çizgiler katman çizgilerini ifade etmektedir. Katman çizgileri, mukarnasın üçüncü boyuttaki hareketlerinin izdüşümüne karşılık gelmektedir. Bu çerçevede Hacı Kılıç Cami mukarnası üzerinden geliştirilen çalışma mukarnas tasarım süreçlerine döngüsel bir biçimde kendini tekrarlayan bir hesaplama problemi olarak bakarak yeni bir bakış açısı getirmeyi ve hesaplamalı tasarım araçları geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu yöntemle öncelikle taç merkezden aksiyel olarak büyüyen ve katmanlar arasında simetrik gruplar oluşturan hesaplamalı analiz süreci geliştirilmiştir. Bu süreçte mukarnasların doğadaki fraktal büyümelere benzer, katmanlar arasındaki farklı uzunlukların dönüşerek ve dallanarak oluşturduğu "L-system" benzeri bir hesaplama barındırdığı saptanmıştır (Lindermayer, 1968).

**Şekil 3'**te temsil edilen Hacı Kılıç Cami mukarnas diyagramında, taç merkeze göre ayna simetrisine sahip olan mukarnas planının köşegen aksında yer alan katmanlar arasındaki uzunluklar farklı oranlar karakter katarları kullanılarak gösterilmiştir. Plandaki üçgen geometrik parçaların kenar uzunlukları ve aynı katmanda bulunan parçalar arasındaki simetrik ilişkiler incelendiğinde, mukarnasın taç merkez noktasından başlayan katmanlar arasındaki büyüme hareketlerinin tekrar ettiği saptanmıştır. Mukarnasın üçüncü boyuttaki parça geometrileri incelendiğinde de plandaki simetrik büyüme hareketlerini tarifleyen yüzeyler oluşmaktadır (**Şekil 4**). Özellikle yatayda büyümeyen ancak düşeyde hareketine devam eden katman noktaları arasında da kural bütünlüğü ve simetrik dağılım gözlenmiştir. Bu analizlere göre mukarnas taç merkezinden başlayarak katmanlar arasındaki geometrik parçalanmayı simetri aksları üzerinden kurgulanan büyüme hareketleriyle tariflemektedir.




**Şekil 3:** Kayseri Hacı Kılıç Cami mukarnasına ait büyüme diyagramı. Rakamlar noktalı çizgiyle gösterilen katmanları, karaketer katarları benzer oranları göstermektedir. Dallanmalar içeren karakter katarları büyük harfle yazılmıştır.



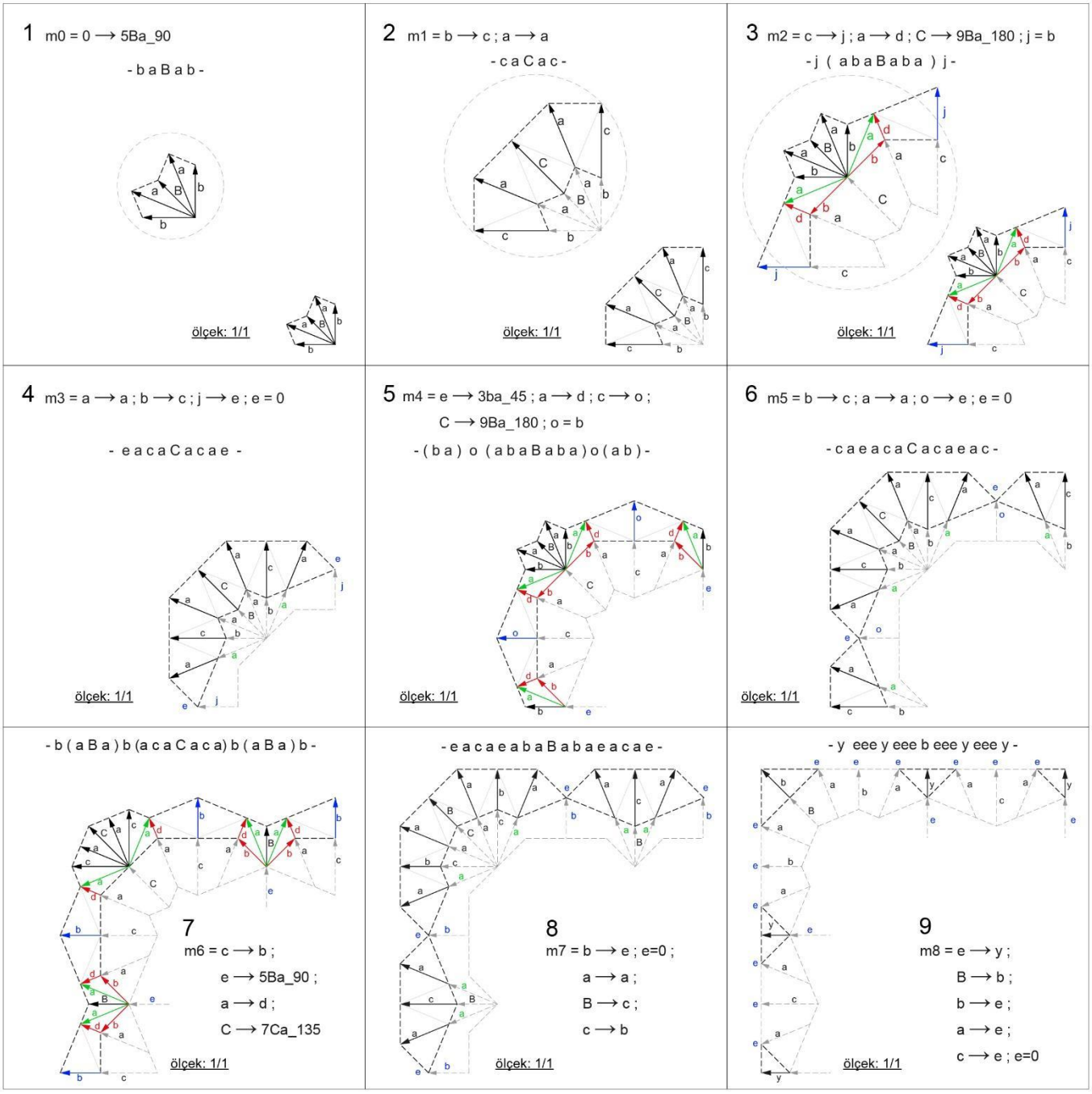
**Şekil 4:** Kayseri Hacı Kılıç Cami mukarnasının üç boyutlu eğrisel yüzeylere dönüştürülerek görselleştirilmesi

Hacı Kılıç Cami mukarnası planı ve üç boyutlu modeli üzerinden geliştirilen analiz, mukarnasların farklı katmanlardaki lineer büyüme ve dallanma kurallarını döngüsel bir çerçevede birleştiren ve parametrik olarak modelleyebilen bir algoritma sunmuştur. Bu yöntemde katmanlar arasında tekrar eden kurallar ve noktasal çakışmalar hesaplamalı olarak çözümlenmiştir. Oluşan algoritma sayesinde mukarnas katmanları parçalar arasında oluşan simetri kuralları üzerinden çözümlemekte ve ortaya çıkan benzer kural ve örüntüler soyut ve üretken bir dilde sunulmaktadır. Buna ek olarak geliştirilen algoritma sayesinde iki boyutlu plan üretimi üzerinden mukarnasların üç boyutlu parametrik olarak modellenmesi mümkündür.

## 4. Mukarnas'ın L-Sistem Üzerinden Hesaplamalı Çözümlenmesi

Literatür taraması sonucunda incelenen modeller arasında, örüntülü büyüme ve dallanma şemalarını destekleyen ve farklı oran/uzunlukların harflerle sembolize edilmesine dayanan L-Sistem modeli mukarnas için uygun sistem olarak seçilmiştir. Lindenmayer Sistemleri olarak da bilinen L-Sistem, Aristid Lindenmayer (1966) tarafından çok hücreli organizmaların büyüme süreçlerinin görselleştirilmesi ve benzetimi için önerilmiştir. Biyoloji, bilgisayar bilimleri ve tasarım alanında pek çok araştırmacı tarafından ele alınmış, kural tabanlı, tekrarlar ve döngüler içeren büyüme süreçlerinin temsilinde çeşitli algoritmalar geliştirilmesine katkıda bulunmuştur.

Çalışmanın hesaplamalı çözümleme aşamasında, Hacı Kılıç Cami mukarnasının plan örüntüsünde tekrar eden kurallar L-Sistem benzeri, saptanan trigonometrik uzunlukların harflerle özelleştiği ve katmanlar arasında büyüme kurallarıyla ilişkilendiği bir altyapıda ele alınmıştır. Bu aşamada geliştirilen hesaplama yöntemi her katman için dönüşüm kurallarının parametrik olarak tariflendiği ve oluşan katmanların harfli örüntülerini veren ve geometrik parça yüzeylerini parametrik olarak oluşturan bir kod arayüzüne dönüştürülmüştür.



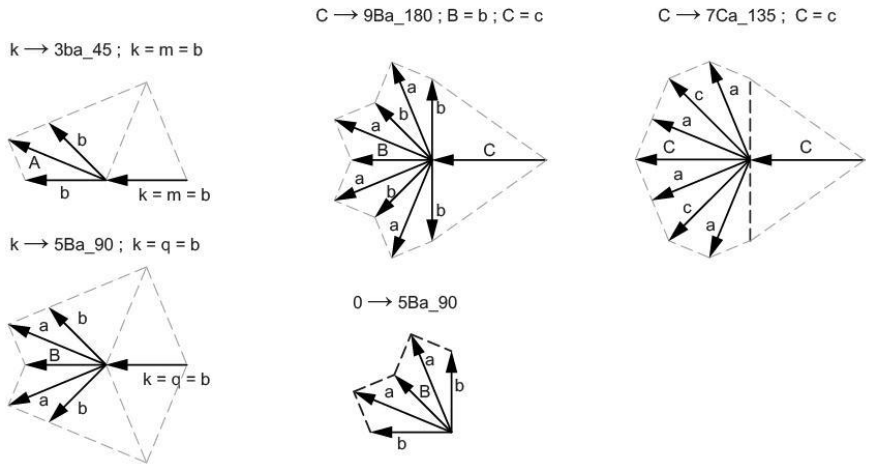

**Şekil 5**: Kayseri Hacı Kılıç Cami mukarnası için geliştirilen L-Sistem kuralları ve büyüme etapları. Katmanlar arasındaki büyümeler ve oranlar harf ve rakamlardan oluşan kodlara aktarılmıştır (1-9). Kırmızı oklar durdurulan büyümeleri, yeşil oklar geometrik kesişimlerde devam eden büyümeleri, mavi oklar ise uzunluk olarak aynı kuralı takip eden ancak kural dönüşümlerini koordine etmek için harfi değiştirilen büyümeleri göstermektedir.

**Şekil 5**'te Kayseri Hacı Kılıç Camisi mukarnası için geliştirilen L-Sistem kuralları plan çizimi üzerinden aktarılmıştır. Mukarnasın planı, oturduğu simetrik dikdörtgenin köşegen üzerindeki hareketine göre kodlanmıştır. Mukarnasın geometrik olarak hesaplanma sürecinde katmanlara arasında iki farklı büyüme kuralı saptanmıştır. Bunlardan "lineer büyüme" a→ b notasyonu gibi katman çizgisi köşe noktalarını yaratan uzunlukların bir sonraki katman için hareketlerini tariflemektedir. İkinci tip büyüme ise "dallanma" tipleri içermekte ve tek bir noktanın radyal simetri kullanılarak poligon ya da yıldız tipinde yeni noktalar yaratmasını sağlamaktadır. Örneğin ilk katmandaki O→ 5Ba_90 kuralında, "O" taç mukarnasın merkezini, "5" rakamı dallanma miktarını "a" ve "b" katman için kullanılan oranları "_90" ise dallanmanın kapsadığı açıyı tariflemektedir. Dallanarak büyümelerde, "5Ba" kodlamasındaki 5 rakamı harfleri içeren oran katarlarının (string) türetilmesiyle ortaya çıkan "baBab" katar serisini tariflemekte, bu harflerden "B" oluşturulan katar serisinin ortasında yer alan, diyagonal akstaki simetriyi kodlama diline aktarmaktadır.

Diyagonal akslarda yer alan alt katmanlardaki büyüme ve dallanmalar için büyük harfler notasyondaki kurallarla özelleştirilmiştir. Bu kurallarla incelendiğinde mukarnasın 1, 3, 5 ve 7. katmanlarında radyal simetriye dayalı benzer dallanmalı büyümelere rastlanmıştır. Özellikle kare plana oturan köşegen aksındaki kurallardan C→ 9Ba_180, 3. ve 5. katmanlarda tekrar etmektedir. Dallanmalardan sonra gelen ve sekizgen poligonların yaratıldığı 2., 4., 6. ve 8. katmanlardaki b→ c ve a→ a kuralları sabittir. Bunların dışında kullanılan notasyonda katmanlar özelinde değişten büyüme kuralları için farklı harfler kullanılmıştır. Üçüncü katmanda ortaya çıkan "j" ve "b" aynı uzunluklara sahiplerdir ancak bir sonraki katmanda farklı büyüme kurallarıyla ilerlemektedirler, bu nedenle karakter katarları farklılaştırılmıştır.

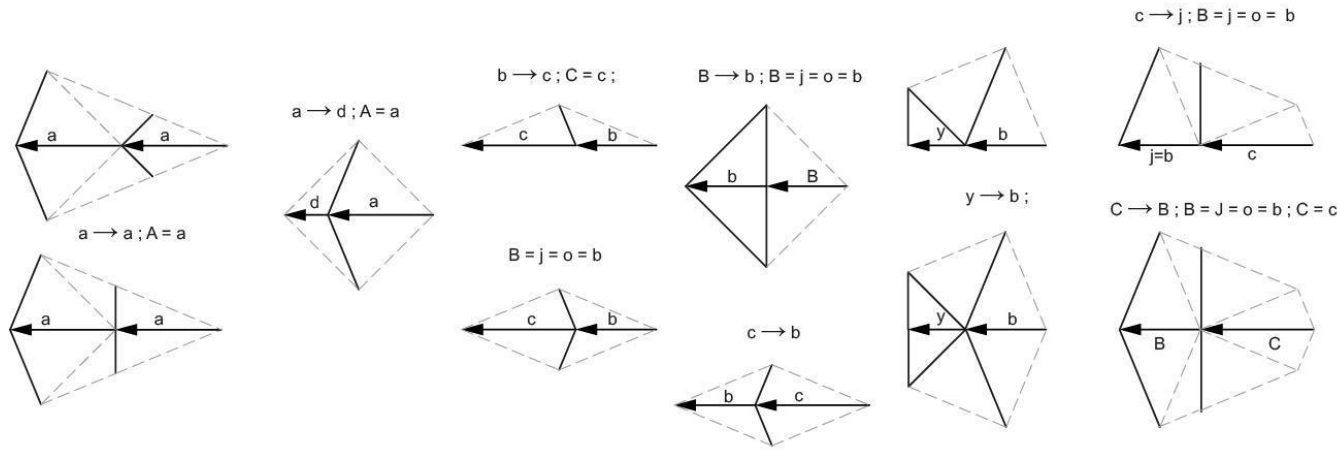
Katmanlarda oluşan büyümeler arasında bazı geometrik çakışmalar saptanmış ve çözümlenmiştir. Özellikle 3.,5. ve 7. katmanlardaki a→ d büyümesi radyal merkezden gelen dallanmayla çakıştığından donmaktadır (**Şekil 5 (3)**, m2, kırmızı oklar). Bu katmanda oluşan çakışmada radyal simetriden gelen dallanmadaki (**Şekil 5 (3)**, yeşil oklar) büyümeye öncelik vermektedir.

Hacı Kılıç Cami mukarnasının hesaplamalı sürecinde oluşturulan iki ve üç boyutlu geometriler için iki farklı kural tipi belirlenmiştir. Bunlar rakam ve açı içeren "dallanma" ile doğrusal hareketler içeren "lineer büyüme" tipleridir. Bu iki tip üzerinden saptanan büyüme kuralları **Şekil 6 ve 7**'de plan üzerinden şematik olarak gösterilmiştir. **Şekil 6**'daki dallanarak büyüme kuralları genellikle üçgen parçayla ait büyümeleri tek merkezden açıortay simetrik üçgen parçalar kullanarak büyütmektedir. Örneğin C→ 9Ba_180 kuralında katmana gelen → C büyümesi simetrik üçgen dağılımı yaparak katman çizgisini tariflemekte daha sonra oluşan radyal simetrideki parçalarla katman çizgisi genişletilmektedir.



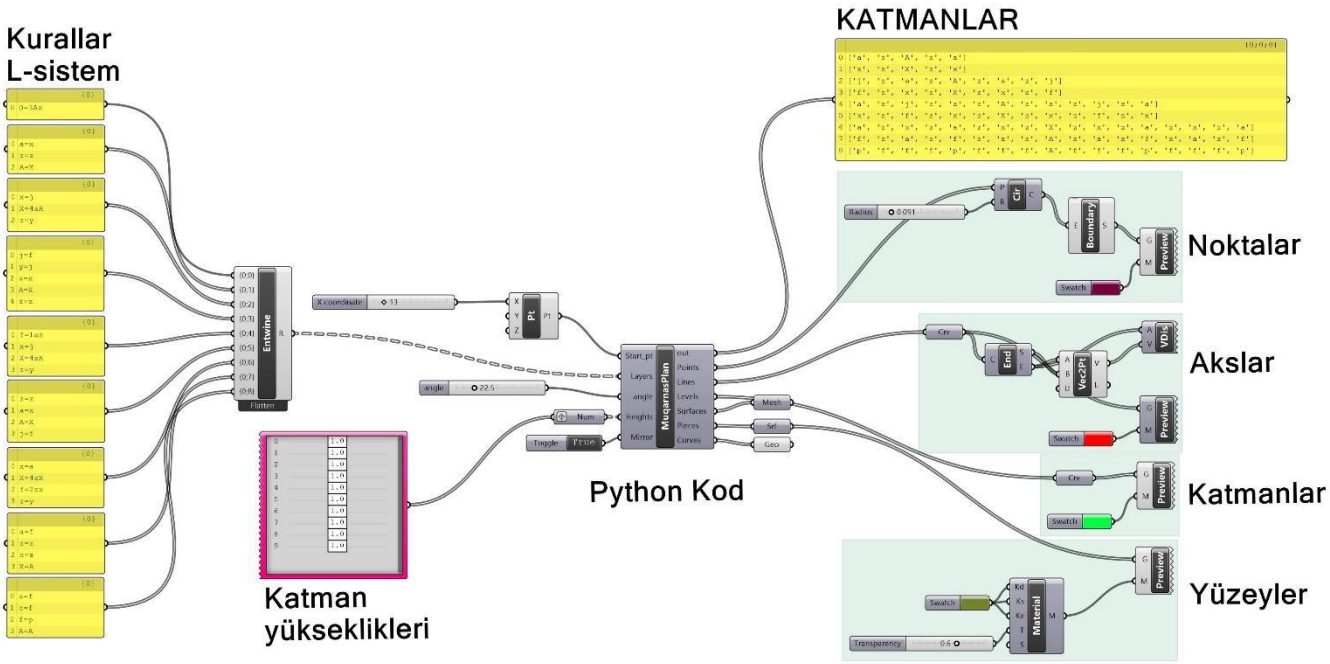

**Şekil 6.** Hacı Kılıç Cami mukarnasında kullanılan "dallanma" kuralları

**Şekil 7**'de Hacı Kılıç Cami mukarnasında kullanılan "lineer büyüme" kuralları gösterilmiştir. Bu kurallardan c→ b, b→c, a→d, B→ b kuralları üçgen parçaları tekrar tek üçgene aktarmaktadır. Lineer büyüme kuralları arasında çok parçalı üçgenleme yaratan kurallar da saptanmıştır. Bunlardan a→a ve y→ b kuralları tek üçgeni iki üçgene, C→ B ve c→j kuralı ise köşegenle bölünen dörtgen parçayı tekrar dörtgene aktarmaktadır. Bu kurallarla oluşan dörtgenlerin iç bölünmesinde genel kural birbirine yakın olan köşe noktalarının bağlanması yönündedir. Oluşan parçaların katmanlar özelinde simetriyi takip ettiği gözlemlenmiştir.



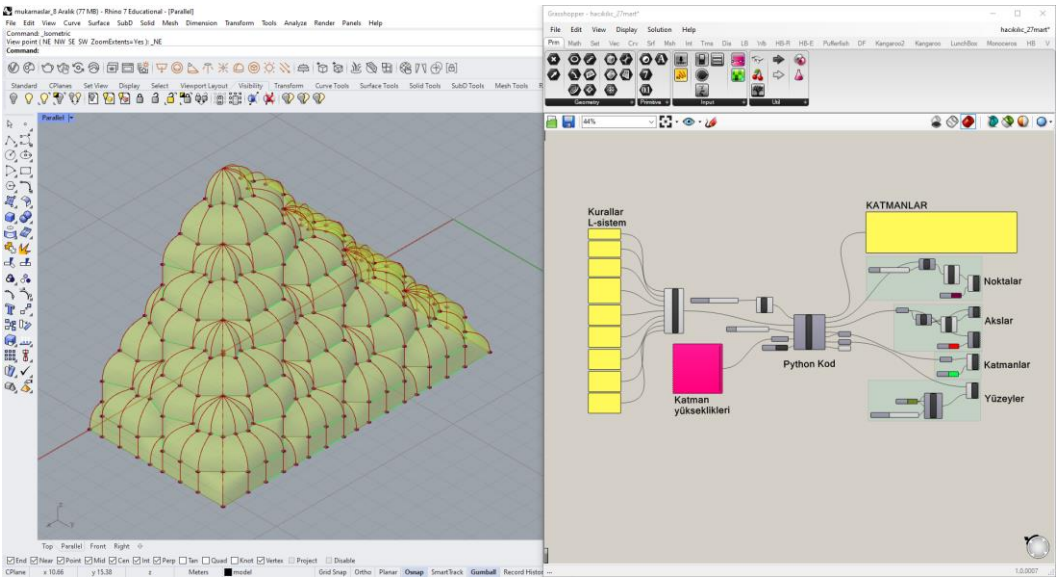

**Şekil 7**: Hacı Kılıç mukarnasında kullanılan "lineer büyüme" kuralları.

**Şekil 8**'de Hacı Kılıç Cami mukarnası için geliştirilmiş grasshopper ve L-Sistem bazlı python kodu örneği gösterilmiştir . Bu arayüzde katmanlar arasındaki büyüme ve dönüşüm kuralları sol taraftaki panellere harfler kullanılarak girilmekte ve mukarnasların büyümeleri parametrik olarak modellenmektedir. Kodun sağında python kodu üzerinden ortaya çıkan katmanlardaki örüntüler ve farklı geometrik elemanlar (noktalar, akslar, yüzeyler-üçgenler, katman çizgileri) gösterilmiştir. Mukarnasın üç boyutlu modellerinden elde edilen katman yükseklikleri katmanların düşeydeki konumları ve ortaya çıkan panel formları için parametrik olarak koda aktarılmıştır.

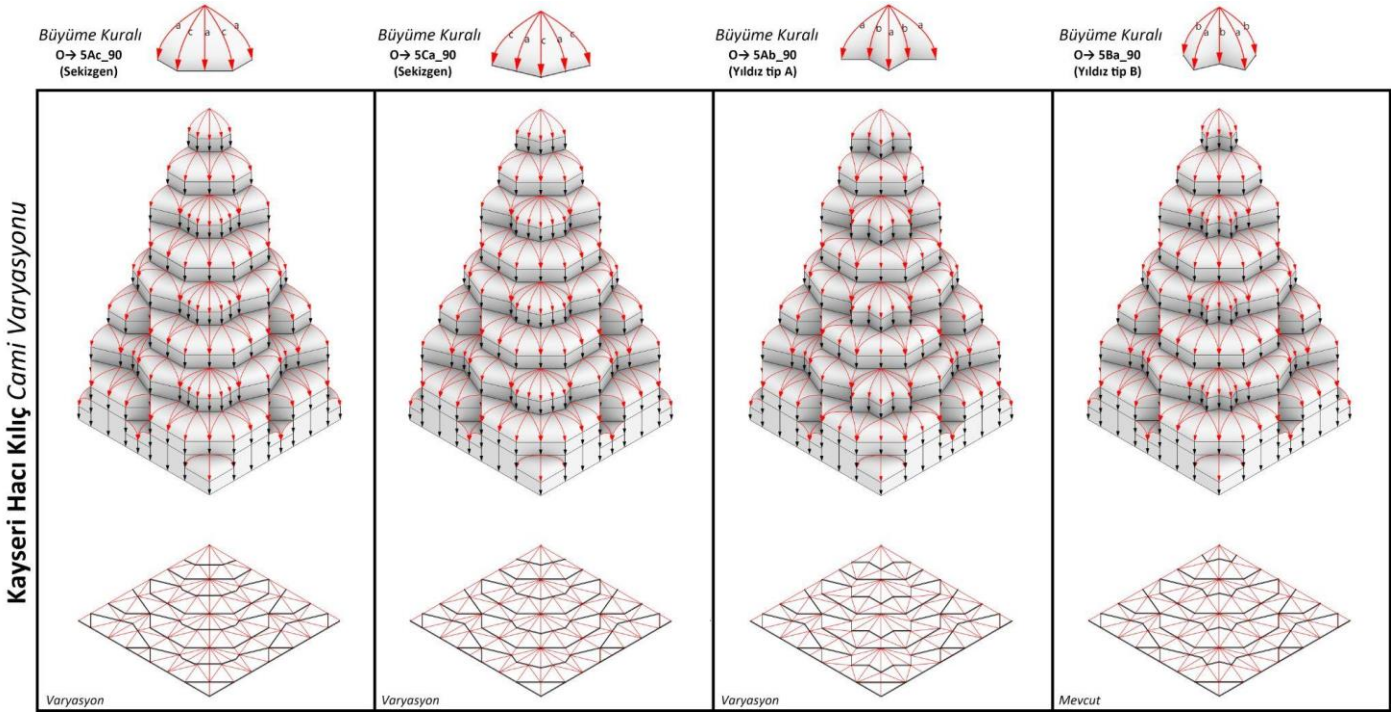



**Şekil 8.** Hacı Kılıç Cami mukarnası için geliştirilen L-Sistem kodlama arayüzü. Solda her katman için tariflenmiş dönüşüm kuralları, sağda katmanları tarifleyen uzunlukların liste olarak elde edilmesi ve parametrik modelleme arayüzüyle oluşturulan noktalar, akslar, katmanlar ve yüzeylerin modellenmesi.

**Şekil 9**'da Hacı Kılıç Camisi için üretilen prototip L-Sistem kodunun üç boyutlu modelleme üretimi ve parametrik kod arayüzü Rhinoceros ortamında gösterilmiştir. Geliştirilen parametrik modelleme arayüzü sayesinde incelenen tarihsel yapıların formları interaktif olarak modellenebilmekte ve varyasyonlar geliştirilen kodlama arayüzü sayesinde ortak bir model üzerinden incelenebilmektedir. Bu hesaplamalı modelleme aracıyla mukarnasın büyümeye dayalı varyasyonları ve farklı katman yükseklikleri ve parça büyümeleri üzerinden modellenmesi mümkündür.




**Şekil 9.** Hacı Kılıç Cami mukarnasının parametrik olarak üretilmesi. Yeşil çizgiler katmanları, kırmızı çizgiler katmanlar arasındaki hareket ve dönüşümleri, sarı yüzeyler ortaya çıkan mukarnas yüzeylerini ve siyah çemberler katmanlarda yer alan noktaları göstermektedir.




**Şekil 10.** Grasshopper üzerinde geliştirilen Hacı Kılıç Cami mukarnas varyasyonları.

Çalışmanın son etabında Hacı Kılıç Cami mukarnasının parametrik varyasyonları üretilmiştir (**Şekil 10**). Mukarnasın ilk katmanındaki dallanma kurallarının sekizgen ve iki farklı yıldız tipleri üzerinden modellenmesinde katmanlar arasındaki büyümeler için gerekli karakter katarları L-Sistem kodlamasında değiştirilmiş ve katmanlar arasındaki büyümelerdeki çakışmalar koordine edilmiştir. Bu yöntemde varyasyonlar üretmek için karakter katar ve dönüşüm kurallarının Grasshopper'da panellere girilmesi gerekmektedir ve kodlama altyapısının otomatik varyete üretme kapasitesi kısıtlıdır. Buna rağmen mukarnas kurallarının katmanlar özelinde tariflenmesiyle L-Sistem üzerinden mukarnasların parametrik modellenmesi ve varyasyonlarının üretilmesi mümkündür.

## 5. Sonuç ve Değerlendirme

Bildiri metni Grasshopper üzerinden geliştirilen Python kodlama arayüzüyle hazırlanan algoritmayı ve Hacı Kılıç Cami mukarnasının hesaplamalı sürecini sunmaktadır. Bu algoritmada tek merkezden ışınsal olarak dağılan döngüsel bir kural tariflenmiş ve mukarnasların tekrar eden katmanları geometrik parçalar kullanılarak parametrik olarak modellenmiştir. Üretilen tek merkezli mukarnasların parça, katman ve büyüme aşamaları parametrik olarak kontrol edilebilmektedir.

Hacı Kılıç Cami mukarnası üzerinden geliştirilen hesaplamalı yöntemlerle mukarnasları oluşturan üçgen planlı birimler arasındaki ilişkiler araştırılmış ve bu ilişkiler üzerinden saptanan bağlantı çeşitleri diyagramlara dönüştürülmüştür. Bu analizde mukarnasta L-Sistem benzeri büyüme prensiplerinin katmanlar arasında döngüsel olarak tekrar ettiği gözlenmiştir. Mukarnasın katmanları arasındaki büyümeler karakter katarları kullanılarak L-Sistem bazlı kodlama altyapısına aktarılmış ve taç merkezden başlayan tek ve çift rakamlı katmanlarda benzer büyüme kurallarının tekrarlandığı saptanmıştır. Yapılan analiz sonucunda mukarnasın döngüsel bir form hesaplaması sunduğu sonucuna varılmıştır.

Bildiride sunulan L-Sistem altyapısıyla mukarnas varyasyonlarını parametrik olarak üretmek mümkündür. Ancak varyasyon üretimi için gerekli kuralların geometrik olarak tariflenmesi parametrik olarak üretilen model üzerinden interaktif bir çalışma gerektirmektedir. Bu yöntemin hesaplama kapasitesini arttırmak için karakter katarları arasındaki trigonometrik ilişkilerin ve katmanlar özelindeki büyüme kurallarının sadeleşmesi gerekmektedir.

Mukarnaslar için sunulan L-Sistem benzeri döngüsel algoritmanın ilerleyen araştırmada döngüsel bir altyapıyla optimizasyonu planlanmıştır. Bu sayede mukarnası basitleştirilmiş seri kurallarla fraktal geometri olarak modellemek ve varyasyonlarını hızlıca türetmek mümkün olacaktır. Üretilecek fraktal geometri bazlı hesaplama yönteminin dijital miras özelinde alternatif bir parametrik hesaplama yöntemi sunarak tarihsel yapılarda büyüme, simetri ve geometri arasında yeni bir bağ kurması hedeflenmektedir.

**Teşekkür**

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 218K328 numaralı araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Projenin erken aşamalarında Sevgi Altun ve Mustafa Cem Güneş bursiyer olarak katkı sunmuştur.

## KAYNAKLAR

Agirbas, A., & Yildiz, G. (2020). Origin of irregular star polygons in ground projection plans of muqarnas. *Nexus Network Journal*, https://doi.org/10.1007/s00004-020-00516-x.

Alaçam, S., Güzelci, O. Z., Gürer, E., & Bacınoğlu, S. Z. (2017). Reconnoitring computational potentials of the vault-like forms: Thinking aloud on muqarnas tectonics. *International Journal of Architectural Computing*, *15*(4), 285-303.

Aslanpa, O. (1971). *Turkish Art and Architecture*. London, Fabe and Faber Limited.

Carpo, M. (2011). *The alphabet and the algorithm*, London, MIT Press.

Dinçer, S. G., & Yazar, T. (2021). A comparative analysis of the digital re-constructions of muqarnas systems: The case study of Sultanhani muqarnas in Central Anatolia. *International Journal of Architectural Computing*. https://doi.org/10.1177/1478077121992487

Dold-Samplonius, Y. (1992). Practical Arabic mathematics: Measuring the muqarnas by al-Kashi, *Centaurus*, *35*(3), 193–242.

Lindenmayer, A. (1968). Mathematical models for cellular interactions in development II. Simple and branching filaments with two-sided inputs. *Journal of Theoretical Biology*. *18*(3): 300–315. https://doi.org/10.1016/0022-5193(68)90080-5. ISSN 0022-5193.

Güzelci, O. Z., Alacam, S., Bayram, A. K. Ş., & Lacroix, I. (2021). Measuring the entropy of Sinan's Muqarnas patterns. *Nexus Network Journal, 23*(1), 85-105.

Hakkı, A. (2007) *Anadolu Selçuklu Dönemi Kervansarayları*, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, Ankara.

Hamekasi, N., Samavati, F.F. ,& Nasri, A. (2011, August 5–7). *Interactive modeling of muqarnas*, Proceedings of the International Symposium on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging, 129–136.

Harmsen, S., (2006). Algorithmic computer reconstructions of stalactite vaults -muqarnas- in Islamic Architecture, [PhD Thesis, University of Heidelberg].

Ödekan, A. (1977). *Osmanli öncesi Anadolu Türk mimarisinde mukarnasli portal örtüleri,* İstanbul, Istanbul Teknik Üniversitesi Mimarlik fakültesi baski Atölyesi.

Ögel, S. (1986). *Anadolu Selçuklu sanatı üzerine görüşler*, İstanbul, Matbaa Teknisyenleri Basımevi.

Öney, G. (1966). *Kayseri Hacı Kılıç Cami ve Medresesi*. Türk Tarih Kurumu Basımevi. s. 377-387.
Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*, London, Routledge.
Yaghan, M. A. (2000). Decoding the two dimensional Pattern found at Takht-i Sulayman into three-dimensional Muqarnas Forms, Iran, *38*(1), 77–95.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Sinan Camilerinde Kubbelerin Strüktürel Davranışının Hesaplamalı Tasarım Araçlarıyla Değerlendirilmesi

Necmettin Sancak [1]; Sema Alaçam [2]
[1,2] İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]sancakn18@itu.edu.tr; [1]https://aybu.edu.tr/mimarlik/tr/sayfa/1845/Akademik-Kadro; [2]mbl.itu.edu.tr, [2]alacams@itu.edu.tr

## Özet

*Klasik Dönem Osmanlı Mimarisinin çekirdeğini oluşturan Sinan Camileri (16.yy.), şehirlerin siluetlerine kattığı değerle, anıtsal nitelik taşıyan biçimiyle, strüktürel, akustik, deprem dayanımı vb. açılardan geliştirilen tasarım çözümleriyle, günümüz yapım tekniklerine ve mimarisine ışık tutmaya devam etmiştir. Sinan tarafından geliştirilen kubbe sistemlerinin günümüze kadar sağlam bir şekilde gelebilmesinin nedenleri, strüktürel çalışmalar, malzeme araştırmaları, biçim araştırmaları gibi pek çok çalışmanın konusu olmuştur. Sinan'ın 1539 ile 1588 tarihleri arasında inşa ettiği düşünülen yapılar arasında, merkezi plan çözümlemesi, büyük açıklık geçmeleri, kendine özgün taşıyıcı sistem çözümleri ile camiler ön plana çıkmaktadır. Kendinden önceki yapıların ötesine geçen ve özgün tasarım çözümleri içeren bu tarihi dönem yapılarını farklı yönleriyle inceleyen çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, günümüz hesaplamalı tasarım ve üretim araçlarıyla Sinan Camilerindeki kubbeleri ve taşıyıcı sistemleri derinlemesine ele alan ve yeni tasarımlar için tasarım ilkeleri/ parametreleri/ modelleri öneren yaklaşımlar kısıtlıdır. Bu noktada Sinan Camilerinin taşıyıcı sistem ve kubbe sistemlerinin hesaplamalı geometri aracılığıyla temsil süreci belirsizlikler içermektedir. Var olan yapılı çevrenin 2 boyutlu rölöve çizimleri ve yapıların kendileri esas alınsa dahi, 3 boyutlu hesaplamalı modeldeki temsilleri önemli bir araştırma alanıdır. Bu çalışma, Sinan Camilerindeki kubbe sistemlerinin ve taşıyıcı sistemin parametrik/algoritmik modele aktarılabilirliğini sorgulamayı ve kubbelerin strüktürel davranışlarının hesaplamalı tasarım araçları yardımıyla analiz edilerek, gözleme dayalı deneysel bir çalışma ile sayısal modelin karşılaştırılmasını amaçlar. Bu aşamada, kubbe geometrisini statik ve bitmiş tekil bir katı geometri olarak ele almak yerine, çeşitli parametreler ve bu parametreler arasında kurulan ilişkiler bütünü olarak ele almak çalışmanın temel kabulleri arasındadır. Bu parametreler çalışma kapsamında, kubbe yapımında kullanılan tuğla boyutu, kubbe formu, kubbe açıklığı ve kubbe taşıyıcılarını esas alarak ele alınmıştır. Karşılaştırmalı analiz modeli için çalışmada Reha Günay'ın önerdiği strüktürel sınıflandırmaya bağlı olarak, inşa edildikleri dönem, sahip oldukları taşıyıcı sistem ve kubbe tipleri gibi farklılıklar gözetilerek 5 Sinan Camisi seçilmiştir. Sayısal ortama aktarılan cami kubbelerinin strüktürel davranış analizleri, gözleme dayalı deneysel çalışma kapsamında eklemeli üretim yöntemiyle elde edilen fiziksel modellerin bulgularıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen analiz sonuçlarının ve bulguların, Sinan Camileri üzerine olan strüktürel çalışmalara dair literatüre katkı sağlayacağı ve mimarlar, mimarlık tarihçileri, strüktürel tasarımcılar tarafından kaynak olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Mimar Sinan camileri, kubbe sistemleri, kubbenin strüktürel davranışı, hesaplamalı tasarım araçları, strüktürel analiz.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Sancak, N., & Alaçam, S. (2021). Sinan camilerinde kubbelerin strüktürel davranışının hesaplamalı tasarım araçlarıyla değerlendirilmesi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 194–204). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Evaluation of the Structural Behaviour of Domes in Sinan Mosques Through Computational Design Tools

Necmettin Sancak [1]; Sema Alaçam [2]
[1,2]Istanbul Technical University
[1]sancakn18@itu.edu.tr; [1]https://aybu.edu.tr/mimarlik/tr/sayfa/1845/Akademik-Kadro; [2]mbl.itu.edu.tr, [2]alacams@itu.edu.tr

## Abstract

*The Sinan Mosques (16th century) represent masterpieces of the Classical Period of Ottoman Architecture. The Sinan Mosques still continue to shed light on today's construction techniques and architecture in terms of the value they add to the silhouettes of cities, their monumental forms, design solutions developed in the context of structural, acoustic, earthquake resistance. The reasons why the dome systems developed by Sinan have remained resilient until today have been the subject of many studies such as structural studies, material researches, and form studies. Among the buildings that have been constructed between 1539 and 1588 by Sinan, mosques stand out with their central plan solutions, large openings, and unique structural system solutions. Although there are various studies that investigate these historical structures, which go beyond the previous architecture and contain original design solutions, the studies revisiting the domes and structural systems in Sinan Mosques with today's computational design and production tools are limited. However as precedents they provide useful insights to develop new design principles/parameters/models. In this context, the process of representing the structural and dome systems of Sinan Mosques through computational geometry contains uncertainties to be explored. Even if the 2D survey drawings of the existing built environment and the buildings themselves are taken as a basis, their representation in a 3D computational model still remains an important research topic. This study aims to investigate the representability problem of the dome and the structural system in Sinan Mosques in a digital environment through parametric/algorithmic methods. With this aim, the structural behavior of Sinan domes were analysed through computational design tools and compared to physical models generated through the 3D fabrication tools. One of the basic assumptions of the study is to consider the geometry of the dome as the whole of various parameters and the relations established between these parameters, instead of approaching it as a solid and monocoque form. In the scope of this study, the parameters such as brick size, form of the dome, radius of the dome and the structural elements carrying the dome are used. For the comparative analysis model, 5 Sinan Mosques were selected, taking into account differences such as the period they were built, the carrier system and dome types they had, depending on the structural classification made by Reha Günay. The results of the structural behaviour analysis made in a digital environment were compared to the findings and outcomes obtained from an experiment setup. The experiment setup consists of a physical model of one of the selected domes that was fabricated through a 3D printer in the scale of 1:200. The findings, outcomes and the results of the study are expected to contribute to the literature on structural studies on Sinan Mosques, as well as architects, architectural historians, and structural designers.*

***Keywords:*** *Architect Sinan mosques, dome systems, structural behaviour of dome, computational design tools, structural analysis.*

**Citation in APA Style:** Sancak, N., & Alaçam, S. (2021). Computational analysis of the Muqarnas in Kayseri Hacı Kılıç Mosque. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 194–204). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

Tarihi yapıların analizinde karşımıza çıkan güçlüklerden birisi, dönemin yapılarının inşasında kullanılan yapma biçimlerinin, günümüzde kullanılan mimari temsiller ve yapma biçimlerinden farklılaşmasıdır. Bu nedenle, Sinan'ın günümüze ulaşan, akustik performans, strüktürel dayanım, mekansal eklemlenme açısından zenginlik gösteren yapılarının tasarımına ilişkin ulaşabildiğimiz bilgi çok kısıtlıdır. Klasik Dönem Osmanlı Mimarisi kapsamında önemli eserler bırakan Mimar Sinan'ın günümüze ulaşan yapıları da bu belirsizlikten payını almaktadır. Örneğin, Sinan Camilerinde yığma kubbelerin statik hesaplarının inşa edildikleri dönemde nasıl ele alındığı ya da günümüzdeki hesaplamalı tasarım ve modelleme araçlarıyla nasıl yapılabileceği hala muğlaklığını korumaktadır.

Klasik Osmanlı Dönemi cami mimarisinin en belirgin ve önemli özelliği, Anadolu'daki gelişmenin üç yüz yıllık bir deneme döneminden sonra imparatorluğunun gücünün camilerde de yansıtılması amacıyla yapının anıtsal olacak şekilde biçimlendirilmesinde kubbenin ana mimari öge haline dönüşmüş olmasıdır (Kuban, 1967; Çorbacı, 1998). Kübik bir yapı yaklaşımıyla kubbenin diğer kubbeler ve yapının diğer elemanlarıyla ilişkilerinin kurulmasında gösterilen ustalık, merkezi mekan fikri ve strüktürel çözümü sayesinde, mekan ve dış kütle kompozisyonları son noktasına ulaştırılmıştır (Kuban, 1967; Aksoy, 2001). Strüktürel açıdan Klasik Osmanlı Camileri incelendiğinde anıtsal mekanlar beraberinde taşıyıcı sistem gelişmelerini getirmiş, kubbelerde daha az taşıyıcı ile daha geniş açıklıkları geçecek şekilde düzenleme çabası görülmüştür (Çorbacı, 1998; Özçakı, 2018). Dönemin teknik yeterliliklerine göre merkezi mekan sınırlarının tek kubbe ile örtülmesinde belirli bir ölçünün üzerine çıkılmasının oldukça zor olması, ana kubbenin beden duvarlarından sıyrılıp dört, altı veya sekiz ayak sayısına sahip bir merkezi baldakene oturtularak çözülmüştür (Tuluk, 2006). Osmanlı Mimarisini kubbe kullanan diğer dünya üsluplarından ayıran özellik geliştirilen baldaken sisteme bağlı olarak, merkezi kubbenin yarım, çeyrek, küçük kubbeler ve diğer örtü elemanları ile desteklenerek örtü sisteminin şaşmayan homojenliği ve biçimin sadeliği içinde mimari tasarımın kubbeye bağlı gelişen strüktürel tavrı olmuştur (Kuban, 1988; Aksoy 2001).

1540-1585 tarihleri arasında yapılmış Sinan Camilerinde ise, bir yandan o zamana kadar denenmiş planlarda işlev, kültüre uygun nitelikler ve merkezi mekan kurgusu en olgun uygulamalarla geliştirilirken, bir yandan yapı anlayışında yeni bir eğilim başlamıştır. Klasik şema içerisinde, biçim ve strüktür açısından en olgun kompozisyona ulaşıldıktan sonra yeni örtü ve cephe düzenleri geliştirilmeye devam etmiştir (Erzen, 1981). Kuran'a (1988) göre "Sinan'ın camilerinde bulduğumuz başlıca özellik simetri ve denge ilkelerine dayalı merkezi planlama kavramıdır. Sinan'ın camilerinde kitle dikeyleşir, iç mekan bütünlüğe kavuşur, binanın iç mekanı ile dış biçimi arasında arkitektonik bir bağlantı kurulur. Geleneksel içe dönük cami yapısı Sinan'la birlikte dışarıdan algılanan bir mimari düzene ve alımlı cephelere kavuşur, Osmanlı sanatına yeni bir estetik anlayış hakim olur."

Sinan'ın mimari kariyerinin başlangıcından itibaren anıtsal mekanı tanımlayan camiler oluşturmada çözmeye çalıştığı problem temelde, büyük ve bütüncül bir mekanın nasıl yaratılacağı ve mümkün olan minimum elemanla ve optimum doğal aydınlatmayla desteklenmiş bir süper strüktürün bu mekana nasıl adapte edileceğidir (Sözen, 1988; Aksoy 2001). Tüm geleneksel strüktür elemanları gibi kubbe ve tonoz belli bir boyuttan sonra kendi kendilerini taşıyamaz duruma geldiklerinden uygulanabilirliklerini kaybetme eğilimindedirler. Bu konuyla ilgili strüktürel açıdan iki ana problemden ilki kubbe çapının nasıl genişletileceği, ikincisi ise kubbe ağırlığının temele nasıl transfer edilebileceğidir (Aksoy, 2001). Sinan kubbeli planda olabilecek tüm varyasyonları gözlemlediği yapılar üzerinde inceleyerek ve deneyerek iki problemi de başarıyla çözmüştür.

Bu çalışma Sinan Camilerindeki kubbe elemanını, yalnızca tekil ve bitmiş bir biçim ya da strüktür olarak değil, kubbeyi destekleyen strüktürel elemanlar ve kubbenin farklı geometrik ilişkilerle temsili ile birlikte, güncel biçim araştırmaları için bir deney alanı olarak ele almaktadır.

### 1.1. Kapsam

Çalışma kapsamında Reha Günay'ın (2002) yaptığı (kare tabanlı-tek kubbeli, kare tabanlı-yarım kubbeli, altıgen tabanlı, sekizgen tabanlı, çok tabanlı-çok kubbeli, sakıflı) strüktürel sınıflandırma ve Tezkiretü'l-bünyan'da (Çelebi, 2003) Sinan'ın kendi ifadeleri ile ele aldığı, yapıldıkları dönem, kullanılan yerli malzeme, fiziksel çevre koşulları, yapım tekniği, örtü sistemi gibi farklılıklar gözetilerek 5 Sinan Camisi seçilmiştir. Bu camiler Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisi (kare tabanlı-tek kubbeli), Şehzade Camisi (kare tabanlı-yarım kubbeli, çıraklık eseri), Süleymaniye Camisi (kare tabanlı-yarım

kubbeli, kalfalık eseri), Kara Ahmed Paşa Camisi (altıgen tabanlı), Selimiye Camisi (sekizgen tabanlı, ustalık eseri) olarak belirlenmiştir.

Sinan kubbeyi oluştururken birçok parametreyi aynı anda ele alarak bir sonuç ürün ortaya koymuştur. Bu parametrelerden bazıları; kubbe ağırlığı, kubbe çapı, kubbe yüksekliği, kubbe elipsi, kasnak genişliği, pandantif genişliği, sütun sayısı, pencere sayısı, payanda sayısı, statik yük, dinamik yük, duvar kalınlığı, geometrik orta, kullanılan malzeme şeklinde ifade edilebilir. Çalışma kapsamında kubbeyi oluşturan bu parametrelerden tuğla boyutu, kubbe formu, kubbe açıklığı ve kubbe taşıyıcıları esas alınarak analizler yapılmıştır.

### 1.2. Yöntem

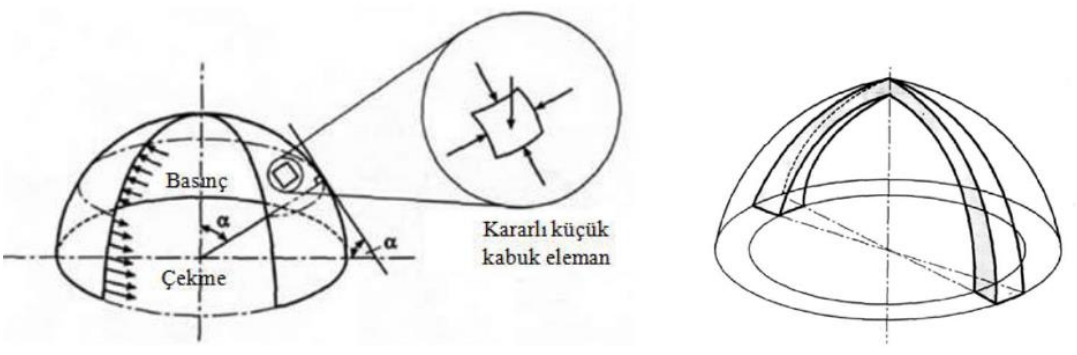
Çalışma kapsamında seçilen Sinan Camisi kubbe sistemleri, Ali Saim Ülgen (1989) rölöveleri esas alınarak sayısal ortamda 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Sayısal ortamdaki 3 boyutlu model, katı model (brep: boundary representation), ağ geometrisi ile yüzey modeli, kubbe sistemlerinin parametrik modeli, kubbe sistemlerinin farklı ölçüde tuğladan oluştukları kompozisyonlar için geometrinin bölümlenme denemelerini içermektedir. Başka bir ifadeyle, sayısal ortama aktarılan veriler ışığında incelenen beş Sinan Camisinin kubbe sistemleri modellenmiş ve tuğla boyutu, kubbe formu, kubbe açıklığı ve kubbe taşıyıcıları esas alan parametrik bir model geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen camilerin mevcut kubbe davranışları Grasshopper programının bir eklentisi olan Millipede aracılığıyla dijital ortamda analiz edilmiştir. Seçilen beş camiden bir tanesinin 3 boyutlu yazıcı aracılığıyla fiziksel modeli oluşturulmuş, farklı yük ve basınçta strüktürel davranışları gözlemlenmiştir. Sayısal ortamda yapılan strüktürel analiz ile fiziksel ortamda oluşturulan fiziksel modelin gözleme dayalı strüktürel analizi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

## 2. Kubbe

Kubbe kelimesi, Arapça'daki 'Gobbe' kelimesinin Türkçe'ye geçmesi sonucu oluşmuştur. Hasol'un Mimarlık Sözlüğü'nde (1998) kubbe; "küre takkesi, yarım küre veya toparlakça kümbet biçimi verilen yapı örtüsü; bir kemerin, yayının tepe noktasından inen dik eksen çevresinde dönmesiyle meydana gelen üst örtü" olarak tanımlanır. Tarih öncesi çağlardan modern zamanlara kadar birçok toplum geleneksel yapı malzemelerini kullanarak dünya mimarlık tarihinin simgesel ve işlevsel biçimlerinden kubbeleri inşa etmişlerdir. İlk kubbenin ne zaman inşa edildiği bilinmemesine karşın, eski kubbe yapıları tarihsel süreçte gözlemlenmiştir. Kubbeler, antik çağlardan modern çağlara geçişte büyük mekan yapılarının örtü sistemlerini oluşturmuşlardır. Akdeniz çevresinde ortaya çıktığı düşünülen bu strüktür, Osmanlıdan önce Sasani, Ermeni, Roma ve Bizans mimarilerinde kullanılmış ve önemli bir strüktür elemanı olmuştur (Tuluk, 2006).

### 2.1. Kubbenin Temel Bileşenleri

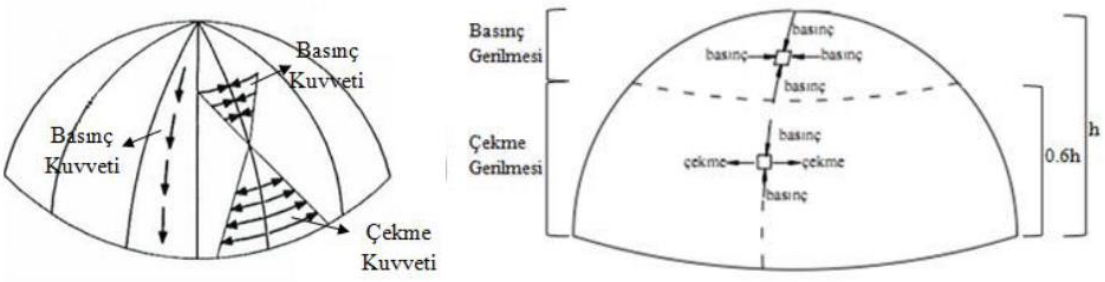
Strüktürel açıdan kubbe, yüzeyinde, temel üç gerilme olan eğilme, basınç ve çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Ancak yük aktarım sisteminin anlatımını basitleştirmek için kubbenin çift eğrilikli strüktür geometrisinin getirdiği, kubbe yüzeyindeki gerilmelerin ihmal edilebilecek düzeyde olması ve kubbe bir dizi kemer olarak dikkate alınacak şekilde kabul edilmiştir **(Şekil 1)**. Dairesel gerilmeler, kubbe şekli ve yük dağılımından dolayı kubbe tabanına doğru inildikçe basınç gerilmesinden çekme gerilmesine dönüşmektedir (Savaşır, 2016).




**Şekil 1:** Kubbe üzerinde basınç ve çekme bölgesinin gösterimi ve kemer dilimleri (Uçak, 2012: 3)

Sinan'ın yapılarındaki kubbe, tekil bir geometri değil, payandalar, ayaklar ve kemerler gibi destek ve geçiş öğeleri ve örtüden oluşan ve bütünsel çalışan strüktürel bir sistem olarak Horasan Kargiriyle yığma olarak oluşturulmuştur. Kubbesel bir örtünün alt bileşenleri: örtü, kemer, payanda ve geçiş öğeleri olarak sıralanmaktadır (Ahunbay, 1988; Bilgin, 2006).

Yığma kubbelerde yükler, meridyenler doğrultusunda kemerdeki yük aktarımına benzer şekilde basınç gerilmesiyle mesnetlere iletilir (Bilgin, 2006; Savaşır, 2016; Baratta ve Corbi, 2012). 19. Yüzyıl'ın başlarında yapılan statik analizler sonucunda kubbenin yüzeyinde gerçekleşen (paraleller boyunca) yataydaki çekme ve basınç gerilmeleri ile (meridyenler boyunca) düşeydeki basınç gerilmelerinin bölgeleri paraleller yönünde (Cowan, 1977) yüksekliğin 1/3'lük üst bölümünde basınç, 2/3'lük alt bölümünde ise çekme gerilmesi olarak belirlenmiştir (**Şekil 2**).




**Şekil 2:** Yığma kubbelerde oluşan düşey ve yatay gerilmeler (Çelebi, 2001: 12)

Kargir malzemenin çekmeye karşı dayanımının çok düşük olması nedeniyle kubbelerin etek kısmında açılma olmaması için, yanal hareketi engellenmiş mesnetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Mimar Sinan'ın yarım kubbelerle ana kubbeyi desteklemeye çalışması bu sorun nedeniyle geliştirilen çözümlerdir (Savaşır, 2016).

### 2.2. Sinan Camilerinde Kubbe

Kuban (1988:581) Sinan'ın baş mimarlık yaptığı 1538-1588 dönemde Sinan'ın katkıları için, "kendinden önce var olanları olağanüstü bir çeşitlilikte geçmesi" ifadesini kullanmaktadır. Yine Kuban (1988: 581) Sinan'dan: "dünya mimarlık tarihine büyük kubbeli yapıya yeni bir kimlik kazandıran, bir mimari üslubu bütün boyutlarıyla geliştiren ve kubbeli yapının varlığında potansiyel olarak bulunan mekan strüktürlerini açıklığa kavuşturan bir yaratıcı" olarak söz etmektedir. Sinan'ın bütün yapıları içinde, Osmanlı Klasik Mimarlığına kimlik kazandıran en önemli katkılarından biri anıtsal camiler ve kubbelerdir (Kuban, 1988; Günay, 2002; Antel, 2013; Karaesmen, 2013). Strüktürel açıdan Ayasofya'dan esinlenerek geliştirdiği düşünülen Sinan Camilerinde, Baldaken sistem olarak adlandırılan taşıyıcı sistem ile kubbelerin geçtiği açıklığı artırabilmesi ve bunun sonucu olarak farklı tipte kubbe varyasyonları oluşturulduğu gözlemlenmektedir (Benian, 2011; Sqour, 2016). Dönemin kubbelerini kendinden önceki örneklerden ayıran temel özellikleri ise homojen bir örtüden oluşmaları, biçimsel ve strüktürel sadelikleri olarak kabul edilmektedir (Kuban, 1988).

Sinan yapılarında kubbeler yalnızca simgesel bir örtü değil aynı zamanda strüktürel ve iç ile dış arasındaki mekansal ilişkiyi zenginleştiren bir öğe olarak kullanılmaktadır (Erarslan, 2018). Kuban'ın (1988) ifadesiyle Sinan'ın geliştirdiği "kubbe kompozisyonları aynı zamanda bir mekan ve kütle biçimlendiricidir". Mekansal hiyerarşide kubbe, "yapının ağırlık merkezi"nde konumlanırken (Bilgin, 2006), diğer yandan da taşıyıcı sistemin çıkış noktasında (Günay, 2002) yer almaktadır. Strüktürel sistemin ayaklar, payandalar, yarım kubbeler gibi diğer öğeleri merkezi kubbeyi destekleyecek ve onunla birlikte çalışacak şekilde biçimlenir (Bilgin, 2006, Benian, 2011). Bu bağlamda kubbenin en üstünde yer alan kilit taşı (kubbenin üst bölümünde boşluk bırakılmadığı durumlarda) strüktürel sistemin hem başlangıç hem de bitiş noktası olarak değerlendirilebilir. Örtünün yükü kilit taşından başlayarak her seferinde komşu elemanlara aktarılarak zemine kadar iletilir (Bilgin, 2006). Erarslan (2018) ise kubbelerin strüktürel rolünün yanısıra, mimari kompozisyon açısından öneminin altını çizer. Necipoğlu (2013) ise Sinan'ın çağdaşları gibi katı bir orantı sistemine odaklanmak yerine, mekansal hacimler ile kabuk arasında bir uyum arayışı gözeten daha esnek bir orantı anlayışını benimsediğini işaret eder. Böylelikle kubbe ve kubbenin etkileşim halinde olduğu diğer taşıyıcı sistem elemanları, aynı zamanda cepheyi hareketlendiren bir kompozisyon elemanı gibi çalışabilmiştir.

Farklı strüktürel özellikler taşıyan kubbelerin ortak özelliklerinden birisi tümel ve merkezi mekan vurgusu sağlamalarıdır ve kubbe dışındaki mimari öğeler bütünleyici niteliktedir (Kuban, 1988). Camilerin iç mekanında ibadet edenlerin sıralar halinde yerleşebilmesi ihtiyacından kaynaklanan dörtgen zemin biçimlenmesi ile yarı-küresel üst örtü arasında biçimsel bir farklılık oluşmaktadır (Necipoğlu, 2013). Sinan için bu farklılık, mekansal, strüktürel ve geometrik olarak varyasyon oluşturmasına olanak sağlayan bir deney alanı haline gelmiştir. Diğer bir ortak özellik ise malzeme kullanımıdır. Kubbeli örtü sistemlerinde Horasan Kargiri, duvarlar ve ayaklarda ise taş kullanılmıştır (Bilgin, 2006). Doğal taş ve/veya pişmiş tuğla ve bağlayıcı harcın birlikte kullanımından oluşan "kargir" (Bilgin, 2006), basınca karşı dayanım gösterirken çekmeye karşı zayıf bir strüktürel davranış sergiler. Dolayısıyla malzemenin mekanik özellikleri, geometrisi, kubbenin geometrisi, kubbeye etki eden yüklerin niteliği (yayılı, hareketli, sabit vb.) ve dağılımı gibi taşıyıcı sistem performansına etki eden çok sayıda faktör söz konusudur. Bilgin (2006: 124) kargir malzemeyle yapılmış olan yapılarda dikkat edilmesi gereken nitelikleri 2 maddede özetler:

- "Yükler etkisi altında taşıyıcı elemanlarda oluşan maksimum basınç gerilmelerinin malzemenin basınç emniyet gerilmesini geçmemesi"
- "Taşıyıcı elemanlarda oluşan çekme gerilmelerinin çatlama oluşturacak mertebelere ulaşmamış olması"

Strüktürel performansı etkileyen bu iki niteliğin de yapının geometrisiyle ilgili olduğu ve Sinan yapılarında göz önünde bulundurulduğu görülmektedir (Bilgin, 2006).

## 3. Strüktürel Analiz

Sinan'ın camilerinde kubbenin strüktürel ve biçimsel olarak ulaştığı nokta, çağının ötesinde bir katkı olarak nitelendirilebilir. Camilerde kullanılan baldaken ayak sistemi ve merkezi kubbelerin yarım ve çeyrek kubbelerle destekleniyor olması, kubbe üzerindeki yüklerin homojen bir şekilde taşıyıcı ayak ve duvarlara iletilmesini, yapı dayanımının süresinin artmasını sağlamaktadır. Sinan mimarlık hayatı boyunca baldaken ve kubbe sistemi üzerine birçok deneme yapmış, strüktür tasarımlarını mükemmele yakınlaştırmıştır. Çalışmanın bu kısmında belirlenen 5 Sinan Camisinin dijital ortamda hesaplamalı tasarım araçları yardımıyla strüktürel açıdan analizi ve bir kubbe üzerinden fiziksel model ile strüktürel davranışın karşılaştırılması sağlanmıştır.

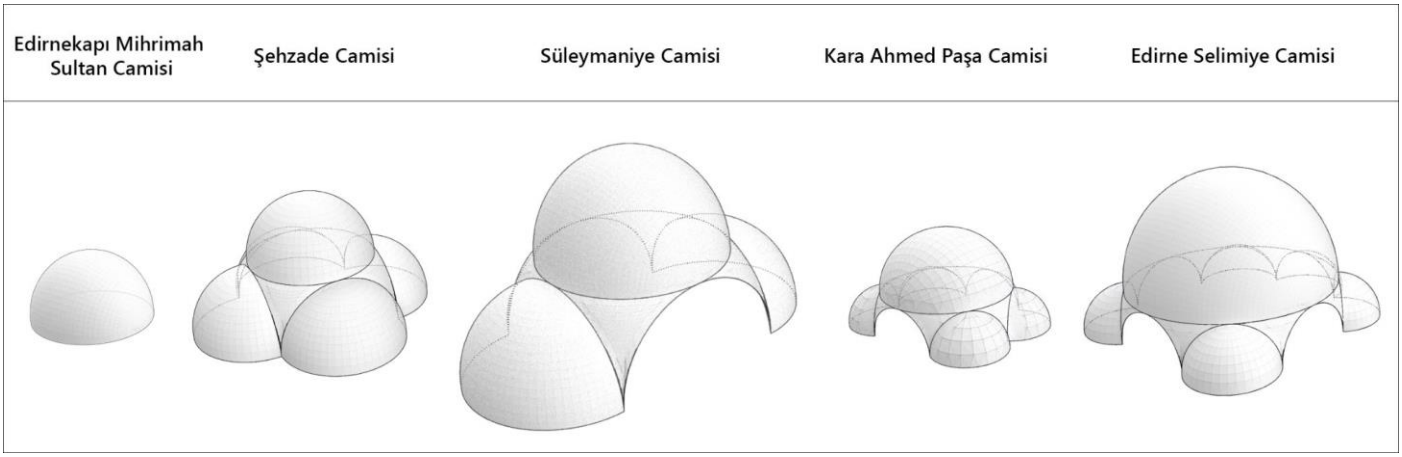
### 3.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalar

Sinan Camilerinin sayısal ortama aktarımı ve parametrik olarak modellemesine Yazar'ın (2003) oluşturduğu uzman sistem modeli, araştırmacının belirlediği 20 Sinan camisinin taşıyıcı sistemini odak olan, birim elemanların değişkenler listesi oluşturularak katı modellerinin elde edildiği bir parametrik model olarak literatürde karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında tarihi yığma kubbeler üzerine Uçak'ın (2012) kubbelerin strüktürel davranışlarının tespiti için oluşturduğu operasyonel analiz modeli bulunmaktadır. Sinan Camileri üzerinden kubbe sistemleri restorasyon projelerinde kubbelerin strüktürel dayanım açısından analiz edilmesini sağlayan analiz modellerinde görülmektedir (Çılı ve diğ., 2011). Son 10 yılda ise yığma kubbe yapım tekniğinden desteklenerek geliştirilen kabuk sistemlerin hesaplamalı tasarım araçlarıyla strüktürel olarak optimizasyonu (Dimcic, 2011), yığma kubbelerden elde edilen veriler ışığında daha hafif bir kubbe oluşturabilmek için strüktür sistemi üzerine yeniden üretim çalışmaları (Fellas, 2018), kubbe sistemlerinin belirlenen parametrelere bağlı oluşturulan CICERO gibi parametrik kubbe araçları (Dos Santos ve Beirão, 2019), yığma sistemle oluşturulmuş tonoz ve kubbelerin beton dökümü yapabilen 3 boyutlu yazıcı yardımıyla malzeme ve strüktür deneylerinin yapılması (Carneau ve diğ., 2019), yığma kubbelerde kullanılan tuğlanın toprak tübüllerden oluşması ile yapılan malzeme ve strüktür deneyleri (Scuro ve diğ., 2018), hesaplamalı tasarım araçları ile oluşturulan modellerin dijital fabrikasyon araçlarıyla üretimi (**Şekil 3**) (Rippmann ve Block, 2011a; Rippmann ve Block, 2011b; Rippmann ve diğ., 2013; Rippmann ve Block, 2013) ve Sinan Camilerindeki biçim ve strüktür ilişkisini sayısal tasarım araçları ile alıp camiler için grafik kodlama dili geliştirme (Sancak ve Alaçam, 2021) gibi strüktürel optimizasyon, parametrik modelleme, malzeme deneyleri, hesaplamalı tasarım araçları ve dijital fabrikasyon konuları önem kazanmıştır.

**Şekil 3:** MLK Jr. Park Stone Vault projesi fiziksel modelinin strüktürel davranışı analizi (Rippmann ve Block, 2013: 11)

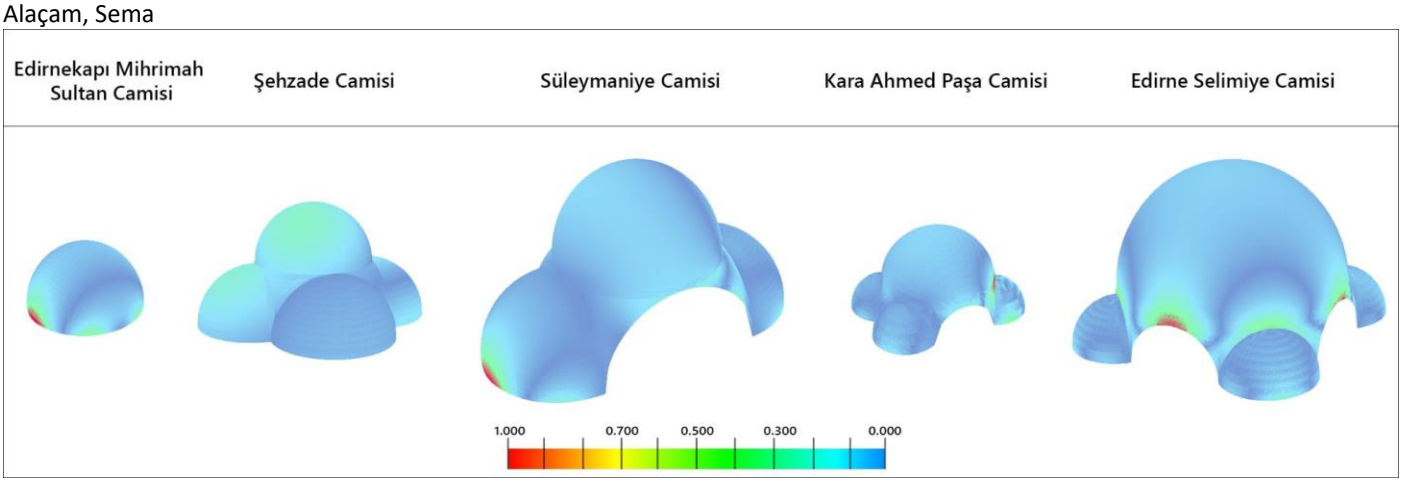
### 3.2. Dijital Ortamda Strüktürel Analiz

Çalışma kapsamında seçilen beş cami sayısal ortama aktarılırken, Ali Saim Ülgen (1989) rölöve çizimleri esas alınmış, camilerin yalnızca kubbe ve geçiş elemanları modellenmiştir. Katı modelleri oluşturulan camilerin, geleneksel yığma yapım tekniği esas alınarak parametrik modeli oluşturulmuştur. Parametrik model ile kubbeler eş parçalara bölünmüş (**Şekil 4**), birim tuğlaların boyutları, diziliş biçimleri ve tuğla sayısı çalışma kapsamında belirleyici kıstaslar olarak ele alınmıştır.




**Şekil 4:** Seçilen camilerin kubbe ve geçiş elemanlarına göre katı modelleri

Geleneksel yığma kubbe tekniği ile oluşturulan camiler, Millipede eklentisi içerisinde sistemi oluşturan tuğla birimi boyutları, birim elemanın malzeme bilgisi, sisteme etki eden düşey yük ve kubbeyi taşıyan destek tipi parametrelerine bağlı olarak analiz edilmişlerdir (**Şekil 5**). Sinan Camilerinin kubbelerinin oluşumundaki tuğla sayısı ve boyutları kesin olarak bilinmediğinden, taranan kaynaklara bağlı olarak ölçüler belirlenmiştir.

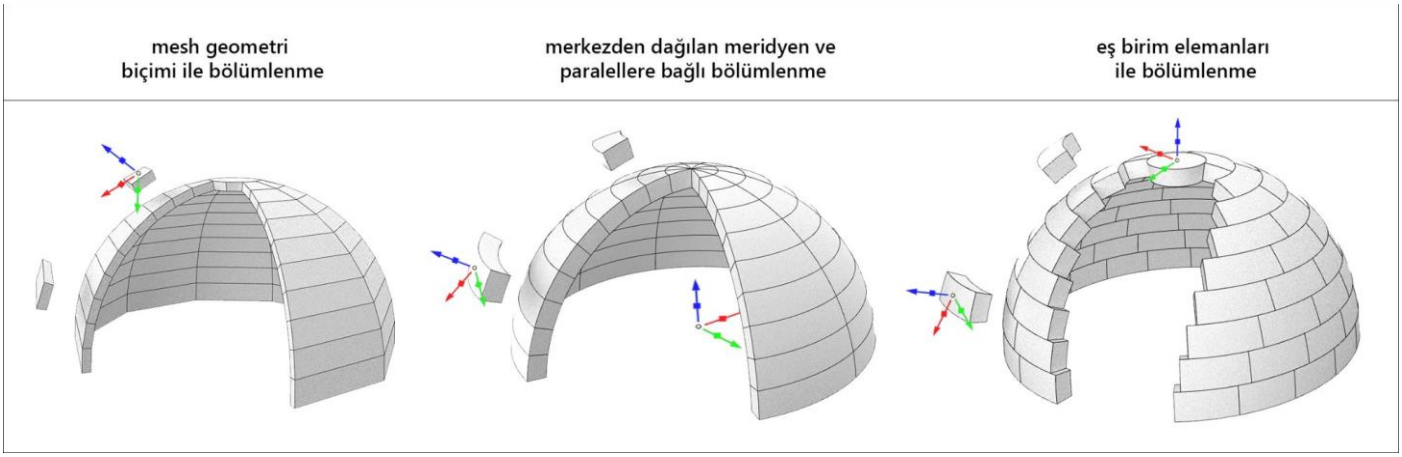



**Şekil 5:** Sinan Camilerindeki kubbe sistemlerinin sayısal ortamda Millipede eklentisi ile strüktürel analizi

Yapılan strüktürel analiz sonuçlarına göre Sinan Camilerinde yük aktarımının homojen olarak sağlanabildiği görülmüş, merkezi kubbeyi destekleyen yarım kubbelerin strüktürel dayanımı artırdığı saptanmıştır. Kubbeleri etkileyen yükler kilit taşından (kubbenin en üst birimi) başlayarak kubbe eteklerine iletilmiş ve taşıyıcılara aktarılmıştır. Analizlerde merkezi kubbe ile taşıyıcılar ve yarım kubbeler arasındaki geçişi sağlayan pandantif öğesinin birleşim noktalarında ve yüklerin zemine aktarıldığı mesnet bölgelerinde davranış farklılıkları saptanmıştır. Ancak bu strüktürel davranışın kubbelerin dayanımını etkileyecek boyutta olmadıkları gözlemlenmektedir.

### 3.3. Fiziksel Ortamda Strüktürel Analiz

Yığma yapım tekniğinin, özellikle yığma kubbenin sayısal ortamda temsili çalışmanın zorlayıcı kısımlarından biri olmuştur. Sayısal tasarım araçlarında küreden türetilen kubbe formunun alt parçalara ayrılmasında birden fazla alternatif bulunmaktadır (**Şekil 6**). Bunlardan birisi, kubbe formunun 3 boyutlu modelleme programlarının kütüphanelerinin sağladığı ağ geometrisine (mesh) otomatik dönüştürme işlemidir. Ancak katı bir modelin otomatik olarak ağ geometrisine dönüştürülmesinde elde edilen geometri, yığma olarak çalışan bir formun fiziksel olarak üretiminde yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Diğer bir bölümleme yöntemi, kubbe formunun en üst noktasını merkez kabul ederek, noktadan geçen yatay düzlemi toplamı 360 derece olacak şekilde eş dilimlere ayırmak ve bunun kubbe yüzeyine izdüşümünü almaktır. Ancak kubbe formu eş dilimlere ayrıldığında, kubbenin üst bölümleri ile alt bölümleri arasındaki alt parçaların ebatlarının çok farklılaşmakta olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle, düşey (meridyen) ve yatay (paralel) dilimlere ayrılmış olan kubbe formunun en alt sıra elemanlarının kubbenin üst sıralarına doğru daraldığı görülmektedir. Çalışma kapsamında kubbenin eş alt parçalara ayrılması fiziksel üretim sürecinin ilk aşamasını oluşturmaktadır.




**Şekil 6:** Kubbenin ölçekli maketinin dijital fabrikasyonuna yönelik sayısal ortamdaki farklı temsil biçimleri

Parametrik modelin eş parçalara ayrılan kubbe yüzeyi parçaları (tuğla birimleri) sonrasında, yığma kubbenin yapımında kullanılan Horasan harcının yerine fiziksel modelde lamba-zıvana prensibi esas alınarak birleşim detayları oluşturulmuştur (**Şekil 7**). Fiziksel modelin üretimi için son olarak stereotomik mantıkta birim elemanların montaj kolaylığını sağlamak için tuğlalara parametrik bir modelle numaralandırmalar yapılmıştır. Başlangıçta kubbenin genel davranışının algılanabilmesi açısından fiziksel model için örnekler içerisinden basit kubbe çözümlü Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisi seçilmiştir. Birim elemanları oluşturulan cami kubbesi dijital fabrikasyon araçlarından biri olan üç boyutlu yazıcı ile 1/200 ölçekte 50 adet tuğla biriminden oluşacak şekilde üretilmiştir.

**Şekil 7:** Fiziksel model için geliştirilen üretim tekniği ve elemanları

Kubbeyi oluşturan tuğla birimleri fabrikasyon süreci için geliştirilen etiketlere göre birleştirilmiştir. Montaj işlemi tamamlandıktan sonra farklı boyutta basınç çubukları yardımı ile verilen düşey yük altında kubbenin strüktürel davranışı gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Kubbeye kilit taşı üzerinden verilen yükün boyutuna bağlı olarak kubbede alt birimlerden başlayan bir deformasyon saptanmış ve yükün artırılmaya devam edilmesi ile kubbe etek kısmından yayılarak çökmüştür (**Şekil 8**).

**Şekil 8:** Fiziksel modelin gözleme dayalı deney ortamı altında basınç çubuğu ile analiz edilmesi

## 4. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmada Sinan Camilerinin kubbeleri üzerine yapılan dijital ve fiziksel analizler sonucunda kubbelerin strüktürel davranışlarına bağlı olarak en üst birimden alt birimlere doğru homojen bir şekilde yük aktarımı sağladığı tespit edilmiştir. Dijital modeller üzerinde yapılan strüktürel davranış çalışmaları sonucunda, Sinan'ın baldaken ayak sistemi ile farklı kubbe varyasyonları üretmesi, geniş açıklıklar geçilmesine rağmen kubbelerin strüktürel davranışlarının olabildiğince optimize olduğu saptanmıştır. Strüktürel analiz için üretilen Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisi fiziksel

modeli üzerinde yapılan gözleme dayalı deney sonucunda kubbenin aşırı yük altında etek kısımlarından deforme olduğu saptanmıştır.

Kubbenin sayısal ortamdaki temsil biçimlerinin yetersizliği, yığma yapım tekniği altında kubbenin eş parçalardan etkili bir şekilde oluşturulamaması, oluşturulan kubbe formlarının küre yüzeyine bağımlı kalma durumu, kubbelerin strüktürel analizinde birim elemanları esas alan programların yetersizliği, tonozların dijital ortamda güncel olarak tartışıldığı dönemde kubbe üzerine yeterli çalışma ve kaynağın bulunmaması çalışmanın sayısal ortamdaki zorlayıcı kısımları olmuştur. Çalışmada sayısal modelden fiziksel model üzerindeki analiz aşamalarına gelinceye kadar, dijital fabrikasyona hazırlık sürecinde kubbeyi oluşturulan tuğlaların birbirlerine kubbe paralelleri üzerinde sapma yaparak birleşimi, modelin üretimi için düşeyde tuğlaların birbirlerine ray sistem üzerinde oturtulması ile çözülmeye çalışırken yatayda lamba-zıvana detayları oluşturulmuştur. Çift eğriliğe sahip yüzeyler üzerinde oluşturulmaya çalışılan birleşim detaylarının üç boyutlu baskı teknolojileri ile üretiminde araç hassasiyetine bağlı optimizasyon problemleri ortaya çıkmıştır. Montajın daha rahat sağlanabilmesi için tuğla yüzeyleri üzerinde numaralandırma oluşturmak da çalışmanın deneysel kısmı için bir zorlayıcı etken olmuştur.

Bu noktada yapılan çalışma kubbelerin sayısal ortama aktarılabilirliğini sorgulamada, kubbenin eş parçalara bölümlenebilme algoritması üzerine yaklaşımlar sunmada, dijital fabrikasyon sürecinin yığma yapım tekniğine nasıl dahil olabileceğini göstermede katkılar sağlamaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen strüktürel analiz verileri, sayısal ortamda oluşturulan kubbe temsil ve üretim tekniği Sinan Camileri ve yığma yapılar üzerine yapılacak çalışmalara altlık sağlayacağı ve strüktürel ilişkilerin sayısal yöntemlerle temsil ve değerlendirmesine odaklanan çalışmalara katkı sunacağı öngörülmektedir.

**Teşekkür**
Bu çalışma, İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Yüksek Lisans Tez Projeleri kapsamında MYL-2020-42710 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Ahunbay, Z. (1998). Mimar Sinan yapılarında kullanılan yapım teknikleri ve malzeme. S. Bayram (Ed.), Mimarbaşı *Koca Sinan: Yaşadığı Çağ ve Eserleri 1-2* (1st ed., pp. 531-538).

Aksoy, Z. V. (2001). *Klasik Osmanlı Dönemi Sinan Camilerinin biçim grameri açısından irdelenmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/3

Antel, A. (2013). Geçmişten günümüze cami mimarisinin gelişimi. Tokay, H., Kaptı, M., Büken Cantimur, B., Çoşkun, S., *1. Ulusal Cami Mimarisi Sempozyumu* (pp. 257-262). Ankara: Diyanet İşleri Başkanlığı Yayınları.

Baratta, A., & Corbi, O. (2012). The static behavior of historical vaults and cupolas. *Journal of Heritage Conservation (Wiadomości Konserwatorskie)*,32, 65-81. https://doi.org/10.17425

Benian, E. (2011). Mimar Sinan ve Osmanlı Cami Mimarisinin gelişimindeki rolü. *Bilim ve Teknik Dergisi*, Ocak, 40-47.

Bilgin, H. (2006). Mimar Sinan Yapılarında Kubbeli Örtü Sistemlerinin Yapısal Analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 21*(3), 119-128.

Carneau, P., Mesnil, R., Roussel, N., & Baverel, O. (2019). An exploration of 3D printing design space inspired by masonry. *IASS Annual Symposia* (Vol. 2019, No. 6, pp. 1-9). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS). https://doi.org/10.5281/zenodo.3563672

Cowan, H. J. (1977). A history of masonry and concrete domes in building construction. *Building and Environment, 12*(1), 1-24. https://doi.org/10.1016/0360-1323(77)90002-6

Cili, F., Celik, O. C. & Sesigur, H., (2011). Importance of wood and iron tension members on seismic performance of historic masonry buildings: Three case studies from Turkey. *Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures* (pp. 1374-1383).

Çelebi, M. R. (2001). *Yapı bilgisi* (1st ed.). İstanbul Kültür Üniversitesi- İKÜ Yayınevi.

Çelebi, S. M. (2003). *Tezkiretü'l-Bünyan ve Tezkiretü'l-Ebniye*. Yay. Hz. Hayati Develi, KOÇ Kültür Sanat Tanıtım Yayınevi.

Çorbacı, M. (1998). *Tasarım yardımcı araçları ışığında günümüz cami yapısında oluşan biçimsel dönüşüme ilişkin bir çalışma* [Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/3

Dimcic, M. (2011). *Structural optimization of grid shells based on genetic algorithms* [Doctoral dissertation, University of Stuttgart]. OPUS - Publication Server of the University of Stuttgart.

Dos Santos, D. M., & Beirão, J. N. D. C. (2019). Parametrical design tool and the production of technical data for superadobe domes. *Gestão & Tecnologia de Projetos, 14*(1), 45-60.

Erarslan, A. (2018). Mimar Sinan'ın altıgen baldaken sistemli camilerinde taşıyıcı, örtü ve mekan ilişkisi. *Osmanlı Mirası Araştırmaları Dergisi (OMAD), 5*(13), 31-48. https://doi.org/10.17822/omad.2018.109

Erzen, J. (1981). *Mimar Sinan Dönemi cami cepheleri* [Doktora Tezi, ODTÜ]. https://lib.metu.edu.tr/tr/e-kaynaklar-e-tezler

Fellas, A. (2018). Alternative Dome Reconstruction Method for Masonry Structures. Moropoulou, A., Korres, M., Georgopoulos, A., Spyrakos, C. & Mouzakis, C. (ed.). *International Conference on Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage* (pp. 177-187).

Günay, R. (2002). *Mimar Sinan ve eserleri*. İstanbul, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.

Hasol, D., (1998). *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü*. İstanbul, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.

Karaesmen, E. (2013). Üç boyutlu eğrisel formların sembolik ve yapısal anlamı. Tokay, H., Kaptı, M., Büken Cantimur, B., Çoşkun, S., (ed.). *1. Ulusal Cami Mimarisi Sempozyumu* (pp. 391-400). Ankara: Diyanet İşleri Başkanlığı Yayınları.

Kuban, D. (1967). Mimar Sinan ve Türk Mimarisi, *Mimarlık Dergisi*, 49, 32-33, TMMOB Kitapları Yayınevi.

Kuban, D. (1988). Sinan'ın dünya mimarisindeki yeri. S. Bayram (Ed.), *Mimarbaşı Koca Sinan: Yaşadığı Çağ ve Eserleri 1-2* (1st ed., pp. 581-624).

Kuran, A. (1988). Mimar Sinan'ın camileri. S. Bayram (Ed.), *Mimarbaşı Koca Sinan: Yaşadığı Çağ ve Eserleri 1-2* (1st ed., pp. 175-214).

Necipoğlu, G., (2013). *Sinan Çağı: Osmanlı İmparatorluğu'nda mimarî kültür* (1st ed.). Çeviren: Gül Çağalı Güven. İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.

Özçakı, M. (2018). Kubbenin cami mimarisindeki yeri ve önemi. *İdil Sanat ve Dil Dergisi, 7*(44), 383-402. https://doi.org/idil-07-44-04

Rippmann, M., & Block, P. (2011a). Digital Stereotomy: Voussoir geometry for freeform masonry-like vaults informed by structural and fabrication constraints. *IABSE-IASS Symposium* (Vol. 2011).

Rippmann, M., & Block, P. (2011b). New design and fabrication methods for freeform stone vaults based on ruled surfaces. *Computational Design Modelling* (pp. 181-189). Springer.

Rippmann, M., Curry, J., Escobedo, D., & Block, P. (2013). Optimising stone-cutting strategies for freeform masonry vaults. *IASS Annual Symposia* (Vol. 2013, No. 12, pp. 1-7). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).

Rippmann, M., & Block, P. (2013). Rethinking structural masonry: Unreinforced, stone-cut shells. *Institution of Civil Engineers-Construction Materials, 166*(6), 378-389.

Sancak, N., & Alaçam, S. (2021). Sinan camilerinde biçim ve strüktür ilişkisinin sayısal tasarım araçlarıyla değerlendirilmesi. Akansel, S., Çay, R. D. & Osmanoğlu, İ. (ed.) *XII. Uluslararası Sinan Sempozyumu* (pp. 419-428). Trakya Üniversitesi Matbaası.

Savaşır, K. (2016). Kubbelerin yapım sistemlerinin yük aktarım prensiplerine göre irdelenmesi. Altan Basım Ltd., *8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu* (pp. 203-210). İş Dünyası Yayıncılık.

Scuro, C., Lamonaca, F., Codispoti, R., Carnì, D. L., & Olivito, R. S. (2018). Experimental and numerical analysis on masonry arch built with fictile tubules bricks. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 130, 246-254. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.08.001

Sözen, M. (1988). *Sinan: Architect of Ages*. Cen Ofset Yayınları.

Sqour, S. (2016). Influence of Hagia Sophia on the construction of dome in mosque architecture. *8th International Conference on Latest Trends in Engineering and Technology* (pp. 5-12). https://doi.org/10.15242/IIE.E0516

Tuluk, Ö. (2006). Osmanli camilerinde mekan kurgusu açısından kare tabanli baldaken varyasyonları (15.-17. Yy.). *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21*(2), 275-284.

Uçak, Ş. (2012). *Tarihi yığma kubbelerin dinamik davranışlarının operasyonal modal analiz yöntemiyle belirlenmesi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü]. http://acikerisim.ktu.edu.tr/jspui/handle/123456789/995

Ülgen, A.S. (1989). *Mimar Sinan Yapıları*. Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Türk Tarih Kurumu yayınları.

Yazar, T. (2003). *Mimarlık eğitiminde bir uzman sistem modeli olarak Mimar Sinan camileri uzman sistemi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Anadolu Selçuklu Mimarisinde Örgü ve Örüntü İlişkisine dair Biçimsel İncelemeler

Sevgi Altun [1]; Mine Özkar[2]
[1;2] İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]avesis.itu.edu.tr/altunse19, [1]altunse19@itu.edu.tr; [2]akademi.itu.edu.tr/ozkar/, [2]ozkar@itu.edu.tr

## Özet

*Koruma ve onarım amacıyla mevcut yapıları oldukları gibi belgelemek, bunların tasarım ve yapım ilkelerini çağdaş tasarımlarda kullanmak üzere araştırmak, mimari miras çalışmalarının hedefleri arasında birbiri ile ilişkili olarak yer alır. Günümüzde hesaplamalı tasarım araçları kullanılarak tasarım ve üretim sürecinin bütünleşik olarak incelenebilmesi, mimari miras çalışmalarının bu hedeflerine yönelik bilgi üretimini kolaylaştırmaktadır. Çalışmamızda, Anadolu Selçuklu mimarisi örneği bir tuğla duvar panosu için yapım ve tasarım ilişkisini hesaplamalı yöntemle nasıl incelediğimizi ve bulguları sunuyoruz. Çalışma kapsamında, dönemin tuğla yapılarını inceleyen mevcut literatüre dayanarak, panoyu oluşturan tuğlalara ve duvar örgüsüne dair çıkarımlar yapılmıştır. Pano detaylı şekilde incelenmiş ve örüntüyü oluşturan parçalar tanımlanmıştır. Parça ve bütün ilişkilerinin değişkenliği göz önüne alınarak, örgüdeki tuğla birimlere ek olarak bu birimlerin oluşturduğu geometrik desenler de örüntü birimi kabul edilmiş, tasarım ve yapımın hesaplamalı süreçleri, hem örgü hem de örüntü oluşturmaya yönelik kurallar bir arada ele alınarak tanımlanmıştır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Anadolu Selçuklu tuğla yapıları, biçim gramerleri, kültürel miras.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Altun, S., & Özkar, M. (2021). Anadolu Selçuklu Mimarisinde örgü ve örüntü ilişkisine dair biçimsel incelemeler. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 205–213). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Formal Studies on the Relationship Between the Brick Bond and the Pattern in Anatolian Seljuk Architecture

Sevgi Altun [1]; Mine Özkar[2]
[1;2]İstanbul Technical University
[1]avesis.itu.edu.tr/altunse19, [1]altunse19@itu.edu.tr; [2]akademi.itu.edu.tr/ozkar/, [2]ozkar@itu.edu.tr

## Abstract

*Among the objectives of architectural heritage studies are the precise documentation of existing structures for conservation and restoration and understanding their design and construction principles to be further developed towards use in contemporary designs. Today, using computational design tools to analyze the design and construction process in an integrated approach supports these objectives. In our study, we examine the computational relationship between construction and design on a brick wall panel from an Anatolian Seljuk building. We rely on existing literature for previously documented information on the brick structures of the Anatolian Seljuks, the types of the bricks that make up the panel and the brick bond. Our detailed analysis of the panel identifies the parts forming the pattern. Considering the dynamic nature of the part-whole relations in visual reasoning, we identify not only the bricks as units, but also the parts of the geometric patterns formed by these. We define the computational processes of design and construction by considering the rules for both the bricklaying and pattern making.*

***Keywords:*** *Anatolian Seljuk brickworks, shape grammars, cultural heritage.*

**Citation in APA Style:** Altun, S., & Özkar, M. (2021). Formal studies on the relationship between the brick bond and the pattern in Anatolian Seljuk Architecture. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 205–213). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Anadolu Selçuklu dönemi mimarisinde tuğla kullanımı, yapısal ve dekoratif nitelikleri açısından önemli bir yer tutmaktadır. Özdural (2000), Anadolu Selçuklu mimarisine öncül olan İslam mimarisinde tasarımın geometri ile yakından ilişkili olduğunu ve ustaların matematikçilerle iletişim halinde olduğunu belirtmektedir. İslam mimarisindeki bezemeler hesaplamalı tasarım alanları için zengin bir araştırma konusudur. Cenani ve Çağdaş (2006) geometrik islami bezemeleri biçim gramerleri kullanarak üretken bir sistem tanımlarken, Cromwell ve Beltrami (2011) bezemelerin geometrik analizi ve matematiksel hesaplanması üzerine çalışmışlardır. Yaghan (2010) islam mimarisinde üç boyutlu bir bezeme olan mukarnasların kural tabanlı bir sistemle yeniden üretimini araştırmıştır. Kaplan (2017) iç içe geçen iki katmandan oluşan İslami yıldız desenlerinin çok yüzlülere uygulanması üzerine araştırma yapmıştır. Kharazmi (2016) İran İslam mimarisinde tuğla birimlerin birlikteliği ile ortaya çıkan desenlerin geometrik alt yapısını daire ve çokgenler üzerinden araştırmış, ancak tuğla birimlerin bir araya geliş biçimlerini ve desenlere etkisini bu araştırmanın dışında bırakmışlardır. Benzer şekilde Panahi (2012) İran'da Anadolu Selçuklu Dönemi tuğla yapılarında geometrik desenleri daireler ile inceleyen ve matematik ve geometrinin İslam Mimarisinde etkisini tartışan bir çalışmaya imza atmıştır. Söz konusu çalışmalara rağmen bu alanlarda Anadolu'daki 13. yy. tuğla yapıları özelinde sınırlı sayıda araştırma vardır (Özen Yavuz & Sağıroğlu, 2016). Ayrıca, tuğla yapıların malzeme özellikleri ve duvar örgülerinin sınıflandırmaları ile var olan örneklerin derlenmesi (Bakırer, 1980), sahada işbölümü ile üretim süreci (McClary, 2017) üzerine çalışmalar olsa da, tasarım ve yapım sürecini bir bütün olarak değerlendiren araştırmalar eksiktir.

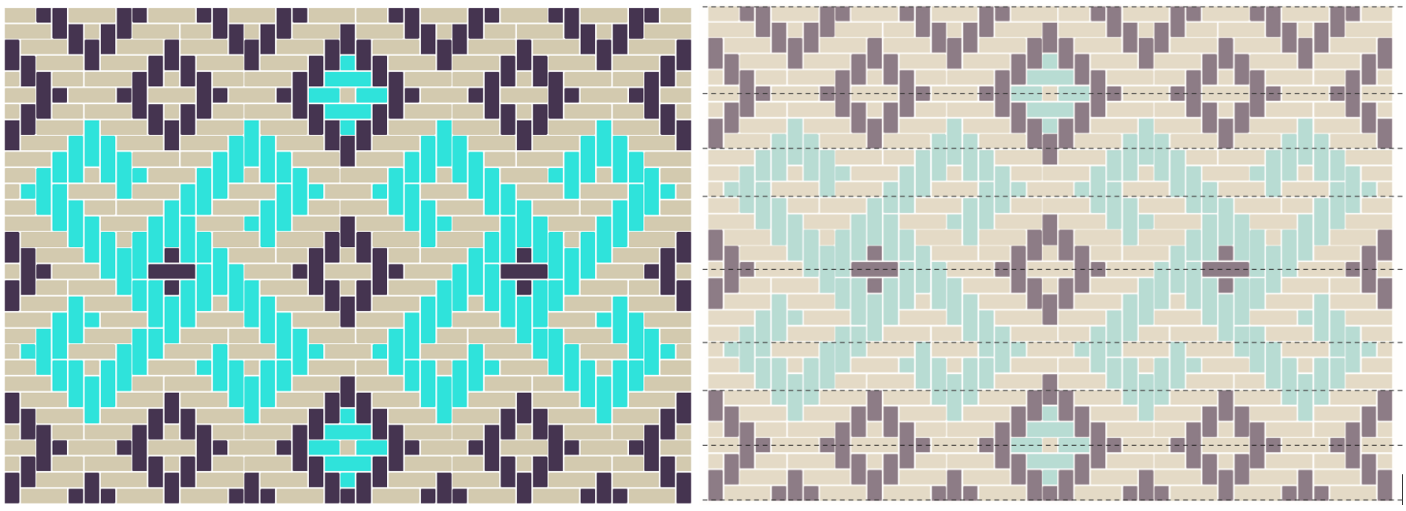
Bu çalışma, Anadolu Selçuklu dönemi tuğla yapılarında geometrik örüntüler ile yapım süreci arasında bağ kuran hesaplamalı yöntemlere dayalı bir belgeleme ve analiz araştırmasının başlangıcı niteliğindedir. Bütünü oluşturan birimler arasındaki üç boyutlu ilişkileri anlamak ve açığa çıkarmak, yapımlarını tekrarlanabilir ve sayısallaştırılabilir bir süreç olarak kurgulamak amacı ile biçim kuralları kullanılmıştır. Araştırma kapsamında Konya Sırçalı Medrese'de (13. yy.) giriş eyvanına kuzey yönünde komşu duvar panosundaki geometrik biçimler, tuğla örgüsü ile ilişkili olarak incelenmiştir. (**Şekil 1**). Pano, geometrik bir örüntü oluşturmak için yatay ve düşey istifleme ile bir araya getirilmiş farklı renklerde sırsız ve sırlı tuğlaları içermektedir. Tuğlalar boyutları açısından yarım ve çeyrek tuğla olarak sınıflandırılabilir. Çalışmamızda, çözümlemede ve kuralların ortaya konulmasında ele alınan yapıtaşları yalnızca tekil tuğlalar değil, aynı zamanda panodaki deseni oluşturan geometrik örüntü öğeleridir. Üretken bir sistem oluşturma olasılıklarını ortaya çıkarmak için geometrik örüntülerin tekrarı ve ilişkisi, bunların tuğla örgü ile ilişkisi araştırılmıştır. Böylece, tarihi yapı modellemesinde farklı anlamsal bütünlerin eş zamanlı ve aynı sürecin parçası olarak tanımlanması için bir adım atılmıştır.

**Şekil 1:** Konya Sırçalı Medrese giriş eyvanı kuzey panosu (Fotoğraf: Demircan Taş, 2019)

## 2. Yöntem

Çalışma kapsamında, panoda kullanılan tuğla türlerinin tanımlanması ve aralarındaki ilişkilerin tespitini takiben, panonun yapımını mümkün kılan sürecin görsel kuralları tanımlanmıştır. İlk aşama için seçili yapı, malzeme ve dönem özelinde mimarlık tarihi ve restorasyon yazınında var olan bilgilere başvurulmuştur. Dönemin tuğla yapılarında ve tarihsel sürece ilişkin literatürde tuğlanın daha çok küçük ölçekli yapılarda ve çeşitli taş türleri ile birlikte kullanıldığı görülmüştür (Aktaş Yasa, 2016). Tuğlalar yüzey bitişlerine göre sırlı tuğla ve sırsız tuğla olarak ikiye, şekillerine göre tam tuğla, yarım tuğla, çeyrek tuğla ve minare tuğlası olarak dörde ayrılırken, tuğla örgüleri yatay istif, yatay/düşey istif ve eğik istif olarak üçe ayrılmıştır (Bakırer, 1980). Bu sınıflandırmaya, tuğla diziliminde şaşırtma yön ve türleri, sırlı ve sırsız tuğlaların yönelimi, sıva aralıklarının oranları ve bu aralıkların çini ile doldurulmuş olması, sıva türleri gibi özelliklere bağlı alt sınıflar eklenebilir. Yapım sürecinde karış ve parmak uzunluğu gibi insan bedenini esas alan ölçü ve oranların kullanıldığı bilinmekte, tuğlaların şantiyede, tuğla yapımına uygun su ve toprak karıştırılıp yoğurularak ve ardından ahşap kalıplara dökülerek açık havada bir süre kurutulduktan sonra fırınlanarak pişirildiği tahmin edilmektedir (McClary, 2017). Pano, bu bilgilere, yapı röleve çizimlerine (Bakırer, 1981), restorasyon öncesi siyah-beyaz fotoğraflara (Kuran, 1969) ve 2019 yılında edinilmiş yeni fotoğraflara referansla sayısal ortamda modellenmiştir. Aşağıda 3. bölümde detaylandırıldığı gibi, her boyut ve renkteki tuğlalar, deformasyon ve küçük farklılıklar göz ardı edilerek birer tip olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan örgü kurallarındaki biçimler tuğla birimlere karşılık gelmektedir. Tuğla örgü kuralları, tuğlaların birbirine referansla konumlandırılmasına dayanmaktadır. İlişkileri örgü kuralları ile tanımlanabilen bir grup tuğlanın bütünleşerek oluşturduğu geometrik biçimler de, örüntü birimi olarak incelenmiştir; biçimlerin birbirine referans ile konumlandırılmasına dayanarak örüntü kuralları tanımlanmıştır.

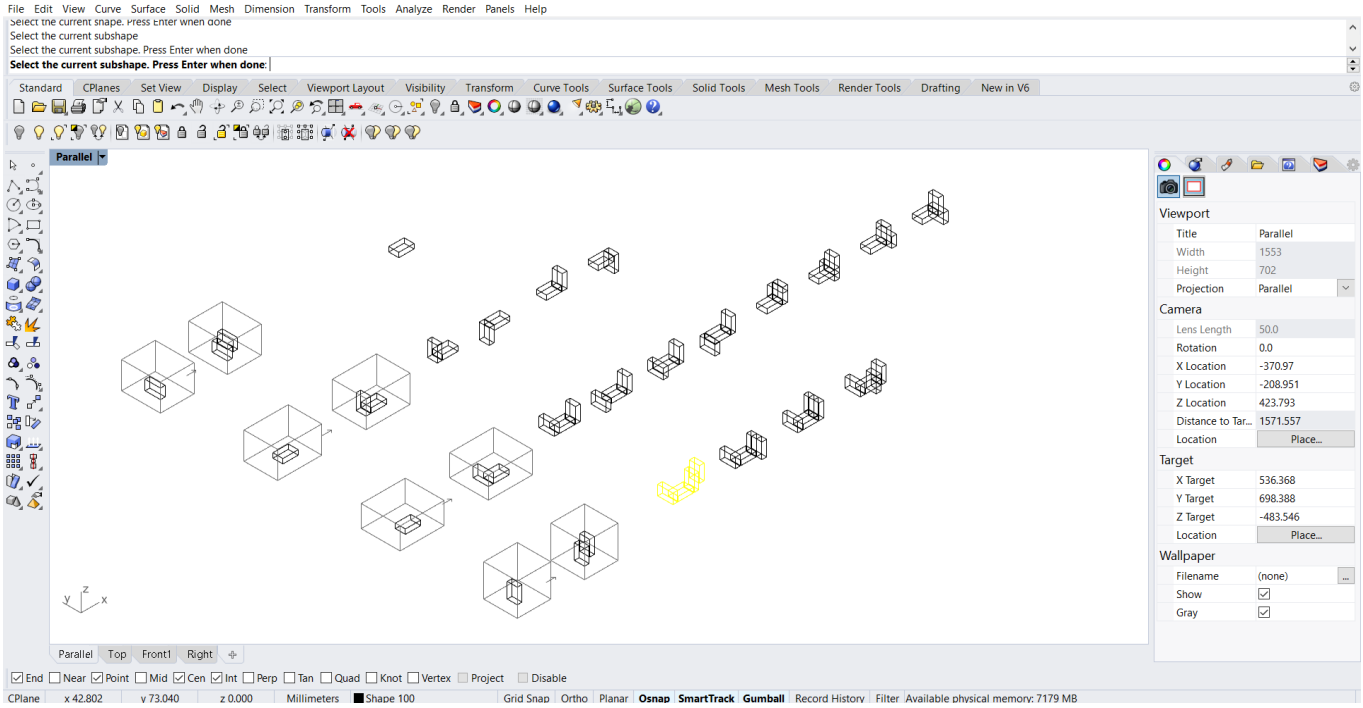
Kuralların tanımlanmasında ilk olarak, yer çekiminin yapım sürecine etkisi dikkate alınarak, tuğla örgüsünün aşağıdan yukarıya doğru, düşey ve yatay tuğla istiflerinin sıralı olarak oluşturulduğu ve yatay istiflenen açık renk tuğlaların düşey tuğla gruplarına yatak olduğu varsayılmıştır. Bu sıralı istifleme için olası hatlar belirlenmiştir (**Şekil 2**). Pano modeli detaylı şekilde analiz edilerek farklı türler arasındaki ilişki tipleri tespit edilmiştir. İlk aşamada tüm ilişkiler potansiyel örgü kuralları olarak ele alınmıştır. Ardından bu potansiyel kurallar ile, olası istifleme hatları ve yer çekimi göz önüne alınarak panonun üretimi denenmiştir. Tekrar eden denemeler boyunca az sayıda karşılaşılan ve yeri doldurulması mümkün olan kurallar elenmiş, böylece panonun üretimini mümkün kılan en az sayıdaki kural seti tanımlanmıştır. Bu kuralların sentaktik doğruluğu ve işlerliği, Andrew Li tarafından Rhinoceros 3D tabanında geliştirilmiş olan Interpreter isimli biçim grameri yorumcusu yazılım ile sınanmıştır (Li, 2018).



**Şekil 2:** Panonun ön görünüşü, tuğla örgüsünün tahmini yatay uygulama hatları

Tuğla birimler Interpreter ortamında kullanılmak üzere üç boyutlu olarak modellenirken, kenarları çizgi olarak tanımlanmıştır (**Şekil 3**). Bu ortamda, kurallar teker teker ve sıralı uygulanabilmektedir. Interpreter yazılımı, kuralın uygulanacağı biçimin tamamını seçmemize olanak sağladığı gibi, gerekli görülürse biçimin içinden kuralın

uygulanmasını istediğimiz sınırlı bir bölgesini seçmemize de olanak sağlamaktadır. Kuralın seçimi ve uygulanmasını takiben yazılım, kullanıcıya Öklidyen dönüşümlerini de içerecek şekilde olası tüm sonuçları sunmaktadır. Bir sonraki kuralın uygulanması için kullanıcının sonuçlar arasında seçim yapması beklenmektedir. Seçilen örgüde kuralın sol tarafı ile uyuşan biçim sayısının artması ile olası sonuç sayısı artmaktadır. Başlangıçta az sayıda tuğla birim ile çalışılırken tüm olasılıkları kontrol ederek ilerlemek mümkündür, ancak tuğla birim sayısının artması ile sonuç sayısı artmaktadır. Bu durum hem kontrol edilerek aralarından seçim yapma aşamasının karmaşıklaşmasına hem de kuralların yazılımda uygulama süresinin artmasına sebep olmaktadır. Kuralın sol kısmını oluşturan biçimin aranacağı bölge seçilerek hesaplama süresi hızlandırılmıştır. Yazılımdaki denemelerle, etkileşimli bir görsel hesaplama süreci içinde kuralların işlerliği doğrulanmıştır.



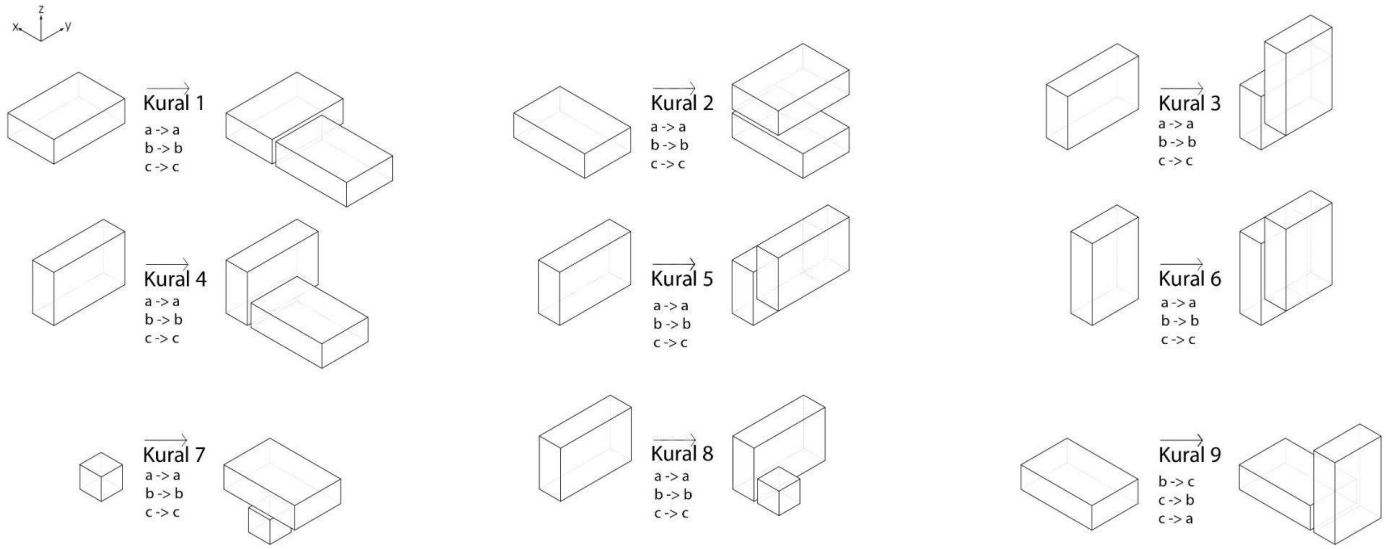

**Şekil 3:** Rhinoceros Interpreter arayüzünde tuğla örgü kuralı uygulamaları

## 3. Tuğla Pano Örgüsünün Kurallarının Oluşturulması

Pano, görünürde üç farklı boyutta; sırsız, firuze renkli sırlı veya mor renkli sırlı olmak üzere üç farklı renkte tuğlalar barındırmaktadır. En büyük boy ve görünürde bu boyun ⅔ oranına sahip ortanca boy tuğlalar aslında aynı tür olup, boyutları 13 cm x 4 cm x 8,5 cm'dir (Erdemir, 2008). Panodaki örgüde, 13 cm boyunda ve 8,5 cm boyunda görünen yüzler, kesit çiziminde (Bakırer, 1981) XY düzleminde döndürülmüş olduğu görünen tek tip tuğlanın farklı yüzleridir. Panel fotoğrafları ile teknik resimlerden (Bakırer, 1981) elde edilen bilgileri birleştirdiğimizde en küçük boy tuğlaların ebatlarının ise yaklaşık 4 cm x 4 cm x 4 cm olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Büyük tuğlalar literatürde yarım tuğla olarak tanımlanan tuğla ölçüleri ile, küçük tuğlalar ise çeyrek tuğla ölçüleri ile örtüşmektedir (Aktaş Yasa, 2016). Tuğlalar arası harç aralığı 0,5 cm'dir. Yatay durumda üst üste duran iki büyük boy tuğlanın ve aralarındaki harcın toplam yüksekliği, aynı tuğlanın kısa kenarına eşittir. Yatay durumda üst üste üç tuğla ve aralarındaki harçların toplam yüksekliği, yine benzer şekilde, bir büyük boy tuğla ile küçük boy tuğlanın aralarındaki harç ile toplam uzunluğu, bir büyük tuğlanın uzun kenarına (13 cm) eşittir. Tuğla boyutları ve sıva aralıkları arasındaki oranların hassas ilişkisi örüntünün net bir şekilde ortaya çıkmasını sağlamıştır.

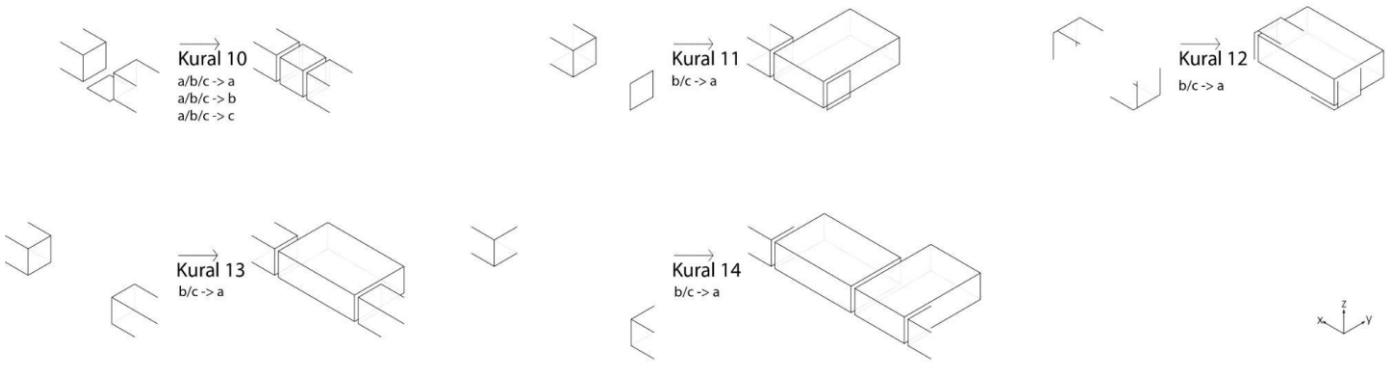
Örgü böyleyken, tuğlaların renkleri de örgüyle beliren örüntüyü pekiştirmektedir. Sırsız tuğlalar ve firuze renkli sırlı tuğlalar yatay istifte kullanılırken, diğer sırlı tuğlalar kaydırmalı bir düzende düşey olarak istiflenmiştir. Panodaki örüntü, iki adet firuze renkli gamalı haç ve çok sayıda, sırlı, köşesi üstünde duran, karelerden oluşmuştur. Karelerin içi sırlı tuğlalardan daha küçük kareler ve sırsız tuğlalar ile, sırlı tuğlaların oluşturduğu örüntülerin arasındaki boşluklar sırsız tuğlalarla doldurulmuştur. Panelin geometrik örüntülerinin kenar hatları, zeminle kırk beş derece açısı olan çizgilerdir. Bu hatlar aralarındaki kareleri tanımlamakta ve sırlı tuğlalar bu kareleri doldurmaktadır. Kenar hatlarının aralıkları ve kesişimleri, dolayısıyla kareler yapı üzerindeki örüntünün temelini oluşturan unsurlardır.

Tuğla örgüsü için tuğlaların örgü sırasına göre bir araya gelişini gösteren on dört kural vardır. Bunlar, tuğlaların uzamsal ilişkisini gösteren iki gruba ayrılabilir. İlk grup dokuz kural içermektedir (**Şekil 4**). İlk dört kural, XY ekseninde farklı yönlerde yerleştirilen büyük boy tuğlaların ilişkisini gösterir. Bu tuğlaları aynı yönelimle gösteren Kural 5 ve 6, seçilen panoda en çok kullanılan kurallardır. Bu kurallar ile tuğlalar kaydırmalı şekilde yerleştirilerek sırlı tuğla gruplarının geometrik örüntüsünü oluşturan kare biçimlerin sınırları oluşturulmaktadır. Kural 7 ve 8, büyük boy tuğlalar ile küçük boy tuğlalar arasındaki ilişkiler içindir. İlk sekiz kural aynı renkteki tuğlalara uygulanır. Bu kurallarda sol taraftaki tuğlanın rengi, sağ tarafa yeni eklenen tuğla ile aynıdır. Dokuzuncu kural, Kural 5 ve 6 gibi aynı yönelime sahip tuğlaları gösterir ve farklı renkli tuğlalar arasındaki geçiş için kullanılır.




**Şekil 4:** Tuğla örgüsü kuralları

Tuğlalar örgü kurallarına göre dizilirken, iki veya daha fazla tuğla arasındaki boşlukları doldurmak için beş dolgu kuralı tanımlanmıştır (**Şekil 5**). Bu kurallarda, çevredeki tuğlalar, yüzeylerinin sadece ilgili kısımları ile temsil edilmektedir. Böylece kuralların uygulanması gereken çeşitli durumlarda çevredeki tuğlaların boyut ve yönelimi kısıtlanmamıştır. Kuralların sağ tarafında eklenen tuğlalar, tüm renklerdeki tuğlalara uygulanan Kural 10'dakiler dışında sırsız tuğlalardır. Kural 10 ile yerleştirilen tuğlalar, Kural 9 ile birlikte sırsız ve sırlı tuğlalar arasında bir geçiş oluştururlar.

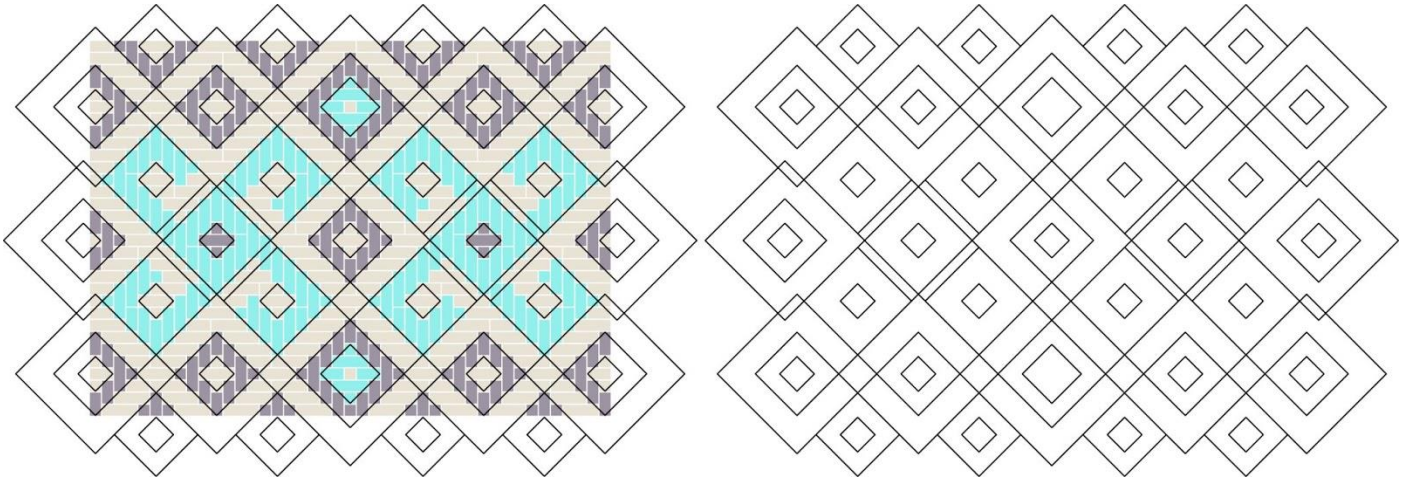



**Şekil 5:** Tuğla örgüsü dolgu kuralları

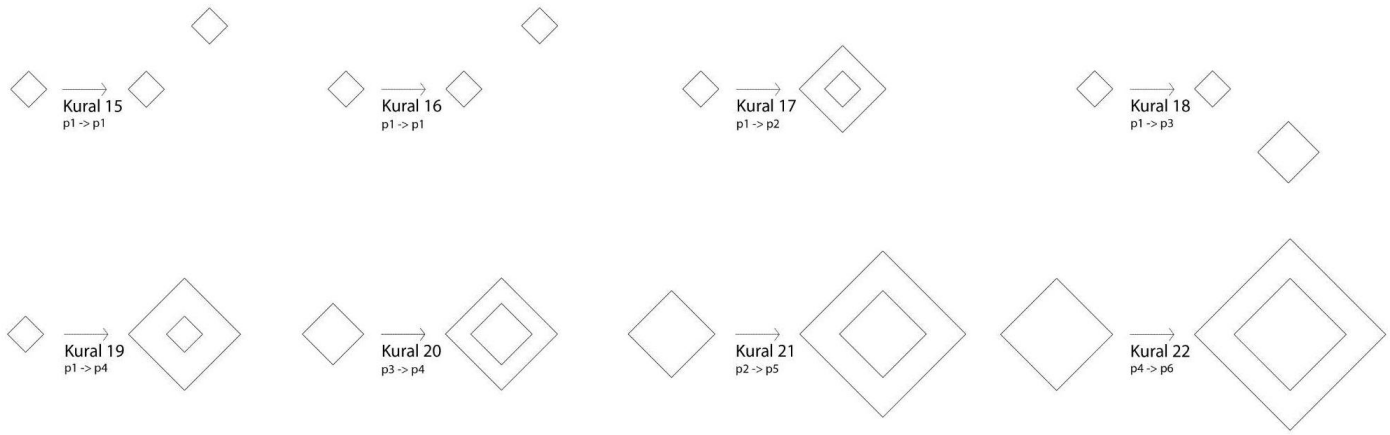
## 4. Tuğla Pano Örüntü Kurallarının Oluşturulması

Parça ve bütün ilişkilerinin değişkenliği göz önüne alınarak, örgüdeki tuğla birimlere ek olarak bu birimlerin oluşturduğu geometrik desenler örüntü birimi kabul edilmiştir. Panoda sırlı tuğla gruplarının geometrik örüntüsü, iç içe geçmiş ve örtüşen karelerden oluşan bir düzeni takip etmektedir (**Şekil 6**). Bu kareler panonun görsel bütününün parçaları olarak ele alınmıştır. Paneldeki kare motiflerin dizilişi sekiz kural ile tekrarlanabilir (**Şekil 7**).

Kurallarda birbirlerine referansla altı farklı boyutta kare bulunmaktadır. En küçük boyutta olan iç karelerin ilişkisi, diğer kareler arasındaki kesişme noktalarının yanı sıra, modelin genel düzenini de tanımlamaktadır. İç kareler ve kendilerinden bir büyük boyuta kareler arasında bir sıra yatay veya düşey tuğla kadar mesafe bulunmaktadır. Bu nedenle kurallar tanımlanırken farklı boyuttaki kareler kendilerinden bir küçük boyuttaki kareler ile ilişkilendirilerek büyük karelerin iç kareler ile ilişkili şekilde yerleştirilmiştir.

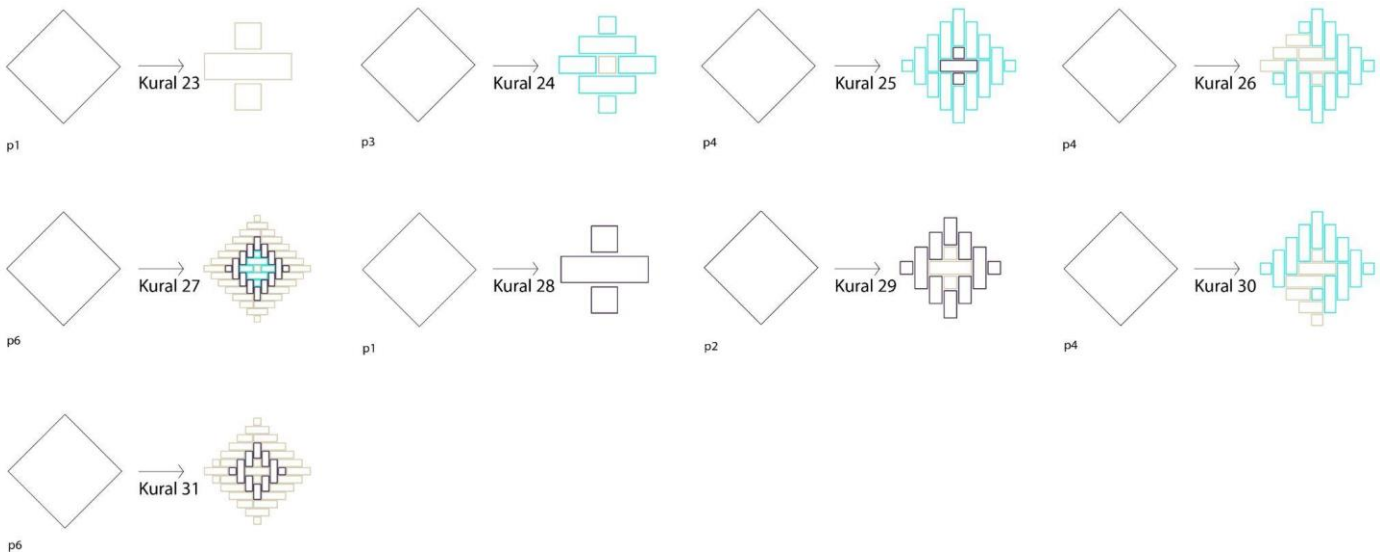


**Şekil 6:** Panonun örüntü düzeni




**Şekil 7:** Karelerin birleşimi için kurallar

Panonun geometrik düzenini oluşturan kareler, tuğla örgü kuralları ve dolgu kuralları ile birlikte örüntüye dönüşmektedir. Bir kareye karşılık gelen farklı dokuz farklı tuğla dizimi vardır. (**Şekil 8**). Tanımlanan tüm bu kurallarla panodaki örgü ve örüntü birbiriyle ilişkili olarak üretilebilmektedir.




**Şekil 8:** Karelerin içine tuğla yerleşim kuralları

## 5. Sonuçlar

Çalışma, Konya Sırçalı Medrese'de yer alan tuğla bir panodaki örüntüyü, bir yandan tuğlaların üç boyutlu örgüsü ile ortaya çıkan diğer bir yandan da arkasında geometrik bir organizasyonu barındıran bir eser olarak hesaplamalı süreciyle modellemektedir. Birimler arasında alt ve üst ölçeklerde ilişkiler tespit edilmiş, bu ilişkiler panoyu oluşturacak sayıda kural ile tanımlanmış ve Interpreter yazılımı kullanılarak hesaplamalı süreç doğrulanmıştır. Tasarımı oluşturan üretken sistemin irdelenmesinde, salt temel yapı birimlerine bakmanın yapıyı anlamak veya yeniden oluşturmak için yeterli olmadığına örnek basit bir vaka çalışılmıştır. Hem örüntünün biçimsel tasarımı, hem de yapım aşamasında uygulanan örgü için bir hesaplama ele alınmıştır. Bir yapı parçasında, farklı bütünler ve ilişkili parçaların aynı süreç içinde modellenmesi ile, tasarıma ve yapıma dair daha fazla bilgi sayısal modelde kaydedilebilecek, böylece sayısal saha verilerinin üç boyutlu yapı bilgi modellerine işlenirken algoritmalar tarafından daha bütüncül yorumlanmasının önü açılacaktır.

Sunulan biçim kurallarının uygulanması ile Anadolu Selçuklu döneminde üretilen farklı tuğla örüntüleri yeniden oluşturmak mümkün olabilecektir. Panonun yer aldığı yapıda tonoz ve kemerlerin alt kısımlarında benzer örüntüler yer almaktadır. Bu mimari elemanların aynı ustanın eseri olması mümkündür. Panoda incelediğimiz ilişkilerin eğrilikli yüzeylere aktarılması örüntülere dair yapım bilgisindeki ortaklıkları ortaya çıkarma potansiyeline sahiptir.

Örgü kuralları ile birlikte örüntü kurallarının uygulanması sonuçlarda çeşitlilik olasılığını artırmaktadır. İzleyen çalışmalarda burada önerilen biçim kurallarının parametrik olarak tanımlanması, genellenebilir doğruluğu artıracak ve yapı elemanlarını oluşturan parçaların bütünle ilişkisini tarifleyen farklı malzemeleri kapsayan daha genel parametrik kural setleri geliştirilebilecektir. Sunulan biçim kuralları, örgü sırası ve renk dışında panonun geometrik biçimlerinin oluşması sürecinde önemli etkenler olan malzeme etkileşimlerini ve yapım sürecini henüz temsil etmemektedir. Yapım sürecine dair bilgiler tasarım mirasını anlamak ve sayısal ikizlerde bütün ve doğru olarak aktarmak için gereklidir; bunların ileriki çalışmalarda kurallara eklenmesi planlanmıştır. Örneğin tuğlaların yerleştirilmesinde son derece önemli olan derz boşlukları için harç miktarı ve malzemenin çekmesi önemlidir. Uygulama sonrasında ölçme ve hizalama yöntemlerinde küçük değişiklikler genel düzeni değiştirecektir. Bu nedenle, biçim bilgisine ek olarak yapma bilgisini aktarmak, bilginin analizi, korunması ve uygulaması için bütünsel bir anlayış geliştirmek için önemlidir. Bu yaklaşımla araştırma, sadece mimari miras dokümantasyonuna değil aynı zamanda restorasyon projelerine ve kültürel-tarihsel bilginin çağdaş araçlarla bir araya gelmesini sağlayarak yeni tasarımların oluşturulmasına da katkı sağlayacaktır.

**Teşekkür**

Sunulan çalışma 119K896 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. Yapıya ait fotoğraflar için proje ekibi üyesi Demircan Taş'a, süreç içindeki değerli yorumları için tüm proje ekibimize teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Aktaş Yasa, A. (2016). Anadolu Selçuklu ve Beylikler Dönemi Konya yapılarında malzeme kullanımı ve yapım teknikleri. *Vakıflar Dergisi, 45*, 143–76.

Bakırer, Ö. (1981). A study on the use of brickbonds in Anatolian Seljuk architecture. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, *6*(2), 143–81.

Bakırer, Ö. (1981). *Selçuklu Öncesi ve Selçuklu Dönemi Anadolu mimarisinde tuğla kullanımı*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Cenani, S., & Cagdas, G. (2006). Shape grammar of geometric Islamic ornaments. *Proceedings of the 24th eCAADe*, 290-297.

Cromwell, P. R., & Beltrami, E. (2011). The whirling kites of Isfahan: Geometric variations on a theme. T*he Mathematical Intelligencer,* 33(3), 84-93.

Erdemir, Y. (2009). *Sırçalı Medrese Mezar Anıtları Müzesi.* Konya Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları.

Kaplan, C. S. (2017). Interwoven Islamic geometric patterns. *Proceedings of Bridges 2017: Mathematics, Art, Music, Architecture Education, Culture*, 71-78.

Kuran, A. (1969). *Anadolu Medreseleri*, Cilt I, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları.

Kharazmi,M. & Excellence C. T. (2016). A study on geometric constructions on brickwork decorations in Iranian Architecture. *The Proceedings of Bridges 2016: Mathematics, Music, Art, Architecture, Education, Culture*, 301–08.

Li, A. I. (2018). A whole-grammar implementation of shape grammars for designers. *AIEDAM, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 32*(2): 200–207.

Mcclary, R. P. (2017). Craftsmen in medieval Anatolia: methods and mobility. In P. Blessing & R. Goshgarian (Eds). *Architecture and Landscape in Medieval Anatolia, 1100- 1500.* (pp. 27–58). Edinburg University Press.

Özdural, A. (2000). Mathematics and arts: Connections between theory and practice in the Medieval Islamic world. *Historia Mathematica, 27*, 171-201.

Özen Yavuz, A, and Sağıroğlu Ö. (2016). Reviewing the bricks used in the traditional architecture with the shape grammar method. *Gazi University Journal of Science, 29*(4), 741–49.

Panahi, A. (2012). Application of geometry in brick decoration of Islamic architecture of Iran In Seljuk period. *Journal of American Science*. 8(6). 814-821.

Yaghan, M. A. (2010). The evolution of architectural forms through computer visualisation: Muqarnas example. *Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2010)*, 113-120.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Taşlık Kahvesi ve Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı: Fraktal Boyuta Dayalı Sayısal Bir Analiz

Mario L. Lionar[1]; Özgür Ediz[2]
[1;2]Bursa Uludağ Üniversitesi
[1]mario.lionar@gmail.com; [2]ozgurediz.com, [2]ozgur@uludag.edu.tr

## Özet

*Taşlık Kahvesi, Sedad Hakkı Eldem'in en ünlü eserlerinden biri olarak sayılmakla birlikte; aynı zamanda, mimarlık tarihi sürecinde ele alındığında ünlü mimarın aslında eski klasik Türk mimarisini soyutlayarak modernleştirme girişimi olarak da karşımıza çıkar. Bu bağlamda Eldem'in Kahvehane tasarımında; klasik Türk mimarisinin önemli bir örneği olan Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı'ndan esinlenerek kurguladığı bilinmektedir. Bu kapsamda, birçok araştırmacı ve mimarlık tarihçisinin bu iki yapı arasındaki çarpıcı biçimsel, görsel ve estetik benzerlikleri incelediği görülmüştür. Aynı zamanda Eldem, kendisi ile yapılan söyleşide Taşlık Kahvesi'ni Amcazade Yalısı'nın modern bir versiyonu olarak tasarladığını da bizzat belirtmiştir. Bununla birlikte, bahsi geçen gözlemler ve incelemeler çoğunlukla nitel ve yoruma dayalı olarak yapılmıştır. Nicel olarak yapılan ve nitel yorumlara tamamlayıcı bir katkı yapan diğer analizler ise; aslında daha net ve ölçülebilir matematiğe dayanan verilerle birlikte farklı bakış ve perspektifler sunmaya daima açıktırlar.*

*Çalışmada, Taşlık Kahvesi ile Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı arasındaki benzerlikler, fraktal boyuta dayalı analiz yöntemi kullanarak sayısal ve matematiksel olarak ölçülebilir bir yaklaşımla araştırılmaktadır. Her iki eserin görsel karmaşıklıkları, hem kat planlarında gösterilen mekânsal düzenleme, hem de cephelerde izlenen kurgusal yaklaşım açısından ele alınmıştır. Hesaplamaların sonuçları daha sonraki süreçte "benzerlik derecesi"ni belirlemek amaçlı karşılaştırılmıştır. Çalışmanın tam da bu aşamasında; ayrıca belirli bir metodolojik yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre, her iki binaya ait cepheler beş hiyerarşik görsel karmaşıklık derecelerinde (siluet, kütle düzeni, strüktürel sistem, cephe düzeni, ve malzeme dokuları) yeniden ifade edilmiştir. Dolayısıyla benzerliklerin tüm görsel karmaşıklık seviyelerinde mi yoksa sadece belirli seviyelerde mi olduğu incelenebilmiştir.*

*Araştırma kapsamında elde edilen sayısal ve matematiksel sonuçlar, Taşlık Kahvesi ile Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı arasında görsel karmaşıklık açısından çeşitli benzerliklerin olduğunu göstermektedir. Benzerlikler; her iki bina ele alındığında hem plan hem de cephe kurguları açısından oldukça ilgi çekicidir. Aynı zamanda cephe kurgularındaki benzerlikler, tüm görsel karmaşıklık seviyelerinde nispeten eşit bir şekilde ve homojen olarak dağılmış bir şekilde bulunmuştur. Bu bulgular, alanında yetkin çeşitli araştırmacılar tarafından daha önce belirtilmiş olan biçimsel ve görsel benzerliğin, fraktal boyut analizi yöntemi kullanılarak nicel bir şekilde ölçülebileceğini ve doğrulanabileceğini gösterecek bir niteliktedir. Bununla birlikte, görsel karmaşıklık ya da görsel süreklilik, mimari eserlerin estetik kurgusunu oluşturan görsel özelliklerden yalnızca bir tanesidir. Bu düşünce ile birlikte, çalışma, mimari eserlerin diğer yönleriyle ilgili daha kapsamlı analizlerin de dahil edilmesiyle, ileriye dönük farklı çalışmalarda daha da detaylandırılarak genişletilebilir. Eldem'in diğer önemli eserleri üzerinde de benzer analizler yapılarak; mimari yaklaşımı hakkında farklı bir anlatım ve sayısal yoruma dayalı bir bakış oluşturulabilir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Sedad Hakkı Eldem, Taşlık Kahvesi, Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı, fraktal boyut analizi, Türk mimarisi, kültürel miras.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Lionar, M. L., & Ediz, Ö. (2021). Taşlık Kahvesi ve Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı: Fraktal boyuta dayalı sayısal bir analiz. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 214-222). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Revisiting Sedad Hakkı Eldem's Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa: A Numerical Analysis based on Fractal Dimensions

Mario L. Lionar[1]; Özgür Ediz[2]
[1;2]Bursa Uludağ University
[1]mario.lionar@gmail.com; [2]ozgurediz.com, [2]ozgur@uludag.edu.tr

## Abstract

*Taşlık Coffeehouse can be considered as one of the most famous works of Sedad Hakkı Eldem. The building was the Turkish architect's attempt of modernizing and abstracting the classical Turkish architecture from the past. In this regard, Eldem's design of the Coffeehouse referred and took inspiration from a specific and significant example of classical Turkish architecture: The Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa. Scholars have observed the striking formal, visual, and aesthetical resemblances between these two structures, and Eldem did also admit that he designed the Coffeehouse as a modern version of the Mansion. However, these observations of similarities are mostly qualitative and descriptive; a more quantitative complementary analysis may provide more insight from other perspective, and may confirm these observations.*

*This present study investigates the similarities between the Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa in a more numerical and mathematically measurable approach using fractal dimension analysis. The visual complexities of these structures were calculated in terms of both the spatial arrangement (represented in floor plan) and the elevational design (represented in elevations). The results of the calculations were then compared to determine the degree of similarity. Furthermore, this study also utilized a particular methodological approach, in which the elevations of the buildings were depicted in five hierarchical layers or degrees of visual complexity: silhouette, mass order, structure, elevational elements, and material texture. This approach was meant to investigate whether the suggested similarities can be found in all levels of visual complexity or only in certain level(s).*

*The numerical and mathematical results demonstrate that there are indeed similarities in terms of visual complexity between the Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa. The similarities were found in both the plans and the elevations. Furthermore, the elevational similarities were found in a relatively evenly distributed manner across all levels of visual complexity. These results demonstrate that the formal and visual resemblance suggested by the scholars can indeed be measured and confirmed in a quantitative manner by using fractal dimension analysis. However, visual complexity is only one of numerous visual properties which form the whole aesthetic of architectural works. Thus, this study may be expanded in future works by including more comprehensive analysis on other aspects as well. It is also possible to conduct similar analyses on other works of Eldem; therefore, it is possible to compose a more coherent narrative on his architectural approach.*

***Keywords:*** *Sedad Hakkı Eldem, Taşlık Coffeehouse, Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa, fractal dimension analysis, Turkish architecture, cultural heritage.*

**Citation in APA Style:** Lionar, M. L., & Ediz, Ö. (2021). Revisiting Sedad Hakkı Eldem's Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa: A numerical analysis based on fractal dimensions. In G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 214–222). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Introduction

Taşlık Coffeehouse can be considered as one of the most famous works of the Turkish architect Sedad Hakkı Eldem (1908–1988). Designed at the peak momentum of the Second National Architecture Movement (*İkinci Millî Mimari Akımı*), the Taşlık Coffeehouse is Eldem's statement on his vision of contemporary future Turkish architecture, which should be based on the traditional, vernacular, and regional Turkish architectural heritages. In this particular case, he took the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa as a reference and inspiration. There are observations on the close resemblance between Eldem's formal and visual approach in designing the Coffeehouse and the aesthetics of the Mansion. These observations are qualitative and descriptive in general, and besides some exceptional studies, these resemblances were never evaluated in a quantitative manner. Therefore, the objective of this paper is to investigate this resemblance by using the quantitative (mathematical and numerical) analyzing method. As such, the scope of this paper is limited only to the aesthetical, formal, and visual qualities of the Taşlık Coffeehouse and the Amcazade Seaside Mansion; the historical importance of the buildings is only described briefly in the next section. This study commences with general comparative descriptions of the Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa, continued by short explanation on the architectural fractal dimension analysis. The mathematical and quantitative results are then presented, accompanied by the interpretive commentaries and wrapped up in the conclusions.

## 2. Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa

Taşlık Coffeehouse (**Figure 1a**) was once located in Maçka, Istanbul, Turkey, upon a retaining wall at a public park with a view towards Bosporus. It was finished from 1947 to 1948 and finally demolished in 1988. Meanwhile, the Seaside Mansion (*yalı*) of Amcazade Hüseyin Paşa (**Figure 1b**) is a residence located at the Bosporus, more precisely at the District of Anadoluhisarı (Anatolian Fortress). Estimated to be built at the end of the 17th century (Eldem, 1984, pp. 190–191), this building can be considered one of the oldest seaside mansions along the Bosporus. Scholars have observed the resemblance between Eldem's Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa, both in terms of the spatial planning and the elevational appearances. It was said that "the plan of this building [the Coffeehouse] is almost the same as the plan of the Mansion [*binanın planı Köprülü Yalısı'nınkini hemen hemen aynı yineler*]" (Tanyeli, 2001, p. 74). The Coffeehouse's plan was designed as three projections spread from a central space, forming a T-plan type, which was considered "one of the most typical of our [Turkish] past architecture [*eski mimarimizin, en çok tutunmuş unsurlarından biridir*]" (Anonym, 1950, p. 210). Likewise, the Coffeehouse and the Mansion also share similar elevational elements, such as "wide projecting eaves ... modular arrangement of the windows, and an overall predominance of wood" (Bozdoğan, Özkan & Yenal, 1987, p. 50). One crucial and at the time novel element was the usage of reinforced concrete structure, which Eldem thought as not only modern (Anonym, 1983) but also suitable for certain aesthetic inspired by classical Turkish architecture (Eldem, 1980, p. 90). Finally, it is Eldem's on words, explained in a reportage, that confirm the specific connection between Taşlık Coffeehouse and the Mansion. He explained that the Coffeehouse "is a modern form of the Mansion [*Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı'nın modern bir şeklidir*]" (Hamuloğlu, n.d., p. 6). Eldem did admire and take inspiration from the past architecture; yet, in doing so, he also contributed in developing a contemporary and modern kind of architecture.

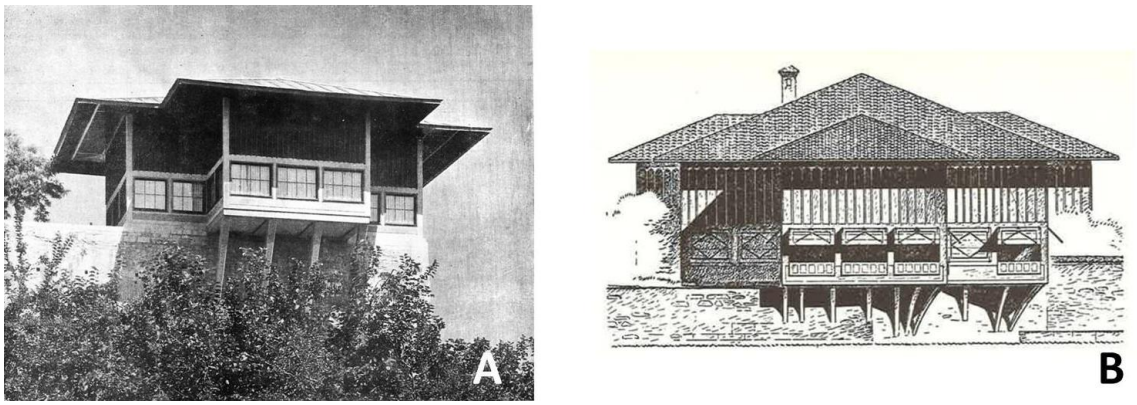



**Figure 1: a:** Taşlık Coffeehouse (photograph by Mimar Sinan University Istanbul, in Anonym, 1950, p. 208) **b:** Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa (Eldem, 1984, p. 190)

## 3. Research Method: Fractal Dimension Analysis

This paper utilizes fractal dimension analysis as a numerical and mathematical method to quantify and measure the visual aspects of architecture and design (Bovill, 1996). Fractal dimension is a numerical measurement of *visual complexity.* Fractal dimension analysis was originally conceptualized by Benoit Mandelbrot (1982) and Richard Voss (1986) for any visual and graphic objects, and relatively recently utilized specifically for analytical tools in architectural studies (Rian, et al., 2007; Ediz & Ostwald, 2012; Ostwald & Ediz, 2015; Lionar & Ediz, 2021b) as well as urban studies (Qin, et al., 2015; İlhan & Ediz, 2019). Besides, the results of fractal analysis has been also utilized as a generator for computational design (Ediz & Çağdaş, 2007; Ediz, 2009; Sakai, et al., 2012; Sedrez & Pereira, 2012). Interestingly, some studies have used fractal analysis to conduct comparative analysis between Eldem's works and the past Turkish architecture as comparisons. Lionar and Ediz (2020, 2021a) have conducted the comparative analyses of the Sosyal Sigortalar Kurumu (SSK) or the Social Security Complex and the District of Zeyrek, and in fact, the comparison between Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa has been conducted as part of the work by Ediz, Kanatlar, and Kul (2011). Therefore, this present study can be considered a revisitation, in which the analysis is reconducted using a particular methodological approach, which will be described in the following section.

### 3.1. Preparing the Drawings

In the fractal dimension analysis for architecture, the first step is (re)drawing the architectural works. In this study, the comparisons were conducted both in terms of the spatial design of the interior spaces and in terms of the visual design of the exteriors of the buildings. This is due to the observation that the design of Eldem's Taşlık Coffeehouse resembles the old Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa both in terms of the spatial design and in terms of the façade design. Therefore, these structures were redrawn both in floor plans (**Figure 2**) and elevations. The Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa is depicted only in the west sea elevation, while the Taşlık Coffeehouse is depicted in the main south elevation and the east and west side elevations, resulting in total four elevations. However, for the calculation of the elevations, this study applies a particular methodological approach in which the elevations were depicted in five hierarchical visual layers (from the least to the most complex): 1) silhouette, 2) mass order, 3) structure, 4) elevational elements, and 5) surface modulations (material textures). This system of visual layers means that the four elevations were depicted in five different manners, resulting on total 20 elevation drawings (**Figure 3**). This methodological approach was intended to study the possibility of similarity in different levels of visual information. In other words, this strategy was meant to investigate whether the similarity can be found in all the visual layers or only in certain visual level(s).

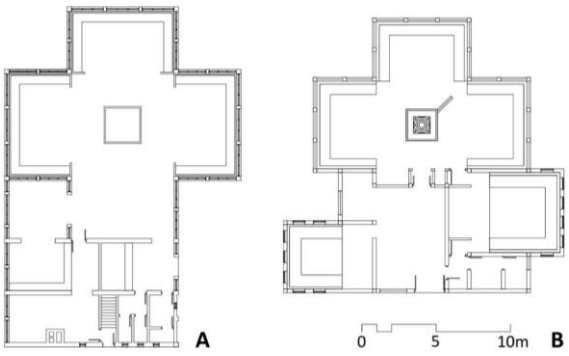



**Figure 2: a:** Floor plan of Taşlık Coffeehouse **b:** Floor plan of the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa

### 3.2. Box-Counting Method

In the next step, the produced drawings must be calculated using the *box-counting procedure*, which is currently regarded as the most appropriate method to calculate fractal dimensions in architecture (Ostwald & Vaughan, 2016). According to this procedure, a series or iterations of grids composed of squares or "boxes" must be super-imposed over the drawings. Then, *the number of the boxes which contain parts of the drawings* (*N*) must be counted; this is the origin of the term "box-counting". The box-counting procedure is illustrated in **Figure 4.** (However, since it would be too impractical to present the box-counting procedure of all the 22 drawings, the illustration depicts only the front/south elevation of the Taşlık Coffeehouse as an example.)

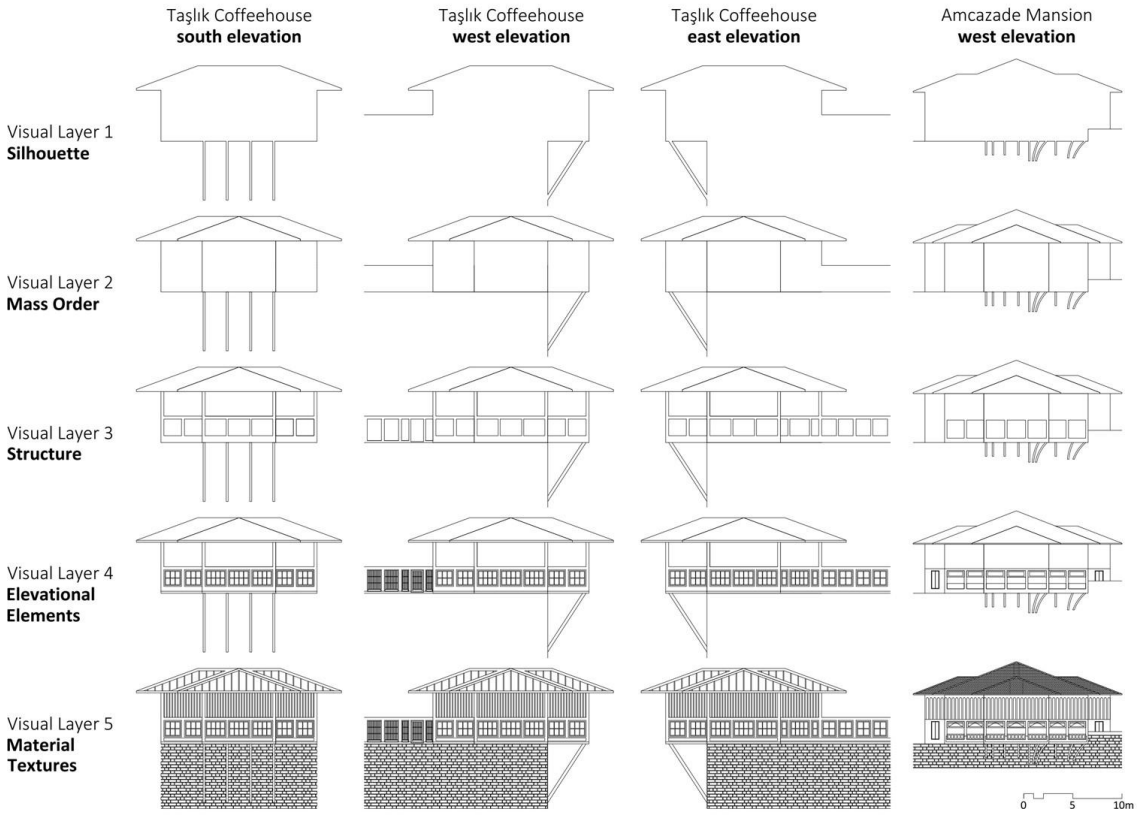



**Figure 3:** Elevations of Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa depicted in five visual layers

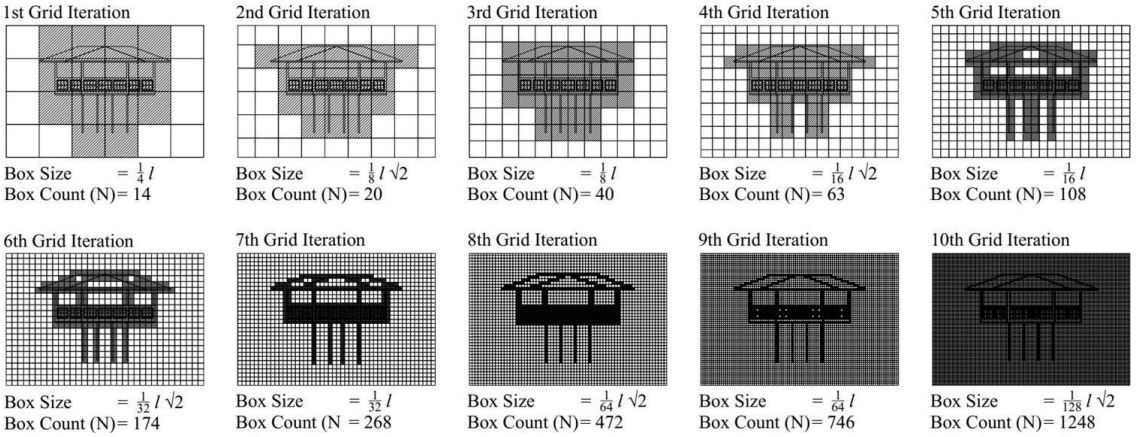



**Figure 4:** Illustration of the box-counting procedure conducted in 10 iterations

It should be noted that the sizes of the boxes in the following grids must be diminished according to certain *Scaling Coefficient* (*SC*) compared to the sizes of the boxes in the preceding grids. Thus, since the sizes and numbers of the boxes differ in each grid, each iteration will produce a different number. These numbers then must be processed using an algorithmic equation (**Equation 1**) to produce a series of *average fractal dimension* (*D#*). The *final fractal dimension* (*D*) then is finally obtained as the average or mean value of a series of D# values.

$$D\# = \frac{[(loglog\ (N\#+1) - loglog\ (N\#)]}{loglog\ (SC)} \quad (1)$$

Both at the preparation of the drawings and the box-counting stage, a number of variables and settings must be considered to ensure the accuracy of the measurement (Foroutan-Pour, et al., 1999; Ostwald & Vaughan, 2013). These variables and settings are summarized in **Table 1.** The re-drawing of the images and the manual box-counting procedures were accomplished by utilizing the Autodesk AutoCAD 2021 program.

**Table 1:** The variables and settings used in the fractal dimension analysis

| Stage | Variable | Setting | Notes |
|---|---|---|---|
| Drawing Preparations | White space | 50/50 | The basic outline of the drawing must be enlarged by the scale of √2 (approximately 1,4142) to determine the dimension of the image field; thus, the image area and the white space surrounding the image area are in a in a ratio of 50/50 |
| | Image position | Center-center | The drawing of the architectural object must be positioned at the very center of the image field |
| Fractal Dimension Calculations | Scaling coefficient (SC) | √2:1 | The ratio between the size of the boxes in the following grid compared to the size of the boxes in the preceding grid is √2 (approximately 1,4142) |
| | Grid disposition (GD) | Centre-growth | The grid must be started from the very center of the image field |
| | Grid iteration | 10 | The ideal total number of the grids |
| | Starting grid size | 0.25 / | By dividing the short dimension of the image field by four, the dimension of the boxes in the first grid was defined |

# 4. Results and Discussions

## 4.1. Mathematical Results

In this study, a total of 22 images were produced, a total of 25 fractal dimension values were calculated, and a total of 21 comparisons (consisted of one comparison between the floor plan drawings and 20 comparisons among the elevation drawings) were conducted. The complete list of the comparisons is presented in **Table 2.**

**Table 2:** The complete list of comparisons between Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa

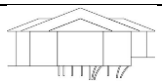
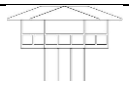
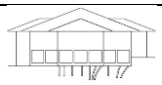
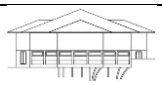
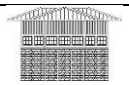
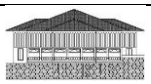
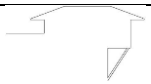
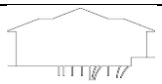
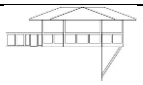
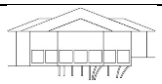
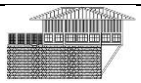
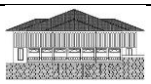
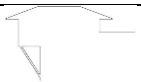
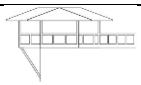
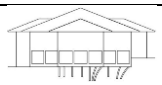
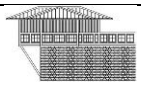
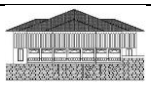
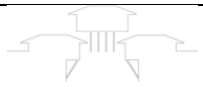
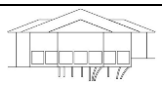
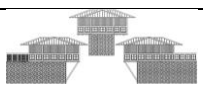
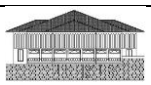
| Visual Layers | Fractal Dimension | | | | Diff. (%) | Similarity |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Taşlık Coffeehouse | | Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa | | | |
| - | Floor Plan | 1,349690231 | Floor Plan | 1,375915572 | 2,62 | Similar |
| Silhouette | South elevation | 1,166206114 | West elevation | 1,120976471 | 4,52 | Not similar |
| Mass order | | 1,224457265 | | 1,239693550 | 1,52 | Similar |
| Structure | | 1,349384073 | | 1,324783523 | 2,46 | Similar |
| Elevational elements | | 1,439566066 | | 1,419105755 | 2,05 | Similar |
| Material textures | | 1,771773286 | | 1,765003223 | 0,86 | Very similar |
| Silhouette | West elevation | 1,112111420 | West elevation | 1,120976471 | 0,89 | Very similar |
| Mass order | | 1,178888378 | | 1,239693550 | 6,08 | Not similar |
| Structure | | 1,354024312 | | 1,324783523 | 2,92 | Similar |
| Elevational elements | | 1,492461411 | | 1,419105755 | 7,34 | Not similar |
| Material textures | | 1,791132319 | | 1,765003223 | 2,61 | Similar |
| Silhouette | East elevation | 1,112111420 | West elevation | 1,120976471 | 0,89 | Very similar |
| Mass order | | 1,173435884 | | 1,239693550 | 6,63 | Not similar |
| Structure | | 1,349610885 | | 1,324783523 | 2,48 | Similar |
| Elevational elements | | 1,477905135 | | 1,419105755 | 5,88 | Not similar |
| Material textures | | 1,788518999 | | 1,765003223 | 2,35 | Similar |
| Silhouette | Average value | 1,130142985 | West elevation | 1,120976471 | 0,92 | Very similar |
| Mass order | | 1,192260509 | | 1,239693550 | 4,74 | Not similar |
| Structure | | 1,351006423 | | 1,324783523 | 2,62 | Similar |
| Elevational elements | | 1,469977537 | | 1,419105755 | 5,09 | Not similar |
| Material textures | | 1,783808201 | | 1,765003223 | 1,88 | Similar |

The similarity (in terms of visual complexity) between the architectural objects is determined by calculating the *difference* between fractal dimension values. This study takes the suggestions (Vaughan & Ostwald, 2009) that a difference (Diff.) between 1% (0.01) and 4% (0.04) may be interpreted as “similar”, and that a difference between 0% (0.00) and 1% (0.01) may be interpreted as “very similar”. A difference higher than 4% is interpreted as “not similar”. From the 22 comparisons, a total of 14 similarities were found, consisted of one similarity between the floor plans (depicted in **Table 3**) and 13 similarities among the elevations (depicted in **Table 4**).

**Table 3:** The similarity between the floor plans of Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa

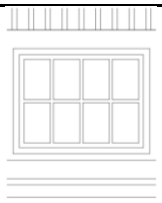
| **Taşlık Coffeehouse** | **Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa** | **Similarity** |
|---|---|---|
| Floor plan | Floor plan | Similar |
| | | |
| Fractal Dimension (D) | Fractal Dimension (D) | Diff. (%) |
| 1,349690231 | 1,375915572 | 2,62 |

**Table 4:** The similarities among the elevations of Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa

| **No** | **Sedad Hakkı Eldem's Taşlık Coffeehouse** | | **Similarity** | **Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa** | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | South elevation | Similar | West elevation |  |
| | | Mass order | | Mass order | |
| | | D = 1,224457265 | Diff (%) = 1,52 | D = 1,239693550 | |
| 2 |  | South elevation | Similar | West elevation |  |
| | | Structure | | Structure | |
| | | D = 1,349384073 | Diff (%) = 2,46 | D = 1,324783523 | |
| 3 | | South elevation | Similar | West elevation |  |
| | | Elevational elements | | Elevational elements | |
| | | D = 1,439566066 | Diff (%) = 2,05 | D = 1,419105755 | |
| 4 |  | South elevation | Very similar | West elevation |  |
| | | Material textures | | Material textures | |
| | | D = 1,771773286 | Diff (%) = 0,86 | D = 1,765003223 | |
| 5 |  | West elevation | Very similar | West elevation |  |
| | | Silhouette | | Silhouette | |
| | | D = 1,112111420 | Diff (%) = 0,89 | D = 1,120976471 | |
| 6 |  | West elevation | Similar | West elevation |  |
| | | Structure | | Structure | |
| | | D = 1,354024312 | Diff (%) = 2,92 | D = 1,324783523 | |
| 7 |  | West elevation | Similar | West elevation |  |
| | | Material textures | | Material textures | |
| | | D = 1,791132319 | Diff (%) = 2,61 | D = 1,765003223 | |
| 8 |  | East elevation | Very similar | West elevation | |
| | | Silhouette | | Silhouette | |
| | | D = 1,112111420 | Diff (%) = 0,89 | D = 1,120976471 | |
| 9 |  | East elevation | Similar | West elevation |  |
| | | Structure | | Structure | |
| | | D = 1,349610885 | Diff (%) = 2,48 | D = 1,324783523 | |
| 10 |  | East elevation | Similar | West elevation |  |
| | | Material textures | | Material textures | |
| | | D = 1,788518999 | Diff (%) = 2,35 | D = 1,765003223 | |
| 11 |  | Mean/average value | Very similar | West elevation | |
| | | Silhouette | | Silhouette | |
| | | D = 1,130142985 | Diff (%) = 0,92 | D = 1,120976471 | |
| 12 | | Mean/average value | Similar | West elevation |  |
| | | Structure | | Structure | |
| | | D = 1,351006423 | Diff (%) = 2,62 | D = 1,324783523 | |
| 13 |  | Mean/average value | Similar | West elevation |  |
| | | Material textures | | Material textures | |
| | | D = 1,783808201 | Diff (%) = 1,88 | D = 1,765003223 | |

As an additional analysis, the partial fragment of the elevations—the window details—were also calculated and compared (**Table 5**). The comparison between the window details also indicates similarity. This finding again confirms the resemblance between the elevations of Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa. Yet, while the previous comparisons show resemblances in larger scale (whole elevation), this last comparison shows similarity in a relatively small and more detailed scale (partial fragment of the elevation).

**Table 5:** The similarity among the window details of Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa

| **Taşlık Coffeehouse** | **Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa** | **Similarity** |
|---|---|---|
| Window detail | Window detail | Similar |
|  | | |
| Fractal Dimension (D) | Fractal Dimension (D) | Diff. (%) |
| 1,329554128 | 1,307254011 | 2,23 |

### 4.2. Interpretive Discussions

The mathematical results are interesting, though maybe not very surprising. The comparisons between fractal dimensions both in terms of floor plans and in terms of elevations show quantitatively and numerically measurable resemblances between the Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa. The floor plans are similar, and from the total five visual layers in which the elevations were depicted, similarities and even very close similarities can be found in all the visual layers, although not every comparison presents similarity.

However, it should also be remembered that Eldem did not merely use the past Turkish architecture as a tool; he also attempted to add his own touch by modernizing in some abstract ways. This is reflected also in the mathematical results. The elevational comparison conducted in the first or the least complex visual layer, which is the silhouette, revealed that the silhouette of the main south elevation of the Taşlık Coffeehouse is remarkably simpler than that of the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa. Similarly, although both are similar in terms of visual complexity, the floor plan of the Coffeehouse is actually less complex than that of the Mansion. Therefore, it can be said that Eldem probably designed the spatial arrangement as well as the general outline of the Taşlık Coffeehouse to be simpler, clearer, and less intricated than the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa. This act of simplifying is possibly can be considered as Eldem's strategy of modernizing the Turkish architectural heritage.

## 5. Conclusion

Complementing the more qualitative and descriptive notions voiced by the past scholars, this study provides more quantitative, numerical, and mathematical insights about Sedad Hakkı Eldem's Taşlık Coffeehouse and the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa. The fractal dimension analysis was proven capable to confirm, in a numerically measurable manner, the formal and visual resemblances between these two architectural works. However, it must be remembered also that this study sheds light on only one remarkably specific aspect of these buildings. Future works may include analysis on other formal and visual properties of these structures as well as more comprehensive analysis beyond mere formal and visual aspects. It is also possible to conduct studies on other works by Eldem and compare the results; therefore, a more coherent and insightful narrative about Eldem's architectural work may be composed.

**Acknowledgements**

The drawings of Sedad Eldem's Taşlık Coffeehouse were produced based on the drawings found in the article titled "Taşlık Kahvesi" published in the *Arkitekt* periodical (Anonym, 1950), accessed via the digital archives of The Chamber of Architects of Turkey, and the drawings by Eldem (ca. 1948) found in the unpublished archives provided by the SALT Research Center, Istanbul. The drawings of the Seaside Mansion of Amcazade Hüseyin Paşa were produced based on the drawings found in Eldem's study on Turkish houses (Eldem, 1984). In this study, the Autodesk AutoCAD 2021 program was utilized for both the drawings and fractal dimension analysis.

## REFERENCES


Anonym. (1950). Taşlık Kahvesi. *Arkitekt, 227-228,* 207–210. http://dergi.mo.org.tr/dergiler/2/176/2280.pdf

Anonym. (1983). *Sedad Hakkı Eldem: 50 yıllık meslek jübilesi.* Mimar Sinan University of Fine Arts.

Bovill, C. (1996). *Fractal geometry in architecture and design*. Birkhäuser. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0843-3

Bozdoğan, S., Özkan, S., & Yenal, E. (1987). *Sedad Eldem: Architect in Turkey*. Concept Media.

Ediz, Ö. (2009). "Improvising" architecture: A fractal based approach. In G. Çağdaş & B. Çolakoğlu (Eds.), *Computation: The new realm of architectural design: 27th eCAADe Conference Proceedings* (pp. 593–598). Faculty of Architecture, Istanbul Technical University. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2009_070.content.pdf

Ediz, Ö., & Çağdaş, G. (2007). A computational architectural design model based on fractals. *Open House International, 32*(2), 36–45.

Ediz, Ö., Kanatlar, Z., & Kul, B. (2011, May 23–25). *Fraktal boyuta dayalı mimari bir analiz: Sedad Hakkı Eldem ve konut mimarisi* [paper presentation]. Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2011 Ulusal Sempozyumu, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi, Gebze, Kocaeli.

Ediz, Ö., & Ostwald, M.J. (2012). The Süleymaniye Mosque: A computational fractal analysis of visual complexity and layering in Sinan's masterwork. *ARQ Architectural Research Quarterly, 16*(2), 171–182. https://doi.org/10.1017/S1359135512000474

Eldem, S.H. (ca. 1948). *Taşlık Kahvesi 1947–1948, Maçka, İstanbul* [architectural drawings]. Sedad Hakkı Eldem Archives (TSHEPA03305). SALT Research, Istanbul.

Eldem, S.H. (1980). Toward a local idiom: A summary history of contemporary architecture in Turkey. In R. Holod (Ed.), *Conservation as cultural survival* (pp. 89–99). Aga Khan Award for Architecture. https://archnet.org/publications/3554

Eldem, S.H. (1984). *Turkish houses Ottoman period II.* T.A.Ç. Vakfı Yayını.

Foroutan-Pour, K., Dutilleul, P., & Smith, D.L. (1999). Advances in the implementation of the boxcounting method of fractal dimension estimation. *Applied Mathematics and Computation*, *105*(2), 195–210. https://doi.org/10.1016/S0096-3003(98)10096-6.

Hamuloğlu, C. (n.d.). Mimar Sedad Hakkı Eldem ile yıkımlar üzerine: "Anıtlar Kurulu bir işe yaramıyor". Taha Toros Arşivi, Kupürler (33574). Marmara University Open Access System. http://hdl.handle.net/11424/157885

İlhan, C., & Ediz, Ö. (2019). Kent dokusu morfolojik değişiminin fraktal geometri aracılığıyla hesaplanması: Bursa örneği. *Journal of Architecture and Life, 4*(1), 117–140. https://doi.org/10.26835/my.54692

Lionar, M.L., & Ediz, Ö. (2020). Measuring visual complexity of Sedad Eldem's SSK Complex and its historical context: A comparative analysis using fractal dimensions. *Nexus Network Journal: Architecture and Mathematics, 22*(3), 701–715. https://doi.org/10.1007/s00004-020-00482-4

Lionar, M.L., & Ediz, Ö. (2021a). Measuring architecture and urban fabric: The case of the İMÇ and the SSK Complexes. *JCoDe Journal of Computational Design, 2*(1), 335–354. Accessed from the DergiPark website: https://dergipark.org.tr/tr/pub/jcode/issue/60846/852307

Lionar, M.L., & Ediz, Ö. (2021b). The influence of traditional Indian architecture in Balkrishna Doshi's IIM Complex at Bangalore: A comparative analysis using fractal dimensions and lacunarity. *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture, 18*(1), 235–252. https://doi.org/10.5505/itujfa.2021,80388

Mandelbrot, B.B. (1982). *Fractals: Form, chance, and dimension* (revised edition). WH Freeman and Company.

Ostwald, M. J., & Ediz, Ö. (2015). Measuring form, ornament, and materiality in Sinan's Kılıç Ali Paşa Mosque: An analysis using fractal dimensions. *Nexus Network Journal: Architecture and Mathematics, 17*(1), 5–22. https://doi.org/10.1007/s00004-014-0219-3

Ostwald, M. J., & Vaughan, J. (2013). Limits and errors: Optimising image pre-processing standards for architectural fractal analysis. *Architecture Science (ArS),* 7, 1–20. http://hdl.handle.net/1959.13/1340048

Ostwald, M. J., & Vaughan, J. (2016). *The fractal dimension of architecture*. Birkhäuser.

Qin, J., Fang, C., Wang, Y., Li, Q., & Zhang, Y. (2015). A three dimensional box-counting method for estimating fractal dimension of urban form. *Geographical Research*, *34*(1), 85–96. https://doi.org/10.11821/dlyj201501008

Rian, I. Md., Park, J., Ahn, H., & Chang, D. (2007). Fractal geometry as the synthesis of Hindu cosmology in Kandariya Mahadev Temple, Khajuraho. *Building and Environment*, *42*(12), 4093–4107. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.028

Sakai, S., Nakamura, M., Furuya, K., Amemura, N., Onishi, M., Iizawa, I., Nakata, J., Yamaji, K., Asano, R., & Tamotsu, K. (2012). Sierpinski's forest: new technology of cool roof with fractal shapes. *Energy and Buildings, 55,* 28–34. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.052

Sedrez, M., & Pereira, A. (2012). Fractal shape. *Nexus Network Journal, 14*(1), 97–107. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-0393-9_8

Tanyeli, U. (2001). *Sedad Hakkı Eldem*. Boyut Yayın Grubu.

Voss, R. (1986). Characterization and measurement of random fractals. *Physica Scripta, 1986*(T13), 27–32.

# OTURUM 5

## Benzetim ve Değerlendirme

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Yapay Sinir Ağları ile Sınıf Mekanlarında Performans Tahmini

Ayça Duran [1]; İpek Gürsel Dino[2]
[1, 2] Orta Doğu Teknik Üniversitesi
[1]aycaduran.com, [1]aycad@metu.edu.tr; [2]ipekg@metu.edu.tr

## Özet

*Eğitim yapıları ABD ve Birleşik Krallık'ta bina enerji tüketiminin yaklaşık %12'sini oluşturmaktadır. İç ortam koşulları öğrencilerin ve öğretmenlerin performansı, üretkenliği, katılımı ve sağlığı üzerinde belirleyici bir rol oynadığından, sınıflar sakinlerine tatmin edici iç mekanlar sunmalıdır. İç mekân hava kalitesi ve termal konfor, sağlıklı sınıfların iki önemli belirleyicisidir. Genellikle, sınıflar tam kapasitede çalışır ve yeterince havalandırılmadığı takdirde, iç mekânda aşırı ısınmaya ve yüksek karbondioksit konsantrasyonlarına yol açar. Bu noktada bina enerji simülasyonları ile sınıf mekanlarının çeşitli performans göstergeleri ön görülebilir. Bina enerji simülasyonu, tasarım geliştirme aşamalarında tasarım alternatiflerini ve bina performans göstergelerini tahmin etmek veya güçlendirme senaryolarını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte, çok sayıda tasarım alternatifinin dikkate alınması, hesaplama süresini artırmakta ve titiz modelleme çalışmalarını gerektirmektedir. Makine öğrenimi yöntemleriyle performans tahmini son yıllarda artan bir ilgi görmektedir. Yapay sinir ağlarının (YSA), doğrusal olmayan bina performans ilişkilerinin tahmininde tatmin edici tahmin performansına ulaşabildiği bildirilmektedir. Bu çalışma, YSA ile doğal olarak havalandırılan sınıfların ısıtma enerjisi talebini, aşırı ısınma derecelerini ve aşırı karbondioksit konsantrasyonunu tahmin etmek için veri odaklı bir çerçeve sunmaktadır. Belirtilen performans göstergelerini tahmin etmek için beş girdi değişkeni seçilmiştir. Oryantasyon, şekil faktörü, cam alanı, kullanıcı yoğunluğu ve dış yüzey alanı değerlerine bağlı olarak 200 farklı sınıf simüle edilmiştir. YSA'lar, EnergyPlus simülasyon sonuçları kullanılarak eğitilmiştir. Üç performans göstergesi için tahmin modelleri ayrı ayrı oluşturulmuştur ve tahmin performansları değerlendirilmiştir. Regresyon katsayıları 0,986 ile 0,993 arasında değişirken, ortalama kök ortalama kare hatası değerleri %2 ile %9 arasında hesaplanmış olup, modellerin yüksek tahmin kapasitesi olduğunu göstermektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Yapay sinir ağları, bina performansı tahmini, bina enerji simülasyonu.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Duran, A., & Dino, İ.G. (2021). Yapay sinir ağları ile sınıf mekanlarında performans tahmini. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 224-233). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Artificial Neural Networks to Predict Performance of Classroom Spaces

Ayça Duran [1]; İpek Gürsel Dino [2]
[1, 2] Middle East Technical University
[1]aycaduran.com, [1]aycad@metu.edu.tr; [2]ipekg@metu.edu.tr

## Abstract

*Educational facilities account for approximately 12% of the energy consumed by buildings in the US and UK. Classrooms should provide their occupants' satisfactory indoor environments as indoor conditions play a determinant role in the performance, productivity, attendance, and health of students and teachers. Indoor air quality and thermal comfort are two major determinants of healthy classrooms. Generally, classrooms operate at full capacity, leading to severe indoor overheating degrees (IOD) and high carbon dioxide ($CO_2$) concentrations if not adequately ventilated. To assess classroom design alternatives in the design development phase and retrofit scenarios, building energy simulation is a widely used method to estimate performance indicators. However, consideration of a high number of design alternatives increases computational cost and requires tedious modeling efforts. Research in building performance predictions with machine learning methods gained increasing interest in recent years. Artificial neural networks (ANNs) are reported to yield satisfactory performance in the prediction of non-linear patterns of building performance. This study presents a data-driven framework to estimate heating energy demand, IOD, and $CO_2$ concentration of naturally ventilated classrooms with ANNs. Five input variables are selected to predict specified performance indicators. 200 classrooms with varying orientations, values of shape factor, glazing area, occupant density, and outdoor surface area are simulated. The ANNs are trained with a subset of EnergyPlus simulation results. Prediction models for three performance indicators are individually built, and prediction performances are evaluated. While regression coefficients range between 0.986 and 0.993, the average root means square error calculated is between %2 and 9%, implying high predictive capacity.*

***Keywords:*** *Artificial neural networks, building performance prediction, building energy simulation.*

**Citation in APA Style:** Duran, A., & Dino, İ.G. (2021). Artificial neural networks to predict performance of classroom spaces. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 224-233). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Introduction

Buildings constitute 40% of Europe's energy consumption and 36% of the greenhouse gas emissions (Europeran Commission, 2020). Notably, educational facilities account for 13% and 10% of the energy use of the US and UK buildings, respectively (Pérez-Lombard et al., 2008). Energy consumption of buildings is growing worldwide. Heating, ventilation, and air conditioning, the main factors of controlling indoor air quality, are responsible for the majority of building energy demand. In other words, providing thermal comfort indoors is the main demand behind energy consumption (Yang, et al., 2014). Specifically, children spend around 85% of their time indoors (Langevin, et al., 2016). Until the age of 18, students are reported to spend more time at school than any other place but at home (Bluyssen et al., 2018).

Performance, productivity, attendance, and health of both students and teachers depend significantly on the indoor conditions in educational facilities (Zomorodian, et al., 2016). A study based on test scores implies that the increase in satisfaction with the indoor environmental quality enhances the learning performance of students' (Mumovic, et al., 2009). Several studies have found an inverse correlation between the $CO_2$ concentration levels and pupils' annual school attendance (Gaihre, et al., 2014; Shendell, et al., 2004). Similarly, it is found that students' performance in math exams is also significantly related to classroom-level ventilation concerning $CO_2$ concentrations (Shaughnessy, et al, 2006).

Indoor environmental quality influences the well-being in school buildings since pupils are more sensitive to indoor climate conditions because of the nature of children's anatomical structures. Children are more susceptible to certain environmental pollutants than adults as the amount of air intake proportional to their body weight is more significant (Faustman, et al., 2000). As two major determinant factors of healthy classrooms for children, indoor air quality and thermal comfort are broadly emphasized in many studies on educational facilities (Zomorodian, et al., 2016). One of the key drivers is indoor air quality through CO2 concentration. It is also recommended by ASHRAE Standard 62 (ASHRAE, 2019) and STM D6245 (ASTM, 1998). Therefore, the evaluation of room ventilation due to $CO_2$ generated by its occupants becomes a standard evaluation method (Bartlett, et al., 2004). Additionally, the link between indoor air and thermal quality is a prominent study subject in the field (Fabi, et al., 2013). The indoor overheating degree (IOD) is studied as thermal comfort is an important determinant of students' learning performance. Air temperature, one of the significant factors influencing thermal comfort, has a considerable impact on learning (Heschong Mahone Group, 2003). On the other hand, while providing comfort conditions in classrooms, energy demand may increase. Notably, in school buildings, space heating accounts for 47% of the total energy demand (NREL, 2013). There is a tradeoff between occupant comfort and resource consumption, and the annual heating energy demand ($Q_{heating}$) of naturally ventilated classrooms is studied as the third performance indicator.

Building performance simulation has been an accurate and widely used method for quantifying performance indicators that enabling the design and operation of energy-efficient buildings (Yezioro, et al. 2008). Simulated results give an insight into the real-world data's underlying changes and trends (Wan et al., 2011). Even though using such advanced simulation tools give reliable results, it can be time-consuming and requires the user to learn and become an expert on the tool. When a number of design alternatives are needed to be evaluated, and various building parameters are involved in the design, machine learning tools are trusted broadly by the researchers for many years (Yu, et al., 2010; Tsanas & Xifara, 2012; Catalina, et al., 2008).

Various machine learning techniques have been involved in the research for the prediction of building performance indicators. For instance, multiple linear regression, artificial neural networks (ANNs) (Kumar, et al., 2013), decision trees, and support vector machines have been explored in several studies (Seyedzadeh, et al., 2018). In some studies, estimations with ANNs have been found more reliable compared to other data-driven models because of their higher performance in the prediction of non-linear patterns (Walker, et al., 2020; Yalcintas & Ozturk, 2006; Seyedzadeh, et al., 2018). For instance, Ascione et al. (2017) accurately predicted building performance through energy consumption and thermal comfort of occupants with ANNs and offered a framework to be applied independently of the building type. Namely, space heating and cooling and the ratio of yearly discomfort hours are calculated. Later, they improved the whole-building parameters such as geometry, envelope, operation, etc., with ANNs for retrofitting purposes. Similarly, there have been several studies employing ANNs for performance predictions of educational buildings (Sterman & Baglione, 2012; Fan, et al., 2019; Neto & Fiorelli, 2008; Kusiak, et al., 2010). However, in these studies,

selected educational buildings were only university buildings, and predictions were based on real-world data. There is a research gap in the development of predictive models applied to primary and secondary school buildings, particularly for the classroom spaces. Therefore, this study aims to predict the performance of classroom spaces based on the proposed framework for the analysis of synthetic data and the building of an ANNs.

## 2. Methodology

This paper proposes a data-driven framework for the analysis of the synthetic data and building of ANNs (**Figure 1**). Firstly, a naturally ventilated classroom in Ankara, Turkey, is modeled and simulated with EnergyPlus engine through Ladybug Tools (Roudsari & Pak, 2013) for data generation. Then the data is explored through the analysis of the simulation outputs. Finally, after data preprocessing and exploration, ANNs are built and their performances are evaluated. The described ANNs are generated in an Anaconda (*Anaconda Software Distribution*, 2020) environment in a python programming language with the TensorFlow (Abadi, et al., 2016) library.

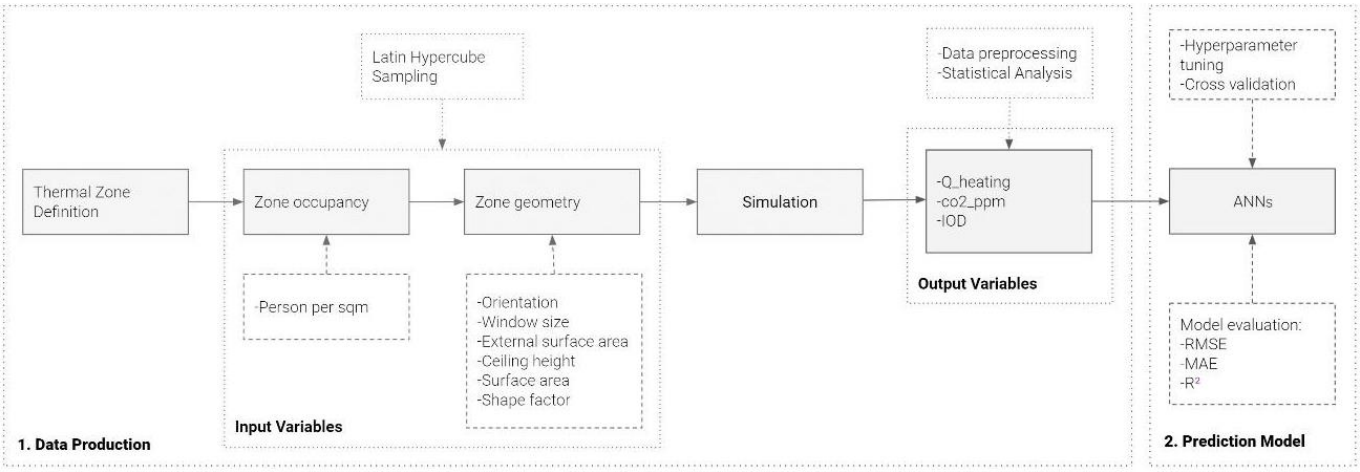



**Figure 1**: The proposed framework

### 2.1. Data

**Variables and sampling:** The impact of five input variables (**Table 1**); namely orientation, shape factor, glazing area, occupant density, and exposed surface area per floor area, is explored to determine the output variables of $Q_{heating}$, CO2 concentration, and IOD of classroom space. The majority of the indicated input variables have been associated widely with building performance in the energy performance of buildings literature (Tsanas & Xifara, 2012; Pessenlehner & Mahdavi, 2003). Furthermore, since studies show that $CO_2$ concentration in classrooms is significantly related to the number of students sharing the same space (Yalçın, et al., 2018), occupant density is also included in the input space. Input variables contain both categorical and continuous data. For the continuous variables, the *Latin hypercube sampling (LHS)* method, a generalized stratified sampling technique (Shields & Zhang, 2016) is applied. For the performance simulations, the weather file for Ankara is used. Building materials chosen for the simulated classroom space is based on a previously studied school building (Akköse, et al., 2021). Following the applied framework, selected performance indicators can be easily predicted with classrooms in other cities with different building materials.

$Q_{heating}$ (kWh/m$^2$), indoor $CO_2$ exceedance (ppm), and indoor overheating degree (°C) are recorded as output variables. Total heating energy demand normalized by floor area is recorded as the first output variable. The second output variable is quantified by the difference between indoor temperatures and the indoor operative temperature limit of 28°C and is named as indoor overheating degree (IOD) (Hamdy, et al, 2017). IOD is the cumulative sum of these hourly temperature differences. Finally, indoor $CO_2$ exceedance is calculated in the same manner to understand the intensity and frequency of concentration levels above the threshold specified by ASHRAE standards (ASHRAE, 2019). The outdoor $CO_2$ concentration is assumed to be 300 parts per million (ppm); therefore, with respect to ASHRAE standards, the highest acceptable $CO_2$ concentration limit is selected as 1000 ppm (ASHRAE, 2019). For the occupied hours, concentrations above 1000 pm is considered and aggregated annually.

**Table 1**: Input variables

| Mathematical representation | Input variable | Unit | Distribution | Range | Sampling |
|---|---|---|---|---|---|
| X1 | Orientation | - | uniform | $\in \{N, E, S, W\}$ | - |
| X2 | Shape factor | $m^{-1}$ | uniform | $\in R: (1.0 - 1.3)$ | LHS |
| X3 | Glazing area | $m^2$ | uniform | $\in R: (6.0 - 8.0)$ | LHS |
| X4 | Occupant density | $ppl/m^2$ | uniform | $\in R: (16 - 30)$ | LHS |
| X5 | Exposed surface area per $m^2$ | $m^{-1}$ | uniform | $\in R: (18.0 - 36.4)$ | LHS |

**Data preprocessing and statistical analysis:** 200 simulations were performed. First missing and faulty data points that might be obtained due to errors occurred during the simulations are checked and eliminated from the dataset. In order to understand the data, descriptive statistics is used to analyze data distributions. Following, a correlation matrix is generated to capture variable dependency, and the data points are visualized. The Spearman correlation coefficient ($\rho$) is calculated to evaluate the monotonic relationship between variables.

### 2.2. Prediction Model

**ANN:** The human brain is composed of massive neural networks that enable humans to accomplish many complex tasks, including but not limited to face recognition, speaking, body movement, etc. More than 10 billion interconnected neurons in the human brain receive, process, and transmit information through biochemical reactions (Kumar, et al., 2013). In reference to the brains' nervous system, artificial neural networks have been developed as generalizations of underlying mathematical models of the interconnected neurons in the brain.

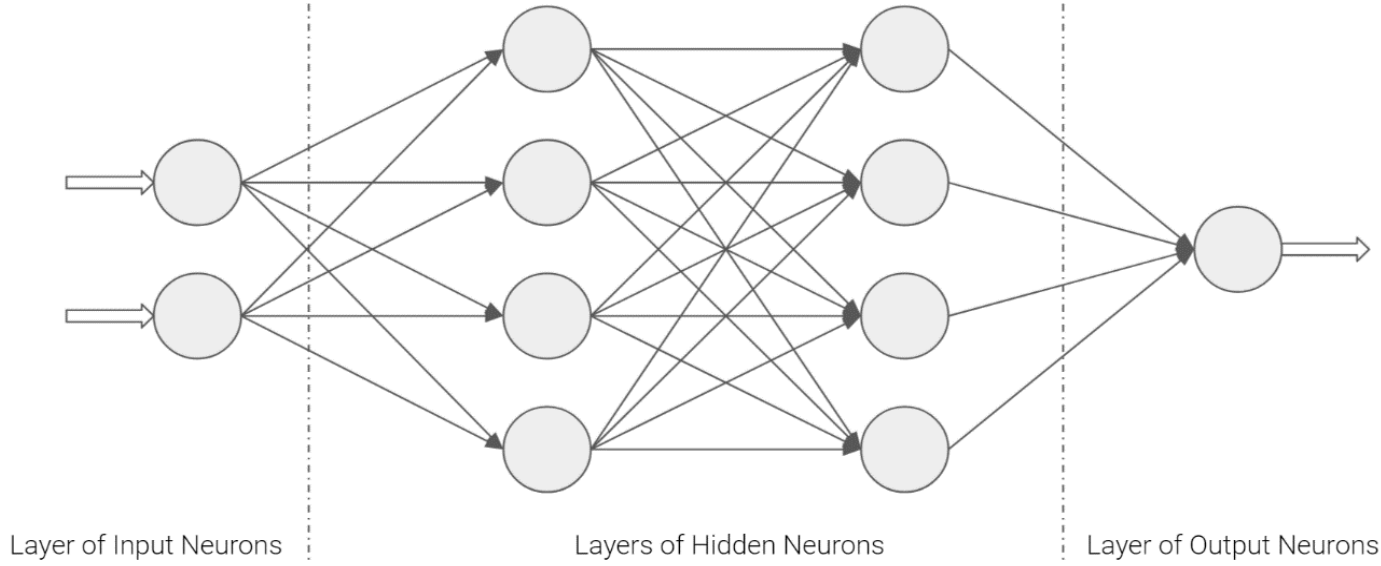



**Figure 2**: Feed-forward multi-layer perceptron (MLP) architecture.

An ANN is a processing data system that learns the input-output relationship from the obtained data. The most popular and simple architecture of ANN is the feed-forward multi-layer perceptron (MLP), and it is used in this study. It is composed of one input layer, single or multiple layers of hidden neurons, and one output layer (**Figure 2**). A neural network takes in inputs, multiplies them by weights and adds biases. Following, the results are passed to activation functions and outputs are received. An activation function defines the output of a node given an input or number of inputs. The last output is the ANN's prediction for the given input or inputs.

**ANN Performance:** The performance of ANN is related to both input and output data together with the model's architecture and parameters (Kalogirou & Bojic, 2000). The number of hidden layers is one of the most critical factors affecting the prediction model performance, and is typically detected by trial and error. Three prediction models are

trained for each output variable, and different numbers of layers of hidden neurons are explored for better prediction performance. Although the number of layers changes, neurons in each layer is set to 5, based on the number of input variables. The activation function for hidden layers is also critical for ANNs' performance. Rectified Linear Unit (ReLU) activation function is a commonly preferred activation function in the literature, and it is chosen in this study. RMSE is selected for the loss function, while the regression optimizer is Adam, which is an algorithm for stochastic gradient descent for training ANNs. The batch size and epochs of training are also critical parameters of an ANN. Batch size is the number of training samples worked through in each iteration, i.e., epochs. It is found that larger batch sizes degrade the model quality in terms of the model's ability to generalize (Keskar, et al., 2017). Therefore, batch sizes of 1 and 4 are chosen with the adjusted number of epochs. Additionally, the proportion of data used for training and testing is also one of the critical decisions. The complete and preprocessed dataset is split into train and test subsets. Since input variables vary in terms of units and quantities, train and test sets are scaled separately to prevent data leakage before the training process. The ratio of training data to testing data is chosen as 8/2 for the $CO_2$ prediction model and 9/1 for IOD and $Q_{heating}$ after trials with 9/1, 8/2 and 7/2 proportions.

**Model Evaluation:** The networks' performance has been evaluated with the calculation of three different metrics: root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and R-squared ($R^2$). RMSE is the standard deviation of the prediction errors. It is the measure of how far the predictions deviate from the actual values (1). MAE is the average magnitude of errors in the prediction data set (2). Lastly, $R^2$, called the coefficient of determination in statistics, is the measure of how well the ML model predicts the actual values. It is based on the ratio of the total variation of outcomes predicted by the prediction model (3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (p_i - a_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |p_i - a_i| \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (p_i - a_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (p_i - \bar{a_i})^2} \quad (3)$$

where $p_i$ is the predicted value of the performance indicator, $a_i$ is the actual value of the indicator, and $n$ is the number of data points in the dataset.

## 3. Results

### 3.1. Data Analysis

Two observations are removed from the dataset due to missing values found in some of the output variables. First, the statistical description of the data is examined (**Table 2**). The minimum energy demanding case is almost one third of the most demanding with the specified input parameters. The minimum-maximum ratio is significant in IOD results. Standard deviation is greater than the mean of the values, and the data points' distribution for IOD is right-skewed; in other words, there are extreme values significantly less in number and resulted uneven distribution of data points in the dataset.

**Table 2**: Output variable description

| Mathematical Representation | Output Variable | Units | Mean | Std. | Min | Max |
|---|---|---|---|---|---|---|
| y1 | $Q_{heating}$ | kWh/m$^2$ | 20.706 | 8.327 | 5.514 | 49.188 |
| y2 | IOD | °C | 124.652 | 184.075 | 9.005 | 1226.964 |
| y3 | $CO_2$ exceedance | ppm | 2293987 | 545962 | 1391631 | 3878137 |

The relationship between input and output variables is visualized with the parallel coordinates graph (**Figure 3**). It is noticeable that the highest value of $Q_{heating}$ is observed when the glazing area is maximized. The energy loss from the larger glazing surface implies an increased $Q_{heating}$ demand. South-facing classrooms demand less $Q_{heating}$, unsurprisingly. Likewise, maximum IOD values are observed in south-facing classrooms. Lastly, the upper bound of obtained $CO_2$ exceedance is observed strictly with high occupant densities.

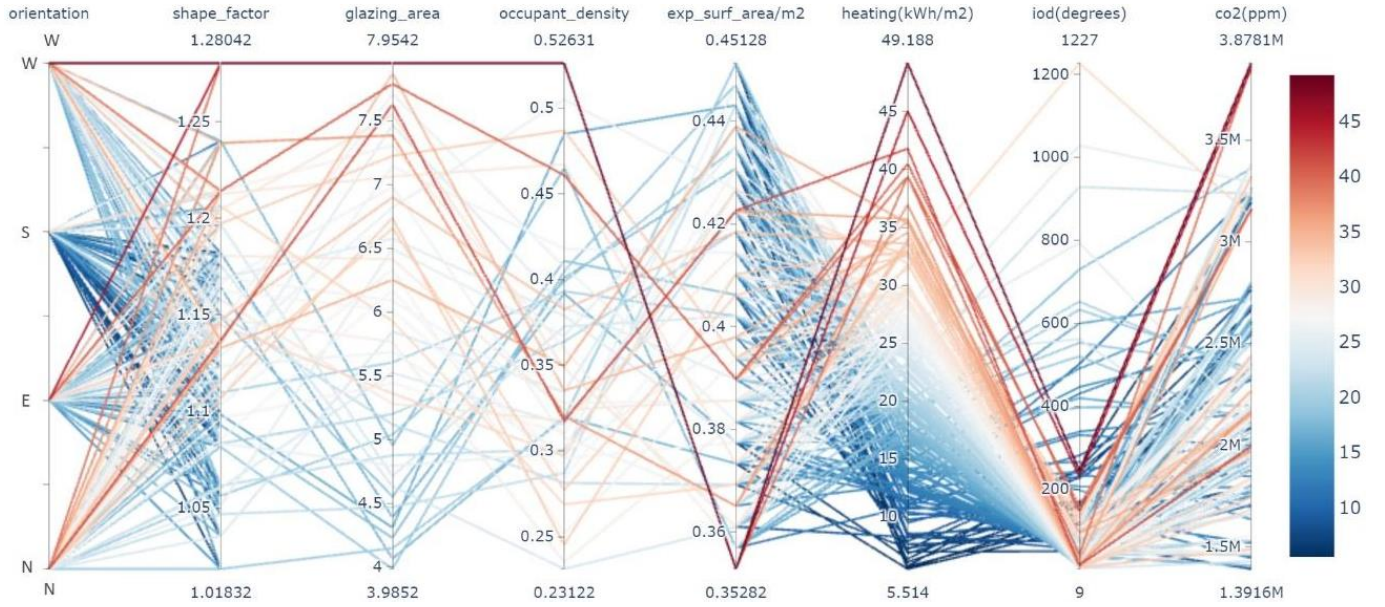



**Figure 3**: Parallel coordinates graph, colored by $Q_{heating}$.

The correlations among the five input variables and three output variables are calculated (**Figure 4**). Between $CO_2$ concentrations and occupant density, a very high level of correlation is observed. Exposed surface area per $m^2$ is negatively correlated with shape factor. $Q_{heating}$ also has a moderate positive relation with the glazing area. IOD does not have a direct correlation with any of the input variables. However, it exhibits weak positive correlations with orientation, shape factor, glazing area, and occupant density. Only between exposed surface area per m2 and shape factor are correlated in input parameters. Output variables of IOD and $CO_2$ exceedance also have a week positive correlation.

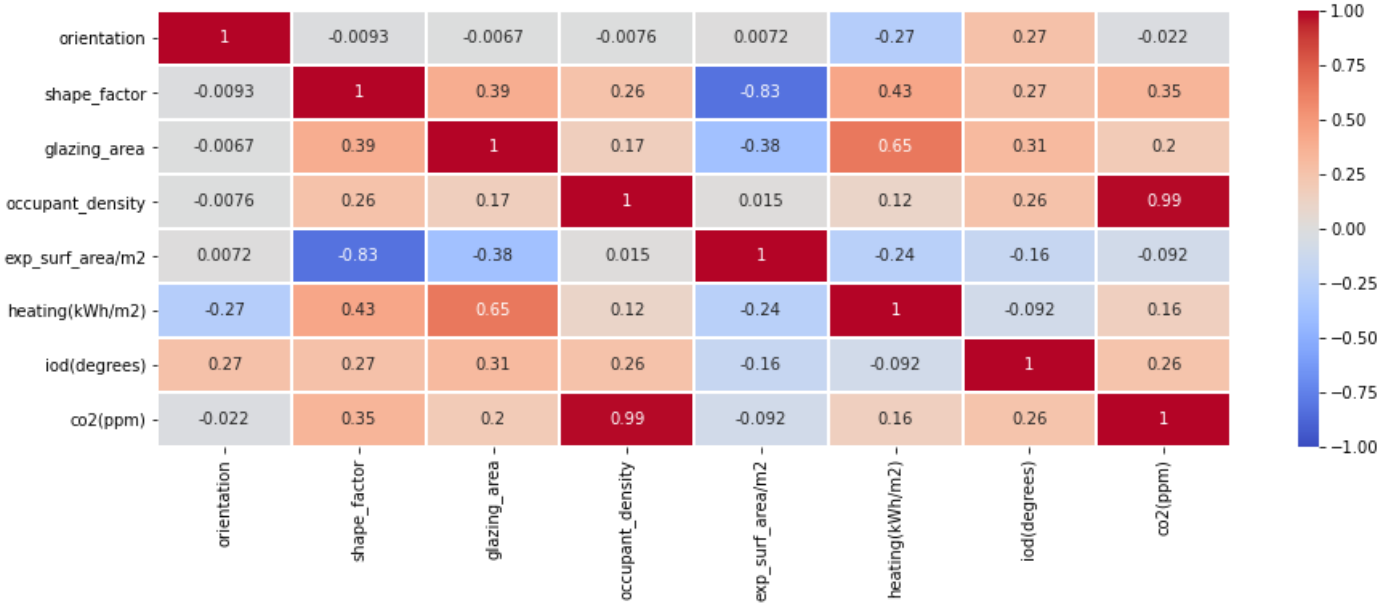


**Figure 4**: Correlation matrix.

### 3.2. Model Performances

ANNs are evaluated based on the performance metrics of $R^2$ and RMSE and MAE errors (**Table 3**). While $Q_{heating}$ and $CO_2$ concentration are predicted successfully with the average error rate of 4% and 2%, respectively, IOD is predicted with 9% RMSE error. It can be stated that the almost perfect linear relationship between occupant density and $CO_2$ concentration enabled the $CO_2$ prediction model to outperform. On the other hand, the IOD prediction model underperforms when compared to the other ANN models. This can be explained with the skewed distribution of data points and the IOD's insignificant linear relationships between input variables. Additionally, it should be reminded that model performances are dependent of the data distribution. Unless containing a missing attribute, none of the observed data is removed from the dataset in this study. However, there are extreme values observed in the data distributions. Those values could be detected as outliers. However, they are left in the datasets since these extreme values are legitimate observations that are a natural part of the population.

**Table 3**: Prediction performances based on $R^2$, RMSE, and MAE.

| Output Variable | $R^2$ | RMSE | MAE |
|---|---|---|---|
| $Q_{heating}$ | 0.992 | 0.762 | 0.579 |
| IOD | 0.986 | 12.18 | 8.176 |
| $CO_2$ Concentration | 0.993 | 38072.179 | 31699.001 |

It can be concluded that with the defined and demonstrated framework, selected input variables of occupant density, shape factor, glazing area, exposed surface area per $m^2$, and orientation are sufficient in predicting performance indicators of $CO_2$ exceedance and $Q_{heating}$. The RMSEs of specified performance indicators are 38072.179 ppm and 0.762 kWh/$m^2$, respectively. On the other hand, selected input variables give relatively poor results for predicting IOD. It can be due to skewed data distribution resulting from the nature of design parameters. Therefore, a larger space of input attributes or a higher number of data points has the potential to improve prediction performances together with the tuning of ANN parameters.

### 3.3. Implications on Classroom Design

Simple design parameters selected and used in this study give insights into classroom spaces' performance. Although ANN is reported to be a black box method due to any insights approximated from the result, preliminary data analysis gives insights for classroom design. It is observed that $Q_{heating}$ is positively correlated with the glazing area. Increased energy loss from the glazing area implies and higher energy demand. Similarly, larger exterior surface area and shape factor indicate greater energy demand. For $CO_2$ concentration levels, occupant density is a vital parameter. In smaller classrooms, the student capacity should be controlled to maintain indoor air quality. On the other hand, for IOD, a direct relation between inputs and outputs is not evident, and the black box prediction method plays an essential role in predicting IOD accurately.

## 4. Discussion and Conclusion

Prediction performances of built ANN can be improved with larger data sets. Moreover, with the described framework, input features can be expanded, and the ANNs can be better tuned to achieve more detailed and accurate predictions. This study focuses on only the physical parameters of a classroom space together with the occupant density. Occupants play an essential role in building performance, and further research can be carried on with the inclusion of occupant-centric controls to input space. Furthermore, the selected performance indicators can vary together with the input variables.

We have presented a data-driven framework to predict $Q_{heating}$, IOD, and $CO_2$ concentration levels of classroom spaces with ANN. We have predicted three performance indicators with the input variables of orientation, shape factor, glazing area, occupant density, and exposed surface area per $m^2$. After the data exploration, three MLP models are

built for each prediction of each output variable. With the selected input parameters, satisfactory results are obtained. The ANNs for predicting $Q_{heating}$ and $CO_2$ concentration are provided better results than for predicting IOD. The test set

was predicted with the average RMSE rate of 4% and 2% concerning the mean of actual values. IOD is relatively poorly predicted with an average error rate of 9%. Model performances can be improved as discussed. The described framework can be applied for the easy and fast assessment of design alternatives during the design development phase or retrofit scenarios.

## REFERENCES


Abadi, M, Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., Zheng, X. (2016). Tensorflow: A system for large-scale machine learning. *12th Symposium on Operating Systems Design and Implementation* (pp. 265–283). https://www.usenix.org/conference/osdi16/technical-sessions/presentation/abadi

Akköse, G., Meral Akgül, Ç., & Gürsel Dino, İ. (2021). Educational building retrofit under climate change and urban heat island effect. *Journal of Building Engineering, 40*, 102294. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102294

*Anaconda Software Distribution*. (2020). *Anaconda Documentation*. Anaconda Inc. Retrieved from https://docs.anaconda.com/

Asadi, E., Silva, M. G., Antunes, C. H., Dias, L., & Glicksman, L. (2014). Multi-objective optimization for building retrofit: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application. *Energy and Buildings, 81*, 2014. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.009

Ascione, F., Bianco, N., Stasio, C. D., Mauro, G. M., & Vanoli, G. P. (2017). Artificial neural networks to predict energy performance and retrofit scenarios for any member of a building category: A novel approach. *Energy, 118*, 999-1017. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.126

ASHRAE. (2019). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.* Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASTM. (1998). *Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentration to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation.* West Conshohocken, PA: ASTM.

Bartlett, K. H., Martinez, M., & Bert, J. (2004). Modeling of Occupant-Generated CO2 Dynamics in Naturally Ventilated Classrooms. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 1*(3), 139-148. https://doi.org/10.1080/15459620490424393

Bluyssen, P. M., Zhang, D., Kurvers, S., Overtoom, M., & Ortiz-Sanchez, M. (2018). Self-reported health and comfort of school children in 54 classrooms of 21 Dutch school buildings. *Building and Environment, 138*, 106-123. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.032

Catalina, T., Virgone, J., & Blanco, E. (2008). Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings. *Energy and Buildings, 40*(10), 1825-1832. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.04.001

European Commission. (2020, February 12). *In Focus: Energy Efficiency in Buildings.* Retrieved April 7, 2021 from ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-

Fabi, V., Andersen, R. V., & Corgnati, S. P. (2013). Influence of occupant's heating set-point preferences on indoor environmental quality and heating demand in residential buildings. *HVAC&R Research, 19*(5), 635-645. https://10.1080/10789669.2013.789372

Fan, C., Sun, Y., Zhao, Y., Song, M., & Wang, J. (2019). Deep learning-based feature engineering methods for improved building energy prediction. *Applied Energy, 240*, 35-45. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.052

Faustman, E. M., Silbernagel, S. M., Fenske, R. A., Burbacher, T. M., & Ponce, R. A. (2000). Mechanisms Underlying Children's Susceptibility to Environmental Toxicants. *Environmental Health Perspective, 108*(Supplemen 1), 13-21. https://doi.org/10.1289/ehp.00108s113

Gaihre, S., Semple, S., Miller, J., Fielding, S., & Turner, S. (2014). Classroom Carbon Dioxide Concentration, School Attendance, and Educational Attainment. *Journal of School Health, 84*(9), 569-574. https://doi.org/10.1111/josh.12183

Hamdy, M., Carlucci, S., Hoes, P.-J., & Hensen, J. L. (2017). The impact of climate change on the overheating risk in dwellings—A Dutch case study. *Building and Environment, 122*, 307-323. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.031

Heschong Mahone Group. (2003). *Windows and classrooms: a study of student performance and the indoor environment.* Fair Oaks, CA: Californian Energy Commission.

Kalogirou, S. A., & Bojic, M. (2000). Artificial neural networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar building. *Energy, 25*(5), 479-491. https://doi.org/10.1016/S0360-5442(99)00086-9

Keskar, N. S., Mudigere, D., Nocedal, J., Smelyanskiy, M., & Tang, P. T. (2017). On Large-Batch Training for Deep Learning: Generalization Gap and Sharp Minima. *ICLR 2017.* arXiv:1609.04836v2

Kumar, R., Aggarwal, R., & Sharma, J. (2013). Energy analysis of a building using artificial neural network: A review. *Energy and Buildings, 65*, 352-358. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.007

Kusiak, A., Li, M., & Zhang, Z. (2010). A data-driven approach for steam load prediction in buildings. *Applied Energy, 87*, 925–933. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.004

Langevin, J., Wen, J., & Gurian, P. L. (2016). Quantifying the human–building interaction: Considering the active, adaptive occupant in building performance simulation. *Energy and Buildings,, 117*, 372-386. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.026

Mumovic, D., Palmer, J., Davies, M., Orme, M., Ridley, I., Oreszczyn, T., . . . Way, P. (2009). Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England. *Building and Environment, 44*(7), 1466-1323. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.014

Neto, A. H., & Fiorelli, F. v. (2008). Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. *Energy and Buildings, 40*, 2169–2176. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.013

NREL. (2013). *Advanced Energy Retrofit Guide – K 12 schools.* Department of Energy US. https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60913.pdf

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings, 40*(3), 394-398. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007

Pessenlehner, W., & Mahdavi, A. (2003). Building Morphology, Transparence, and Energy Performance. *Eighth International IBPSA Conference* . Eindhoven, Netherlands. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03_1025_1032.pdf

Roudsari, M. S., & Pak, M. (2013). Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design. *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association.* Lyon, France. http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2013/p_2499.pdf

Seyedzadeh, S., Rahimian, F. P., Glesk, I., & Roper, M. (2018). Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review. *Visualization in Engineering, 6*(5). https://doi.org/10.1186/s40327-018-0064-7

Shaughnessy, R. H.-S., Nevalainen, A., & Moschandreas, D. (2006). A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance. *Indoor Air, 16*(6), 465-468. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00440.x

Shendell, D., Prill, R., Fisk, W., Apte, M., Blake, D., & Faulkner, D. (2004). Associations between classroom CO2 concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air, 14*(5), 333-341. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00251.x

Shields, M. D., & Zhang, J. (2016). The generalization of Latin hypercube sampling. *Reliability Engineering & System Safety, 148*, 96-108. https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.12.002

Sterman, M., & Baglione, M. (2012). Design of Artificial Neural Network Using Solar Inputs for Assessing Energy Consumptıon in a High Performance Academic Building. *Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition.* Texas, USA. https://doi.org/10.1115/IMECE2012-86976

Tsanas, A., & Xifara, A. (2012). Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools. *Energy and Buildings, 49*, 560-567. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.003

Walker, S., Khan, W., Katic, K., Maassen, W., & Zeiler, W. (2020). Accuracy of different machine learning algorithms and added-value of predicting aggregated-level energy performance of commercial buildings. *Energy and Buildings, 209*. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109705

Wan, K. K., Li, D. H., Liu, D., & Lam, J. C. (2011). Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates. *Building and Environment, 46*(1), 223-234. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.016

Yalçın, N., Balta, D., & Özmen, A. (2018). A modeling and simulation study about CO2 amount with web-based indoor air quality monitoring. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 26*, 1390 – 1402. https://doi.org/10.3906/elk-1612-57

Yalcintas, M., & Ozturk, U. A. (2006). An energy benchmarking model based on artificial neural network method utilizing US Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) database. *International Journal of Energy Research, 31*(4), 412-421. https://doi.org/10.1002/er.1232

Yang, L., Yan, H., & Lam, J. C. (2014). Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. *Applied Energy, 115*, 164-173. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062

Yezioro, A., Dong B., & Leite, F. (2008). An applied artificial intelligence approach towards assessing building performance simulation tools. *Energy and Buildings, 40*(4), 612-620. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.014

Yu, Z., Haghighat, F., Fung, B. C., & Yoshino, H. (2010). A decision tree method for building energy demand modeling. *Energy and Buildings, 42*(10), 1637-1646. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.006

Zomorodian, Z. S., Tahsildoosta, M., & Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59*, 895-906. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.0

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Uyum Gösteren Gölgeleme Bileşenlerinin Parametrik Tasarım Araçlarıyla Görsel Performansının Değerlendirilmesi

Dilan Öner[1]; Aslıhan Ünlü[2]
[1]Kocaeli Üniversitesi; [2]Özyeğin Üniversitesi
[1]kocaeli.edu.tr, [1]dilanoner@hotmail.com; [2]ozyegin.edu.tr, [2]aslihan.unlu@ozyegin.edu.tr

## Özet

*Gelişen teknoloji ile birlikte yenilikçi ve yaratıcı tasarımlar yapılarda uygulama bulmuş; statik unsur olarak kabul edilen, çoğunlukla mekanın değişen ihtiyaç ve koşullarına tepki göstermeden kalan yapı kabukları değişime ve dönüşüme girmiştir. Bu değişim ve dönüşümün bir parçası olan uyum gösteren kabuklar (UGK), dış ortam parametrelerine ve kullanıcı ihtiyaçlarına gerçek zamanlı olarak cevap verebilmektedir. Maksimum verimlilik ve minimum enerji tüketimini vaat eden bu kabuk teknolojilerinin gelişimi ve uygulamaları son zamanlarda hız kazanmıştır ancak kompleks (karmaşık) yapıları nedeniyle yapım maliyetleri fazladır. Bundan dolayı erken (ön) tasarım aşamasında verilecek olan kararlar önem taşımaktadır. UGK tasarımı binanın bulunduğu enlem ve boylama göre güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı, nem, rüzgar, yağış ve gürültü gibi dış ortam faktörlerinin farklılık göstermesine bağlı olarak kendi içinde özelleşmektedir. Yapılan literatür taraması kapsamında UGK'nın özellikleri sınıflandırılmış ve mevcut örnekler üzerinden yaygın olarak görülen uyum gösterme özellikleri belirlenmiştir. İncelenen örnekler üzerinden UGK'nın gölgeleme bileşeni olarak kullanımının en yaygın yapı ölçeği olduğu tespit edilmiştir. Son yıllarda ön plana çıkan parametrik tasarım destek araçları, UGK tasarım sürecinde farklı seçeneklerin performans değerlendirmelerini olanaklı hale getirerek daha hızlı ve kapsamlı sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, parametrik bir yaklaşım izleyerek, farklı hareket kabiliyetine sahip uyum gösteren gölgeleme bileşenlerinin, ön tasarım aşamasında görsel konfor koşullarının iyileştirilmesine yönelik potansiyellerini belirlemektir. Bu hedef doğrultusunda seçilen bir parametrik tasarım aracı ve eklentisiyle İstanbul iklim koşullarında yer alan bir ofis binası için tasarlanan uyum gösteren gölgeleme bileşeninin görsel performansı aydınlık düzeyleri (D-lux) ve kamaşma değerlerine (DGP) bakılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında düşeyde ve yatayda katlanma, dönme ve kayma hareketi yapan altı uyum gösteren gölgeleme bileşeni ele alınmıştır. Güney yönüne bakan ofis odası için gerçekleştirilen simülasyonlar mekandaki görsel performansı katlanma ve dönme hareketlerinin olumlu yönde etkilediğini, kayma hareketinin ise olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir. Yatay panellerin katlanma hareketi görsel performansı sağlayan en optimum çözüm olmuştur. 21 Haziran günü için tüm olasılıklarda kamaşma problemine rastlanmamıştır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Uyum gösteren gölgeleme bileşenleri, tasarım optimizasyonu, günışığı analizi, görsel konfor.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Öner, D., & Ünlü, A. (2021). Uyum gösteren gölgeleme bileşenlerinin parametrik tasarım araçlarıyla görsel performansının değerlendirilmesi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 234-245). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Evaluating the Visual Performance of Adaptive Shading Components with Parametric Design Tools

Dilan Öner [1]; Aslıhan Ünlü [2]
[1]Kocaeli University; [2]Ozyegin University
[1]kocaeli.edu.tr, [1]dilanoner@hotmail.com; [2]ozyegin.edu.tr, [2]aslihan.unlu@ozyegin.edu.tr

## Abstract

*With the developing technology, innovative and creative designs have found application in buildings and the building shells, which are accepted as static elements, mostly remaining unresponsive to the changing needs and conditions of the space, have undergone change and transformation. Adaptive building envelope (ABE), a part of this change and transformation, can respond to external environment parameters and user needs in real-time. The development and applications of these envelope technologies, which promise maximum efficiency and minimum energy consumption, have recently gained momentum. However, their construction costs are high due to their complex structures. Therefore, decisions made at the early design stage are essential. The ABE design specializes in itself depending on the differences in external environmental factors such as solar radiation, outdoor temperature, humidity, wind, precipitation and noise, depending on the latitude and longitude of the building. Within the scope of the literature review, the features of ABE have been classified, and the adaptation features seen in the existing examples were determined. It has been determined that the use of ABE as a shading component in the analyzed samples is the most common building scale. Parametric design support tools, which have come to the fore in recent years, enable faster and more comprehensive results by enabling performance evaluations of different options in the ABE design process. This study aims to determine the potential of adaptive shading components with different movement abilities to improve visual comfort conditions at the early design stage by following a parametric approach. With a parametric design tool and its add-on selected in line with this aim, the visual performance of the adaptive shading component designed for an office building in Istanbul climatic conditions was evaluated by looking at the illuminance levels (D-lux) and glare values (DGP). Within the scope of the study, six shading components that show folding, rotation and sliding movements in both vertical and horizontal directions were examined. The simulations carried out for the office room facing the south direction showed that the folding and rotation movements positively affect the visual performance in the space. In contrast, the sliding movement had a negative effect. The folding movement of the horizontal panels has been the optimum solution that provides visual performance. For the 21st of June, no glare problem was encountered in all possibilities.*

***Keywords:*** *Adaptive shading components, design optimization, daylight analysis, visual comfort.*

**Citation in APA Style:** Öner, D., & Ünlü, A. (2021). Evaluating the visual performance of adaptive shading components with parametric design tools. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 234-245). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

Enerji tasarrufunu amaçlayan modern binalar, maksimum verimlilik ve çalışma konforu sağlamak için minimum enerji kullanmak üzere tasarlanmıştır. Artı enerji oluşturma konseptleri için bu hedef, yerel yenilenebilir kaynaklardan, entegre bir enerji üretimine genişletilmiştir. Bu hedeflere ulaşmak için önemli faktörlerden birkaçı binanın, iklimsel değişen şartlara ve kullanıcı ihtiyaçlarına dinamik olarak cevap verebilmesidir. Bu bağlamda, iki iklim ortamı arasındaki arabirim olan bina kabuğu, enerji akışını aktif bir şekilde kontrol etmek için, çok çeşitli formel, işlevsel ve yapıcı kriterler ile başarılı bir şekilde başa çıkabilmek için tasarlanmış, yüksek mühendislik ürünü bir sistem haline gelmiştir (Gosztonyi, 2015). Yenilikçi ve yaratıcı tasarımların gelişen teknolojiyle binalarda uygulama bulması ile birlikte çoğunlukla değişen ihtiyaçlara ve bulunduğu yerin koşullarına tepki vermeden duran statik bir unsur olarak görülen yapı kabukları, değişim ve dönüşüm içine girmiştir. Bu değişim ve dönüşümün bir parçası olan ve uyum gösteren kabuklar (UGK), dış ortam parametrelerine ve kullanıcı ihtiyaçlarına gerçek zamanlı olarak cevap verebilmektedir. UGK'nın tasarlanmasındaki ana odak noktası, hem dış ortamdan binalara, hem de binanın iç alanlarından dışarıya doğru enerji hatlarının daha iyi yönetilmesidir; genel hedef binanın performansının ve iç mekandaki kullanıcı konforunun iyileştirilmesidir (Kolarevic & Parlac, 2015; Romano ve diğ., 2018).

## 1.1. Arka plan

Günden güne akıllı malzeme ve dinamik kabuk sistemlerin tasarımına ve geliştirilmesine artan eğilim nedeniyle Addington ve Schodek (2005), Ramzy ve Fayed (2011), Loonen ve diğ. (2013) ve Megahed (2017) farklı kavramları ortak özelliklerine göre alt gruplara ayırarak sınıflandırma üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalardan edinilen bilimsel bilgiler ışığında farklı iklim bölgelerinde bulunan elli UGK örneği incelenmiş ve uyum gösterme özellikleri ile ilişkilendirilmiştir **(Tablo 1, Tablo 2).**

**Tablo 1:** İncelenen örnekler

| | |
|---|---|
| ● Manitoba Hydro, Kanada | ● ThyssenKrupp Quarter, Almanya |
| ● Sharrifi-ha House, İran | ● Church of the Sacred Heart, Almanya |
| ● Gardens by the Bay, Singapur | ● St. Ingbert Town Hall, Almanya |
| ● Al Bahr Towers, Birleşik Arap Emirlikleri | ● SDU Campus Kolding, Danimarka |
| ● Apple Dubai Mall, Birleşik Arap Emirlikleri | ● The Kfw Westarkade, Almanya |
| ● Dubai Rotating Tower, Birleşik Arap Emirlikleri | ● Allwetterdach, Almanya |
| ● Solar Barrel Wall, ABD | ● Black Box Apartment, İngiltere |
| ● L'Hemisferic, İspanya | ● Museum of Paper Art, Japonya |
| ● Wind Shaped Kinetic Pavilion, ABD | ● POLA Ginza, Japonya |
| ● Media – TIC Office Building, İspanya | ● One Ocean, Güney Kore |
| ● Torre Agbar, İspanya | ● Bund Finance Center, Çin |
| ● CH2 Melbourne City, Avustralya | ● Burke Brise soleil, İspanya |
| ● Brisbane Terminal Car Park, Avustralya | ● Bengt Sjostrom Starlight Theatre, ABD |
| ● RMIT Design, Avustralya | ● Articulated Cloud, ABD |
| ● Beadwall, ABD | ● Ewe Arena, Almanya |
| ● Friedrichstrasse 40, Almanya | ● Kiefer Technic Showroom, Avusturya |
| ● Heliotrope, Almanya | ● House at the Milsertor, Avusturya |
| ● Institute du Monde Arabe, Fransa | ● Metal Shutter Houses, ABD |
| ● Bremtex, Hollanda | ● LIGO Science, ABD |
| ● Post Tower Bonn, Almanya | ● BIQ House, Almanya |
| ● Zollverein School, Almanya | ● Soft House, Almanya |
| ● Bloomframe Balcony, Hollanda | ● F House, Almanya |
| ● Solarlux NL, Hollanda | ● Elektrokromik camlar |
| ● Café Open, Hollanda | ● Fotokromik camlar |
| ● Sliding House, İngiltere | ● Termokromik camlar |

Uyum gösterme özellikleri ve incelenen örnekler eşleştirildiğinde UGK'ya en çok etki eden iklimsel faktör güneş ışınımı ve sıcaklık olmuştur. Buna bağlı olarak tepki mekanizmasında güneş ışığının ve ısı kazanımının iç ortamdaki etkisini ayarlama refleksi daha çok kullanılmaktadır ve bu uygulamaların çoğu mekanik uyum yapısına sahiptir. Daha çok bileşen bazında uygulamaların olduğu görülmüştür ve bu çalışma kapsamında "Uyum Gösteren Gölgeleme Bileşenleri"

(UGGB) ele alınmıştır. İncelenen örnekler kapsamında (sadece hareket tipleri değiştirilerek) yaygın olarak görülen uyum gösterme özellikleri bu çalışmada da temel olarak kabul edilmiştir **(Tablo 2)**.

**Tablo 2:** Uyum gösterme özellikleri ve bu çalışmada kabul edilen özellikler.

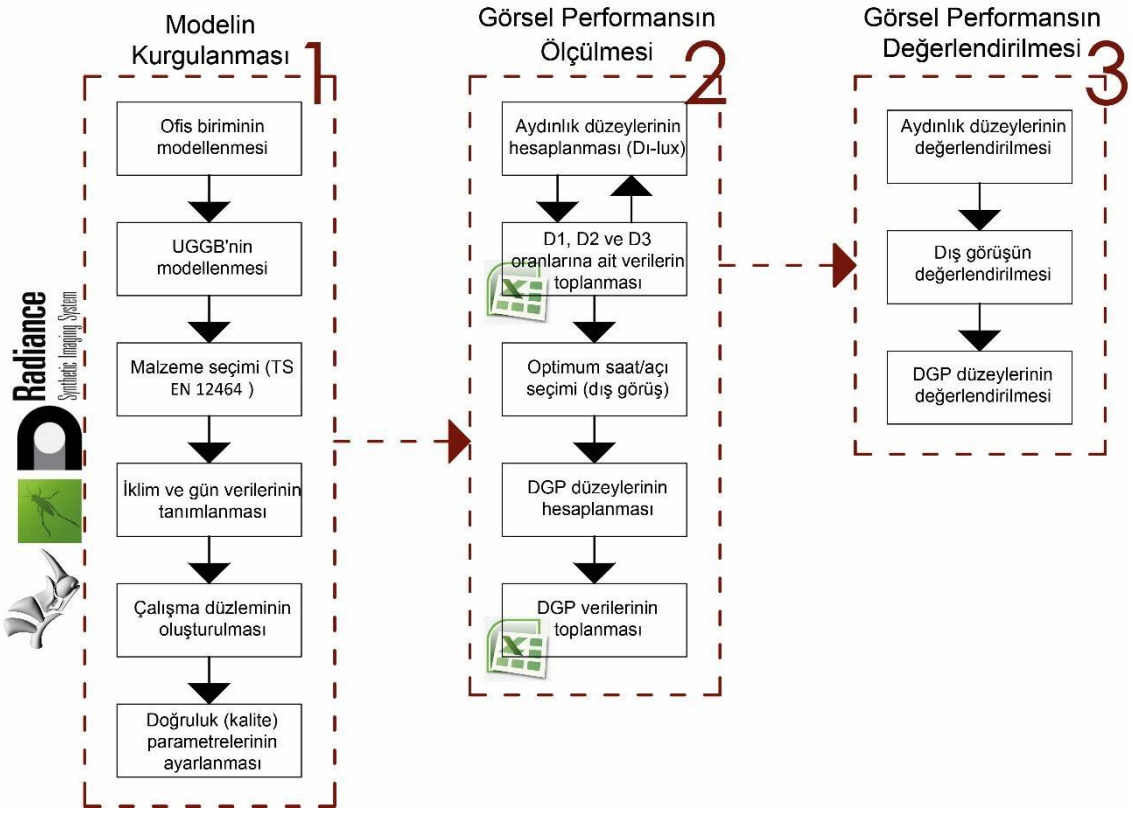
| Uyum Gösterme özellikleri | | | UGGB |
|---|---|---|---|
| Etki | Dış Ortam Faktörleri | Güneş Işınımı | X |
| | | Sıcaklık | |
| | | Nem | |
| | | Rüzgar | |
| | | Yağış | |
| | | Gürültü | |
| | | Hava değişimi | |
| Tepki | Güneş kazanımını engellemek, geri çevirmek, içeri almak, depolamak veya ayarlamak | | X |
| | Konveksiyon, taşınım ve uzun dalga radyant ısı akısını engellemek, geri çevirmek,içeri almak,depolamak veya ayarlamak | | |
| | Dış havanın değişimi ve filtrelenmesi için kontrollü gözeneklilik | | |
| | Görüşü engellemek, görüşe izin vermek | | |
| | Sesi engellemek, içeri almak veya yönlendirmek | | |
| | Rüzgar enerjisini toplamak ve dönüştürmek | | |
| | Renk Değiştirme | | |
| | Doku Değiştirme | | |
| | Şekil Değiştime | | |
| Ölçek | Bina | | |
| | Sistem | | |
| | Bileşen | | X |
| | Malzeme | | |
| Sistem Konfigürasyonu | Gömülü | | |
| | Entegre | | |
| | Eklenmiş | | X |
| Zaman | Saniye | | |
| | Dakika | | |
| | Saat | | X |
| | Gün | | |
| | Mevsim | | |
| | Yıllar | | |
| Uyum Yapısı | Mekanik | | X |
| | Kimyasal | | |
| | Manyetik | | |
| | Pnömatik | | |
| | Malzeme Esaslı | | |
| | Hidrolik | | |
| Hareket Türü | Katlanma | | * |
| | Dönme | | * |
| | Kayma | | * |
| | Genişleme | | |
| Görünebilirlik | Yok | | |
| | Düşük | | |
| | Yüksek | | X |
| Uyum Ölçeği | Makro | | X |
| | Mikro | | |
| Hareket Kabiliyeti | Açık-Kapalı | | |
| | Kademeli | | X |
| | Hibrit | | |

## 2. Yöntem

Bu çalışmada uyum gösteren gölgeleme bileşenlerinin (UGGB) hareketini modelleyebilmek için parametrik tasarım araçlarından Grasshopper for Rhino ile birlikte kullanılan çevresel analiz yazılımlarından DIVA, altyapısında Energy Plus,

Radiance gibi onaylanmış yazılımları (Reinhart ve Walkenhorst, 2001) kullanmasından ve arayüzünün kullanıcı dostu olmasından dolayı tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında UGGB'lerin İstanbul iklim koşullarında 21 Haziran günü için güney yönüne bakan ofis iç mekanının görsel konfor performansına olan etkisi belirlenmiş ve farklı UGGB seçeneklerinin hareket şekillerinin iç mekanda gün boyu oluşan gün ışığı dağılımına etkileri analiz edilmiştir.

Çalışmanın metodolojik çerçevesi 3 ana bölümden oluşmaktadır; ilk olarak hiçbir gölgeleme bileşeni bulunmayan referans oda ve UGGB tiplerinin model ayarları yapılmıştır, daha sonra aydınlık düzeyleri ve kamaşma düzeylerinin hesaplanması için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir ve son olarak iç ortamdaki görsel konfor performans analizleri yapılmıştır **(Şekil 1)**. İç ortamda yerden 0.8 m yükseklikte bulunan grid üzerinde oluşan aydınlık düzeyine göre cephede bulunan panellerin hareketi sağlanmaktadır. Performans analizlerinde değerlendirme ölçütleri olarak iç ortam doğal aydınlık düzeyi (DI-lux) ve kamaşma düzeyi (DGP) kullanılmıştır.




**Şekil 1:** Çalışmaya ait akış şeması.

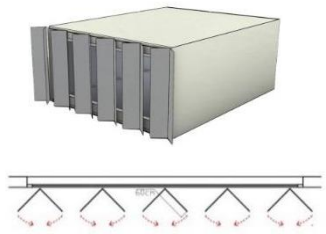
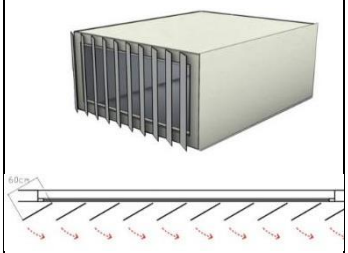
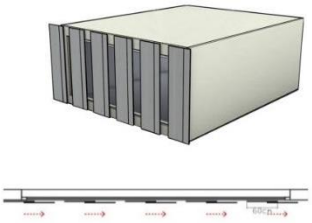
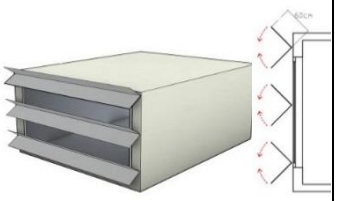
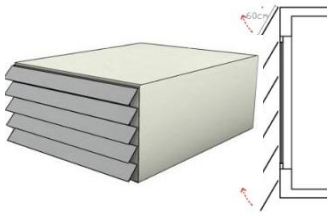
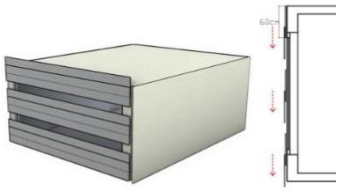
### 2.1. Ofis özellikleri

Çalışma için kullanılan alan %60 saydamlık oranına (10.71 $m^2$ saydam, 7.29 $m^2$ opak cephe alanı) sahip bir ofis odasıdır. Alan 45 metrekare, 6.0 m genişliğinde, 7.5 m derinliğinde ve 3.0 m yüksekliğinde olup, ofis odasının yüksek katlı bir binanın ara katında yer aldığı, çevredeki binaların daha alçak olduğu ve aralarındaki mesafenin uzak olduğu varsayılarak modelleme yapılmıştır.

### 2.2. UGGB parametreleri

Bu çalışma kapsamında UGGB'nin hareket kabiliyetine göre iç mekanın görsel performansına etkisinin belirlenmesi için üç farklı hareket yeteneğine sahip yatay ve düşey UGGB seçenekleri tasarlanmıştır **(Şekil 2).** Bölüm 1.1'de yer alan örnekler incelendiğinde uyum gösteren gölgeleme bileşenlerinin pratik kullanımının genelde düz panellerden ve basit geometrilerden oluştuğu görülmüştür. Düşeyde ve yatayda dış cepheden 0.03 m dışarıya yerleştirilen 0.6 m enindeki dikdörtgen panellerin dönme, kayma ve katlanma olmak üzere 3 farklı hareket konfigürasyonu ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Dönme hareketi, uzun kenar ekseninde 15 derecelik adımlarla 30 ile 165 derece aralığında, katlanma hareketi ise 10 derecelik adımlarla 0 ile 90 derece aralığındadır. Kayma hareketi 6 cm'lik 10 adımdan oluşmuştur **(Şekil 2).** Düşey panellerin katlanma hareketi (D-Kat), yatay panellerin katlanma hareketi (Y-Kat), düşey

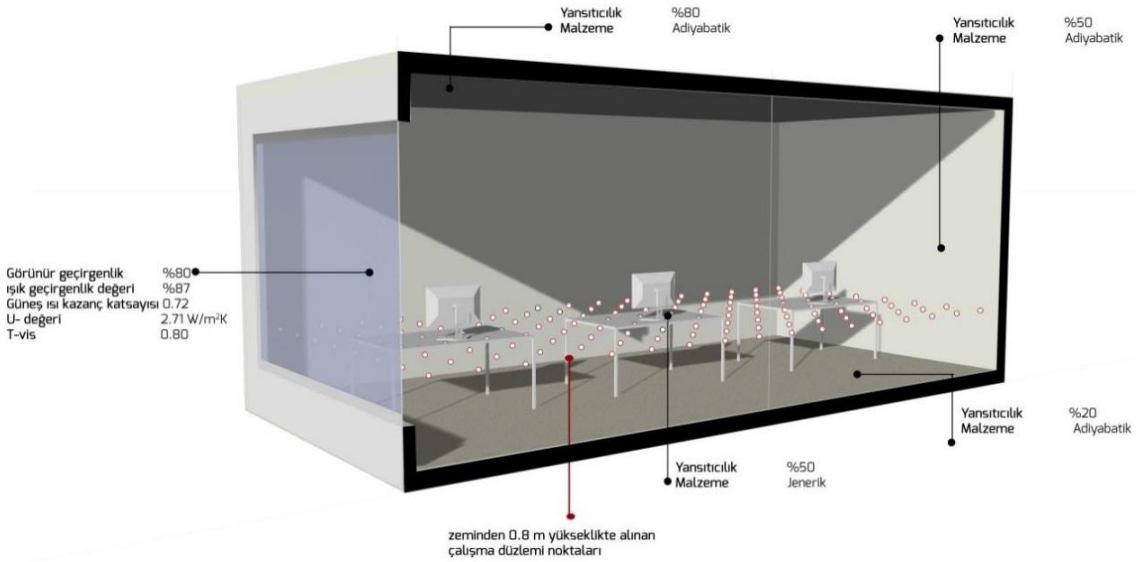
panellerin dönme hareketi (D-Dön), yatay panellerin dönme hareketi (Y-Dön), düşey panellerin kayma hareketi (D-Kay) ve yatay panellerin kayma hareketi (Y-Kay) yapan UGGB tipleri güney yönü için modellenmiştir. Malzeme olarak % 90 yansıması olan ince metal seçilmiştir.

| | Katlanma (Kat) | Dönme (Dön) | Kayma (Kay) |
|---|---|---|---|
| Düşey Panel (D) |  |  |  |
| Yatay Panel (Y) |  |  |  |

**Şekil 2:** UGGB tipleri ve uyum gösterme şekilleri

### 2.3. Modellemede Kullanılan Kabuller

İç mekan bitirme malzemeleri DIVA materyallerinden varsayılan olarak atanmıştır. UGGB tiplerinin performansı inceleneceği için cam sistemi standart tipte seçilmiş olup, konstrüksiyonu 3 mm cam, 6 mm hava, 3 mm cam olan çift camdan oluşmaktadır Yüzeylerin yansıtma oranları TS EN 12464 nolu "Işık ve Işıklandırma – İş Mahallerinin Aydınlatılması Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri" standardında tavsiye edilen yansıtma aralıklarına göre belirlenmiştir. Günışığı kaynaklı kamaşma analizlerinin gerçeğe en yakın şekilde elde edilebilmesi için ilgili hacim, tefriş elemanları, hacim yüzeylerine ilişkin renk, doku, malzeme özellikleri gözetilerek modellenmiştir. İç mekan bitirme malzemelerine ait yansıma oranları **Şekil 3**'de yer almaktadır. Kamaşma için en kötü durum senaryosu olan 'ClearSkyWithSun' yani açık gökyüzü tipi seçilmiştir.




**Şekil 3:** Modelin iç yüzey ve cam özellikleri.

### 2.4. Görsel konfor ölçütleri

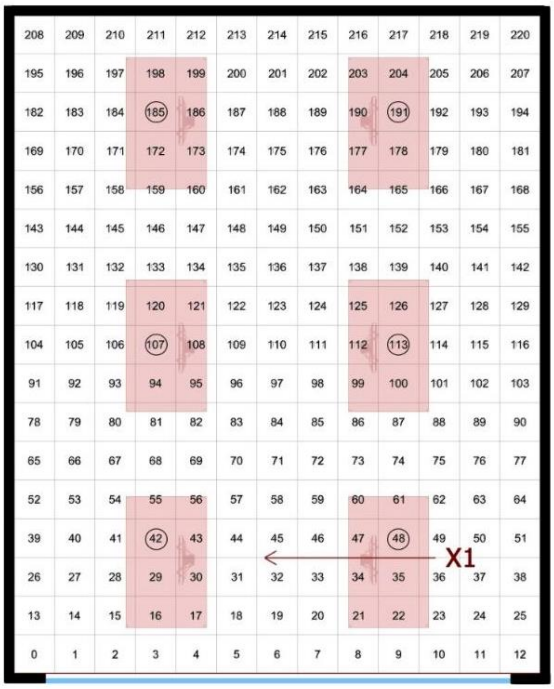
Analiz aşamasında UGBB'lerin saatlik doğal aydınlatma performansları 2 aşamada değerlendirilmiştir. İlk aşamada, UGGB tiplerinin her biri 21 Haziran gününün 11 saati için analiz edilip hareketlerine bağlı olarak iç ortamdaki aydınlık düzeyleri incelenmiştir. Aydınlık düzeyi 300 lux'ün altına indiğine aydınlatma kontrolü devreye girdiği için, bu sınırın altında kalmayacak ve 3000 lux üzerinde görsel konforsuzluk oluşacağı için bu sınırı koruyacak UGGB hareketinin ayarlanması önemlidir. Üç aydınlık düzeyi D1, D2 ve D3 olarak adlandırılmıştır. D1 alanları aydınlık düzeyi 300 lux'ün altında kalan alan, D2, 300 ile 3000 lux arasında aydınlık düzeyi ulaşan alan, D3 ise 3000 lux üzerinde aydınlık düzeyi olan, potansiyel göz kamaşmasına sahip olan alanlardır (Mahmoud & Elghazi, 2016). Bu bağlamda UGGB tipleri için en iyi aydınlık düzeyini sağlayan saat\açı durumları belirlenmiştir. Ancak dış görünüşün en çok olduğu durumlar optimum saat/açı olarak kabul edilmiştir ve kamaşma değerlerinin hesaplanmasında bu optimum saat\açılar esas alınmıştır. İkinci aşamada, optimum saat\açılar üzerinden UGGB tiplerinin kamaşma (DGP-Daylight Glare Probability) değerlerine bakılmaktadır.

DGP olarak nitelendirilen Günışığı Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability) yöntemi, Wienold ve Christoffersen tarafından 2006 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntem, mekanlarda ölçülen aydınlık ve parıltı değerleri ile kullanıcıların mekanlardaki aydınlatma koşullarına olan tepkisi arasındaki ilişkiye dayanır **(Tablo 3)**. Günışığı için en doğrulanmış model DGP endeksidir (Wienold & Christoffersen, 2006).

**Tablo 3.** DGP kategori aralıkları.

| Kamaşma kategorisi | DGP |
|---|---|
| Hissedilmeyen kamaşma | <35 |
| Algılanabilir kamaşma | 35-40 |
| Rahatsızlık verici kamaşma | 40-45 |
| Katlanılamaz kamaşma | >45 |

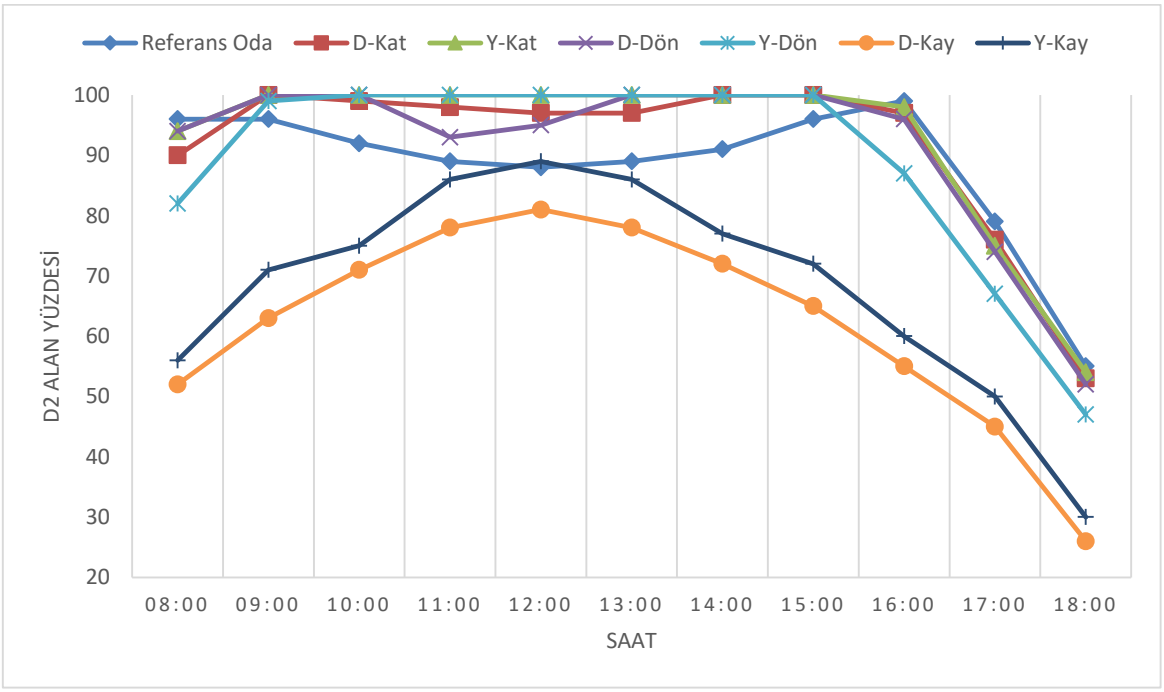
İncelenen vakalarda gün ışığına bağlı kamaşma analizlerinin gerçekleştirilebilmesi hedefiyle pencereye en yakın masalardan sol tarafta oturan bir kullanıcının (X1 noktası) bakış doğrultusu dikkate alınmıştır **(Şekil 4)**.




**Şekil 4:** Yerleştirilen grid düzen ve X1 bakış doğrultusu.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

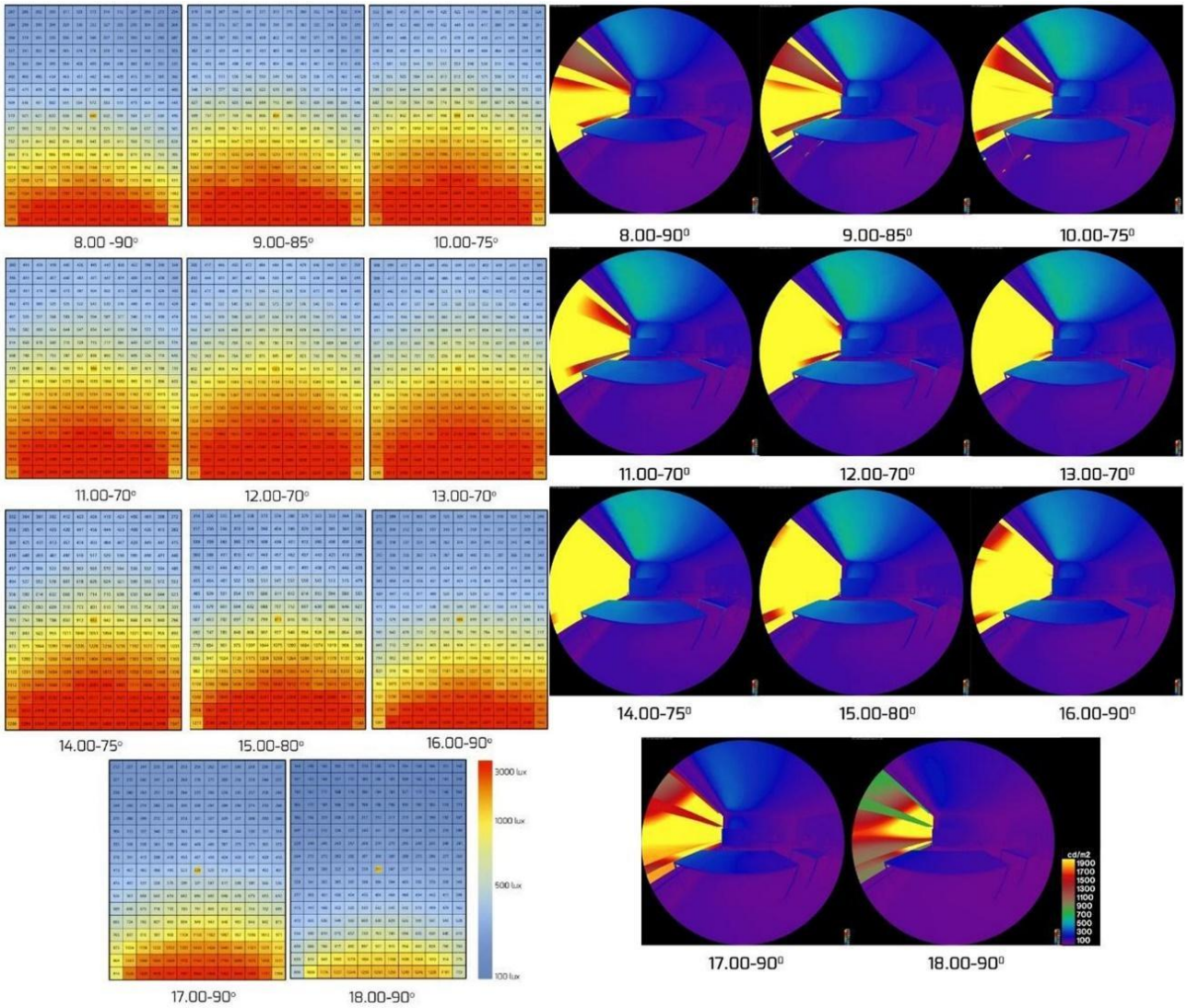
Çalışmada farklı tiplerde UGGB kullanılarak güney yönüne bakan bir ofis odasının görsel performansı değerlendirilmiştir. Önünde hiçbir engel bulunmaması nedeniyle 21 Haziran gününde güney yönü için güneş ışınlarının en etkili olarak geldiği 9.00 ve 15.00 saatleri arasında D3 (3000 lux ve üzeri) alan yüzdeleri, referans oda için UGGB kullanılan tiplere göre daha yüksek değerler alması beraberinde kamaşma düzeyini arttırmaktadır. Ayrıca en yüksek D3 alan yüzdesi saat 12.00'da görülmüştür. Referans oda ve UGGB tiplerine ait D2 alan yüzdeleri arasındaki ilişki **Şekil 5**'de verilmiştir.



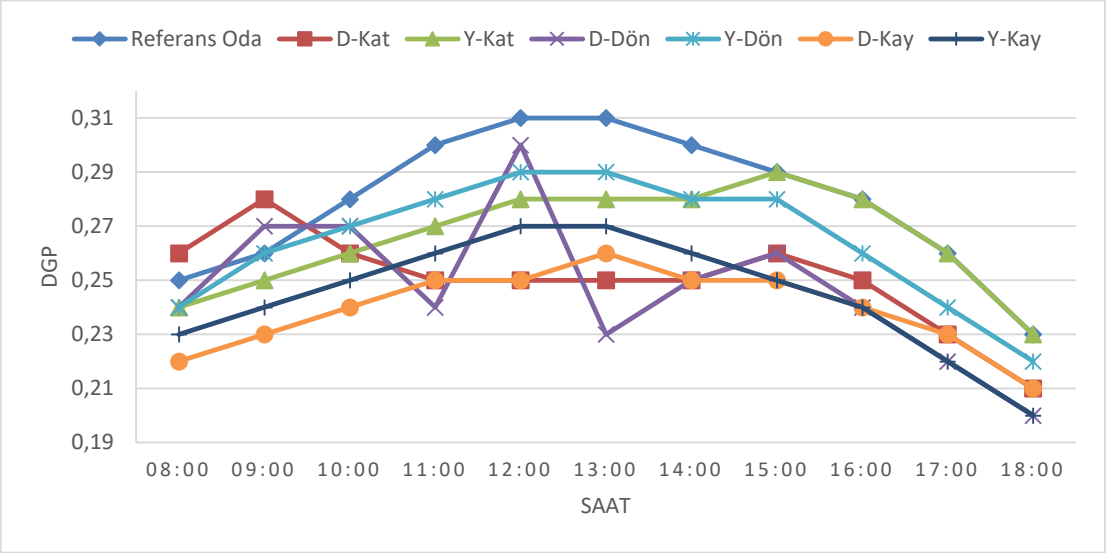

**Şekil 5:** Güney yönü için tiplere ait saatlik D2 ( 300-3000lux) alan yüzdeleri.

**Katlanma**

DGP verileri en düşük düşey panellerin katlanma hareketi yaptığı seçenekte görülürken en yüksek değerler referans odada görülmektedir**(Şekil 7)**. Ancak elde edilen DGP verilerine göre, güney yönüne bakan seçenekler için kamaşma olasılığı bulunmadığı için en iyi D2 (çalışma düzleminde oluşan 300 lux ile 3000 lux arası aydınlık düzeyi yüzdesi) performansını gösteren yatay panellerin katlanma hareketi yaptığı tip en optimum seçenektir **(Şekil 6)**.




**Şekil 6:** Optimum saat/açı değerlerinde Y/Kat tipine ait saatlik aydınlık düzeyi ve dağılımı.



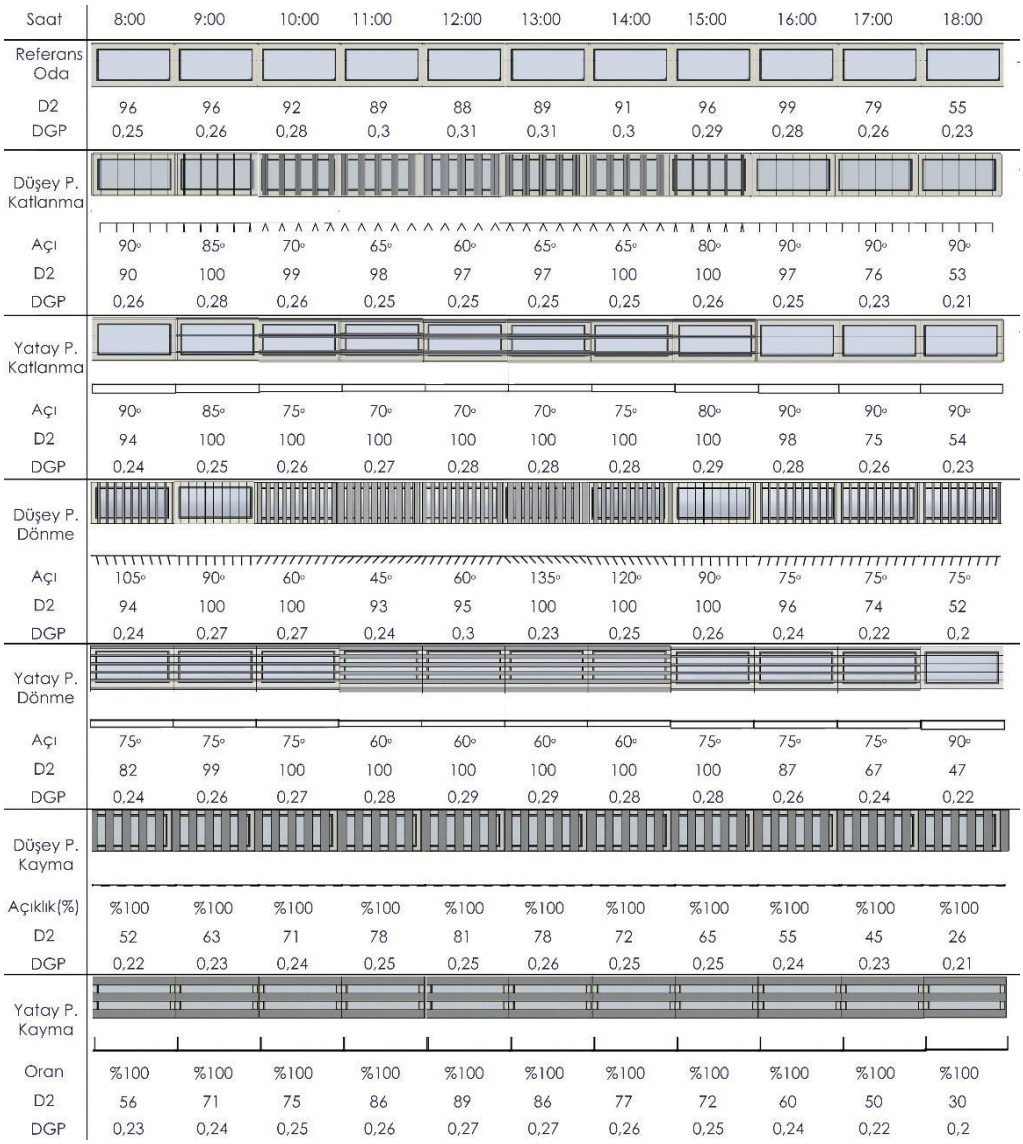

**Şekil 7:** Güney yönü için tiplere ait saatlik DGP değerleri

**Dönme**

Düşey panellerin dönme hareketi ve yatay panellerin dönme hareketi birbirine yakın görsel performans göstermektedir ancak düşey panellerin dönme hareketi, yatay panellerin dönme hareketine göre daha geniş bir hareket aralığında çalışmaktadır. Bundan dolayı cephedeki hareketi daha etkili bir biçimde fark edilebilmektedir **(Şekil 8).**

**Kayma**

Düşey ve yatay panellerin katlanması, düşey ve yatay panellerin dönmesi seçeneklerinde panellerin tam açık hali cepheye diktir ancak düşey ve yatay panellerin kayma hareketi yaptığı seçeneklerde paneller cepheye paralel biçimdedir bundan dolayı gün ışığının iç mekana girmesini her saatte sınırlandırmaktadır. Düşey ve yatay panellerin kayma hareketine ait seçeneklerde, 21 Haziran günü için hareket gözlenmemekle birlikte hep açık olma eğilimi olduğu görülmüştür. Bu eğilime rağmen göre D2 aydınlık düzeyi oranları hem referans odaya hem de diğer tiplere kıyasla düşüktür. Bundan dolayı ,UGGB tipleri arasından DGP oranlarının en iyi seviyeleri yakalamasının bir önemi yoktur. Yatay panellerin kayma hareketinin, düşey panellerin kayma hareketine göre daha iyi görsel performans göstermesine rağmen her iki tipte görsel performans açısından başarısız sayılabilir.




**Şekil 8:** Optimum saat/açılarda UGGB tiplerine ait cephe konfigürasyonları, D2 (300-3000 lux arası) oranları ve DGP değerleri.

Aynı hareketin farklı doğrultuda yapılması ile görsel performansın değişiklik göstermesi tahmin edilebilir bir sonuçtur. Ancak aynı panellerin farklı hareketlerinde farklı aydınlık düzeylerini göstermesi UGGB'nin gelen ışığı yansıtarak içerideki aydınlık düzeyini etkilemesi gösterilebilir. Aynı durum DGP değerleri için de geçerlidir **(Şekil 7).** Düşey panellerin dönme hareketi yaptığı seçenekte saat 12'de görülen ani DGP düzeyinin yükselmesi bu duruma örnektir. Samadi ve diğ. (2020) çalışmalarında optimum durumlarda böyle bir gölgeleme bileşeni seçiminin iç mekan gün ışığının verimliliğini büyük ölçüde artırabileceğini göstermiştir.

## 4. Sonuç

UGGB'nin kompleks bir yapısının olması ve tasarım sürecinin karmaşıklığı parametrik tasarım araçlarıyla tasarım bileşenlerini aynı anda koordine etmenin mümkün olması sayesinde giderilmiştir ve zamandan tasarrufu sağlamak açısından oldukça başarılı olmuştur.

Aydınlık düzeyleri ve DGP değerlendirildiğinde güney yönü için yatay panellerin katlanma hareketi en iyi performans gösteren tiptir. Bazı saatlerde çalışma düzleminde DGP değerleri artmaktadır ancak X1 noktası için hiçbir durumda DGP düzeyi algılanabilir kamaşma kategorisine ulaşmamıştır. Ancak doğu ve batı yönlerinde kullanılması durumunda güneş ışınları cepheye dik ve dike yakın açılarla geldiği için UGBB için seçilen yüksek yansıtıcılığa sahip metal malzeme iç mekanda DGP düzeylerinin artmasına ve kamaşmanın oluşmasına neden olabilir. UGGB'nin malzeme özellikleri değiştirilerek bu değerlerin iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Tasarım aşamasında doğru UGGB seçimi ile görsel performans düzeyinin artırılabileceği sonucuna varılmıştır.

Sabit gölgeleme bileşenlerinde güney ve güneye yakın cepheler için yatay gölgeleme elemanlarının, doğu ve batı cepheleri için ise düşey gölgeleme elemanlarının kullanımının gösterdikleri performans bakımından daha uygun olması durumunun, UGGB için geçerli olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın devamında kapsam genişletilerek UGGB tiplerinin yapay aydınlatma sistemleri ile ofisin aydınlık düzeylerinin iyileştirilmesi ve aydınlatma yüklerinin hesaplanması planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR


Addington, D.M., & Schodek, D. (2005). Smart materials and new technologies : for the architecture and design professions.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, *5*(1), 1–12. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214

Gosztonyi, S. (2015). Adaptive Façade – which criteria are needed? In U. Pottgiesser, M. Hemmerling, & J. Böke (Eds.), facade2015. *Computational Optimisation. Proceedings* (Vol. 1). HS OWL, Detmolder Schule für Architektur und Innenarchitektur.

Kolarevic, B., & Parlac, V. (2015). Building dynamics: Exploring architecture of change. In *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change*. Taylor and Francis Inc. https://doi.org/10.4324/9781315763279

Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 25, pp. 483–493). https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016

Mahmoud, A. H. A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, *126*, 111–127. https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.039

Megahed, N. A. (2017). Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy. *Architectural Engineering and Design Management*, *13*(2), 130–146. https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1203676

Ramzy, N., & Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Society*, *1*(3), 170–177. https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.004

Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, *33*(7), 683–697. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00058-5

Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E. S. (2018). What is an adaptive façade? Analysis of recent terms and definitions from an international perspective. *Journal of Facade Design and Engineering*, *6*(3), 065–076. https://doi.org/10.7480/jfde.2018.3.2478

Samadi, S., Noorzai, E., Beltrán, L. O., & Abbasi, S. (2020). A computational approach for achieving optimum daylight inside buildings through automated kinetic shading systems. Frontiers of Architectural Research, 9(2), 335–349. https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.10.004

TS-EN 12464. (2013). Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, Türk Standartarı Enstitüsü.

Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. Energy and Buildings, 38(7), 743–757. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.017

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Dinamik Cephe Sistemleri ve Esneklik: Çevresel Performans Açısından Bir Değerlendirme

İlker Karadağ [1]
[1]Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
[1]archidynamics.com, [1]ilker.karadag@cbu.edu.tr

## Özet

*Yapılı çevre ve doğal çevreler arasındaki etkileşimin anlaşılması ve değerlendirilmesi açısından çevresel performans kavramı önemlidir. Rüzgâr ve güneş gibi değişken çevresel parametrelerle etkileşimde olan cephenin bu değişen durumlara cevap verebilecek esnekliği barındırması beklenmektedir. Bu noktada dinamik cepheler, güneş ışınımını kontrol ederek görsel konforu artırırken aynı zamanda bina enerji tüketimini de azaltma potansiyeli barındıran kabuk sistemlerdir. Bu gereksinimleri sağlamak adına çok sayıda farklı dinamik cephe sistemi tasarlanmıştır. Fakat karşılaşılan örnekler çoğunlukla sadece güneşin izlediği yörüngeye göre açılıp kapanarak form değişikliğine giden modüler cephe sistemleri olmuştur. Bu sistemler her ne kadar statik güneş kırıcılara göre önemli ölçüde esneklik barındırsa da tek bir çevresel parametreyi referans aldıklarından rüzgâr açısından yapı kabuğu üzerinde ve etrafında uygun koşulları sağlamak açısından zayıf kalabilmekteler. Ayrıca bu sistemler dinamik olduğundan rüzgârdan dolayı cephe üzerinde oluşabilecek yüksek basıncın sebep olabileceği yüklerin de her değişken kurgu için ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir. Diğer taraftan bu sistemlerin performansını erken tasarım aşamasında doğru şekilde değerlendirebilmek için yeni bir metoda ihtiyaç vardır. Çünkü geleneksel simülasyon araçları statik geometrilerin analizini hedeflemekte; dinamik cepheler ise yapı elemanlarının değişken hareketlerini kapsamaktadır. Tüm bunlardan yola çıkarak, bu çalışmada, dinamik cephelerin güneş ve rüzgâr performansı değerlendirmesi için bütünleşik bir parametrik tasarım ve analiz metodu geliştirilmesi amaçlanmıştır. Performansa dayalı bir parametrik tasarım yaklaşımının benimsenmesiyle, ön tasarım aşamasında form bulma ve çevresel performans gereksinimleri arasındaki boşluk da azalacaktır. Bu amaca ulaşmak için, parametrize edilen hipotetik bir model oluşturulmuş ve bu model üzerinden yola çıkılarak hazırlanan farklı kurgular için güneş ışınımı ve rüzgâr analizi gibi performans simülasyonları yürütülmüştür. Yapı kabuğunda dinamik bir cephe sisteminin yer aldığı ve almadığı durumlar ayrı ayrı ele alınmış ve analiz sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tüm kurguların detaylı olarak incelenmesi sonucunda, tek bir çevresel parametre referans alınarak tasarlanan dinamik cephelerin performans açısından yetersiz kalabildiği, diğer taraftan optimize edilmiş kontrol stratejileri içeren ve rüzgâr gibi diğer çevresel parametreleri de referans alan dinamik cephe sistemlerinin daha etkin olabileceği görülmüştür.*

***Anahtar Kelimeler:*** *dinamik cephe, parametrik tasarım, mimari tasarımda esneklik, çevreye duyarlı tasarım.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Karadağ, İ. (2021). Dinamik cephe sistemleri ve esneklik: Çevresel performans açısından bir değerlendirme. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 246-255). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Dynamic Facade Systems and Flexibility: An Evaluation in Terms of Environmental Performance

İlker Karadağ [1]
[1]Manisa Celal Bayar University, Fine Arts, Design and Architecture Faculty, Architecture Department
[1]archidynamics.com, [1]ilker.karadag@cbu.edu.tr

## Abstract

*The concept of environmental performance is important in understanding and evaluating the interaction between the built and natural environments. The facade, which interacts with variable environmental parameters such as wind and sun, is expected to have the flexibility to respond to these changing situations. At this point, dynamic facades are shell systems that have the potential to reduce building energy consumption while increasing visual comfort by controlling solar radiation. Many different dynamic facade systems have been designed with these requirements, but the examples encountered are mostly modular facade systems that change form by opening and closing only according to the trajectory of the sun. Although these systems have considerable flexibility compared to static sunshades, they can be weak in terms of providing suitable conditions on and around the building envelope in terms of wind, since they refer to a single environmental parameter. In addition, since these systems are dynamic, the loads that may be caused by the high pressure that may occur on the facade due to the wind should be considered separately for each variable setup. On the other hand, a new method is needed to accurately evaluate the performance of these systems at the early design stage. Because traditional simulation tools target the analysis of static geometries; dynamic facades, on the other hand, include the variable movements of the building elements. Based on all these, in this study, it is aimed to develop a unified parametric design and analysis method for solar and wind performance evaluation of dynamic facades. By adopting a performance-based parametric design approach, the gap between form-finding and environmental performance requirements during the preliminary design phase will also be reduced. In order to achieve this aim, a parameterized hypothetical model was created and performance simulations such as solar radiation and wind analysis were conducted for different setups based on this model. The cases where a dynamic façade system is present or not in the building envelope are handled separately and the results of the analysis are given comparatively. As a result of the detailed examination of all the setups, it has been seen that dynamic facades designed with reference to a single environmental parameter may be insufficient in terms of performance, while dynamic facade systems that include optimized control strategies and reference other environmental parameters such as wind can be more effective.*

***Keywords:*** *dynamic facade, parametric design, flexibility in architectural design, environmentally responsive design.*

**Citation in APA style:** Karadağ, İ. (2021). Dynamic facade systems and flexibility: An evaluation in terms of environmental performance. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 246-255). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

Çevresel performans kavramı, yapılı çevre ve doğal çevreler arasındaki etkileşimin anlaşılmasını ve değerlendirilmesini içerir. Rüzgâr ve güneş gibi çevresel parametreler statik olmadığından bu etkenlerle doğrudan etkileşimde olan cephenin de dinamik olması ve değişen koşullara cevap verebilecek esnekliği barındırması gerekmektedir (Looman, 2017). Özellikle son dönemlerde, çevreye duyarlı dinamik sistemlerin kullanımıyla bu esnekliğe ulaşılmaya çalışılmış ve cephe konseptinin yakın geleceği şekillenmeye başlamıştır. Malzemeler, bileşenler ve sistemler açısından farklılık gösteren yapı elemanlarını içeren dinamik cepheler, iç mekân konforunu artırırken aynı zamanda bina enerji tüketimini de azaltma potansiyeli barındıran kabuk sistemlerdir (Attia ve diğ., 2020). Çok sayıda farklı dinamik cephe sistemi üretilmiş fakat maliyet sebebiyle bu çözümlerin birçoğu proje aşamasında kalmıştır. Fortmeyer, (2016)'e göre bu tip sistemlerin ciddi anlamda ilk üretim ve bakım maliyetleri gerektirdiği ve Kuzey Avrupa iklimlerine daha uygun olduğuna dair hatalı bir geleneksel kanı da bulunmaktadır. Diğer taraftan, dinamik cephe sistemleri çevresel performans açısından kapsamlı biçimde değerlendirilse ve rüzgâr/güneş gibi kriterlere göre etkin bir şekilde tasarlansalar çevresel etkilerin sebep olabileceği bakım maliyetleri en aza indirilebilecek ve üretimin önündeki bu önemli engel de kalkmış olacaktır. Bu kapsamda belki de bu hatalı kanıya sebep olan en önemli örnek sadece güneşin izlediği yörüngeye göre açılıp kapanarak form değişikliğine giden modüler cephe sistemleridir (Fiorito ve diğ., 2016; Nagy ve diğ., 2016; Tabadkani ve diğ., 2018). Bu sistemler statik güneş kırıcılara göre ciddi anlamda esneklik barındırmasına rağmen tek bir çevresel parametreyi referans aldıklarından rüzgâr performansı açısından zayıf kalabilmekteler. Ayrıca bu sistemler dinamik olduğundan rüzgârdan dolayı cephe üzerinde oluşabilecek yüksek basıncın sebep olabileceği yüklerin de farklı kurgular için referans alınması gerekmektedir. Diğer taraftan, geleneksel simülasyon araçları statik geometrilerin analizini hedeflediğinden ve dinamik cepheler, yapı elemanlarının değişken hareketlerini kapsadığından, bu sistemlerin performansını erken tasarım aşamasında doğru şekilde değerlendirebilmek için yeni bir metoda ihtiyaç vardır. Öte yandan hem erken tasarım aşamaları hem de dinamik cephelerin modellenmesi ile ilgili olarak, mimari tasarım bağlamında parametrik tasarım araçları ciddi bir potansiyel taşımaktadır (Gagne ve Andersen, 2012; Tabadkani ve diğ., 2021).

Tüm bunlardan yola çıkarak, bu çalışmada, dinamik cephelerin güneş ve rüzgâr performansı değerlendirmesi için bütünleşik bir parametrik tasarım ve analiz metodu geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Performansa dayalı bir parametrik tasarım yaklaşımının benimsenmesiyle, ön tasarım aşamasında form bulma ve çevresel performans gereksinimleri arasındaki boşluk daha da azalacaktır. Bu çalışmada, bahsedilen amaca ulaşmak için, parametrize edilen hipotetik bir model oluşturuldu ve bu model üzerinden yola çıkılarak hazırlanan farklı kurgular için performans simülasyonları yürütüldü. Sonuç olarak tek bir çevresel parametrenin referans alındığı dinamik cephelerin performans açısından yetersiz kalabildikleri, bu kapsamda optimize edilmiş kontrol stratejileri içeren ve rüzgâr gibi diğer çevresel parametreleri de referans alan dinamik cephe sistemlerine daha etkin olabilecekleri görüldü.

# 2. Malzeme ve Metot

Bu bölümde çalışmanın temelini oluşturan kurgusal model ve bu modelin simüle edilmesine yönelik izlenen adımlar malzeme ve metot alt başlıklarında verilmiştir.

## 2.1. Malzeme

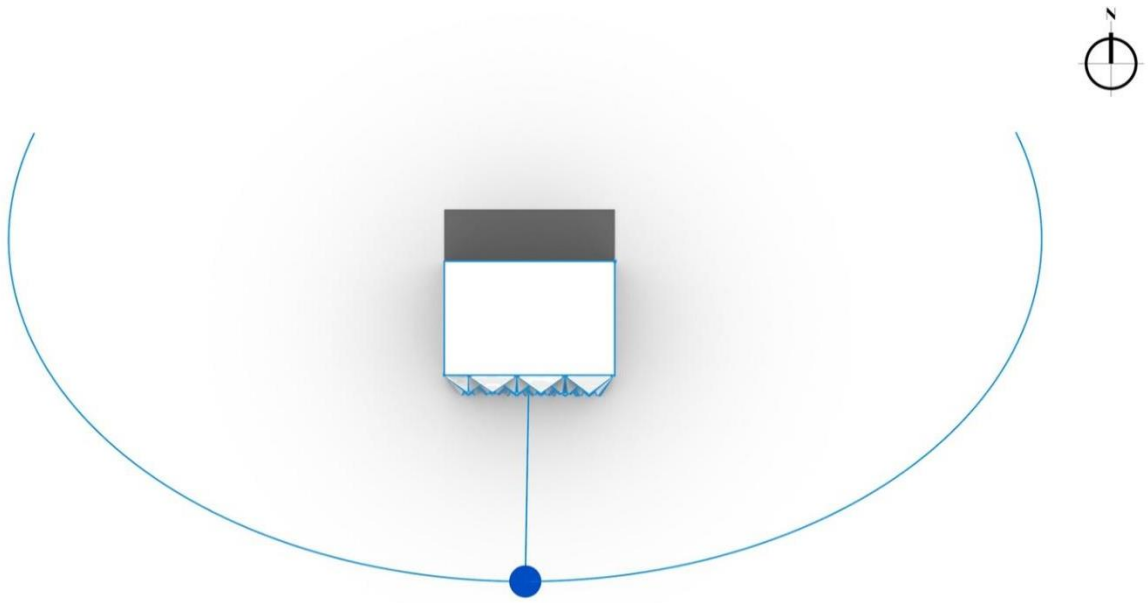
Çevresel performans değerlendirmesi için hipotetik modüler bir cephe tasarımı kurgulanmıştır. Çalışmanın malzemesini oluşturan bu cephe sisteminin açık planlı tek bir mekândan oluşan kurgusal küçük ölçekli bir ofis binasının kabuğunu oluşturduğu ve rüzgâr/güneş gibi çevresel etkilere doğrudan açık olduğu varsayılmıştır. Bu etkilerin diğer parametrelerden bağımsız incelenebilmesi adına kurgu yapının tekil olduğu ve yakın çevresinde herhangi bir yapı bulunmadığı durum ele alınmıştır.

## 2.2. Metot

Çalışmanın ilk aşamasında güneş etkin bir cephe kurgulanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda cephe sistemi ilk olarak Rhinoceros/Grasshopper ortamında parametrize edilmiştir. Cephenin güneşe lokal ölçekte cevap verebilmesi adına her biri bağımsız hareket edebilen modüler bir sistem oluşturulmuştur. Her bir modül temel düzeyde ele alındığında üç üçgenden oluşmaktadır. Bu üç üçgen tek bir üçgen modülün alt bileşenleridir ve dinamik olarak açılıp kapanabilmektedir. Bu kapsamda bina otomasyon sisteminin sağladığı verilerle güneşin yörüngesi tahmin edilmekte ve her bir modülün bağımsız hareketi aktüatörler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan bu sistemin rüzgâr

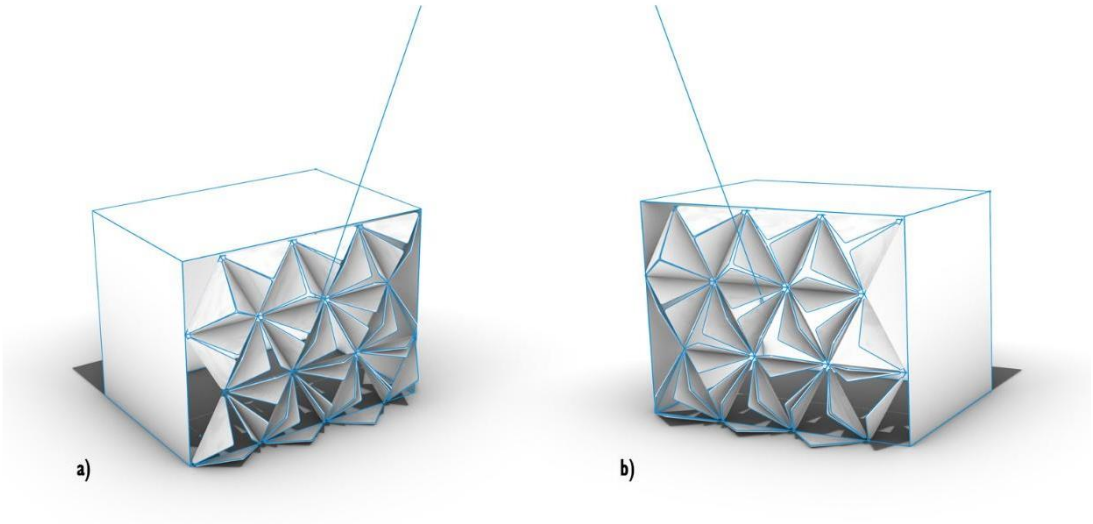
sensörleri barındırmadığı, dolayısıyla sadece güneşin gün içinde izlediği yörüngeyi referans aldığı kabul edilmektedir. Bu kabulün sebebi literatürde sıklıkla güneş etkin dinamik cephe sistemlerinin yer almasıdır.

Çalışmada güneş etkin bu cephe sistemi güneşin yıl içinde en dik konumda olduğu gün ve saatte güneş ışınımı ve rüzgâr performansı açısından değerlendirilmiştir. Bu kurgu güney cephesi açısından en zorlu koşulu barınmaktadır, çünkü güneşin en tepede olduğu ve güneş ışınımının en yüksek olduğu durumdur. Güneşin yörüngesinin tahmini için *Heliotrope* eklentisi kullanılmıştır. Bu eklentinin *solar arc* adlı bileşeni kullanılmış ve İstanbul için enlem ve boylam değerleri girilerek 21 Haziran saat 13.00 için güneşin günlük yörüngesi hesaplanmıştır **(Şekil 1)**. Her bir modül bu yörüngeyi referans alarak dinamik biçimde açılıp kapanarak nihai form kazanmıştır.



**Şekil 1:** Modüler parametrik cephe sistemi ve güneşin izlediği yörünge (21 Haziran saat: 13.00)

Sistemin aktif bir şekilde güneşi kırıp kırmadığının kontrolü iç mekâna tam olarak gölge düşürmesi beklentisi üzerinden yapılmıştır (**Şekil 2**). Bunun için yine aynı eklentinin *Cast Silhouette* bileşeni kullanılarak güneşin vektörel açısı baz alınıp üçgen modüllerinin izdüşümlerini hesaplanmış, zemin düzlemiyle kesişimleri çizdirilmiştir. Gölge hesaplamasında 3B modelleme yazılımları da hızla sonuç vermektedir fakat hassasiyet anlamında güvenli tarafta kalmak adına bu eklenti tercih edilmiştir. Rhinoceros/Grasshopper ortamında seçilen enlem için ilgili gün ve saatte kabuğun ön tanımlı algoritmalarla aldığı nihai form **Şekil 2**'de görülmektedir. Elde edilen geometri *bake* edildikten sonra rüzgâr ve güneş simülasyonlarında kullanılmak üzere **.3ds* formatında dışarıya aktarılmıştır.




**Şekil 2:** Modüler parametrik cephe sistemi- a) güneydoğu yönlü ve b) güneybatı yönlü izometrik perspektifler (21 Haziran saat: 13.00)

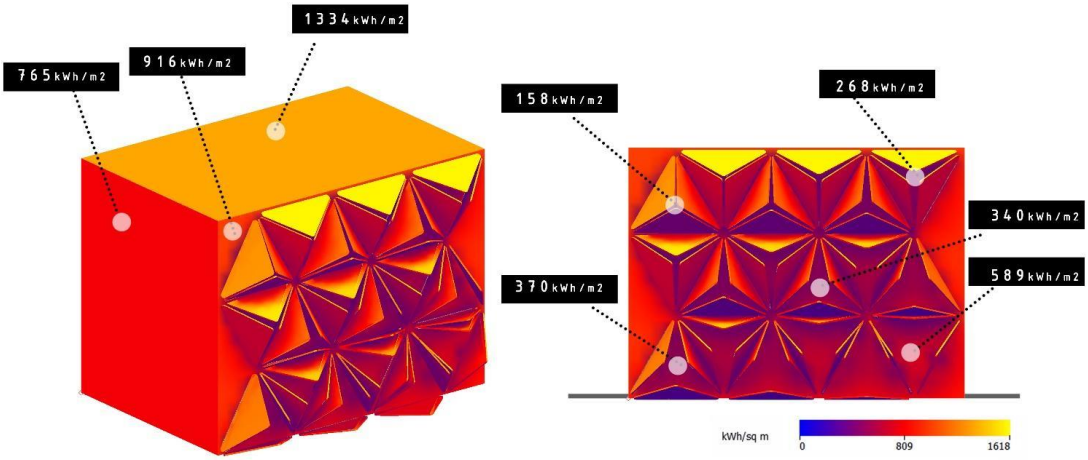
Dışarı aktarılan geometri ilk olarak Autodesk Formit yazılımıyla simüle edilmiş ve kabuğun olduğu ve olmadığı durumlardaki güneş ışınım değerleri kıyaslanmıştır. Sonraki aşamada ise yine kabuğun olduğu ve olmadığı durumlar Autodesk Flow Design yazılımıyla rüzgâr açısından simüle edilmiştir. Bu yazılım hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu alanında bilimsel anlamda yaygın kullanılmakta ve çalışmanın gerektirdiği detayları fazlasıyla barındırmaktadır. Rüzgâr simülasyonu için İstanbul için ortalama rüzgâr hızı olan 4 m/s sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Her bir kurgunun simülasyonu için Architectural Institute of Japan (AIJ) ve COST (Cooperation on Science and Technology) rehberlerinde verilen ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarının nasıl yürütülmesi gerektiğini belirten talimatlar izlenmiştir (Franke ve diğ., 2011; Tominaga ve diğ., 2008).

## 3. Analizler ve Sonuçlar

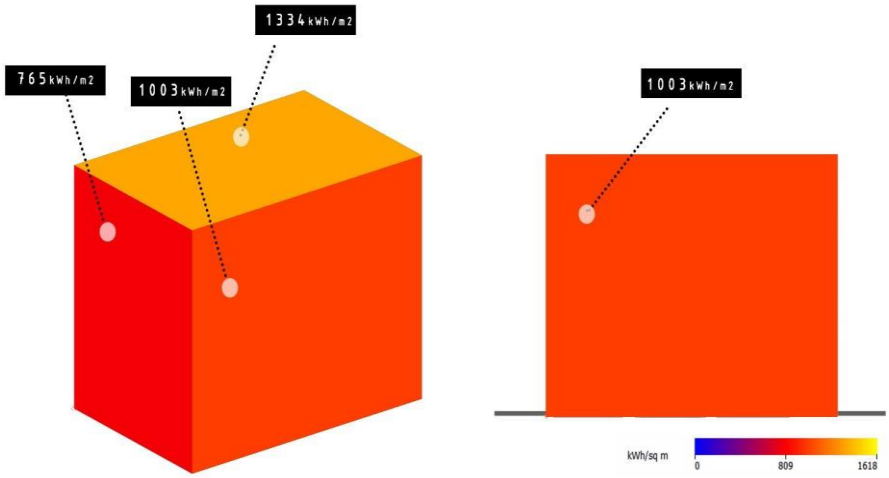
Bu bölümde Metot başlığı altında anlatılan geometriye dair yürütülen rüzgâr ve güneş simülasyonları detaylı bir biçimde ele alınmış ve her bir kurgu karşılaştırmalı olarak 2 ayrı alt başlık altında verilmiştir.

### 3.1. Güneş Işınımı Analizleri

Belirlenen gün ve saatte güneşe göre şekillenen nihai geometri ilk olarak güneş ışınımı analizine tabi tutulmuştur. Öncelikle dinamik cephe sisteminin mevcut olduğu durum ele alınmıştır. Bu sistemle iç mekân arasında kalan cam yüzeye etkiyen güneş ışınımı miktarları kWh/m2 cinsinden verilmiştir **(Şekil 3)**. Modüler dinamik cephe sisteminin aktif bir şekilde mekânı dış ortamdan ayıran cam yüzeyi güneş ışınımından koruduğu görülmüştür. Dolayısıyla beklendiği biçimde iç mekânda parlama/ışıma gibi görsel konforsuzlukların oluşma ihtimali en aza indirgenmiş ve güneş ışınımı kontrollü bir biçimde iç mekâna alınmıştır.




**Şekil 3:** Dinamik kabuğun olduğu durumda kabukla iç mekân arasında kalan cam yüzeye etkiyen güneş ışınımı miktarları




**Şekil 4:** Dinamik kabuğun olmadığı durumda cephelere etkiyen güneş ışınımı miktarları.

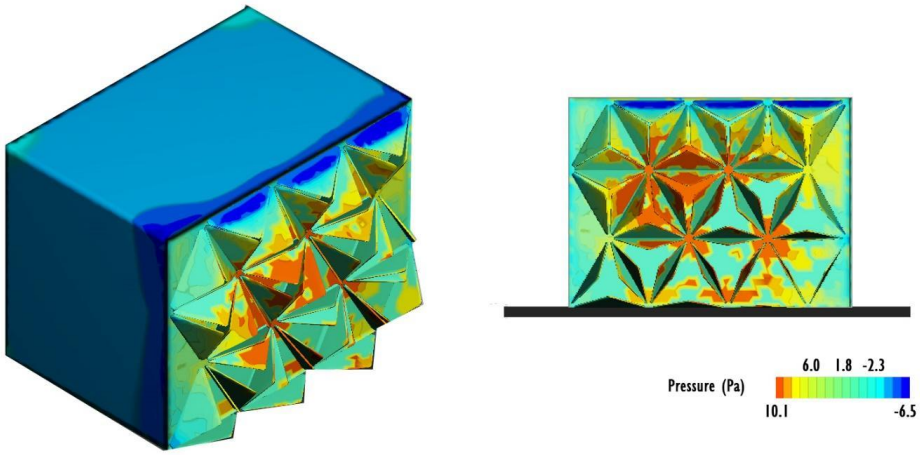
Modüler dinamik cephe sisteminin yer almadığı durumda, mekânı dış ortamdan ayıran cam yüzey doğrudan güneş ışınımına maruz kalmıştır **(Şekil 4)**. Dolayısıyla güneş ışınlarının dik açıyla geldiği ve ışınımın en yüksek düzeyde olduğu bu durumda iç mekânda parlama/ışıma gibi görsel konforsuzlukların oluşma ihtimali yüksektir ve güneş ışınımı kontrolsüz bir biçimde iç mekâna ulaşacaktır. Yüksek güneş ışınımı sebebiyle iç mekânda termal konforsuzluk oluşabilmesi mümkündür. Bunu önlemek adına mekanik havalandırma sistemleri kullanılması gerekebilecek, bu da yapının enerji tüketiminin artmasına sebep olabilecektir.

Her iki kurguda detaylı olarak ele alındığında dinamik cephe sisteminin güneş ışınımını yaklaşık %50-80 aralığında azalttığı görülmektedir. Yapı kabuğunun doğrudan ışınıma açık olduğu durumda güney cephesinde 1003 kWh/m2 gibi bir değer okunurken; dinamik sistemde bu değer 158-589 kWh/m2 aralığında değişmektedir. Özetle dinamik sistemin güneş ışınımını kontrol etmek yönünde yüksek performansa sahip olduğu görülmüştür.

### 3.2. Rüzgâr Analizleri

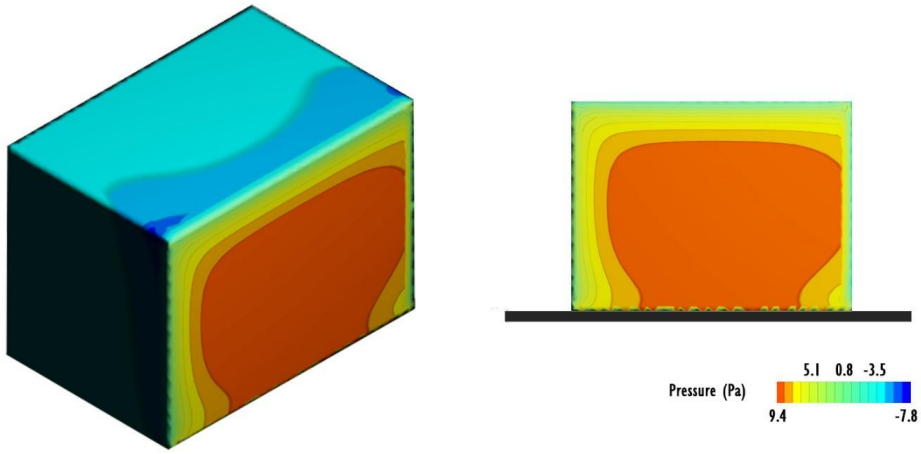
Rüzgâr simülasyonları da güneş ışınımı analizlerinde olduğu gibi dinamik sistemin yer aldığı ve yer almadığı iki ayrı kurgu için yürütülmüştür. Simülasyonlar tamamlandığında birçok veri elde edilmiş fakat bu çalışma kapsamında cephe üzerindeki rüzgâr basınç değerleri ve yapı etrafında oluşan rüzgâr hızları incelenmiştir. Bu analizlerde elde edilen çıktılar esneklik, dayanıklılık ve direnç kavramları üzerinden sorgulanmış ve ele alınan kurgunun niceliksel değerlendirmesi yapılmıştır.

Belirlenen gün ve saatte güneşe göre şekillenen nihai geometri detaylı bir rüzgâr analizine tabi tutulmuştur. Öncelikle dinamik cephe sisteminin mevcut olduğu durum ele alınmıştır. Bu sistemle iç mekân arasında kalan cam yüzeye etkiyen rüzgâr yükleri Pascal (Pa) cinsinden verilmiştir **(Şekil 5)**. Modüler dinamik cephe sisteminin aktif bir şekilde mekânı dış ortamdan ayıran cam yüzeyi yer yer yüksek basınçtan koruduğu görülmüştür. Bunun sebebi **Şekil 5**'den de görülebileceği üzere modüler sistemin piramidal formun getirdiği avantajla rüzgârı kırması ve cam yüzeye gelmeden önce yumuşatmasıdır. Fakat yine de bu sistem güneşe göre şekillendiğinden rüzgâr açısından rastlantısaldır ve rüzgâr her noktada başarılı bir şekilde kırılamamıştır. Çünkü güneşi kırabilmek adına üst kotlarda yer alan modüller neredeyse tamamen kapanmış; zemine yakın modüller ise güneş ışınları üstte yer alan modüller sayesinde halihazırda kırıldığından açık konumda kalmıştır. Bu durum da cephe üzerinde değişken rüzgâr basınç yüklerine sebep olmuştur.



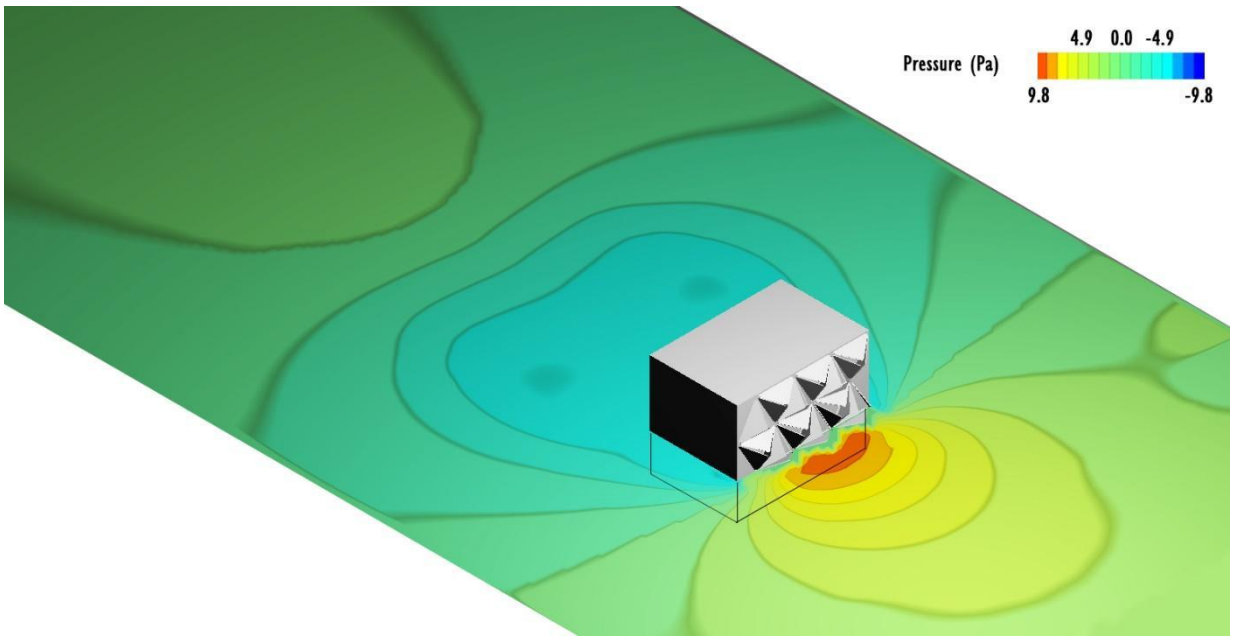

**Şekil 5:** Dinamik kabuğun olduğu durumda cephelere etkiyen rüzgâr basınç miktarları.

İkinci kurguda ise dinamik cephe sisteminin mevcut olmadığı durum ele alınmıştır. Doğrudan rüzgâra açık olan bu yapı kabuğuna etkiyen rüzgâr yükleri yine Pascal (Pa) cinsinden verilmiştir **(Şekil 6)**. Cephe genelinde kübik yapılarda sıklıkla görülen standart basınç dağılımları izlenmiştir. Cephe yüksekliğinin zeminden %70'i gibi bir noktada beklendiği gibi *stagnation point* (durma noktası) oluşmuştur. Bu nokta statik basıncın en yüksek olduğu bölümdür, bu noktadan sonra basınç farkı sebebiyle akım ayrışmış ve hızlanmıştır. Ayrışan akım çatı ve yan yüzeylerde negatif basınç oluşturmuştur. Dinamik cephe sistemine göre ilginç bir biçimde maksimum pozitif basınç değeri az da olsa daha düşük gözlemlenmiştir. Diğer taraftan negatif basınç değerleri ise daha kritik seviyelerde yer almıştır.



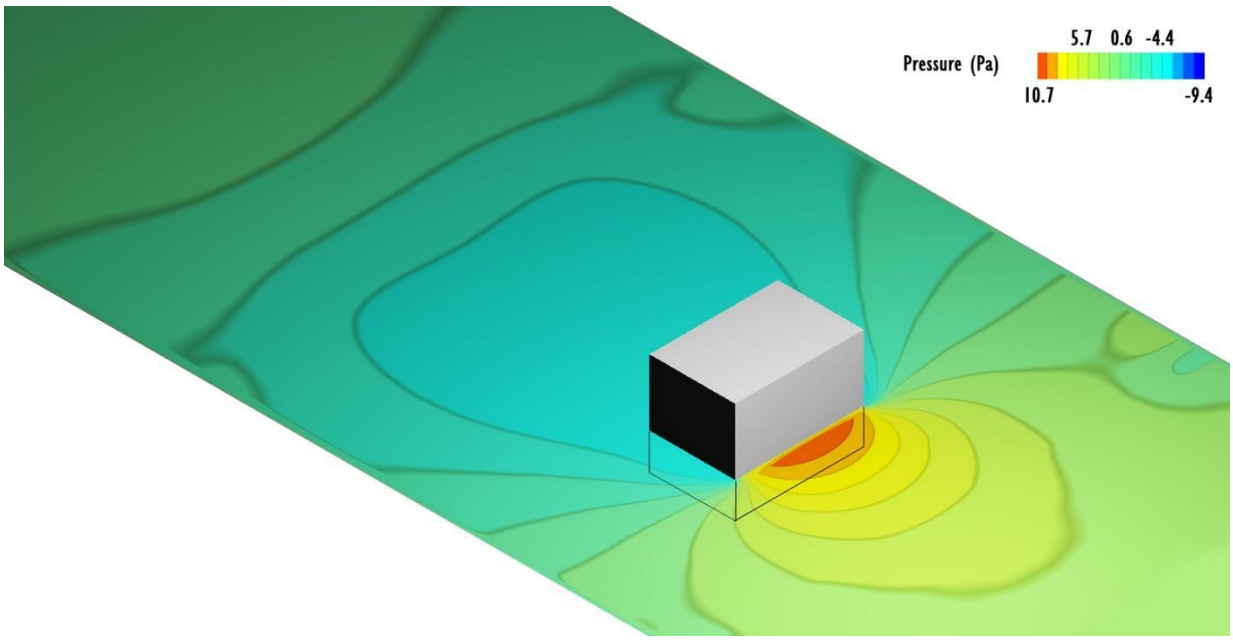

**Şekil 6:** Dinamik kabuğun olmadığı durumda cephelere etkiyen rüzgâr basınç miktarları

Yerden 1.8 m yükseklikte yaya seviyesinde basınç dağılımları da ayrıca ele alınmıştır. Dinamik cephe sisteminin bulunduğu durumda rüzgârı karşılayan güney cephede beklendiği yüksek basınç olmuş fakat rüzgâr yer yer kırıldığı için yüksek basınç alanı da küçülmüştür **(Şekil 7)**.




**Şekil 7:** Dinamik kabuğun olduğu durumda yaya seviyesindeki basınç dağılımları

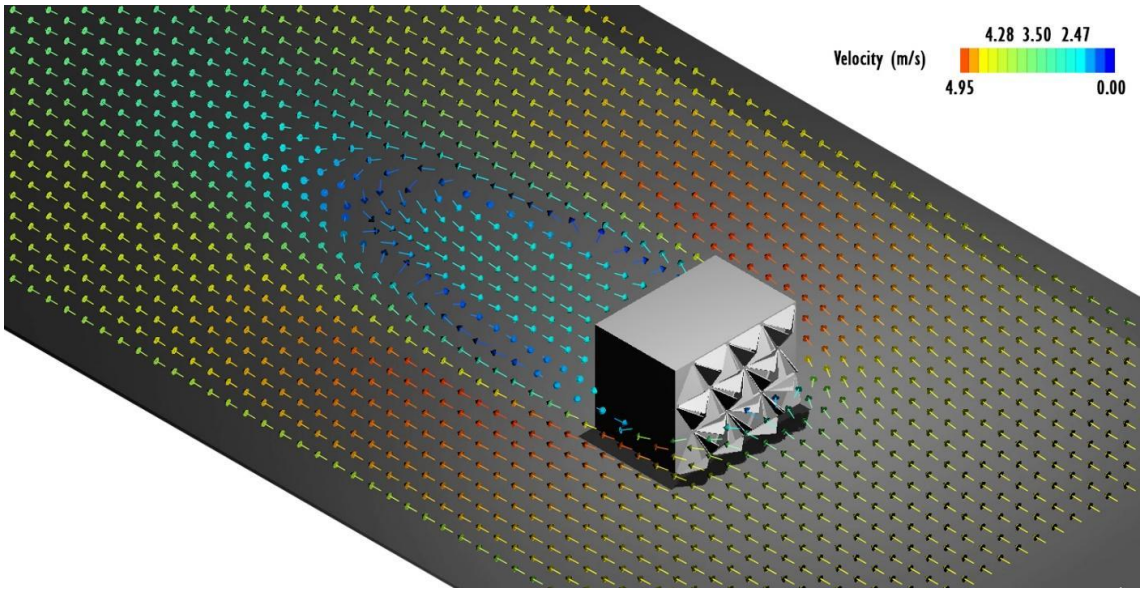
Yine yaya seviyesinde dinamik cephe sisteminin bulunmadığı kurgu ayrıca ele alınmıştır. Kübik yapılarla sıklıkla görülen basınç dağılımları gerçekleşmiştir. Ön cephede dinamik sistemin bulunduğu durumdakinden daha geniş alana yayılmış bir yüksek basınç bölgesi gözlemlenmiştir **(Şekil 8)**. Maksimum pozitif basınç değeri de yine daha yüksek okunmuştur. Diğer taraftan minimum negatif basınç değeri ise daha düşük gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar yapı kabuğunda gerçekleşenin tam tersidir. Bunun sebebi muhtemelen kabukta noktasal olarak değerlerin incelenmesidir. Çünkü yaya kotunda noktasal etkiler yerine yapı çevresinde oluşan nihai kümülatif durum gözlemlenmektedir.




**Şekil 8:** Dinamik kabuğun olmadığı durumda yaya seviyesindeki basınç dağılımları

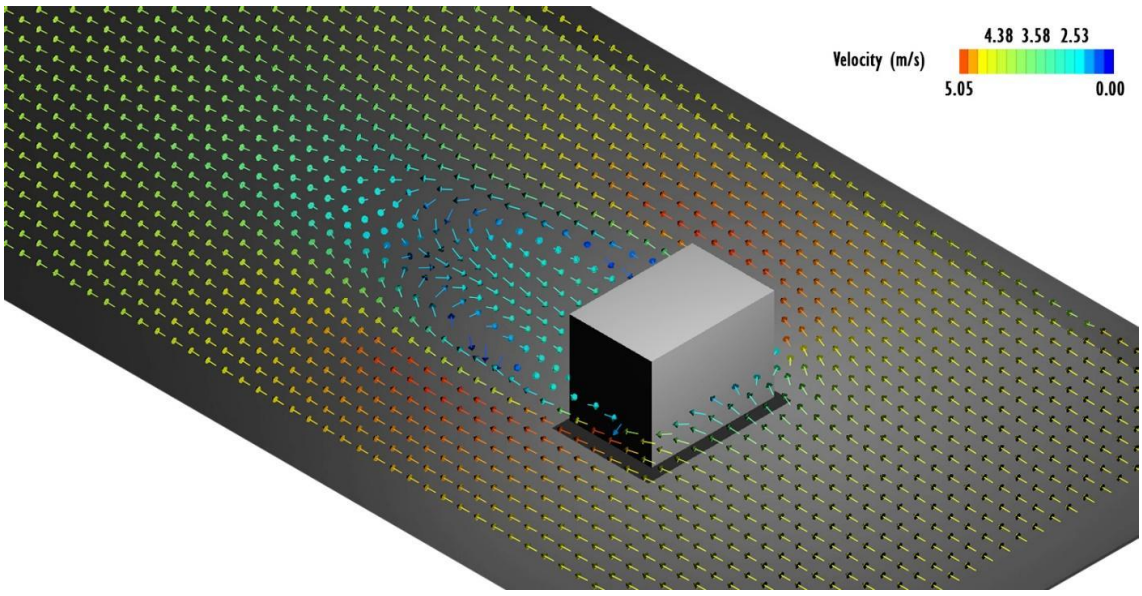
Son olarak yine yaya seviyesinde rüzgâr hız vektörleri incelenmiştir. Özellikle yapı etrafındaki rüzgâr hızları ve hareketleri yaya konforu açısından büyük önem taşımaktadır. Diğer taraftan bu değerler etkili bir doğal havalandırma

stratejisi belirlemekte de faydalı olabilecektir. Öncelikle yine dinamik sistemin olduğu durum incelenmiş yapının çevresinde ve arkasında etkilediği alanın beklenenden fazla olduğu gözlemlenmiştir **(Şekil 9)**. Fakat maksimum rüzgâr hızı (4.95) gelen rüzgâr hızına (4 m/s) oranla nispeten düşük gerçekleşmiştir. *Wind speed ratio* (hızlandırma oranı) olarak bilinen değer yapının bulunduğu ve bulunmadığı durumlarda hızların oranlanmasıyla elde edilmektedir. Bu değer 1.24'tür (4.95/4) ve gerçekten yapı kabuğunun rüzgârı belirli bir oranda kırabildiğine işaret etmiştir.




**Şekil 9:** Dinamik kabuğun olduğu durumda yaya seviyesindeki hız vektörleri

Dinamik cephenin bulunmadığı durumda maksimum rüzgâr hızı göreceli olarak daha fazla çıkmıştır (5.05 m/s). Diğer taraftan yapının engel etkisi oluşturma oranı daha kısıtlıdır. Yani yapı çevresinde ve yapı arkasında etkilenen alanların büyüklüğü daha azdır. Bu da aslında aerodinamik bir yapı formundan beklenen en önemli özelliklerden biridir. Her ne kadar kübik yapılar *streamlined* diye tabir edilen rüzgâr akışını izleyen ve rüzgâra doğrudan geniş cepheler vermeyen eğrisel yapılara göre çok zayıf kalsa da bu kurguda dinamik cephe sisteminden az da olsa daha iyi sonuçlar aldığı görülmüştür **(Şekil 10)**.




**Şekil 10:** Dinamik kabuğun olmadığı durumda yaya seviyesindeki hız vektörleri

## 4. Çıkarımlar

Çevresel performans özellikle cephe tasarımı söz konusu olduğunda detaylı bir şekilde ele alınmalıdır. Çünkü çevresel etkilere ilk etapta maruz kalan yapı bileşeni cephedir ve bu etkilerin olumsuz durumlar oluşturmaması için gerekli tasarım önlemleri alınmalıdır. Rüzgâr ve güneş gibi çevresel parametreler statik olmadığından bu etkenlerle doğrudan etkileşimde olan cephenin de dinamik olması ve değişen koşullara cevap verebilecek esnekliği barındırması gerekmektedir.

Parametrik tasarım araçları değişen koşullara cevap verebilecek dinamik cephe kurgularının hazırlanmasına yönelik efektif ortamlar sunmaktadır. Fakat tasarımcılar bu kurguları planlarken sadece estetik kaygılarla hareket etmemeli, cephenin hayali bir uzayda yer almayacağını ve çevresel parametrelerle her an etkileşime gireceğini düşünmelidir. Bu kapsamda olası farklı senaryolar için performans simülasyonlarının yürütülmesi cephenin ileride karışılabileceği her koşula etkin biçimde cevap verebilmesini sağlayacaktır. Bu simülasyonlardan elde edilen çıktılarla tasarım süreci geri beslenebilir ve optimizasyona gidilebilir.

Çalışma sonucunda gerçekten dinamik cephe sistemlerinin gerekliliği görülmüştür. Fakat bu sistemler güneş gibi tek bir çevresel parametreye göre şekillendiğinde rüzgâr veya diğer çevresel parametrelere hazırlıklı olamamaktadır. Özellikle güneş ışınımı baz alınarak elde edilen kurguların rüzgâr açısından da aynı performansı göstermesi mümkün görülmemektedir. Çünkü güneşe göre belirlenen kurgu rüzgâr için tamamen rastlantısal bir tasarımdır, dolayısıyla etkin bir biçimde davranmasını beklemek de doğru değildir. Dinamik sistemlerin doğası gereği güneşin izlediği yörüngeye bağlı olarak sayısız form oluştuğu bilinmektedir ve gerçekten oluşan her kurgu için rüzgârın etkin bir şekilde ele alınması ciddi anlamda zorlayıcıdır. Bu noktada karşılaşılabilecek kurgu sayısı görülme sıklıkları baz alınarak en aza indirgenebilir ve bunlar üzerinden rüzgâr için de form optimizasyonu sağlanabilir. Bunun dışında, güneşi kontrol eden kabuğa ilave ikinci bir sistemin güneşten bağımsız sadece rüzgârı kontrol edebilmek adına eklenmesi de mümkündür. İlerleyen çalışmalarda bu durumun ele alınması planlanmaktadır.

Son olarak her ne kadar bu çalışma kapsamında rüzgâr ve güneş gibi iki önemli çevresel parametre ele alınmış olsa da strüktürel dayanım, ısı transferi, çevresel gürültü ve bina enerji tüketimine yansıyan etkiler de incelenebilir. Böylelikle farklı disiplinlerden meslek profesyonellerinin bir araya gelmesiyle daha bütüncül bir yaklaşım elde edilebilecektir.

## KAYNAKLAR


Attia, S., Lioure, R., & Declaude, Q. (2020). Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Science & Engineering*, *8*(9), 3255–3272. https://doi.org/10.1002/ese3.725

Fortmeyer, R. (2016, March 10). *Dynamic Facades: Buildings Show Off New Moves*. Architectural Record. https://www.architecturalrecord.com/articles/6709-dynamic- facades-buildings-show-off-new-moves.

Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., Imperadori, M., Masera, G., & Ranzi,G. (2016). Shape morphing solar shadings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *55*, 863–884. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.086

Franke, J., A. Hellsten, H. Schlünzen, and B. Carissimo. (2011). The COST 732 Best Practice Guideline for CFD Simulation of Flows in the Urban Environment: A Summary. *International Journal of Environment and Pollution* 44 (1–4): 419–427. https://doi.org/10.1504/ijep.2011.038443

Gagne, J., & Andersen, M. (2012). A generative facade design method based on daylighting performance goals. *Journal of Building Performance Simulation*, *5*(3), 141–154. https://doi.org/10.1080/19401493.2010.549572

Looman, R. (2017). *Climate-Responsive Design: a framework for an energy concept design-decision support tool for architects using principles of climate-responsive*. TU DELFT.

Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Schlueter, A. (2016). The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research*, *5*(2), 143–156. https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.03.002

Tabadkani, A., Banihashemi, S., & Hosseini, M. R. (2018). Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: A parametric analysis. Building Simulation, 11(4), 663–676. https://doi.org/10.1007/s12273-018-0433-0

Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. Automation in Construction, 121, 103450. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103450

Tominaga, Y., A. Mochida, R. Yoshie, H. Kataoka, T. Nozu, M. Yoshikawa and T. Shirasawa. (2008). AIJ Guidelines for Practical Applications of CFD to Pedestrian Wind Environment around Buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96 (10–11): 1749–1761. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Çok Katlı Konut Binaları İçin Işık Bacası Üzerinden Günışığı Performansını Artıracak Bir Parametrik Model Önerisi

Hakan Oğuz Bor [1]; Sema Alaçam [2]
[1,2]İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]oguzbor@gmail.com; [2]alacams@itu.edu.tr

## Özet

Küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olduğu kabul edilen, sürdürülebilir olmayan yöntemlerle elde edilen enerjinin giderek artan miktarlarda kullanılmasıdır. Bu tip enerji kullanımında ise binalar büyük bir payı oluşturmaktadır. Daha sağlıklı bir çevre ve gelecek için sürdürülebilir enerjiye ve enerji verimli teknolojilere yönelmek gerekmektedir. Bu bağlamda, binalarda en büyük enerji tüketim nedenlerinden olan yapay aydınlatma kaynaklarının yerine geçebilecek gün ışığı ve pasif aydınlatma sistemlerinden mümkün olduğunca yararlanmak büyük önem taşımaktadır.

Binalarda gün ışığının daha etkin kullanımı sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz, bununla birlikte insan sağlığı üzerine olumlu etkiler de gösterebilmektedir. Gün ışığı, mimarlık disiplininde insanı fizyolojik ve psikolojik yönleriyle etkileyen, iç mekânda konfor koşullarının yaratılmasında etkili olan, enerji tasarrufu sağlayan önemli bir tasarım parametresidir. Büyük şehirlerde hızla artan nüfusla birlikte değerli kentsel arazi üzerine çok katlı, derin planlı, bitişik nizam konut binaları inşa edilmesi iç mekanlarda karanlık birimler oluşmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada çok katlı, derin planlı, bitişik nizam inşa edilen konut binalarında doğal ışığın önemi, sürdürülebilirlik bağlamında ele alınmıştır. Bu konut binaları için iç mekân aydınlatmasının önemi vurgulanarak pasif aydınlatma elemanlarının etkinliğine dikkat çekilmiştir. Bu bağlamda çok katlı, derin planlı, bitişik nizam konut binalarında gün ışığı otonomisi (DA) simülasyonu doğrultusunda, yıllık bazda aydınlanma miktarını artıracak, ışık bacası (aydınlık) içerisinde, hesaplamalı tasarım araçları yardımı ile parametrik yansıtıcı yüzeyler sistemi önerilmektedir.

Çalışma kapsamında örneklem grubu olarak Ankara'da 1930-1980 yılları arasında Ulusal Mimarlık Akımını yansıtan sivil mimari konut örnekleri seçilmiştir. "Sivil Mimari Bellek Ankara 1930-1980" ve "Koç Üniversitesi Vehbi Koç Ankara Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi (VEKAM)" envanterleri çalışma altlığını oluşturmuştur. Bu envanter kapsamında seçilmiş olan 120 bina çok katlı olma, bitişik nizamlı olma, ışık bacası bulundurma ve ışık bacalarının yaşam mekânlarına açılması ölçütlerine göre incelenmiştir. İnceleme sonucu, 120 bina içinden 5 adet apartman binasının ölçütleri sağladığı görülmüş ve bu binalar da gün ışığı açısından incelenmiştir. Seçilen apartman binaları, bu veri tabanlarından elde edilen vaziyet planı, plan, kesit, görünüş, metin ve fotoğraflar üzerinden sayısal ortamda modellenmiştir. Sayısal ortamda geliştirilen çalışma, gün ışığı simülasyon analizi, parametrik yansıtıcı yüzey önerisi ve genetik algoritmalı optimizasyon süreci olmak üzere üç aşamada ele alınmaktadır.

***Anahtar Kelimeler:*** *Doğal aydınlatma, gün ışığı performansı, çok katlı konut binaları, ışık bacası, evrimsel optimizasyon.*

**APA stilinde kaynak gösterimi:** Bor, H.O., & Alaçam, S. (2021). Çok katlı konut binaları için ışık bacası üzerinden günışığı performansını artıracak bir parametrik model önerisi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 256-267). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Parametric Model Proposal for Multistory Residential Buildings to Improve Daylight Performance Through Lightwell

Hakan Oğuz Bor [1]; Sema Alaçam [2]
[1,2]İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]oguzbor@gmail.com; [2]alacams@itu.edu.tr

## Abstract

*One of the primary causes of global warming is the rising consumption of energy obtained through unsustainable methods. Buildings are the major portion of this energy use. Sustainable energy and energy-efficient technology should be used to create a healthier environment and future. In this perspective, it is critical to make as much use of daylight and passive lighting systems as possible, which can replace artificial lighting sources, which are the leading causes of energy consumption in buildings.*

*More efficient utilization of daylight in buildings not only saves energy but also improves human health. Daylight is a significant design parameter that has physiological and psychological effects on humans, is useful in generating comfortable interior conditions, and saves energy in the architecture field. With rapidly growing population of large cities, the construction of multi-story, deep-planned, adjacent residential buildings on valuable urban property results in the formation of dark units' interior. The importance of natural light in multi-story, deep-plan, and adjacent residential buildings is examined in this study in the context of sustainability. The efficiency of passive lighting features was highlighted in order to emphasize the necessity of indoor lighting for these residential buildings. In this context, a parametric reflective surface system in the lightwell is proposed using computational design tools, which will increase the amount of illumination on an annual basis, in accordance with the simulation of daylight autonomy (DA) in multi-story, deep planned and adjacent residential buildings.*

*Within the scope of the study, examples of civil architectural residences reflect the National Architecture Movement in Ankara between the years 1930-1980 were selected as the sample group. "Civil Architectural Memory Ankara 1930-1980" and "Koç University Vehbi Koç Ankara Studies Application and Research Center (VEKAM)" inventories formed the working base. This inventory included 120 buildings that met the criteria of being multi-story, adjacent, having lightwells, and connecting lightwells to living spaces. The assessment revealed that 5 apartment buildings out of 120 matched the criteria, and these buildings were also examined in terms of daylight. The apartment buildings were digitally modeled over the site plan, plan, section, view, text, and images gathered from these databases. The digital work is discussed in three stages: daylight simulation analysis, parametric reflective surface proposal, and genetic algorithm optimization process.*

***Keywords:*** *Daylight, daylight performance, multi-story residential buildings, lightwell, evolutionary optimization.*

**Citation in APA Style:** Bor, H.O., & Alaçam, S. (2021). A parametric model proposal for multistory residential buildings to improve daylight performance through lightwell. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 256- 267). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Günümüzde, sürdürülebilir olmayan yöntemler ile elde edilen enerjinin giderek artan miktarlarda kullanılması, küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu tür enerji kullanımında en büyük payı binalar oluşturmaktadır (Lee ve diğ., 2013). Binalarda kullanılan enerjinin ana nedenlerinden olan yapay aydınlatma kaynakları ise bu tüketimin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır (Li ve diğ., 2008). Karbon salınımını minimize edecek sürdürülebilir enerjiye ve enerji verimli teknolojilere yönelmek, daha sağlıklı bir çevre ve yaşanabilir bir gelecek için alınması gereken en önemli kararlar arasında olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, binaların aydınlatılmasında gün ışığından mümkün olduğunca fazla yararlanmak büyük önem taşımaktadır.

Konutlarda nitelikli aydınlatma ve havalandırma konusu Sanayi Devrimi ile birlikte büyük önem kazanmıştır. O yıllarda sanayinin gelişmesiyle birlikte kırsal kesimde yaşayan insanlar şehirlere yönelmiş ve büyük fabrikalarda çalışan işçiler haline gelmiştir. Şehirlerin bu ani nüfus hareketini destekleyecek altyapılar bulunmamaktaydı. Bu durumun bir sonucu olarak şehirlerde çok sayıda yoğun nüfuslu ancak niteliksiz, havalandırma ve aydınlatma sorunları olan çeşitli formlarda apartmanlar inşa edilmiştir. Corroddi & Spechtenhauser (2014) belirttiği gibi modern mimarinin ve gün ışığı ustalarından olan Kahn'a (1971) göre: "Doğal ışığın girmediği bir oda bir oda değildir". Kahn (1971), gün ışığı konseptini, uzayın ve algının vazgeçilmez ve ayrılmaz bir parçası olduğunu ifade etmektedir. Modern mimarinin en temel konularından biri ise, bu sağlıksız, yoğun ve çok katlı binalara karşı koymak ve modern mimarinin ustalarının da önerdiği gibi çözümler geliştirmek olmuştur (Yürekli, 2011).

Arazinin azlığı dolayısıyla artan değeri, yüksek binaların yapımına olan talebi de arttırmıştır. Nüfus yoğunluğu, kentsel araziyi maksimum verimlilikte kullanmak için bitişik yerleşim gösteren bina grupları oluşmuştur. Bu durum, yüksek katlı ve bitişik binaların cephelerinden alacağı ışık miktarını etkilemiştir. Bu tür konut binalarında, plan düzeni önerilen bir derinliğin üstünde ise, iç kısımda ışık ve havalandırma sağlamak için ışık bacaları önerilmektedir. Bu yaklaşım, ışık bacalı bina tipolojisine sahip konutların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Çalışma, bu şekilde inşa edilmiş binaların iç mekânda ihtiyaç duyduğu aydınlatma ihtiyacının önemini vurgulayarak pasif aydınlatma yöntemlerinin verimliliğine dikkat çekmiştir. Gün ışığını iç mekâna taşıyan pasif sistemlerin verimliliği için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda çok katlı, derin planlı, bitişik nizam konut binalarında yıllık bazda gerçekleştirilen aydınlanma simülasyonları doğrultusunda, ışık bacası (aydınlık) üzerinden sağlanan aydınlanma miktarını artıracak parametrik yansıtıcı yüzeyler sistemi önerilmektedir.

## 2. Mimarlıkta Pasif Aydınlatma

Gün ışığı üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, açık veya hafif bulutlu gökyüzünde güneşten gelen direk ışıktır. İkincisi, atmosfere saçılan güneş işinin oluşturduğu dağınık gün ışığıdır. Üçüncüsü ise, doğal veya insan yapımı yüzeylerden yansıyan ışık olarak tanımlanır.

Gün ışığı aydınlatması ise, Knoop ve çalışma arkadaşları (2020) tarafından bina yüzeyinin açıklıklarından giren gün ışığının iç mekânı aydınlatması olarak tanımlanmaktadır. İç mekandaki doğal ışık, mimarının mekânsal değerine katkıda bulunduğu gibi kullanıcı performansının artmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Doğal ışık kullanımının, mimari tasarımın erken aşamalarından başlayarak aydınlatma teknolojisine kadar her basamakta dikkate alınması, mimari mekânda pasif aydınlatma sistemlerinin de gelişmesine katkı sağlamaktadır.

İç mekândaki gün ışığı, statik ve dinamik ölçüm birimleri olmak üzere iki farklı yöntemle değerlendirilmektedir. Statik ölçütler, standart bir gökyüzü durumuna bağlı olarak belirlenen tek bir noktadaki antik aydınlık değerinin ölçülmesi ile elde edilir. Oldukça indirgenmiş olan statik ölçümü yöntemleri, gün ışığı seviyelerini ve çevresel etmenleri bir değişken olarak hesaba katmamaktadır (Mardaljevic ve diğ., 2009). Dinamik ölçütler ise, yerel iklimsel verileri kullanarak genellikle yıllık olmak üzere belirli bir zaman dilimi boyunca binanın aldığı gün ışığı miktarını hesaplayan yöntemlerdir (Mardaljevic ve diğ., 2013). Statik ve dinamik ölçüm yöntemlerinin en önemli farkı, dinamik ölçüm yöntemlerinin dünya üzerinde ki bir konum için oraya ait güneş açısı, gökyüzünden elde edilen ışık yoğunluğu ve parlaklık verilerine hesaba katmasıdır.

Gün ışığı otonomisi (Daylight autonomy DA), yapay aydınlatmaya ihtiyaç duymadan iç mekân aydınlatmasının yeterliliğini ölçmek için yaygın olarak kullanılan dinamik bir ölçüm yöntemidir (Reinhart ve diğ., 2006). Bu nedenle çalışma kapsamında DA ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. DA, yıl boyunca, iç mekânda belirli bir noktaya yerleştirilen gün ışığı sensörlerine düşen, farklı ihtiyaçlara göre belirlenen eşik değerinden daha yüksek olan, gün ışığı aydınlatmasının kapladığı saatlerin yüzdesi olarak tanımlanmaktadır (**Şekil 1**).

$$DA = \frac{\sum_i (wf_i \cdot t_i)}{\sum_i t_i} \in [0,\ 1] \qquad \text{ile} \qquad wf_i = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad E_{gün\ ışığı} \geq E_{limit} \\ 0 & \text{if} \quad E_{gün\ ışığı} < E_{limit} \end{cases}$$

$t_i$ : *Bir yılda işgal edilen her saat.*
$wf_i$ : *$E_{gün\ ışığı}$ ve $E_{limit}$ değerlerine dayalı bir ağırlık faktörü.*
$E_{gün\ ışığı}$ : *Gün ışığının bir sonucu olarak belirli bir noktada ki yatay düzlem aydınlanması.*
$E_{limit}$ : *Aydınlık sınır değeri.*

**Şekil 1:** Gün ışığı özerkliği (DA) tanımı (Carlucci ve diğ., 2015: 1022).

## 3. Vaka Çalışması

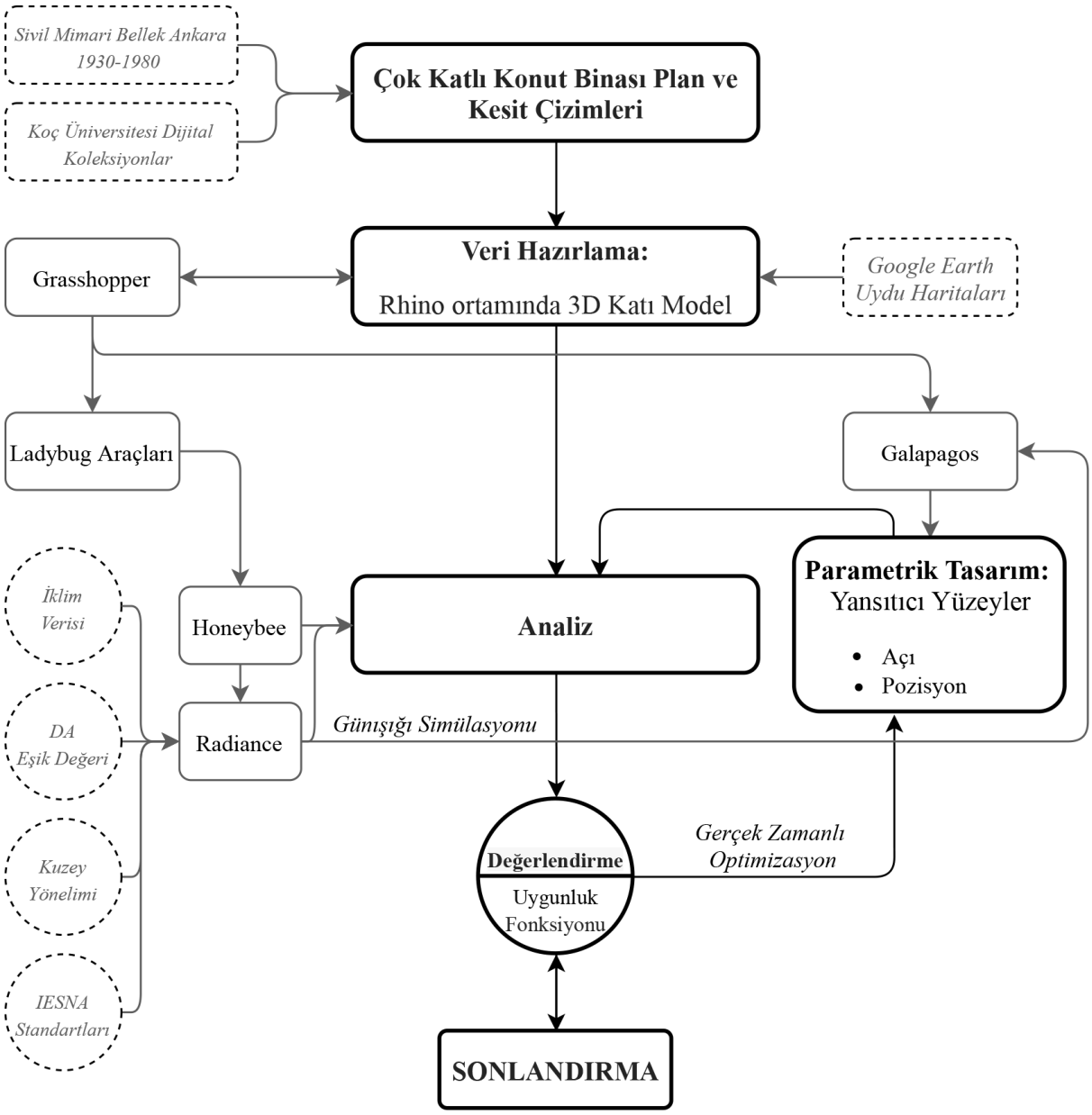
Uluslararası Modern Mimarlık akımı Avrupa'da başlayıp bütün dünyaya yayılan ve Türkiye'de de 1930'lu yıllardan itibaren etkisini göstermeye başlamıştır. Avrupa'dan davet edilen yetkin mimarlar, modern mimarının Türkiye'deki gelişiminde öncü olmuşlardır. Bu dönemde, simgesel kamu binaları ile birlikte, sivil mimarı binalar da modern mimarı tarzın önemli temsilcileri arasındadır.

Cumhuriyet ile modern yaşam tarzını benimseyen Ankara nüfusunun barınma ihtiyacını karşılayan apartman binaları, modern mimarlığın Türkiye'de ki nitelikli örneklerindendir. Kentsel arazilerin çok değerli olması yüksek katlı, bitişik nizamlı ve derin plan şemasına sahip binanın inşa edilmesine yol açmıştır. Bu durum sonucunda mimaride başka sorunlarla karşılaşılmıştır. Bu tip binalarda binanın merkezi için ışık ve havalandırma ihtiyacı için ışık bacaları kullanılmıştır. Bu da şehirdeki apartman binalar için yaygın bir tipoloji haline gelmiştir.

**Şekil 2:** Seçilen apartman binaları. a: M. Canlı Apt. (Koç Üniversitesi-2, t.y.), b: Büyük Apt. (Koç Üniversitesi-3, t.y.), c: Demirtaş Apt. (Koç Üniversitesi-4, t.y.), d: Kazazoğlu Apt. (Koç Üniversitesi-5, t.y.), e: Refikler Apt. (Koç Üniversitesi-6, t.y.).

Bu çalışma kapsamında, derin plan şemasından bu tip apartman binalarında binanın merkezinde kalan odalara erişen doğal ışık miktarını arttırmak için kullanılan ışık bacaları, iç mekânda ki gün ışığı verimliliğini arttıracak araçlar ile desteklenmek istenmiş ve bu durum test edilmiştir. Çalışma için örneklem grubu, Ankara'da 1930-1980 yılları arasında Ulusal Mimarlık Akımını yansıtan sivil mimarı konut örnekleri arasından seçilmiştir. "Sivil Mimarı Bellek Ankara 1930-1980" (Bayraktar ve diğ., 2014) ve "Koç Üniversitesi Vehbi Koç Ankara Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi (VEKAM)" (Koç Üniversitesi-1, t.y.) envanterleri çalışma altlığını oluşturmuştur. Bu envanter kapsamında seçilmiş olan 120 bina çok katlı olma, bitişik nizamlı olma, ışık bacası bulundurma ve ışık bacalarının yaşam mekânlarına açılması ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu, 120 bina içinden 5 adet apartman binasının ölçütleri sağladığı görülmüş ve bu binalar da gün ışığı açısından incelenmiştir (**Şekil 2**).

Sayısal ortamda modellenmek üzere seçilen apartman binalarının, vaziyet planı, plan, kesit, görünüş, metin ve fotoğrafları “Sivil Mimarı Bellek Ankara 1930-1980” ve “Koç Üniversitesi Vehbi Koç Ankara Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi (VEKAM)” veri tabanlarından elde edilmiştir. Sayısal ortamda geliştirilen çalışma, gün ışığı simülasyon analizi, parametrik yansıtıcı yüzey önerisi ve genetik algoritmalı optimizasyon süreci olmak üzere üç aşamada ele alınmaktadır (**Şekil 3**). Gün ışığı simülasyon analizleri, seçilen apartmanın ve yakın çevrenin 3 boyutlu modelini kullanmaktadır. Bu aşama ayrıca iklimsel verileri girdi olarak almaktadır. Uygunluk fonksiyonu ile gerçek zamanlı evrimsel optimizasyonu mümkün kılan yansıtıcı yüzey aşamalarının parametrik tasarımı arasında bir geri besleme döngüsü bulunmaktadır.



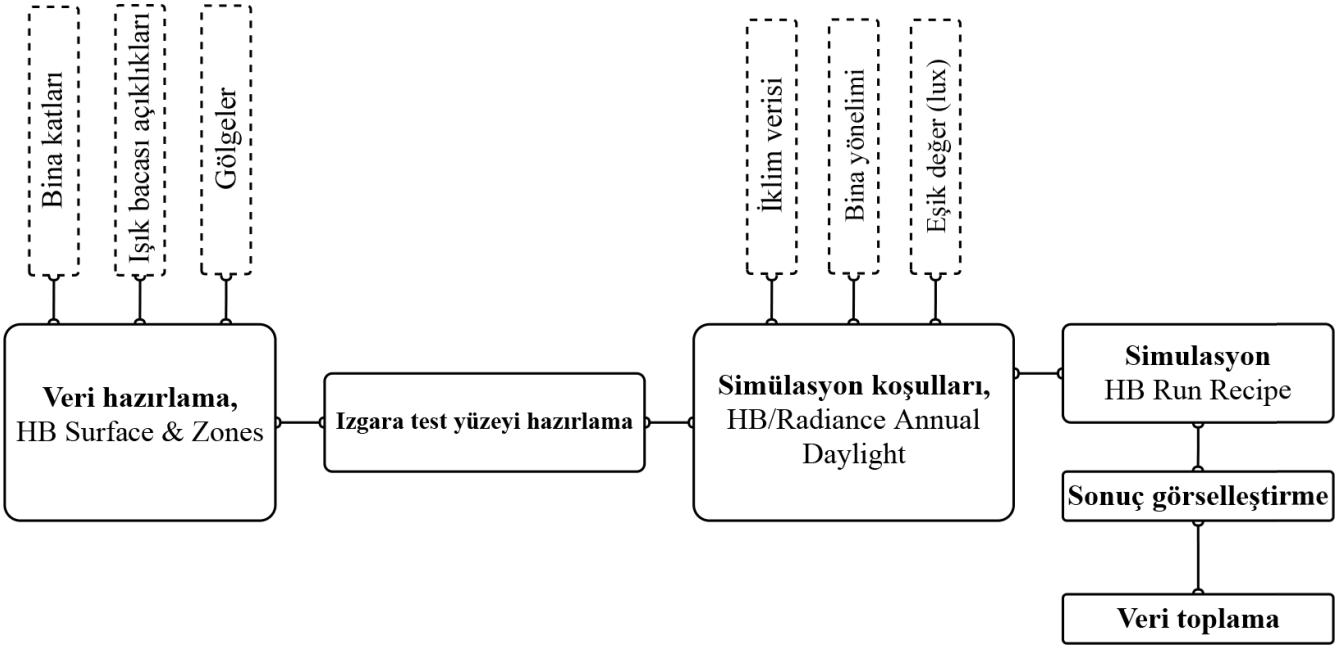

**Şekil 3:** Algoritma şeması.

Algoritma şeması öncelikle envanterlerden elde edilen verilerin üç boyutlu modellerinin sayısal ortama aktarılması ile başlamaktadır. Grasshopper (GH) ortamında bu katı modeller, Ladybug (LB) ve Honeybee (HB) araçları ile bir gün ışığı simülasyonu evresine sokulmaktadır. Bu evre farklı durumların simülasyon sonuçlarını kullanıcı operatörlüğünde çıkartmaktadır. Fakat tasarım süreci geri beslemeli bir süreç içindedir. Bu süreci otomatikleştirmek için optimizasyon bileşeni olan Galapagos kullanılmaktadır. GH eklentisi içinde evrimsel optimizasyon bileşeni olan Galapagos, süreci

tasarımcının belirlediği çalışma parametreleri dışında kendi otomatik olarak tamamlar ve maksimum verimliliğe uygun fonksiyonu vererek sistemi sonlandırır.

**Aşama 1**

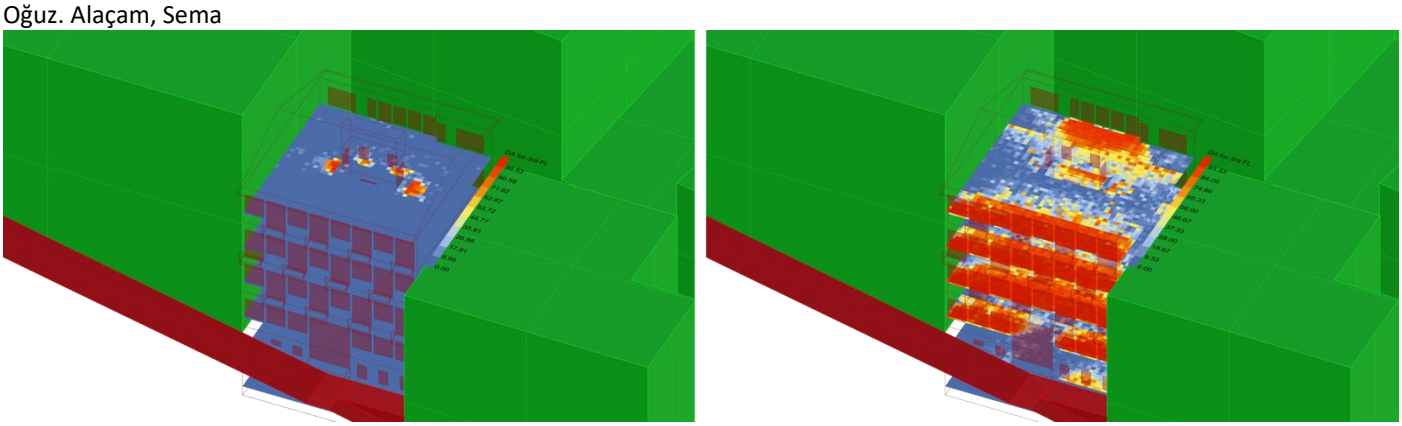
İlk aşamada, inceleme sonucunda değerlendirme kriterlerini sağlayan 5 apartman binası üç boyutlu modelleme ortamı olan Rhinoceros'a aktarılmıştır. Rhinoceros'un görsel kodlama arayüzü olan GH ile LB ve HB gibi GH'e eklenti olarak geliştirilmiş araçlarla gün ışığı simülasyonu için dijital bir model oluşturulmuştur. Bu model, HB kütle bileşenleri, aydınlatma düzlemi, iklim verileri, HB/Radiance simülasyon temel bileşenleri, ısı haritası diyagramları gibi bileşen gruplarından oluşur. Binanın her kat modelinin yanı sıra açıklıklar/açıklıklar ve sınır temsili olarak girilen gölge elemanları Rhinoceros ortamında belirtilmiştir (**Şekil 4**). Ardından modellerin her katı için yıllık DA simülasyonları GH üzerinde, LB ve HB eklentileri ile IESNA standartlarına uygun olarak yapılmıştır.




**Şekil 4:** GH'de hazırlanan örüntünün DA simülasyon bileşen diagramı.

Binanın kabuğu, cephe elemanları ve pencereleri, ışık kuyusuna odaklanılan son modelde ihmal edilmiştir. Rhinoceros ortamında çokgen ağ geometrisi (polygon mesh geometry) olarak hazırlanan kati modeller GH ortamına brep (boundary representation) geometrisi olarak aktarılmıştır. Giriş parametresi olarak çatı, balkonlar, cephe süslemeleri ve komşu binalar "gölge" olarak tanımlanmıştır. Her kat aynı zamanda diğer katların gün ışığı analizi için bir "gölge" parametresi olarak tanımlanmıştır. Katlar ayrı ayrı temsil edilmiş ve bir kat toplam hacim olarak kabul edilmiştir.

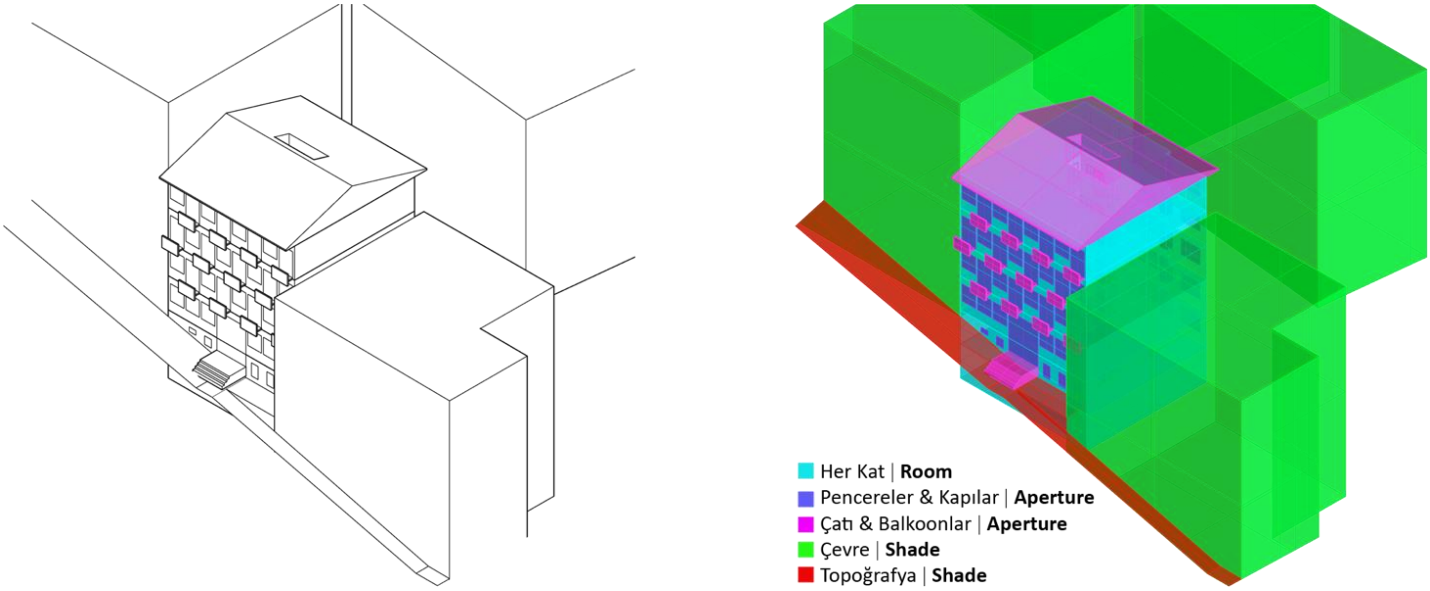
Simülasyon temel bileşen grubunda, yıllık gün ışığı (HB/Radiance Annual Daylight) bileşeninde bina modelinin kuzey yönü veri olarak girilir. Simülasyon yıllık metrikler üzerinden değerlendirileceği için bir eşik belirlenmiştir. Eşik değeri IESNA tarafından önerilen aralıkta 300lux olarak kullanılmıştır (Rea, 2000). Simülasyon sırasında tavsiye edilen 0.75m yükseklikte (çalışma düzlemi yüksekliği) bir aydınlanma düzlemi oluşturulmuştur (Boyce ve Raynham, 2009). Bu düzlemde DA ölçümleri için sensörlerin yerleştirileceği bir ızgara oluşturulmuştur. Bu ızgara, yüksek çözünürlük için 30x30cm hücrelerden elde edilmiştir (**Şekil 5**).



**Şekil 5:** Kurşuncu Apt. DA analizi. Sadece ışık kuyusu açıklıkları (solda) ve tüm cephe açıklıkları birlikte (sağda).

**Aşama 2**

İkinci aşamada DA simülasyonları yapılan 5 apartman binası arasından, ışık bacası üzerinden alınan gün ışığı aydınlık miktarı en düşük olan apartman binası (Kazazoğlu Apartmanı) için yansıtıcı yüzey modeli önerisi geliştirilmiştir (Şekil 6).



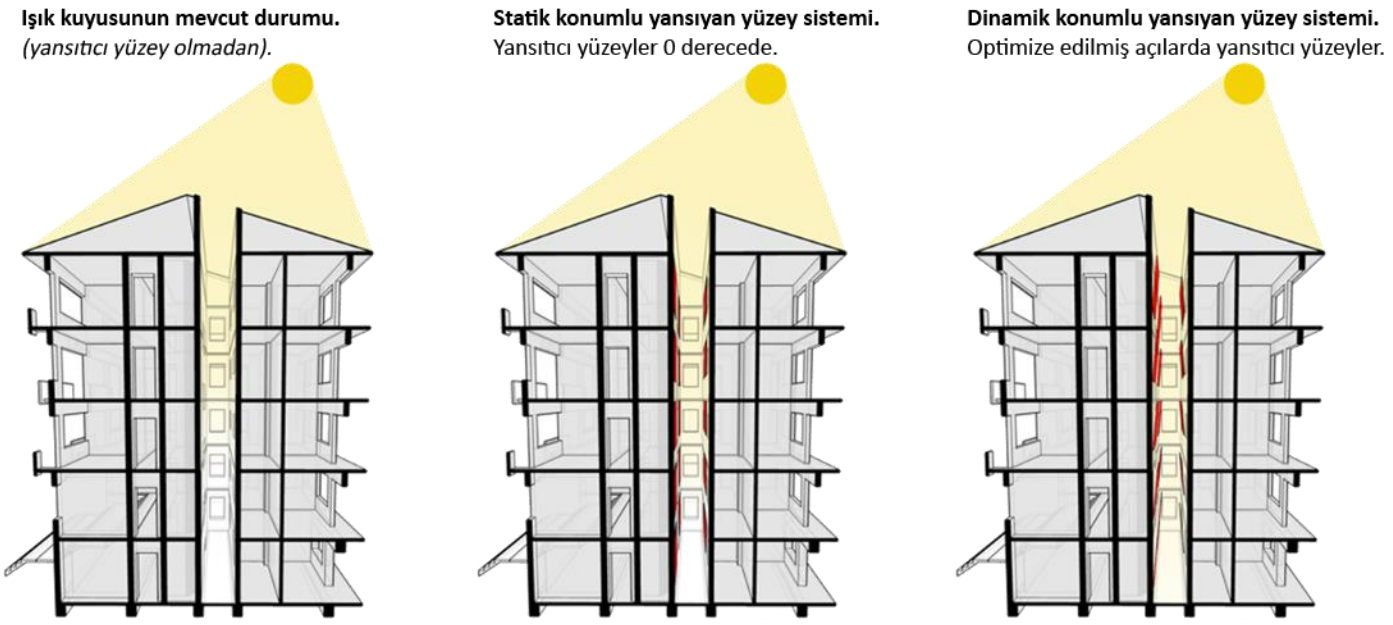

**Şekil 6:** Seçilen bina ve çevresindeki yapıların modeli. GH'de her renk farklı bir "brep" temsil etmektedir.

Bu sistem, ışık bacası üzerinde ki pencerelerin boyutunun %75'inden daha büyük olan yansıtıcı panellerin, her bir pencereye bakacak şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulur. Yansıtıcı yüzeyler için eğri formlar HB/Radiance'da yansıtıcı olarak tanımlanamadığı için dikdörtgen panel formundadır. %100 yansıtıcılığa sahip yüzeyler olarak kabul edilirler ve parlama ölçümler sırasında dikkate alınmaz.

Bu binanın ışık bacası içerisindeki pencerelerin karşısına, pencerelere paralel (0 derecede) yansıtıcı yüzeylerle bir simülasyon deneyi yapılır. Ortaya çıkan simülasyon ile iç mekandaki bu statik durumda ki yansıtıcı yüzeylerin etkisi analiz edilir.

**Aşama 3**

Üçüncü aşamada ise evrimsel algoritmalı optimizasyon için yansıtıcı yüzeyler, GH üzerinde çalışan Galapagos bileşenindeki en yüksek DA sonucu için optimize edilmiştir. Aşama 2'de oluşturulan statik konumdaki yansıtıcı yüzeyler, dikey düzlemdeki pivotlar üzerinde +5 ile 5 derece açı arasında hareket edebilecek şekilde tanımlanır. Yüzeyler on kademeli hareket kabiliyetine sahiptir. Böylelikle yansıtıcı yüzeylere dinamik bir hareket parametresi oluşturulmuştur (**Şekil 7**).




**Şekil 7:** Kazazoğlu Apartmanı, ışık kuyusunun mevcut durumu, statik ve dinamik yansıtıcı yüzey pozisyonları**.**

Pivotlardaki yansıtıcı yüzeylerin, dışarıdan alınan gün ışığını birbirine yansıtması ve alt katlara verimli bir şekilde ulaştırması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda parametrik model üzerinde birbiriyle ilişkili yansıtıcı yüzeylerin ışık bacası üzerinden gelen gün ışığının maksimize edilmesi için genetik algoritma üzerinden optimizasyon işlemi yapılmaktadır. Model, ışık bacaları içerisinde yer alan yansıtıcı yüzeylerin açılarını, iç mekânda DA değeri en yüksek olacak şekilde optimize etmektedir.

DA simülasyonunun hazırlanacağı binanın ışık bacasındaki tüm yansıtıcı yüzeyler, evrimsel optimizasyon için bağımsız bir genom olarak Galapagos'a bağlanmaktadır. En üst düzeye çıkarmak için ayarlanan uygunluk fonksiyonu, bir kütle toplama bileşeniyle DA sonuçlarına bağlıdır. Optimizasyon sürecinde evrimsel çözücü kullanılır ve çalışma süresi sınırı yoktur. Bilgisayar optimizasyonlarının suresinin kısaltmak ve uç değerler kullanıldığında daha belirgin sonuçlar elde edebilmek adına parametreler, maksimum durağanlık (max. stagnent) “10”, popülasyon “50” ve ilk artış (initial boost) “2” olacak şekilde kısıtlanmıştır.

Pivot üzerinde maksimum verim için optimize edilen yansıtıcı yüzeylerin duruş açısı ve tüm katlardaki yansıtıcı yüzeylerin kombinasyonu belirlenir. Sonuç olarak, hepsinin hareket açısı birbirine ve maksimum verimliliğe optimize edilmektedir.

**Tablo 1:** Hareketli yansıtıcı yüzeylerin maksimum verimlilik için -5, +5 derece arasında duvar ile yaptıkları açı değerleri.

| Bina Katları | I. Ayna | II. Ayna | III. Ayna |
|---|---|---|---|
| 3. Kat | 0° | 0° | 2° |
| 2. Kat | -2° | -2° | 2° |
| 1. Kat | 3° | 3° | -1° |
| Zemin Kat | 0° | -1° | 0° |
| 1. Bodrum Kat | 3° | 3° | -3° |
| 2. Bodrum Kat | 5° | 5° | -5° |

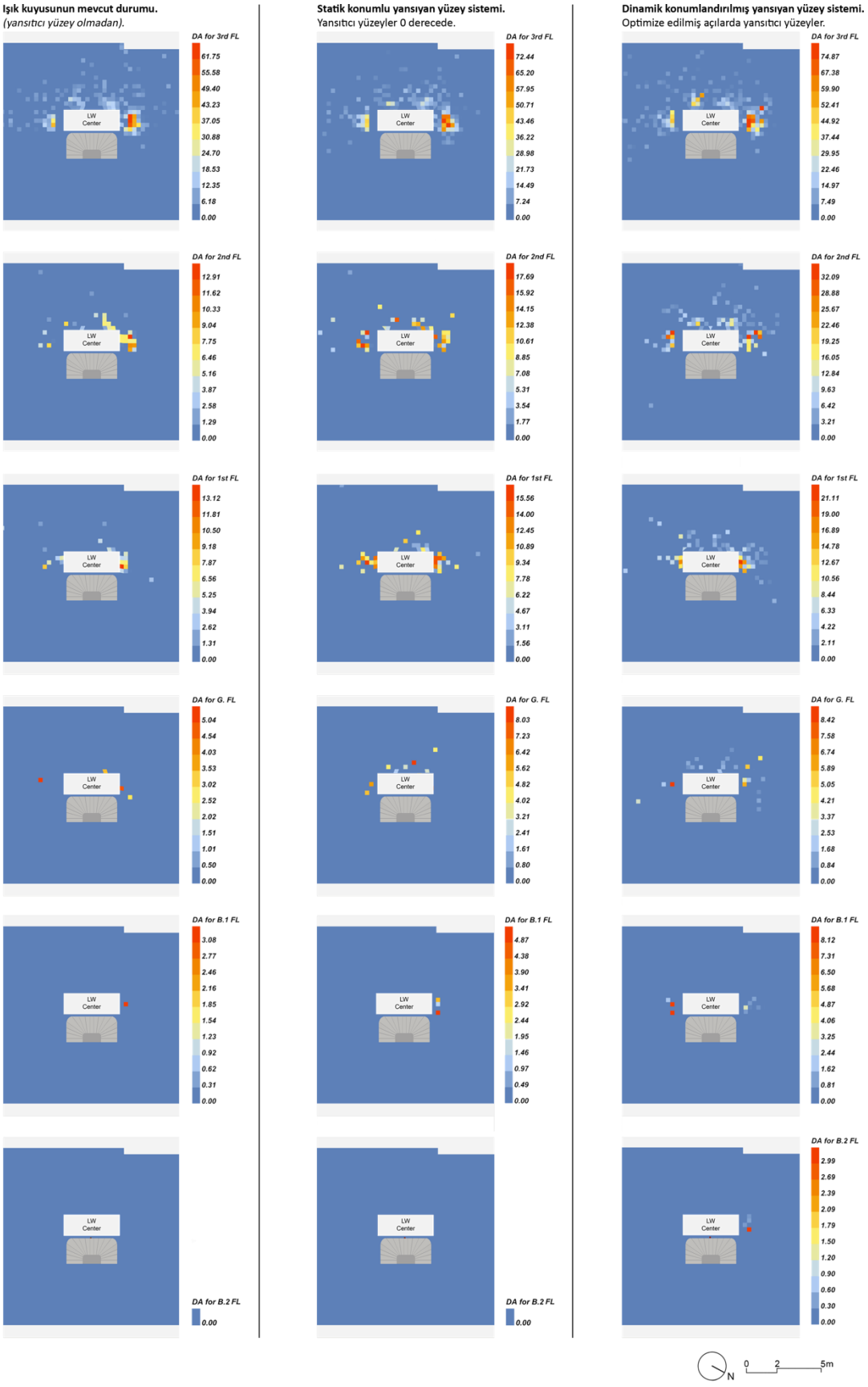
Galapagos üzerinde evrimsel optimizasyon için belirlenen kısıtlar sonucu maksimum aydınlık miktarının oluştuğu rasgele konumlanan açı değerleri **Tablo 1** üzerinden takip edilmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda bir tutarlılık gözlemlenememektedir, kısıtlar kapsamında denenen alternatifler arasında maksimum verimliliği sağlayan sonuç olarak ele alınmaktadır.

Vaka çalışması kapsamında incelenen yapılarda, ışık bacası üzerinden alınan gün ışığının en alt kata kadar olan erişimi iç ve dış etmenler tarafından etki görmektedir. Binadaki kat sayısı, ışık bacasının doğrultusu, ışık bacasının geometrisi ve binanın çatı formu iç etmenler olarak gruplanırken, dış etmenler ise, binanın bulunduğu enlem, iklim koşulları, arazi bakı durumu ve çevre binaların yüksekliklerdir. Son durumda optimize edilmiş dinamik yansıtıcı yüzeyler ile kurulan sistemin, tekrarlanan DA simülasyonunda, statik yansıtıcı yüzeylerden ve binanın mevcut DA simülasyonu sonucundan daha verimli olduğu görülmüştür (**Tablo 2**).

**Tablo 2: Şekil 8**'de gösterilen DA simülasyon sonuçlarının karşılaştırması, mevcut durum, statik ve dinamik model.

| Bina Katları | Mevcut Durum | Statik Model | Dinamik Model |
|---|---|---|---|
| 3. Kat | 62% | 72% | 75% |
| 2. Kat | 13% | 18% | 32% |
| 1. Kat | 13% | 16% | 21% |
| Zemin Kat | 5% | 8% | 8% |
| 1. Bodrum Kat | 3% | 5% | 8% |
| 2. Bodrum Kat | 0% | 0% | 3% |

Gün ışığının optimize edilebilir bir tasarım parametresi olarak ele alınması ve bu bağlamda önerilen parametrik yansıtıcı yüzey sisteminin ışık bacalarının işlevine katkı sunması çalışmanın önemli çıkarımlarındandır. Bu çalışmanın sonuçları hazırlanan geometrilerin katı modelleri ve bu geometrilerin hesaplamalı tasarım araçları kullanılarak temsili sonucu elde edilmiştir. Çalışmanın kısıtları göz önünde bulundurulmalıdır. Yapısal ilişkiler farklı teknikler ve farklı analiz yöntemleri kullanılırsa sonuçların değişebileceği göz önünde bulunmalıdır.




**Şekil 8:** Kazazoğlu Apartmanı mevcut durumu ve önerilen yansıtıcı yüzey sistem konumları için DA simülasyonları.

## 4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışma gün ışığının, mimarlar tarafından erken tasarım aşamasından itibaren ele alınması gereken en önemli tasarım parametrelerinden biri olduğunu göstermektedir. Gün ışığının potansiyeli, çalışma kapsamında odaklanılan çok katlı, derin planlı, bitişik nizam konut binalarında ışık bacaları üzerinden ele alınmaktadır. Işık bacaları, bina tasarımında mimarlar tarafından kullanımı genellikle çekinilen ve olumsuz bulunan yapı birimlerindendir. Fakat çalışma kapsamında önerilen gün ışığı yansıtıcı sistemin kullanımı ile ışık bacalarının verimliliklerinin arttırılabileceği gösterilmiştir.

Çalışma süreci, ışık bacaları ile birlikte kullanılabilecek bir yüzey tasarımının, hesaplamalı tasarım ve modelleme ortamları ile nasıl desteklenebileceğini göstermektedir. Vaka çalışmasından elde edilen bulgular, farklı tipolojilerde binalar için de uygulanabilir bir bilgi üretmektedir. Üretilen bilgi hem pasif enerji kazanımı bağlamında gün ışığından faydalanmaya, hem de iç mekânda ki aydınlık konforunun değişen ihtiyaçlara göre parametrik olarak tanımlanan bir modelle esnekleşmesi/uyarlanabilir bir hale gelmesine katkıda bulunmaktadır. Vaka çalışmasındaki bağlamdan gelen özgünlük, tasarım araştırmasında tasarım problemini kurma ve bunu hesaplamalı tararım araçlarını kullanarak irdelemesi de çalışmanın özgün katkıları olarak görülmektedir.

Çalışma kapsamında önerilen parametrik yansıtıcı yüzey sistemi ışık bacalarının verimliliğinin artmasında önemli bir role sahiptir. Yansıtıcı yüzeylerin açıları genetik algoritmalar yardımıyla optimize edilirken, uygunluk fonksiyonu da DA değerlerine bağlanarak, alt katlara daha çok doğal ışık erişimini sağlayabilmesi üzerine kurulmuştur. DA simülasyonu bir yıllık zaman dilimini kullandığı için sistem optimizasyon sonucu yıllık ortalamanın maksimizasyonuna yönelik olarak sabit açıların belirlenmesini sağlamıştır. Böylelikle son durum simülasyon sonuçlarının en verimli durumu oluşturduğu görülmüştür. Bu durumun sonuçları olarak, daire iç mekanlarında gün ışığı miktarının arttırılması ve bunun etkisi olarak ışık bacası ile ilişkili mekanların kullanımlarının daha aktif hale gelebileceği düşünülmektedir. Işık bacasının bina içindeki kullanımı sadece işlevsel değil aynı zamanda estetik bir unsur olarak da ele alındığında, binanın niteliğini de arttıran bir tasarım öğesi olduğu vurgulanmaktadır.

Mimaride gün ışığı kullanımı, geçmişten günümüze mimarlar için önemli bir tasarım öğesi olmaktadır. Gün ışığından daha fazla yararlanmak adına gelişen teknolojiden faydalanmak ve yeni sistemleri tasarımlara dahil etmek sürdürülebilirliği de yanında getirecek ve binalarda daha fazla gün ışığından yararlanılmasını mümkün kılacaktır.

**Teşekkür**

Çalışma kapsamında Prof. Dr. Gülen Çağdaş ve Prof. Dr. Özgür Ediz'e yapıcı önerileri ve değerli katkıları için teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Bayraktar, N., Batuman, B., Ayhan, E.S. (2014). Sivil Mimari Bellek Ankara 1930-1980. *Koç Üniversitesi Vehbi Koç Ankara Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi*. Sergi Kataloğu.

Boyce, P., & Raynham, P. (2009). *SLL lighting handbook*. Cibse.

Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and sustainable energy reviews*, *47*, 1016-1033.

Corrodi, M., & Spechtenhauser, K. (2014). *Illuminating: natural light in residential architecture* (Vol. 3). Walter de Gruyter.

Kahn, L. (1971). "The room, the street and human agreement", AIlA] Journal, vol. 56, no. 3, September 1971.

Knoop, M., Stefani, O., Bueno, B., Matusiak, B., Hobday, R., Wirz-Justice, A., ... & Norton, B. (2020). Daylight: What makes the difference?. *Lighting Research & Technology*, *52*(3), 423-442.

Koç Üniversitesi-1 (t.y.). Civil Architectural Memory Ankara 1930-1980 Structure Inventory. Koç Üniversitesi Digital Collections, Erişim tarihi Haziran 12, 2021, https://librarydigitalcollections.ku.edu.tr/en/collection/civil-architectural-memory-ankara-1930-1980-structure-inventory/

Koç Üniversitesi-2 (t.y.). M. Canlı Apartmanı. Koç Üniversitesi Digital Collections, Erişim tarihi Haziran 12, 2021, https://libdigitalcollections.ku.edu.tr/digital/collection/SMB/id/690

Koç Üniversitesi-3 (t.y.). Büyük Apartman. Koç Üniversitesi Digital Collections, Erişim tarihi Haziran 12, 2021, https://libdigitalcollections.ku.edu.tr/digital/collection/SMB/id/866/rec/10

Koç Üniversitesi-4 (t.y.). Demirtaş Apartmanı (Ekrem Demirtaş Apartmanı). Koç Üniversitesi Digital Collections, Erişim tarihi Haziran 12, 2021, https://libdigitalcollections.ku.edu.tr/digital/collection/SMB/id/3965/rec/7

Koç Üniversitesi-5 (t.y.). Kazazoğlu Apartmanı. Koç Üniversitesi Digital Collections, Erişim tarihi Haziran 12, 2021, https://libdigitalcollections.ku.edu.tr/digital/collection/SMB/id/1670

Koç Üniversitesi-6 (t.y.). Refikler Apartmanı. Koç Üniversitesi Digital Collections, Erişim tarihi Haziran 12, 2021, https://libdigitalcollections.ku.edu.tr/digital/collection/SMB/id/3066

Lee, J. W., Jung, H. J., Park, J. Y., Lee, J. B., & Yoon, Y. (2013). Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. Renewable energy, 50, 522-531.

Li, D. H., Lam, T. N., Wong, S. L., & Tsang, E. K. (2008). Lighting and cooling energy consumption in an open-plan office using solar film coating. Energy, 33(8), 1288-1297.

Mardaljevic, J., Christoffersen, J., & Raynham, P. (2013). A proposal for a European standard for daylight in buildings. In *Proc. Int. Conf. Lux Europa* (pp. 237-250).

Mardaljevic, J., Heschong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*, *41*(3), 261-283.

Rea, M. S. (2000). The IESNA lighting handbook: reference & application.

Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, *3*(1), 7 31.

Yürekli, F. (2011). *Mimarlık/mimarlığımız*. Yapı Endüstri Merkezi (YEM).

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Deprem Kaynaklı Tsunami Durumunda Tahliye için Karar Destek Sistemi Önerisi: Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerinde Vaka Analizi

Gizem Efendioğlu [1]; Şehnaz Cenani [2]
[1]Özyeğin Üniversitesi; [2]İstanbul Medipol Üniversitesi
[1]gizem.efendioglu@ozyegin.edu.tr ; [2]sdurmazoglu@medipol.edu.tr

## Özet

*Uzun bir deprem geçmişine sahip İstanbul, Kuzey Anadolu Fay Hattına yakınlığı dolayısıyla deprem açısından riskli bir konumda yer almaktadır. Yaşanan son depremden itibaren geçirilen süreç içerisinde, İstanbul yakınında bulunan fay hatlarında bir enerji sıkışması olabileceği belirtilmektedir. Bu sıkışma sebebiyle önümüzdeki 30 yıl içerisinde İstanbul'da 7.0 ila 7.4 şiddetleri arasında gerçekleşebilecek büyük bir deprem öngörülmektedir. Depremin neden olabileceği can kayıplarının yanı sıra İstanbul, kıyı şeritlerinde yaşanabilecek bir tsunami tehdidi ile de karşı karşıyadır. Olası bir deprem durumunda tsunamiye karşı 3 dakika içerisinde önlem alınması gerektiği belirtilmektedir. Literatürde İstanbul özelinde yapılan çalışmalarda tsunaminin kıyı şeridine ulaşma süresi 8 dakika olarak belirlenmiştir. Bu nedenle depremin ardından 8 dakikalık süre içerisinde hızlıca kıyı şeridi tahliye edilmelidir. Karar Destek Sistemleri (KDS), afet durumlarında hızlı ve isabetli kararlar alınmasını sağlayan bilgisayar destekli sistemlerdir. Bu sistemler dünyanın çeşitli bölgelerinde gelişebilecek afet durumlarına karşı hazırlıklar için kullanılmaktadır. Bu çalışma, İstanbul'da deprem kaynaklı tsunami durumlarında kullanılacak tahliye rotalarını belirleyen bir KDS önerisi sunmayı amaçlamaktadır. Çalışma, pilot bölge olarak yarımada konumunda bulunan Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerini incelemektedir. Önerilen sistem, anlama, tasarım ve karar verme aşamaları olmak üzere üç aşamada geliştirilmiştir. Anlama aşaması, sorunun analiz edilmesi ve yapılandırılmasını; tasarım aşaması, alternatif çözümler üretilmesini ve son olarak karar aşaması, karar verme durumunu tanımlamaktadır. Bu bağlamda anlama aşamasında pilot bölge analiz edilerek işlevsel, demografik ve coğrafi özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Oluşturulan DEM (Digital Elevation Model) haritası ile tsunami açısından riskli bölgeler belirlenmiştir. Riskli alanlar sonraki aşamada çıkış noktaları için tanımlanırken, varış noktaları için bölgedeki hastane ve toplanma alanları belirlenmiştir. Tasarım aşamasında riskli bölgelerden varış noktalarına tahliye için rotalar geliştirilmiştir. Rotalar oluşturulurken, daha isabetli hesaplamalar yapılabilmesi için gerçek zamanlı trafik yoğunluğu analizleri sisteme aktarılmıştır. Daha güvenli rotaların belirlenebilmesi için ise anlama aşamasında belirlenen tahliye aşamasında riskli olabilecek bölgeler senaryolara dâhil edilmiştir. Araç ile ulaşım ve araçlara erişim olmadığı durumlarda yürüyüş rotaları için iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Son olarak karar aşamasında, deprem kaynaklı tsunami durumlarında tahliye rotalarının oluşturulmasını sağlayacak bir Karar Destek Sistemi önerilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Deprem kaynaklı tsunami, karar destek sistemleri, tahliye, acil durum planlama.*

**APA stilinde kaynak gösterimi:** Efendioğlu, G., & Cenani, Ş. (2021). Deprem kaynaklı tsunami durumunda tahliye için karar destek sistemi önerisi: Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerinde vaka analizi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf.268-279). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Decision Support System Proposal for Evacuation in Earthquake-induced Tsunami: Case Study in Kadıköy Caferağa and Osmanağa Neighborhoods

Gizem Efendioğlu [1]; Şehnaz Cenani [2]
[1]Özyeğin University; [2]Istanbul Medipol University
[1]gizem.efendioglu@ozyegin.edu.tr ; [2]sdurmazoglu@medipol.edu.tr

## Abstract

*Istanbul has a long history of earthquakes, since it is close to the North Anatolian Fault. Istanbul is predicted to have a large earthquake of magnitude between 7.0 to 7.4 in the next 30 years. It is stated that the reason for this may be an energy compression in the faults for the elapsed time. Besides the earthquake, Istanbul also has the threat of an earthquake-induced tsunami that may occur along the coastline. After an earthquake, emergency precautions should be taken in 3 minutes against the tsunami. In the studies conducted about Istanbul, after an earthquake, the time for the tsunami to reach the coastline was determined as 8 minutes. For this reason, the evacuation from the coastline should start within 8 minutes after the earthquake. Decision Support Systems (DSS) are computer-aided decision-making systems that enable fast and accurate decisions in disasters and emergency situations. Generally, these systems are used for preparations against disasters. This study aims to present a DSS proposal that determines the evacuation routes to be used in earthquake-induced tsunamis in Istanbul. This study examines Kadıköy Caferağa and Osmanağa Neighborhoods as case study. We developed the system in three phases: intelligence, design and choice. The intelligence phase involves analyzing and structuring the problem; The design phase defines the generation of alternative solutions and finally the choice defines the decision-making situation. In this context, during the intelligence phase, we analyzed the region and evaluated in terms of its functional, demographic and geographical features. With the created DEM (Digital Elevation Model) map, we determined the risky areas in terms of tsunami. At the next stage, we defined the risky areas as starting points, while the hospital and emergency meeting areas in the region as the destination points. During the design phase, routes were developed for evacuation from risky areas to destinations. While creating the routes, real-time traffic density analyzes were transferred to the system in order to make more accurate calculations. Two different scenarios were created for pedestrian and vehicle routes. Finally, in the choice phase, we propose a Decision Support System to create evacuation routes by providing warnings in earthquake-induced tsunami situations.*

***Keywords:*** *Earthquake-induced tsunami, decision support systems, evacuation, emergency planning.*

***Citation in APA style:*** Efendioğlu, G., & Cenani, Ş. (2021). Decision support system proposal for evacuation in earthquake-induced tsunami: Case study in Kadıköy Caferağa and Osmanağa Neighborhoods. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö.Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (sf.268-279). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

İstanbul, Kuzey Anadolu Fay Hattına yakınlığı dolayısıyla deprem açısından riskli bölgelerden birinde yer almaktadır. Uzun bir deprem geçmişine sahip İstanbul'da bilinen en şiddetli deprem 1766 yılında gerçekleşmiştir. 6,9 şiddetindeki depremde 6 metreye varan tsunami dalgaları oluştuğu kaydedilmiştir (İBB, 2019). İstanbul'da, yakın bir zamanda gerçekleşen 17 Ağustos 1999 tarihli ve İzmit merkezli depremde de tsunami oluştuğu ve 2,9 metre dalga boyuna ulaştığı kaydedilmiştir. Yaşanan depremlerin devamında geçirilen süreçte, faylarda bir enerji sıkışmasının olabileceği ve yakın zamanda İstanbul'un büyük bir deprem riski ile karşı karşıya olduğu belirtilmektedir. İstanbul'da, gelecek 30 yıl içerisinde 7.0 ila 7.4 şiddet aralığında büyük bir deprem olacağı öngörülmektedir (İBB, 2019). Deprem sonrasında ölümler ilk 72 saat içinde gerçekleşmektedir. Fakat depremin tetikleyeceği bir tsunami çok hızlı bir şekilde can kaybı yaşatma olasılığına sahiptir. Deprem gerçekleşmesi durumunda ilk 3 dakika içerisinde olası bir tsunamiye karşı hazırlıklı olunması gerektiği belirtilmektedir (İBB, 2019).

**Şekil 1:** Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahalleleri.

Karar Destek Sistemleri (KDS), karar vericilerin yapılandırılmamış sorunları çözmek için veri ve modeller kullanmalarına yardımcı olan bilgisayar tabanlı sistemler olarak tanımlanmaktadır (Sprague, 1989). Bu sistemler, acil durumlar için yapılandırıldığı takdirde, sürece hız kazandırmakta ve isabetli kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Herrnberger, 1996; Fedra ve Reitsma, 1990). Bu nedenle acil durumların yapılandırılmamış sorunlarının çözümünde bu sistemlerin kullanımı avantaj sağlamaktadır. Dünyanın çeşitli bölgelerinde gerçekleşebilecek afetlere karşı önlemler için KDS'ler geliştirilmektedir. İstanbul için düzenlenen deprem çalıştayları, tsunami raporları ve risk analizlerine dair çalışmalar geliştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda olası bir tsunami ihtimalinde dalgaların kıyıya ulaşma süresi 8 dakika ve kıyı içi ilerleme mesafesi 150 metreye ulaşabileceği belirlenmiştir (İBB, 2020). Bu nedenle hızlı karar alma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kandili Rasathanesi bir tsunami uyarı KDS'si geliştirmiştir (KRDAE, 2019). Fakat İstanbul için oluşturulmuş bir tahliye çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, bu çalışmanın amacı, deprem kaynaklı tsunami durumlarında İstanbul kıyı şeridinde uygulanabilecek tahliye senaryoları geliştirebilmek için bir KDS önerisi sunmaktır. Böylece İstanbul'da bir deprem olması durumunda tsunami riski altındaki bölgelerin uyarılarak en kısa süre içinde bu alanlardaki bireylerin güvenli bir bölgeye tahliyesi amaçlanmaktadır. Bu sayede, sürecin hızlandırılması ve can kayıplarının en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma, pilot bölge olarak yarımada konumundaki Kadıköy Caferağa ve Osmanağa Mahallelerini ele almaktadır (**Şekil 1**).

## 2. Literatür Araştırması

Karar Destek Sistemleri (KDS) acil durumların yapılandırılmamış sorunlarının çözümünde kullanılmakta ve isabetli kararlar alınması için hızlı sonuçlar sağlamaktadır. Literatürde de acil durum yapılandırılmasında ve tahliye süreçlerinde kullanılan mevcut KDS çalışmaları bulunmaktadır. Tahliye süreçleri üzerine geliştirilen çalışmaları iki şekilde incelemek mümkündür. Çalışmaların bir bölümü yapı tahliyelerini konu edinirken, diğer bölümü ise kentin bir bölümünün tahliyesini araştırmaktadır. Yapı tahliye araştırmaları, afet durumlarında yapı içindeki kaçış rotalarını belirlemektedir.

Yapı içinde afete bağlı olarak, anlık olarak gelişen farklı tehlikeler de oluşabilir (Gershon, 2006). Bu tehlikelerden korunabilmek için kullanılan sensörlerle, insanları anlık olarak üretilen rotalara yönlendiren çalışmalar bulunmaktadır (Li ve diğ., 2003; Tseng ve diğ., 2006). Yapı tahliyelerinde çoğunlukla insan davranışları modellenerek kişiye özgü rotalar oluşturulmasını sağlayan etmen tabanlı sistemler kullanılmaktadır. Çağdaş ve Sağlamer'in 1995 yılında gerçekleştirdiği çalışmaya benzer şekilde Liu, Jiang ve Shi (2016) çalışmasında, okullarda öğrencilerin acil durumlarda sınıflardan tahliyesi ile ilgili etmen-tabanlı simülasyon kullanarak alternatif sınıf tahliye senaryoları geliştirmiş ve bu olası senaryoları karşılaştırmıştır.

Büyük ölçekli tahliye araştırmaları ise kentin bir bölümünün veya kentin tahliyesini konu almaktadır. Nükleer felaketler, su baskınları, kasırgalar, volkanik patlamalar veya tsunami gibi birçok afet ile ilgi tahliye planları bulunmaktadır. Nükleer felaketlerle ilgili çalışmalarda, özellikle Çernobil ve Three Mile Island felaketlerinde yaşananlar, senaryoların oluşturulmasında göz önünde bulundurulmuştur (Johnson, 1985; Hobeika ve diğ., 1994). Bu felaketlerde, insanların felaketlerle başa çıkma hareketleri araştırılarak çalışmalar geliştirilmektedir. Johnson (1985), nükleer felaketler esnasında insan davranışlarının modelini geliştirmeye çalışmıştır. Karar vermeye etki eden süreçleri inceleyerek bir tahliye rotası oluşturmuştur. Hobeika ve diğerleri (1994), Virginia'daki nükleer santrallerle ilgili çalışmalarında riskli bölgeler ve sığınaklar belirleyerek, yol haritaları ve trafik analizlerini dikkate alınarak rota önerisinde bulunan bir KDS oluşturmuşlardır. Ghorbanzadeh ve diğ. (2021), Irma kasırgası tahliyesi sırasında otoyollardaki trafik örüntülerini inceleyip tahliye rotalarındaki trafik sıkışıklığı ve gecikme problemlerine ait nedenleri ortaya çıkartmışlardır. Kocatepe ve diğ. (2018) Güney Florida'da özel ihtiyaçlara veya evcil hayvanlara sahip bireylerin tahliyesinin planlanması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ying, Xin-Gang, Bin ve Rui (2019) ise yeraltı metro istasyonlarında yayalar için taşkın kaynaklı tahliye stratejileri geliştirmek üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Uno ve Kashiyama'nın (2008) çalışması taşkın durumlarında bireylerin tahliyesinde coğrafi bilgi sistemi kullanan çok etmenli modele dayalı bir simülasyon sistemi sunmaktadır. Benzer bir şekilde, volkanik patlamalar esnasında (Margulis ve diğ., 2006) ve tsunami esnasında (Hou ve diğ., 2017) tehlikeli bölgelerden sığınaklara rota oluşturan, KDS çalışmaları da bulunmaktadır. Afet durumlarında oluşturulan çalışmalar çoğunlukla benzer stratejiler üzerinden ilerlemektedir. Öncelikli olarak alan analiz edilmekte ve yaşanacak felaket durumunda riskli bölgeler tahmin edilmektedir. Alanın demografik, coğrafik, işlevsel ve turistik özellikleri gibi alana özgü analizler yapılmaktadır. Sonrasında tahliye edilecek güvenli bölgeler belirlenmekte ve bu bölgelere ulaşımı sağlayacak tahliye rotaları belirlenmektedir. Ulaşım rotaları oluşturulurken, trafik durum analizleri yapılmakta, yol durumları, kapasiteleri analiz edilmekte ve gerekli durumlarda simülasyonlar geliştirilmektedir. Çalışmalarda ağırlıklı olarak Coğrafi Bilgi Sistem programları kullanılmakta sonrasında Karar Destek Sistem modelleri her proje özelinde farklılaşmaktadır.

Literatür araştırmaları İstanbul özelinde incelendiğinde, İstanbul için düzenlenen deprem çalıştayları, tsunami raporları ve risk analizlerine dair çalışmalar bulunmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından Japonya'dan Oyo Int. Co. şirketine yaptırılan çalışmada 49 farklı tsunami senaryosu oluşturulmuştur (İBB, 2020). Bu senaryolar fay hattındaki hareketlilik sonucunda hem deprem kaynaklı oluşabilecek tsunamileri hem de denizaltı heyelanı kaynaklı tsunamileri içermektedir. Oluşturulan senaryolar sonucunda sismik kaynaklı tsunamilerin en fazla 4.71 metrelik dalga boyuna ulaşabileceği, İstanbul kıyı bandında 10 km'lik alanda etkili olabileceği, tsunaminin kıyıya erişme süresinin 8 dakika olabileceği ve kıyı içinde ilerleme mesafesinin 150 metreye ulaşabileceği belirtilmektedir. Dolayısıyla İstanbul'da yaşanacak olası bir deprem durumunda 8 dakikalık süre içerisinde tahliyenin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

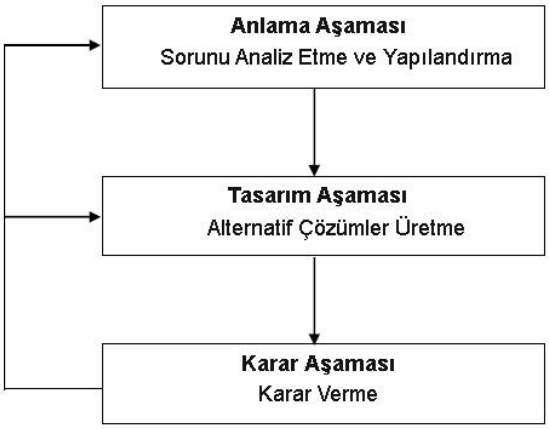
## 3. Metodoloji

Tsunami riski altındaki bölgelerin uyarılarak, bu alanlardaki bireylerin tahliyesini sağlayacak Karar Destek Sistemi için öncelikli olarak karar verme süreci tanımlanmıştır. Simon (1955), karar verme sürecini anlama, tasarım ve karar aşamaları olmak üzere üç aşamada incelemiştir (**Şekil 2**). Anlama aşaması, sorunun analiz edilmesi ve yapılandırılmasını; tasarım aşaması, alternatif çözümler üretilmesini ve son olarak karar aşaması, karar verme durumunu içermektedir. Bu çalışmada Simon'ın karar verme modeli kullanılarak çalışma üç aşamada ele alınmıştır.

Anlama aşamasında, sorunu analiz edebilmek ve yapılandırabilmek için öncelikli olarak tahliye edilecek bölgenin sınırlandırılarak bölgenin tanımlandırılması gerekmektedir. Bu bağlamda bölgenin coğrafi özellikleri araştırılmalı, eğim haritası oluşturulmalı ve tsunami açısından riskli bölgeler belirlenmelidir. Tahliye edilecek bireylerin sayısının

belirlenmesi için bölgede demografik bir çalışmanın oluşturulması da önem taşımaktadır. Özellikle Kadıköy gibi turizm ve ticaretin yoğun olduğu bölgelerde gece ve gündüz nüfusları arasında büyük farklılıklar gözlemlenebilmektedir. İkamet adresi odaklı nüfus çalışmaları o bölgede yaşayan insan sayısını gösterdiği için gece nüfusu olarak kabul edilmektedir. Fakat gündüz saatlerinde gerçekleşecek bir tsunami olasılığına karşı gündüz nüfusunun da belirlenmesi ve bölgedeki bireylerin güvenli bir şekilde bölgeden tahliye edilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Anlama aşamasında değerlendirilmesi gereken bir diğer konu ise bölgedeki yapıların işlevlerinin analiz edilmesidir. Böylece risk altındaki yapıların, hangi işlevlere ait olduğu belirlenmekte ve nüfuslarına ilişkin daha isabetli tahminler yapılabilmektedir. Ayrıca işlev analizi ile tsunami durumunda kullanılabilecek hastanelerin ve toplanma alanı olarak kullanılabilecek alanların konumlarının belirlenmesi de yapılabilmektedir. Acil durumlarda dini tesisler, alışveriş merkezleri ve spor alanları gibi büyük alanlar toplanma alanı gibi kullanılmaya elverişlidir. İşlev analizleri ile bu alanların saptanması ve olası bir acil durumda, alandaki bireylerin toplanma alanlarına yönlendirilmesi hedeflenmiştir.




**Şekil 2:** Simon'ın Karar Verme Modeli (Simon, 1955'ten uyarlanmıştır).

İkinci aşama olan tasarım aşamasında, alternatif çözümler üretebilmek için tahliye rotalarının belirlenmesi gerekmektedir. Farklı tahliye rotalarının oluşturulması için anlık trafik durumları, ulaşım yöntemleri ve rotaların risk ağırlıkları önem taşımaktadır. Trafik durumlarının belirlenmesi, trafik sıkışıklıkları veya kaza gibi durumlarda alternatif rotaların oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca ulaşım yöntemlerinin belirlenmesi, hızlı tahliye sürecinde bireylerin erişebilecekleri ulaşım araçlarının tespit edilmesi açısından önemlidir. Bireylerin araç ulaşımı olmayan durumlarda ise yürümek veya koşmak bir alternatif olarak değerlendirilmelidir. Tasarım aşamasında oluşturulacak tahliye rotalarının oluşturulmasında sürece dâhil edilmesi gereken konulardan bir diğeri de rotanın güvenliğidir. Tahliye rotalarının güvenilir olması bireylerin ulaşım esnasında da sağlığını koruması açısından önemlidir. Bu nedenle trafo ve elektrik direği gibi risk oluşturan bölgelerin belirlenmesi ve bu alanların yakınından geçmeyen güvenilir alternatif rotaların oluşturulması sağlanmalıdır.

Karar verme modelinin son aşaması olan karar aşamasında ise tsunami riski değerlendirilmektedir. Bu bağlamda anlık sismik ölçümler sisteme dâhil edilmelidir. Veriler değerlendirilirken, kıyı şeridine yakınlık ve yükseklik gibi risk değerlendirmeleri yapılmalıdır. Risk olması durumunda, anlama ve tasarım aşamasında yapılan tüm işlemler göz önünde bulundurularak rotalar belirlenmekte, belirlenen rotalardan güvenilirlik ve hızlılık değerlerine veren ağırlıklara göre seçim yapılmaktadır. Ayrıca karar verme işlemi, kişinin hangi ulaşım türünü tercih ettiğini veya etmesi gerektiğini de göz önünde bulundurmaktadır.

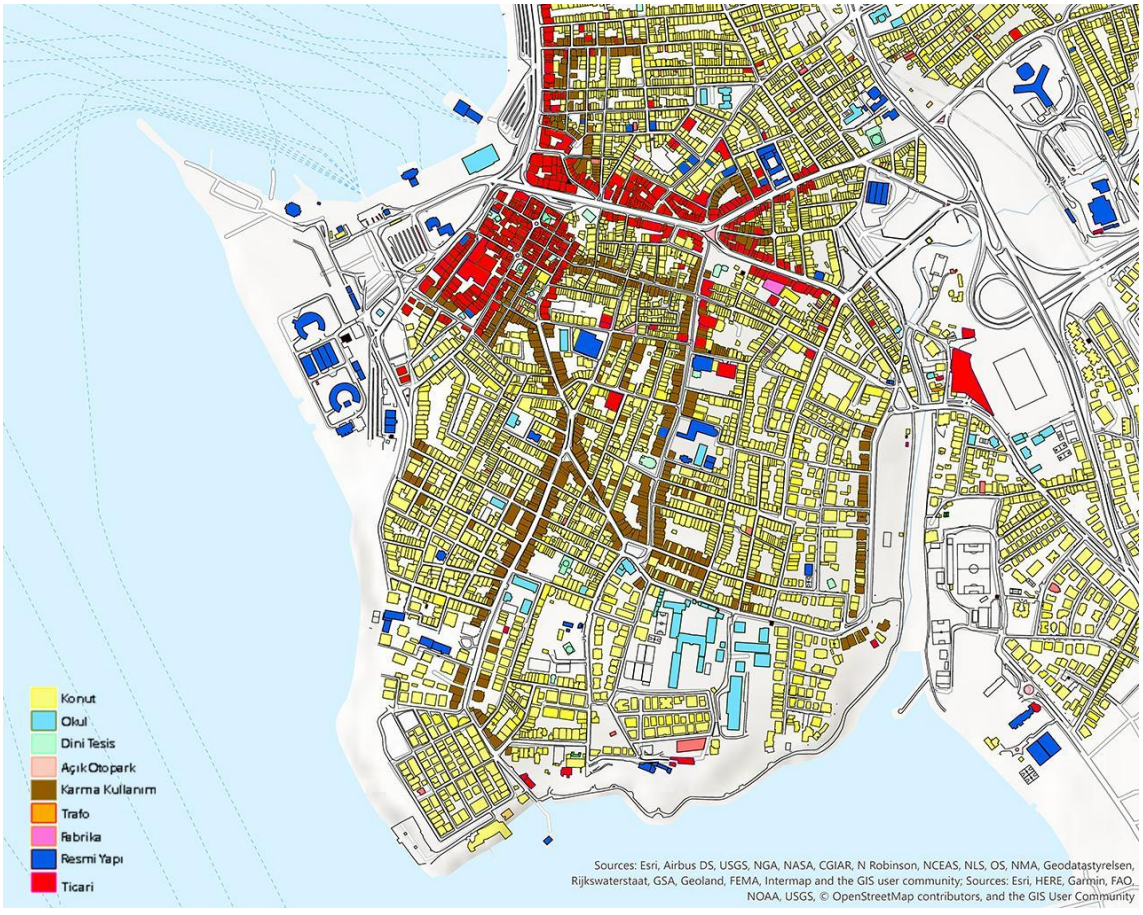
# 4. Model

## 4.1. Anlama Aşaması

Tahliye senaryoları oluşturulurken demografik verilerin belirlenmesi, tahliye işlemleri sırasında kaç kişilik nüfusun bölgeden uzaklaştırılacağının bilinmesi hususunda önemlidir. Bu verilerin çeşitli koşullar altında değişebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bölgelerin gündüz ve gece nüfusları birbirinden farklı olmaktadır. Bunun dışında turistik bölgeler, hava koşulları, ticaret gibi birçok unsur gündelik nüfus verilerini etkilemektedir. Bu nedenle alana dair kesin

bir nüfus verisi elde edilemese dahi, bölgenin sahip olduğu koşulların tanınması demografik verilerin analiz edilmesinde faydalıdır. Örneğin ticari unsurların geliştiği bir bölgede gündüz nüfusunun gece nüfusundan fazla olacağı kolayca tahmin edilebilir. Benzer bir şekilde yaz turizmine uygun bölgelerin nüfus farklılıklarının gece-gündüz farklılıklarından ziyade mevsimsel farklılıklar yaratacağı düşünülebilir. Bu nedenle bölgenin çeşitli koşullar üzerinden incelenmesi demografik veriler açısından önemlidir.

Kadıköy'ün kıyı şeridinde yer alan mahallelerinden Caferağa ve Osmanağa'nın 2019 yılı verilerine göre toplam nüfusu 33.145'tir (Kadıköy Belediyesi, 2019). Caferağa'da kayıtlı gözüken 23.383 kişilik nüfusun %56'lık büyük bir kısmını orta yaşlı bireyler oluşmaktadır. Benzer bir şekilde Osmanağa'da bulunan 9.762 kişilik nüfusun da %57'lik kısmını orta yaşlı bireyler oluşturmaktadır. Nüfus sayımları ikametgâh verileri üzerinden sağlandığı için, bu veriler, sadece o bölgede yaşayan insanları içermektedir. Fakat Kadıköy hem ticari hem de turistik açıdan gelişmiş bir bölgedir. Aynı zamanda ulaşım için de Kadıköy sahil şeridi uygun bir aktarma noktasıdır. Bu nedenle nüfus sürekli değişim halindedir. 2017 yılında yapılan bir araştırmaya göre Kadıköy ilçesinde sigortalı çalışan 266.340 kişi bulunmaktadır (Kadıköy Belediyesi, 2019). Bu veriye alışveriş, turizm, ulaşım ve eğitim gibi etmenler dâhil edildiğinde bölgenin gündüz nüfusunun oldukça yoğun olduğu söylenebilmektedir. Caferağa ve Osmanağa'nın yerleşim planı incelendiğinde tsunami riski altındaki sahil kesiminde yerleşimin az olduğu görülmekte ve nüfusun genellikle iç kısımlarda eğimin yüksek olduğu alanlarda bulunduğu bilinmektedir. Fakat yine de ulaşım ve turistik amaçlarla Kadıköy sahilinde yoğun bir nüfusun olduğunu da söylemek mümkündür.

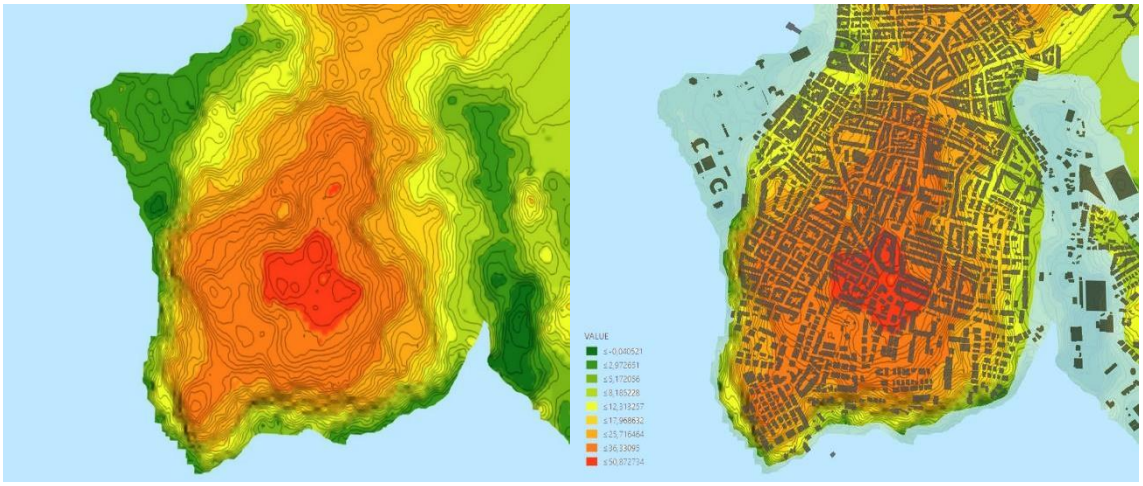



**Şekil 3:** Bölgedeki yapıların işlev analizi.

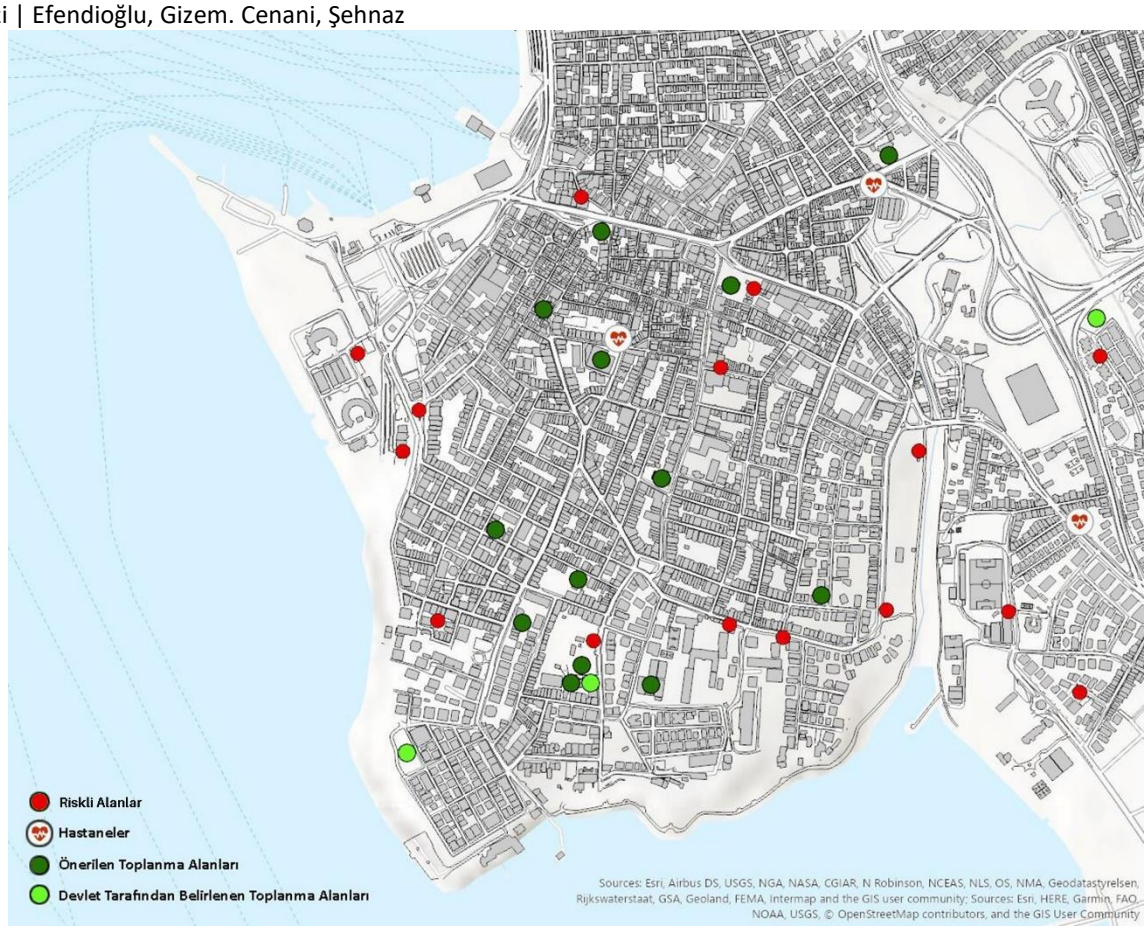
Bölgede bulunan yapıların işlevi incelendiğinde sahilde ulaşımın yoğun olduğu alanların etrafında ticari yapıların yoğunlaştığı görülmektedir (**Şekil 3**). Sahil şeridinin yapı bakımından az olduğu, kuzeybatısının ulaşım için kullanıldığı, diğer kısımlarının ise park, yürüyüş alanları ile çevrildiği bilinmektedir. Moda ve Bahariye Caddelerinde karma yapıların yoğunlukla bulunduğu, tüm bölgede ise ağırlıklı olarak konutların yer aldığı görülmektedir. Karma yapılar, genellikle alt

katların ticaret, üst katların ise konut olduğu yapıları temsil etmektedir. Gündüz nüfusunun yoğunluklu olarak çekim noktası olarak kabul edilebilecek ticari ve karma yapıların bulunduğu alanlarda yoğunlaştığını söylemek mümkündür.

Olası tsunami durumunda riskli alanları belirleyebilmek için DEM (Digital Elevation Model) oluşturulmuştur (**Şekil 4**). DEM haritası Google Earth üzerinden GPS (Global Positioning System) verilerini ArcGIS programına aktarılarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, sahil şeridinden eğimin en yüksek olduğu noktaya kadar yaklaşık olarak 50 metrelik bir fark bulunduğu görülmektedir. Eğim haritasında riskli bölgelerin belirlenebilmesi için su baskın haritası oluşturulmuştur. Su baskın haritası verileri, İBB'nin paylaştığı tsunami senaryoları doğrultusunda geliştirilmiştir. Bu senaryolara göre deprem kaynaklı tsunamilerde en yüksek dalga boyunun 4.71 metreye ulaşabileceği belirtilmiştir. (İBB, 2020). Bu veri ile düzenlenen su baskın haritasına göre, kuzeybatı sahil şeridinin ve bölgenin doğusunda yer alan Kurbağalıdere etrafındaki bölgenin yoğun olarak baskın altında kaldığı görülmektedir. Kurbağalıderenin batısındaki Yoğurtçu Parkının ve doğusunda yer alan spor tesislerinin ve birkaç konut yapısının riskli bölgede yer aldığı, bölgenin batısında ise su arıtma tesislerinin ve Kuzeybatısında ise ticari yapıların bir kısmının risk altında olduğu görülebilmektedir. Baskın riski altında olduğu belirlenen alanlar, bir sonraki aşamada tahliye rotalarının başlangıç noktası olarak belirlenmiştir.




**Şekil 4:** DEM ve tsunami baskın haritası.




**Şekil 5:** Belirlenen afet sonrası toplanma alanları ve riskli alan haritası.

Tahliye rotalarının varış noktalarını belirleyebilmek için bölgedeki toplanma alanları ve hastaneler tespit edilmiştir (**Şekil 5**). Afet durumunda erişim için küçük polikliniklerden ziyade hastanelere öncelik tanınmıştır. Toplanma alanları için ise öncelikli olarak devletin deprem sonrası belirlediği toplanma alanları incelenmiştir. AFAD (2020)'dan elde edilen veriler doğrultusunda bölgede 3 toplanma alanı olduğu belirlenmiştir. Bu alanların, yüksek yoğunluğa sahip bölge nüfusunu barındırması olanaksızdır. Bu nedenle bu alanların yanı sıra kullanılabilecek, başka toplanma alanları da sisteme dâhil edilmiştir. Alternatif toplanma alanları olarak büyük mekânlara sahip oldukları için nüfusun toplanması için elverişli olan alışveriş merkezleri, spor tesisleri ve ibadet yerleri tespit edilmiştir. Bölgede özellikle dini tesislerin fazla olması, afet sonrası kullanım için avantaj sağlamaktadır. Büyük bir alanda, yoğun bir nüfusun eşit bir şekilde dağılmasını sağlayabilmekte ve nüfusun ulaşımını hızlıca gerçekleştirmesine olanak vermektedir.

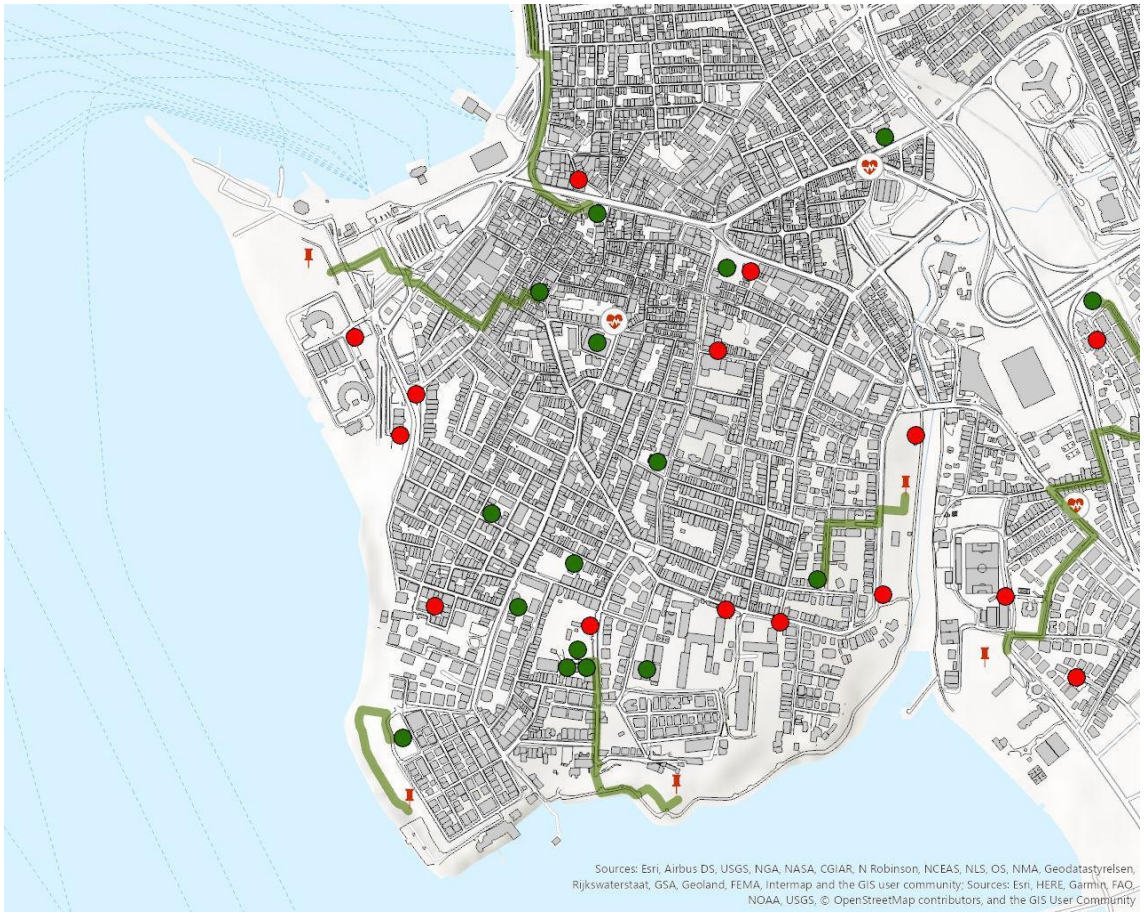
Anlama aşamasının son analizinde, riskli alan belirlemesi yapılmıştır. Tahliye esnasında bireylerin bir noktadan diğer noktaya güvenli ulaşımı için tehlikeli olabilecek bölgeler belirlenmiştir (**Şekil 5**). Elektrik direkleri devrilme, akaryakıt istasyonları ve trafolar ise yangın tehlikesi taşımaktadır. Bu nedenle risk haritasında bu bölgeler belirlenerek, sonraki aşamada modelin riskli bölgelerin olmadığı rotaları tercih etmesi sağlanmıştır.

### 4.2. Tasarım Aşaması

Anlama aşamasında geliştirilen analizler doğrultusunda, bir sonraki aşama olan tasarım aşamasında tahliye rotaları belirlenmiştir. Tsunami baskın haritasına göre bölgedeki riskli alanlar belirlenmiş ve bu alanlar tahliye rotalarının çıkış noktaları olarak işaretlenmiştir. Rotaların varış noktaları ise bölgedeki hastane ve toplanma alanları olarak işaretlenmiştir. Ayrıca tahliye rotalarında riskli alanlar da belirlenerek, rotaların bu alanların yakınlarından geçmeyeceği düzenlemeler yapılmıştır. Riskli bölgelerin yakınında yer alan ve tehlike altında bulunan yollar işaretlenerek, tahliye rotalarının bu alanlar dışında farklı bir yola öncelik tanıması sağlanmıştır.

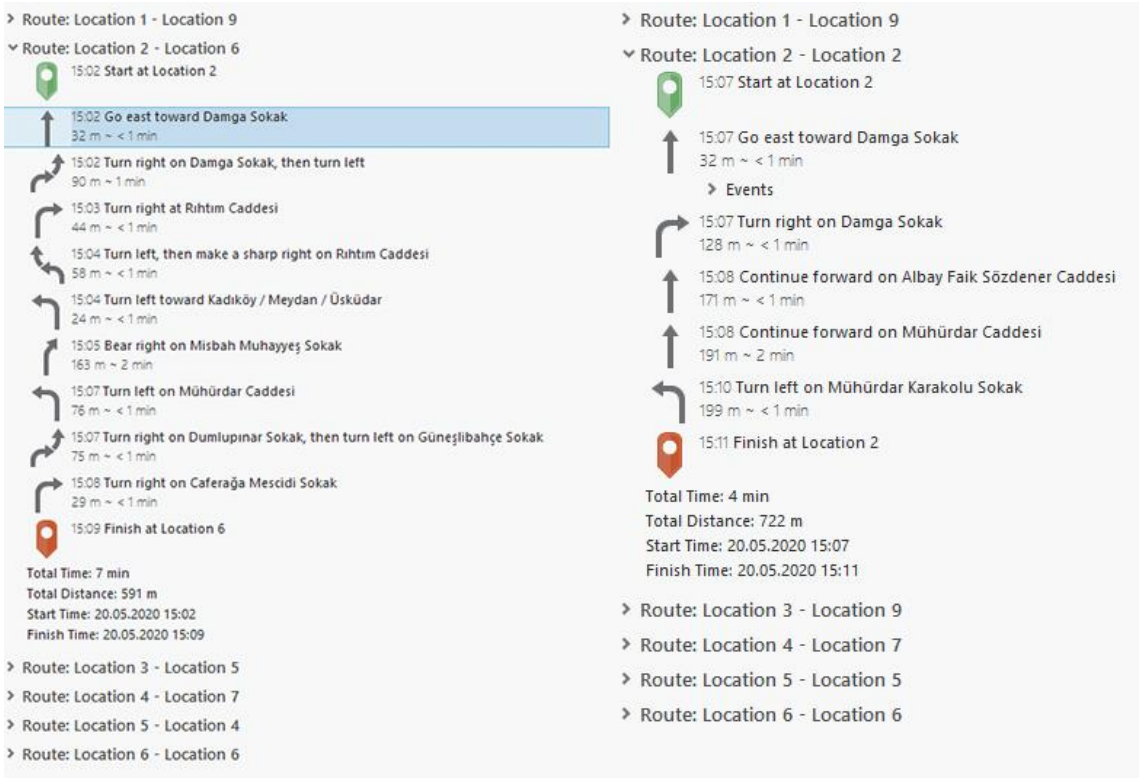
Tahliye rotalarının hesaplanmasında anlık trafik verilerinin sisteme dâhil edilmesi, rota hesaplamaları için önemlidir. Trafik durumları mevsimsel durumlara, iş saatlerine veya gündelik olaylara göre değişebilmektedir. Bu nedenle uzun dönemlik trafik verileri elde edilerek, anlık trafik durumlarına dair tahminler yapılabilir. Trafik tahminleri çoğunlukla

isabetli veriler ortaya koysa da anlık değişimler veya o güne özgü durumlar trafikte farklı yoğunluklar oluşturabilir. Bu nedenle anlık verilerin alınması afet durumlarında doğru rotanın hesaplanması için çok önemlidir. Bu nedenle modele, gerçek zamanlı trafik yoğunluk haritası aktarılarak, o ana ve duruma uygun rotaların oluşturulması sağlanmıştır. Anlık trafik verileri ArcGIS'den elde edilmiştir (ArcGIS, 2020).




**Şekil 6:** Toplanma alanına giden tahliye rotası denemeleri.

Tahliye rotaları, belirlenen çıkış ve varış noktaları arasında Network Analysis ile oluşturulmuştur. Network Analysis ile riskli bölgede tanımlanan 6 noktanın en yakınlarında yer alan toplanma alanına ulaşım rotaları oluşturulmuştur (**Şekil 6**). Sistemin oluşturduğu rotaların süre ve uzaklık bilgisine de ulaşmak mümkündür. Aynı rota hem yürüme hem de araç ile olacak şekilde iki farklı senaryo ile oluşturulmuştur. Her iki senaryoda da rota mesafeleri ve süreleri hesaplanmıştır (**Şekil 7**). Kişinin araç ulaşımı olmadığı durumlarda yürüyüş rotası seçilmekte, diğer durumlarda ise iki rotanın süreleri karşılaştırılmaktadır. Bazı durumlarda yolların darlığı, eğim, tıkanıklık gibi etmenler yürüyüş ile ulaşımın daha kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle hızlı tahliye için süreler karşılaştırılmaktadır. Tahliye rotalarında toplanma alanları dışında tanımlanan bir diğer nokta ise hastanelerdir. Yaralıların hastanelere kısa sürede ulaşım sağlamaları için, yaralı oldukları da göz önünde bulundurularak, hastane rotaları sadece araç ile ulaşıma göre hesaplanmıştır. Bu sisteme yürüme senaryosu dâhil edilmemiştir.

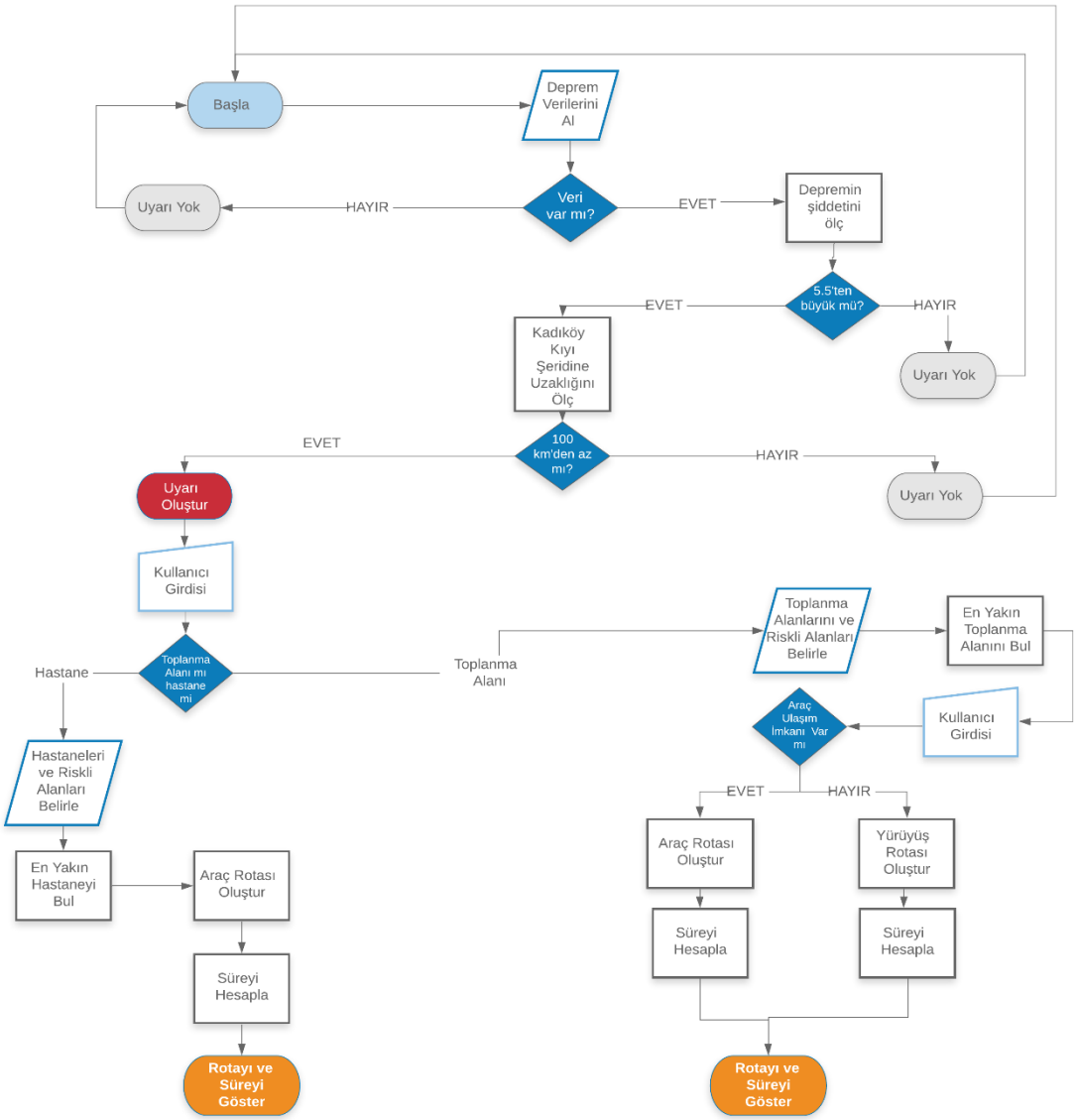



**Şekil 7:** Rotalara dair farklı senaryolar; solda yürüyerek, sağda araç ile ulaşım rotası.

### 4.3. Karar Aşaması

Karar aşamasında, anlama ve tasarım aşamalarında geliştirilenler doğrultusunda bir karar verme sistemi önerilmiştir **(Şekil 8**). Bu sebeple hızlı karar verme işlemini sağlayabilmek için, öncelikli olarak tsunamiye neden olabilecek bir depremin var olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu veri ArcGIS'in sunduğu anlık deprem haritası ile sağlanabilmektedir (Meriam, 2019). Anlık deprem haritası 4 ve üzeri şiddetteki deprem verilerini ayıklayarak kullanıcıya iletmektedir. Bu haritanın ArcGIS programına aktarımı mümkündür. Önerilen KDS'de bir tsunami riskinin olup olmadığının saptanabilmesi için 5.5 ve üzeri şiddetli depremler sisteme dâhil edilmelidir. Fakat 5.5 şiddetindeki depremin Kadıköy sahilinde bir tsunamiye neden olabilmesi için, depremin merkez noktasının kıyı şeridine uzaklığı 100 km'den az olmalıdır. Deprem şiddeti ve merkez mesafesi sınırları Kandilli Rasathanesinin kullandığı tsunami uyarı KDS'si örnek alınarak belirlenmiştir (KRDAE, 2019).

Önerilen KDS'de, 5.5 ve üzerinde bir şiddette ve 100 km'lik bir mesafe içinde bulunan bir deprem algılandığında bu deprem ile ilgili bir uyarı oluşturulması ve sisteme bir uyarı iletilmesi hedeflenmektedir. Uyarı iletildikten sonra rota hesaplamalarının yapılabilmesi için kullanıcı girdisi gerekmektedir. Kullanıcıdan alınan bilgiler doğrultusunda hastane veya toplanma alanı tercihi gerçekleştirilmektedir. Seçim yapıldıktan sonra en yakın hastane/toplanma alanı ve yakın bölgedeki riskli alanlar belirlenir ve bu doğrultuda güvenli ve hızlı rota belirlenir. Araç erişimi olmayan durumlarda yürüyüş seçeneği de işaretlenebilmektedir. Rotalar arasından süreye göre veya kullanıcı tercihine bağlı kalacak şekilde en uygun rota belirlenecektir. Oluşturulan rota ve hesaplanan süreler kullanıcıya iletilir. Bu sistemin belediye tarafından yönetilmesi durumunda, belediye bireylerin tahliyesi için çıkış noktaları belirleyebilir ve insanları bu bölgeden toplayarak araçlarla güvenli bölgelere ulaşımını sağlayabilir.




**Şekil 8:** Karar Destek Sistemi akış şeması.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Karar Destek Sistemleri, acil durumlarda hızlı ve doğru kararlar alınmasını sağlayan bilgisayar destekli sistemlerdir. Bu sistemler dünyanın çeşitli bölgelerinde afet önlemlerine karşı geliştirilmektedir. İstanbul'un yakın gelecekte büyük bir deprem riski altında olduğu öngörülmektedir. Ayrıca büyük bir depremin tsunami oluşturabileceği ve tsunami dalgalarına karşı önlemlerin 3 dakika içerisinde alınması gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle tsunami önlemleri için hızlı karar alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma İstanbul'da gerçekleşebilecek deprem kaynaklı tsunami durumlarında uygulanabilecek bir KDS önerisi sunmaktadır. Çalışmada pilot bölge olarak Kadıköy'deki Caferağa ve Osmanağa mahalleleri incelenmiştir.

Önerilen sistemde kullanıcılara deprem kaynaklı olası tsunami hakkında uyarı iletilmesi ve kullanıcılardan alınan konum, araca erişim, yaralı durumu gibi bilgiler doğrultusunda kişiye özel rota oluşturulmaktadır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanıcı konum servisleri ve etkileşim için kullanıcı arayüzü sağlayacak bir telefon uygulaması geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca telefon uygulaması kullanıcılardan gelen verilerin işlenmesi amacıyla da kullanılabilir. Depremde hasar alan bölgelerin bildirilmesi, kapanan veya sıkışan yolların anlık olarak işlenmesi için bu veriler sisteme dâhil edilebilir. Bölgedeki kullanıcılar geri bildirimde bulunabilir.

Çalışma sadece deprem kaynaklı tsunami durumlarında uygulanabilecek Kadıköy Caferağa ve Osmanağa bölgelerine özgü bir tahliye çalışmasını içermektedir. Tsunami sadece deprem kaynaklı olmayabilir, deniz altında oluşan heyelanlar da tsunami riski doğurmaktadır. Çalışmanın kapsamı genişletilerek, tüm tsunami tiplerine uygulanabilir. Ayrıca bu çalışma, bölgede deprem kaynaklı bir hasar olmadığı varsayımı ile oluşturulmuştur. Binaların zarar görmesi durumunda, deprem bölgesinden uzaklaşmak isteyen kişilerin toplanma alanlarına ulaşımı da sisteme dâhil edilebilir. Kullanıcıların hasarlı bölgeleri üzerinde işaretlemesi veya riskli binaların analiz aşamasına dâhil edilmesi ile önerilen sistemin geliştirmesi mümkündür.

**Teşekkür**
Bu çalışma 2019-2020 eğitim yılı bahar döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı'nda "Mimari Tasarımda Karar Destek Sistemleri" doktora dersi kapsamında geliştirilmiştir. Dersin yürütücüsü Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a katkıları ve destekleri için teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

AFAD (2020, June 5). *Toplanma Alanlarına Erişim – Accessing to the meeting area*. Istanbul Governorship Provincial Disaster and Emergency Management Presidency. Retrieved June 5, 2020, from https://istanbul.afad.gov.tr/toplanma-alanina-erisim

ArcGIS (2020, June 7). *World Traffic Service.* ArcGIS Online, Esri. Retrieved June 7, 2020, from https://www.arcgis.com/home/item.html?id=ff11eb5b930b4fabba15c47feb130de4

Coutinho-Rodrigues, J., Sousa, N., & Natividade-Jesus, E. (2016, September*). Design of evacuation plans for densely urbanised city centres.* Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer. (pp. 160-172). Thomas Telford Ltd. https://doi.org/10.1680/jmuen.15.00005

Çağdaş, G., & Sağlamer, G. (1995). A simulation model to predict the emptying times of buildings. *Architectural Science Review*, 38(1), 9-19. https://doi.org/10.1080/00038628.1995.9696771

Fedra, K. and Reitsma, R.F. (1990). *Decision support and Geographical Information Systems.* Geographical information systems for urban and regional planning. Report No. RR-90-009, ACA, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), http://pure.iiasa.ac.at/3369/1/RR-90-09.pdf

Gershon, R. R. M. (2006, June). *The world trade center evacuation study: Lessons for other high rise office buildings*. NFPA World Safety Conference & Exposition.

Ghorbanzadeh, M., Burns, S., Rugminiamma, L. V. N., Ozguven, E. E., & Huang, W. (2021). Spatiotemporal Analysis of Highway Traffic Patterns in Hurricane Irma Evacuation. *Transportation Research Record*, 1-14. https://doi.org/10.1177%2F03611981211001870

Herrnberger, V. (1996, June). Radiological Emergency Management, Paul Scherrer Institut- PSI. Retrieved June 5, 2020, from http://www.psi.ch/~beer/rem_home.html

Hobeika , A. G., Kim, S., & Beckwith, R. E. (1994). A decision support system for developing evacuation plans around nuclear power stations. *Interfaces*, 24(5), 22-35. https://doi.org/10.1287/inte.24.5.22

Hou, J., Yuan, Y., Wang, P., Ren, Z., & Li, X. (2017). Development of a decision support system for tsunami evacuation: application to the Jiyang District of Sanya city in China. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 17(3). 335-343. https://doi.org/10.5194/nhess-17-335-2017

İBB (2019). *İstanbul Deprem Çalıştayı – Istanbul Earthquake Workshop*. İstanbul Planning Agency. Istanbul Metropolitan Municipality. https://depremzemin.ibb.istanbul/calismalarimiz/tamamlanmis-calismalar/istanbul-deprem-calistayi-2019/

İBB (2020, May 20). Tsunami Tehlike Analizi Raporu - Tsunami Hazard Analysis Report. Istanbul Metropolitan Municipality Directorate of Earthquake and Geotechnical Investigation. Retrieved May20, 2020, from https://depremzemin.ibb.istanbul/calismalarimiz/tamamlanmis-calismalar/tsunami-olusmasi-durumunda-olasi-senaryolar/

Johnson Jr, J.H. (1985). A model of evacuation-decision making in a nuclear reactor emergency. *The Geographical Review*, 75, pp. 405-18. https://doi.org/10.2307/214409

Kadıköy Municipality (2019). *Kadıköy Şehir Sağlık Profili –Kadıkoy City Health Profile*. Strategy Development management. https://www.kadikoy.bel.tr/Kurumsal/kadikoy-sehir-profili

Kocatepe, A., Ozguven, E. E., Horner, M., & Ozel, H. (2018). Pet-and special needs-friendly shelter planning in south florida: A spatial capacitated p-median-based approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 1207-1222.

KRDAE (2019). *Tsunami Bilgi Notu – Tsunami Information Report*. Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Instıtute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2//?s=tsunami+bilgi+notu

Li, Q., De Rosa, M., & Rus, D. (2003, September). *Distributed algorithms for guiding navigation across a sensor network*. International conference on mobile computing and networking (pp. 313-325). https://doi.org/10.1145/938985.939017

Liu, R., Jiang, D., & Shi, L. (2016). Agent-based simulation of alternative classroom evacuation scenarios. *Frontiers of Architectural Research*, 5(1), 111-125. https://doi.org/10.1016/j.foar.2015.12.002

Meriam, E. (2019). *Live Earthquake Mapping for Everyone.* ArcGIS Blog- ArcGIS Living Atlas. Retrieved June 7, 2020, from https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/mapping/earthquake-mapping-in-real-time-for-everyone/

Margulis, L., Charosky, P., Fernandez, J., & Centeno, M. A. (2006, June). *Hurricane evacuation decision-support model for bus dispatch*. The Fourth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCET '2006), Breaking Frontiers and Barriers in Engineering: Education, Research, and Practice (pp. 21-23).

Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99-118. https://doi.org/10.2307/1884852

Sprague, R.H. (1989). A Framework for the Development of Decision Support Systems. in: R.H. Sprague and H.J. Watson (Eds.), *Decision Support Systems: Putting Theory Into Practice*, Prentice-Hall, London, 9-35. https://doi.org/10.2307/248957

Tseng, Y. C., Pan, M. S., & Tsai, Y. Y. (2006). Wireless sensor networks for emergency navigation. *Computer*, 39(7), 55-62. https://doi.org/10.1109/mc.2006.248

Uno, K., & Kashiyama, K. (2008). Development of simulation system for the disaster evacuation based on multi-agent model using GIS. *Tsinghua Science and Technology*, 13(S1), 348-353. https://doi.org/10.1016/S1007-0214(08)70173-1

Windhouwer, C. J., Sanders, C. J., & Kluder, G. A. (2005, April). Decision support system emergency planning, creating evacuation strategies in the event of flooding. B. Van de Walle and B. Carlé (Eds.), *The 2nd International ISCRAM Conference*. Royal Flemish Academy of Belgium, Brussels.

Ying, Z., Xin-Gang, J., Bin, J., ve Rui, J. (2019). Simulation of pedestrians' evacuation dynamics with underground flood spreading based on cellular automaton. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 94, 149-161. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.03.001

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Yerel Mars Mimarisi Üzerine

Burcu Kısmet [1]
[1]Beykoz Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
[1]burcukismet@beykoz.edu.tr

## Özet

*Mars'ta yerleşim yeri oluşturma fikri 1969'da Ay'a insanın ilk kez ayak basmasından itibaren uzay çalışmalarında amaçlanan en etkileyici hedeflerden biridir. Bu fikri 21.yüzyılın en heyecan verici mimarlık olayı olarak da nitelendirmek mümkündür. Günümüzde 2030 yılına kadar insanları Mars'a göndermeyi hedefleyen birçok kamu kuruluşu ve özel kuruluş mevcuttur. Mars ile Dünya arasındaki bazı küçük benzerlikleri saymazsak, Mars'ın zorlu çevresel koşulları nedeni ile insanların Mars'ta hayatta kalabilmesi mümkün değildir. Mars'ta mimari tasarımdan söz edildiğinde ise tıpkı diğer Dünya dışı ortamlarda olduğu gibi, çevresel etkenlerin malzeme, geometri ve organizasyon seçimlerinde belirleyici olduğundan bahsedilir. Çevresel etkenleri sınırlayıcı bir öğe olarak görmeyip, yenilikçi ve yaratıcı çözümleri insan odağa alınarak üretmek amaçlanmalıdır. Bu çalışmada amaç çevresel koşulların tasarım ve üretim süreçlerinde belirleyici olduğu yerel Mars mimarisi hakkında genel bir söyleme ulaşmaktadır. Mars mimarisindeki yerel verilerin önemine vurgu yapılırken, yerel mimarideki bilgi birikimlerinden de yararlanılır. Güncel ve güvenilir araştırmalardan ve projelerden elde edilen verilerin değerlendirildiği, genel bir Mars mimarisi ana hatları ile oluşturulmuştur. Tanımlanan Mars mimarisi yerel malzeme kullanımına ve dijital fabrikasyon ile üretilmeye dayanmaktadır. Çalışmanın yöntemi dört adımdan oluşmaktadır. Birinci adım yerel Mars malzemesi seçimi olarak tanımlanmış olup ikinci adım proje alanının seçilmesidir. Proje alanına karar verme süreci üç tane değişkene bağlıdır: topografya, rüzgâr ve tektonik hareketler. Topografya, yerel mimarlığın birikim ve teknikleri ile analiz edilmektedir. Rüzgâr, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonu ile incelenmekte ve tasarım etmeni olarak çalışmaya dahil edilmektedir. Tektonik hareketler, volkanik hareketleri ve depremleri kast etmekte olup, jeoloji çalışmalarından ve taşıyıcı modellemesinden değerlendirilmesi öngörülmektedir. Yöntemdeki üçüncü adım ise tasarım alternatifleri oluşturulmasıdır. Mimari geometri, NURBS modelleme ile daha önceki adımlardaki değişkenlerin dahili ile oluşturulmaktadır. Topoloji optimizasyonu form, taşıyıcı ve malzeme ilişkilerini eniyilemek amacı ile kullanılmaktadır. Dijital fabrikasyon, dördüncü ve son adımdır. Merkeziyetçi olmayan sürü mantıklı robotik sistem üretim yöntemi olarak sunulmaktadır. Bu çalışma yerel mimarlık, hesaplamalı tasarım, malzeme tabanlı tasarım ve dijital fabrikasyonun prensiplerini harmanlayarak Mars mimarisi üzerine bir tasarım ilkesi ortaya koymayı keşfetmektedir. Gelecek çalışmalar için mimari tasarım alternatiflerin oluşturulması ve önerilen metodolojinin uygulanması planlanmaktadır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Mars mimarisi, uzay mimarisi, hesaplamalı tasarım, malzeme tabanlı tasarım, dijital fabrikasyon.*

**APA stilinde kaynak gösterimi:** Kısmet, B. (2021). Yerel Mars mimarisi üzerine. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 281-289). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Towards a Local Martian Architecture

Burcu Kısmet [1]
[1]Beykoz University, Faculty of Engineering and Architecture
[1]burcukismet@beykoz.edu.tr

## Abstract

*Human settlement on Mars is the most significant event in space exploration since the first human set foot on the Moon in 1969. Moreover, in the 21st century, the most thrilling incident in architecture can be considered as design on Mars. Numerous public and private associations are motivated to send human beings to the planet Mars by 2030. Despite Mars' few similarities to the Earth, human survivability is known to be impossible due to harsh environmental conditions of Mars. In Mars, just like other extra-terrestrial environments, environmental drivers lead the material, geometrical and organizational choices for architectural design and thus architecture should be evolved from a human-centred design approach in which these environmental drivers should be considered possibilities for innovation and creativity, rather than limitations. This study aims to propose a general discourse on local Martian architecture in which design and construction processes are driven by environmental conditions. While pointing out the importance of local data in Martian architecture, accumulation of knowledge from vernacular architecture is consulted. On the basis of knowledge from current researches and projects, a basis guideline for designing Martian architecture -on which main construction elements are in-situ Martian materials and construction techniques are based on digital fabrication- is created. The methodology of the study is divided into four steps. First step is defined as the selection of in-situ Martian material, that is followed by second step, determination of site for construction. Three main parameters about decision making for site are decided as: topography, wind and tectonic movements. Topography is surveyed through the knowledge from vernacular architecture; wind is considered as the design parameter through Computational Fluid Dynamics simulation; tectonic movements that refer volcanoes and marsquakes are proposed to be examined by geology studies and structural simulation. Third step is the generation of design options. Architectural geometry is developed by NURBS Modelling with the consideration of parameters from previous steps. Topology optimization is suggested to be done in order to verify form, structure and material relations. Digital fabrication is the fourth and the last step. Decentralized swarm multi robotic systems is presented as a fabrication method. The study explores a method to turn the findings into a design guideline with regards to principles of vernacular architecture, computational design, material-based design and digital fabrication. For future studies, generation of architectural design options are planned to prepare.*

***Keywords:*** *Martian architecture, space architecture, computational design, material-based design, digital fabrication.*

**Citation in APA style***:* Kısmet, B. (2021). Towards a local Martian architecture. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 281-289). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Introduction

Throughout history, space exploration is an intriguing incident for human beings. Nowadays thanks to recent technological developments, it is possible to plan human settlement on Mars. Design on Mars can be considered as the most thrilling incident in architecture for the 21st century. Numerous public and private associations are motivated to send human beings to the planet Mars by 2030 (Daines, 2017). There are private investments such as MarsOne, SpaceX, Blue Origin, Mars Direct that are on the 'road to space' aiming at human colonization of space. Besides these private associations and international public associations, NASA is the pioneer institution in the establishment of Mars habitats. NASA Centennial Challenges have been engaging the public in the process of advanced technology development since 2005 to trigger creative solutions from architects, engineers and scientists, and the 3D-Printed Habitat Challenge was one of these competitions to build a 3D-Printed habitat for deep space exploration, specifically for the Mars. The multi-phase challenge was designed to advance the construction technology needed to create sustainable shelters for four astronauts to live on Mars for a year. The competition started in 2015 and was completed in 2019, at the end ten finalists are selected (Harbaugh, 2018). In addition, within the scope of this competition usage of in-situ material is required. In-Situ Resource Utilization (ISRU) is defined as the practice of collection, processing, storing and use of materials found or manufactured on Mars, that replace materials that would otherwise be brought from Earth (Sacksteder, 2007). As clearly readable in **Table 1**, ten finalists are analysed according to their in-situ building construction materials (Duarte et al., 2021; Irawan et al., 2019; Mohon, 2021; Troemner and Cusatis, 2019; Yashar et al., 2019). In addition to these materials, Yazıcı (2018) is studied an in-situ Martian building material that is called T-brick based on titanium dioxide.

**Table 1:** Building materials information of ten finalists from NASA 3D Habitat Challenge.

| Project Name | In-Situ Material | Project Name | In-Situ Material |
|---|---|---|---|
| AI Space Factory | Basalt Reinforced Polymer | **Mars Incubator** | Regolith + Polyethylene + Basalt Fiber |
| ALPHA Team | Hargraves glass + Basalt + Sulfur | **Northwestern University** | Sulfur based Martian Concrete |
| Colorado School of Mines and ICON | Magnesium oxide based Martian Concrete with Basalt aggregate | **SEArch+ / Apis Cor** | Regolith Concrete + Basalt Fiber + Polyethylene Foam + HDPE |
| Hassell & EOC | Martian Regolith | **Team Zopherus** | Calcium oxide and Ice based Martian Concrete + HDPE |
| Kahn - Yates | Martian Concrete + HDPE | **X-Arc** | Martian Icy Regolith + Polyethylene |

In this study, a design guideline is aimed to be constructed through the accumulations of knowledge from vernacular architecture, computational design, material-based design, and digital fabrication. In order to clarify the aim of the study and the methodology, environmental conditions on Mars are analysed in detail.

### 1.1. Environmental Conditions on Mars

Mars has some significant similarities to the Earth. Mars's day length is just 37 minutes more than Earth day, Mars has seasons and almost the same landmass. Besides these similarities, today Mars is a cold, dry, frozen desert world on which any human being cannot survive where the atmospheric pressure averages 0.6 kPa, over one hundred times less than the pressure at the surface of the Earth (McKay, 2010). Mars has a thin dusty atmosphere which is consists of 95% of carbon dioxide and 0.16% of oxygen (Williams, 2020). Also, there are crucial issues on Martian land related to solar radiation and extremely cold weather conditions: Temperatures range between 20 and –153°C, and dust storms have winds that reach up to 113 km/h (Leach, 2014; Yazıcı, 2018). Average wind speed is between 16 and 32 km/h (Mersmann, 2015). Solar radiation is 110 mSv on Mars, whereas 3 mSv on Earth (Zeitlin et al., 2013). Although its atmospheric and climatic conditions are challenging for human life, Mars is a terrestrial planet whose soil is a fine regolith composed of basalt, silicon dioxide, ferric oxide, titanium dioxide, magnesium, sodium, potassium with a fair amount of, aluminium oxide, calcium oxide, and sulphur oxide that can be generated building construction material as well as plant growth (Bandfield, 2002; Kounaves, 2008; McSween et al., 2009; Wan-Wendner et al., 2016).

The topography of Mars is basically composed of lowlands, highlands volcanic areas and polar areas. The northern part of Mars is mainly lowlands and basins where localized rocky slopes and ice-cored hills are seen. Those areas are mainly composed of ice-rich plates and glaciers; above them, young sand dunes that are the location of titanium dioxide are detected (Head, 2006; Smith et al., 1999; Yazıcı, 2018). Mars is generally composed of silica-based basalts and its reddish colour is from iron dioxide (Rubie et al., 2004). The Tharsis region and most of the mountains are basaltic volcanic areas; composed minerals of silicates ($SiO_2$), komatiite (MgO), olivinite ($Mg_2SiO_4$). These areas are on

high elevations with the dustiest areas on Mars. There are some specific regions with specialized components: Isidis Planitia with magnesium carbonate ($MgCO_3$); Terra Sirenum with chloride-based minerals; Nili Fossae with Martian glass; Acidalia Planitia with iron-magnesium phyllosilicates in mud volcanoes which may host symbiotic microorganisms (Brack & Pillinger, 1998; Bridges et al., 2019; Cannon & Mustard, 2015; Flahaut et al., 2014; Hosein et al., 2014; Kounaves et al. 2014; Madsen et al., 2003; Wang et al., 2006). Terra regions have gullies, steep slopes, craters, pingos.

### 1.2. Relation with Vernacular Architecture

Vernacular architecture is characterized as a functional shelter for human beings to provide for their needs, constructed according to the availability and performance of materials and formed in response to environmental and climatic conditions (Oliver, 2006; Al Sayyad, 2004). Local climate and natural resources are the starting point to generate the architectural design by considering the site's features and local materials that influence local building types and techniques (Oliver, 1997). Commonly, the morphology of terrain defines building characteristics as site information is processed. Also, vernacular architecture means integration into the environment without harming other features in the ecosystem. While defining an architectural concept for Mars, principles of vernacular architecture have to be the main approach because of its special and harsh environmental conditions.

According to the current researches, concrete based in-situ materials will be the main building construction materials on Mars. Additionally, throughout the history, numerous components were used in forming concrete on Earth. Calcium oxide, calcium hydrates, silica sand, volcanic ash and sand, limestone and sulphates are used in different periods and locations (Brueckner & Lambert, 2013 and Gromicko & Shepard, 2015). Furthermore, construction types such as carved out structures, subterranean and semi-subterranean buildings are supportive information for Martian architecture to generate the geometry and organizational relations in harmony with the environment.

### 1.3. Computational Design

Today, computational design is dominating architectural design and fabrication processes. Not only various design options are generated, but also numerous complex geometrical and organizational relations are created by computational design. In addition, the computational design approach has solid relations with performances and optimizations of geometries, materials and processes. This is a crucial point, especially design on Mars. To optimize material and energy, and gain the maximum performance of each component and the whole design, material-based design has to be taken into consideration. According to Oxman (2012), material-based design is defined as a computational informing process that enhances the integration between structure, material, and form within the logic of fabrication technologies and Oxman (2010) is defined new structuralism as the balanced combination of the form—structure and material in digital tectonics. Menges (2016) is told computational material is not passive anymore, but instead should be rethought as an active participant in design. For the fabrication process, digital fabrication is the only solution to enable constructing on Mars, as it is not safe and feasible for humans to build manually on Mars. Furthermore, it is simply too expensive to transport building materials from Earth; for example, it could cost up to $2 million to transport an ordinary brick to the Moon and it will be much more to the Mars (Leach, 2014). In this study, multiple decentralized robotics are suggested for the fabrication processes on Mars.

## 2.Methodology

The study aims to introduce a design guideline for local Martian architecture. The proposed guideline includes applications from vernacular architecture and computational design. The methodology consists of four steps: material selection, site selection, geometry generation and digital fabrication. The general workflow and relations are shown in **Figure 1**.

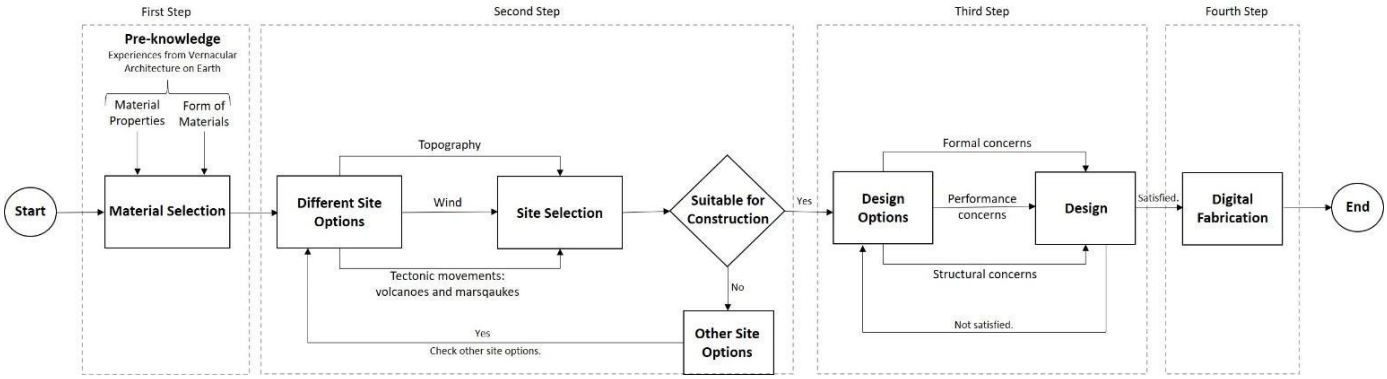



**Figure 1:** Workflow of the proposed design guideline.

## 2.1. Material Selection

Selection of in-situ Martian materials are limited by NASA's 3D Habitat Printed Challenge and titanium dioxide from research of Yazıcı (2018). There are six different materials and four of them are named as Martian concrete: magnesium oxide-based concrete, calcium oxide-based concrete, sulphate-based concrete and ice-based concrete. The other two building materials are titanium dioxide-based bricks and Martian Hargraves glass. These materials have distinguished characteristics in radiation shielding; magnesium oxide-based concrete and ice-based concrete have higher radiation shielding just like titanium dioxide-based bricks (Simonsen & Nealy, 1991; Yazıcı, 2018). All the materials except titanium dioxide-based bricks have high compression strength, in order to have structural safety against tectonic movements basalt fibers are needed against tension. Material selection offers a semi-flexible process for architects; as they can select materials based on their individual decisions and preknowledge. However, it should be remembered that material selection is generating and limiting the next steps and the whole process.

## 2.2. Site Selection

According to NASA, ESA and SpaceX's plans on possible landing sites, **Figure 2** is created and major eight possibilities of site options are shown in the map. In consonance with the material selection as the first step, some possible site options are marked (**Table 2**). Determination of the site is crucial step because all of the materials are not abundant everywhere on Mars, location of each material is analysed (Cannon & Mustard, 2015; Flahaut et al., 2014; Kounaves et al. 2014; Wang et al., 2006). On the other hand, sulphate minerals have been found in abundant quantities on the surface of Mars (Wang, 2018).

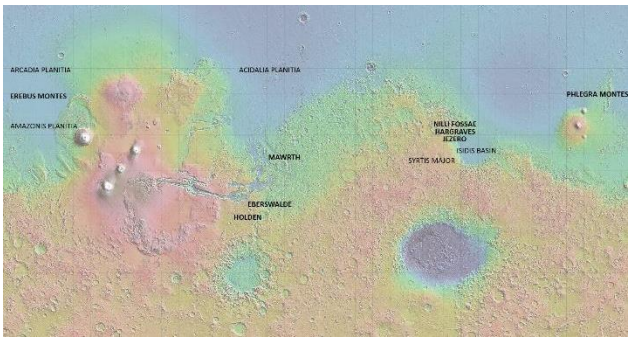



**Table 2:** Availability of in-situ materials in possible landing sites.

| | Magnesium Oxide | Calcium Oxide | Sulphate | Ice | Titanium Dioxide | Hargraves Glass |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nilli Fossae | x | x | x | | | x |
| Hargraves | x | x | x | | | x |
| Jezero | x | x | x | x | | |
| Mawrth | x | | x | | x | |
| Eberswalde | | | x | | x | |
| Holden | | x | x | | x | |
| Erebus | | | x | x | | |
| Phlegra | | x | x | x | | |

**Figure 2:** Possible landing sites on Mars.

Determination of construction area in the landing site is proposed to be evaluated by three main parameters: topography, wind and tectonic movements. Topography is surveyed through the knowledge from vernacular architecture; whether the area is flat or sloped. If there is a slope or some topographical features which will enable to generate carved out structures, this option should be taken into consideration. Starting from ancient times, carved out structures are used for protection. On Mars, carved out structures will help thermal comfort and radiation shielding, geometry will be in harmony with the environment; structural safety will be obtained. If the topography does not have potential for carved out structures or architect's decision is differentiated; solutions for flat topography

should be considered. Solutions for flat topography are divided into three: aboveground, semi-subterranean and subterranean structures (**Figure 3**). According to Zeitlin et al. (2013), radiation shielding increases in the underground. So, if the material characteristics are low level of shielding, subterranean and semi-subterranean structures can be applied. In addition, these types of structures can reduce the wind effects on Mars surface and decrease mechanical stresses.

Wind is considered as the design parameter through Computational Fluid Dynamics simulation with an aim of optimizing the building form in order to reduce the adverse wind (Kim et al., 2011). Application of Computational Fluid Dynamics represents the integration of environmental conditions with fluidity and complexity of geometries.
Tectonic movements that refer volcanoes and marsquakes are proposed to be examined by current studies and structural simulations. Major tectonic movements take place in the Tharsis region. Olympus Mons and other three main volcanoes located in this region. There is no evidence about the eruption frequency of volcanoes. According to Lucien (2019), marsquakes start with high frequency and continues to low frequency. Also, compared to the duration of earthquakes, the marsquakes last longer (Lucien, 2019).

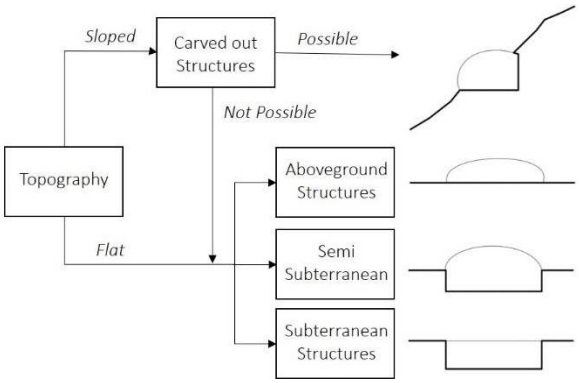



**Figure 3:** Topography and relation of possible structures.

### 2.3. Architectural Geometry Generation

A set of architectural geometries are proposed to be generated through non-uniform rational basis spline (NURBS) modelling as it offers flexibility and precision for geometry. Since sphere is the most optimal geometrical form and all the projects of 3D Habitat Challenge have used spherical forms, input for geometry is limited with these forms (Cui et al., 2019; Sullivan, 2003). On the basis of the studies from Isler (1959) and Ochsendorf & Block (2014), geometries that have high compression strength are created. In addition, material selection from first step and relation with topography from second step are combined together to generate various geometry options. To decide which geometry is the optimal one, finite element method (FEM) -as a topology optimization method- is suggested (**Figure 4**).

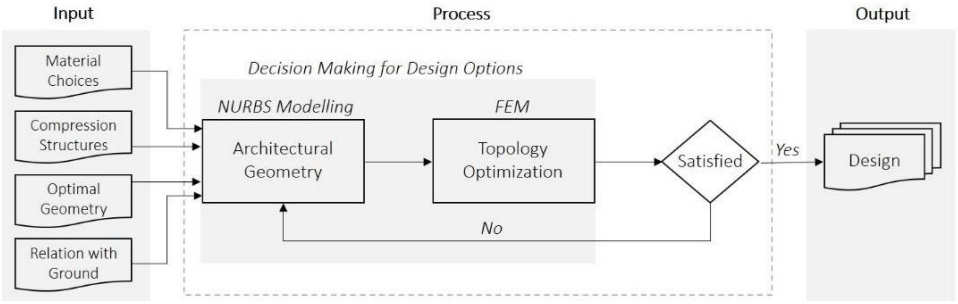



**Figure 4:** Generation of architectural geometry.

### 2.4. Digital Fabrication

Digital fabrication is the only construction technique on Mars because human-based construction methods are not safety, there are so many controversial ethical aspects and highly costly. In-situ materials are used with digital fabrication, 3D printing in detail. 3D printing-based contour crafting to print concrete is developed (Leach, 2014). Although 3D printing of the building material is a crucial step in fabrication processes, there are numerous other steps

in fabrication: scouting of specific location for optimal regolith, excavation, collection, mixture, monitoring the performance and finally printing. Swarm based multi-robotic systems provide collaboration and individual decision

making during the fabrication process. Swarm robotics are numerous individuals in a group that work decentralized and have the same aim. Since the individuals in swarm are in general highly redundant, the swarm can be designed

to survive through many kinds of disturbances; because of redundance, the swarm would have the ability to adapt dynamically to the working environment–another feature required for high reliability (Beni, 2004). In extra-terrestrial environments like Mars, singular robotics will not work efficiently. Moreover, it is highly risky to rely on singular or centralized robotics because the whole plan will collapse in case of failure in landing, unexpected wind or dune storms, destructive marsquakes. Swarm robotics is a decentralised multi-agent system that relies on local sensing and coordination between multiple robots, enabling them to adapt and react to situations they encounter through the whole construction process (Irawan et al.,2019 and Yashar et al., 2019). The functions and order of the digital fabrication process can be listed as understanding and scouting of existing site conditions to compose a map for

optimum quantities of Martian regolith; excavation and collection of the construction in-situ material; monitoring, screening and refinement of raw material into specific aggregate or particle sizes; extrusion of processed raw material unto a set path and self-organisation and coordination with various robots on site (**Figure 5**). The proposed fabrication process can be generated by kilobots (Rubenstein et al.,2012). In addition, swarm fiberbots can be used especially in order to generate basalt fibers (Kayser et al., 2018).

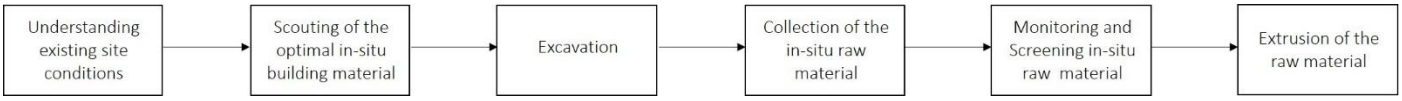



**Figure 5:** Digital fabrication process.

On the basis of the described guideline, an example workflow is prepared (**Figure 6**). As first step, ice-based Martian concrete is selected; automatically three site options has appeared. Jezero Crater is selected and analysed as a flat surface, checked for the wind and tectonic movements. As ice-based materials are better in radiation shielding and topography is flat; aboveground structures are planned to design. A set of aboveground geometry options have created and topology optimization is done with an aim of decision making for the optimal geometry. As fourth and last step, swarm robotics digital fabrication process will start.

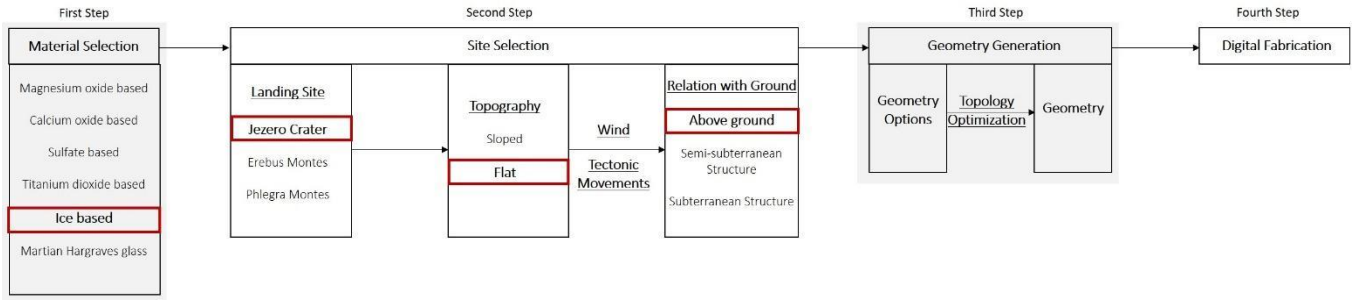



**Figure 6:** Example workflow for ice-based Martian concrete.

## 3. Conclusion

The computational design of the processes of materialisation and form generation enables new modes of architectural speculation and experimentation that will contribute to the area of space architecture, specifically for Martian architecture in this study. In order to design and build on Mars, environmental conditions and local parameters of Mars are analysed and on the basis of these analysis a design guideline is prepared. This design guideline includes knowledge from vernacular architecture and is generated by intersections of computational design, material-based

design and digital fabrication. The methodology includes six types of in-situ materials, these materials can be extended according to future developments in this specific area. Also, possible landing and construction areas can be differentiated by time. For future studies, this methodology can be applied into a design and Computational Fluid Dynamics simulation for wind, generation of geometries and FEM for topology optimization can be done. In addition,

assessment of the mechanical and chemical characteristics of the materials should be done. Furthermore, components of digital fabrication can be studied in detail to show what type of autonomous system is using in which stage of the process. For future studies, generation of design options is aimed.

## KAYNAKLAR


Alsayyad, N. (2004). The end of tradition, or the tradition of endings. Routledge.

Bandfield, J.L. (2002). Global mineral distributions on Mars. Journal of Geophysical Research: Planets.

Beni, G. (2005). From swarm intelligence to swarm robotics. *In Swarm Robotics*, 1–9. Springer.

Brack, A. & Pillinger, C.T. (1998). Life on Mars: chemical arguments and clues from Martian meteorites. *Extremophiles, 2*(3):313-9. https://doi.org/10.1007/s007920050074 .

Bridges, J.C. (2019). Carbonates on Mars. *Volatiles in the Martian Crust*. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804191-8.00005-2.

Brueckner, R. & Lambert, P. (2013). Assessment of historic concrete structures. *STREMAH, 131.* https://doi.org/10.2495/STR130071

Cannon, K.M. & Mustard, J.F. (2015). Preserved glass-rich impactites on Mars. *Geology, 43*(7). https://doi.org/10.1130/G36953.1

Cui, L., Qi, X., Wen, C., Lei, N., Li, X., Zhang, M. & Gu, X. (2019). Spherical optimal transportation. *Computer-Aided Design, 115* (2019) 181–193. https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.05.024 .

Daines, G. (2017). NASA's Journey to Mars. https://www.nasa.gov/content/nasas-journey-to-mars. (01.06.2021).

Duarte, J., Muthumanickam, N., Nazarian, S., Memari, A. & Bilen, S. (2021). Combining AI and BIM in the design and construction of a Mars habitat. Routledge. 251-279. doil:10.4324/9780367824259-17

Flahaut, J., Masse, M., Le Deit, L., Thollot, P., Bibring, J.P., Poulet, F., Quantin, C., Mangold, N., Michalski, J. & Bishop, J.L. (2014). Sulfate rich deposits on Mars: A review of their occurrences and geochemical implications. *Eight International Conference on Mars.*

Gromicko, N. & Shepard, K. (2015). The history of concrete. *InterNACHI*. https://www.nachi.org/history-of-concrete.htm. (01.06.2021).

Harbaugh, J. (2018). Top 10 Teams Selected in Virtual Model Stage of NASA's 3D-Printed Habitat Challenge. https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/top-10-virtual-model-stage. (01.06.2021).

Head, J. W. (2006). The geology of Mars: new insights and outstanding questions. Cambridge University Press.

Hosein, R., Haque, S. & Beckles, D. M. (2014). Mud volcanoes of rinidad as astrobiological analogs for martian environments. Life, 4(4), 566-585; https://doi.org/10.3390/life4040566.

Irawan, J., De Kestelier, X. , Argyros, N., Lewis, B. & Gregson, S. (2019). A reconfigurable modular swarm robotic system for ISRU (in-situ resource utilisation) autonomous 3d printing in extreme environments.

Isler, H. (1959). New shapes for shells. In International Colloquium on construction Processes of Shell Structures, Madrid. *IASS Bulletin, 8.*

Kayser, M., Cai, L., Falcone, S., Bader, C., Inglessis, N., Darweesh, B. & Oxman, N. (2018). FIBERBOTS: an autonomous swarm-based robotic system for digital fabrication of fiber-based composites*. Construction Robot, 2*, 67–79. https://doi.org/10.1007/s41693-018-0013-y.

Kim, J., Yi, Y. K. & Malkawi, A. M. (2011, November 14-16). Building form optimization in early design stage to reduce adverse wind condition – using computational fluid dynamics. *12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney.

Kounaves, S. (2008). Introduction to special section on the phoenix mission: landing site characterization experiments, mission overviews, and expected science. *Journal of Geophysical Research: Planets. 113*(3).

Kounaves, S.P., Carrier, B.L., O'Neil, G.D., Stroble, S.T. & Claire, M.W. (2014). Evidence of martian perchlorate, chlorate, and nitrate in Mars meteorite EETA79001: Implications for oxidants and organics. *Icarus, 229*. 206-213.

Leach, N. (2014). 3D printing in space. *Architectural Design. 84*(6), 108–113.

Lucien, M. (2019). Marsquakes Rock and Roll. https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/07/marsquakes-rock-and-roll.html (04.06.2021).

Madsen, M.B., Bertelsen, P., Goetz, W. & Binau, C.S. (2003). Magnetic Properties Experiments on the Mars Exploration Rover mission. *Journal of Geophysical Research, 108* (12 8069), https://doi.org/10.1029/2002JE002029.

McKay, C.P. (2010). An Origin of Life on Mars. 2(4).

McSween, H.Y., Taylor, G.J. & Wyatt, M.B. (2009). Elemental Composition of the Martian Crust. *Science. 324*, 736-739.

Menges, A. (2016). Computational Material Culture Architectural Design. ICD/ITKE University of Stuttgart. 76-83.

Mersmann, K. (2015). The Fact and Fiction of Martian Dust Storms. https://mars.nasa.gov/news/1854/the-fact-and-fiction-of-martian-dust-storms/. (02.06.2021).
Mohon, L. (2021). STMD: Centennial Challenges. https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/index.html (04.06.2021).
NASA'S 3D-Printed Habitat Challenge - Phase 3 https://www.bradley.edu/challenge (04.06.2021).
Ochsendorf, J. & Block, P. (2014). Exploring shell forms. In Shell Structures for Architecture. *Form Finding and Optimization*, 7–31. London: Taylor & Francis - Routledge.
Oliver, P. (1997). Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World, Cambridge University Press.
Oliver, P. (2006). Built to meet needs: cultural issues in vernacular architecture, Oxford: Elsevier.
Oxman, R. (2010). The New Structuralism: Conceptual Mapping of Emerging Key Concepts in Theory and Praxis.
Oxman, R. (2012). Informed Tectonics in Material-Based Design. *Design Studies*. 427-455.
Park, K., Duarte, J. & Nazarian, S. (2020). BIM for parametric problem formulation, optioneering, and 4D simulation of 3D-printed Martian habitat: A case study of NASA's 3D Printed Habitat Challenge.
Rubenstein, M., Ahler, C., Nagpal, R. (2012). Kilobot: A Low Cost Scalable Robot System for Collective Behaviors. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3293–3298. https://doi.org/10.1109/ICRA.2012.6224638
Rubie, D. C., Gessmann, C. K. & Frost, D. J. Nature, 429, 58 - 61, https://doi.org/10.1038/nature02473 (2004)
Sacksteder, K.R. & Sanders, G.B. (2007). In-Situ Resource Utilization for Lunar and Mars Exploration.
Simonsen, L C, & Nealy, J E. (1991).Radiation protection for human missions to the Moon and Mars. United States.
Sullivan, J. (2003). Optimal Geometry as Art.
Smith, D.E., Zuber, M.T., Solomon, S.C. & Philips, R.J. (1999). The global topography of Mars and implications for surface evolution. *Science*, 284, 1495-1503.
Troemner, M. & Cusatis, G. (2019). Martian material sourcing challenges propel earth construction opportunities. *Matter,* 1, 547-549.
Wan-Wendner, L., Wan-Wendner, R. & Cusatis, G. (2016). A novel material for in situ construction on Mars: experiments and numerical simulations. *Construction and Building Materials.* 222-231.
Wang, A., Freeman, J. J., Jolliff, B. & Chou I. (2006). Sulfates on Mars: A systematic Raman spectroscopic study of hydration states of magnesium sulfates. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 70*(24). https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.05.022.
Wand, A. (2018). Understanding Martian sulfates.
Williams, D.R. (2020). Mars Fact Sheet: Mars/Earth Comparison. https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html. (01.06.2021).
Yashar, M., Ciardullo, C., Morris, M., Pailes-Friedman, R., Moses, R. & Case, D. (2019). Mars X-House: Design Principles for an Autonomously 3D-Printed ISRU Surface Habitat. *49th International Conference on Environmental Systems (ICES)*, Boston, USA.
Yazıcı, S. (2018). Building in Extraterrestrial Environments: T-Brick Shell. *Journal of Architectural Engineering. 24*(1).
Zeitlin, C., Hassler, D.M., Cucinotta, F.A., Ehresmann, B., Wimmer-Schweingruber, R.F. & Brinza, D.E. (2013). Measurements of Energetic Particle Radiation in Transit to Mars on the Mars Science Laboratory. *Science, 340* (6136), 1080-1084.

# OTURUM 6

## Kent Modelleme ve Sosyo-ekolojiler

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Yaşanabilirlik Kapsamında Yerin Ekonomik Değerinin Veri ile Öğrenen Bayes Ağı Üzerinden Değerlendirilmesi: İstanbul Tarihi Yarımada Örneği

Gülce Kırdar [1]; Gülen Çağdaş [2]
[1,2] İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı,
Mimari Tasarımda Bilişim Lisansütü Programı
[1]kirdarg@itu.edu.tr; [2]cagdas@itu.edu.tr

## Özet

*Yaşanabilirlik kentlilerin mekansal, sosyal ve ekonomik koşullarının iyileştirilmesi için geliştirilmiş kentsel bir politikadır. Yaşanabilir çevreler için yerin sağlık, sosyal, ekonomik ve çevresel değerleri büyük önem taşır. Çalışma yaşanabilirlik kavramının çok boyutluluğunu kabul ederek, yaşanabilirlik için gerekli olan yerin ekonomik değerine ve onu oluşturan ölçütlere odaklanmaktadır. Çalışma yerin ekonomik değeri ile kentsel çeşitlilik ve diğer yapılı çevre parametreleri ile ilişkisini okuyabilmeyi, bu ilişkiler üzerinden alınacak kararların alanın dirençliliğine etkisini ölçmeyi hedefler. Parametreler arasındaki ilişkiselliği anlamak ve belirsiz durumda etkin karar alma için olasılıksal bağımlılık ilişkisine dayalı Bayes İnanç Ağı yönteminden yararlanır. Çalışmanın amacı, belirlenen ölçütler üzerinden alanın ekonomik değerini oluşturan ilişki ağını ortaya çıkartabilmek ve alan kararlarını alanın dirençliliğini göz önünde bulundurarak destekleyebilecek bir karar destek sistemi önerisi sunmaktır. Çalışma karar destek sistemi olarak veri ile öğrenebilen Bayes Ağlarını önerir. Çalışma yerin ekonomik değerini belirleyen parametreler arasında nasıl bir ilişki deseni olduğunu, seçilen ölçütlerin bu değişkenlerin ne derece temsil edilebileceğini ve bu ilişki desenine göre alınan kararların parametreleri nasıl etkileyeceğini ve bu karları ne derece destekleyeceğini sorgular. Çalışmanın uygulama alanı, zengin kültürel, fonksiyonel ve yapı dokusuya sahip turizm, yönetim ve ticaret merkezi İstanbul Tarihi Yarımada Bölgesi'dir.*

*Çalışma kapsamında alanın ekonomik değeri kentsel çeşitlilik, alana özgü özellikleri, alanın sosyo-demografik özellikleri ve erişilebilirlik özellikleri üzerinden okunmuştur. Alanın ekonomik değeri arazi rayiç bedeli; kentsel çeşitliliği fonksiyon çeşitlilik, yoğunluk ve dağılımı; alana özgü özellikeri bina yoğunluğu, bina durumu, açık kamusal alan miktarı ve kentsel yenileme projelerinin varlığı; demografik özellikleri, sosyo-ekonomik durumu ve nüfus yoğunluğu; erişilebilirlik ölçütleri durak mesafesi ve nüfusun eriştiği kümülatif fırsatlar üzerinden ölçülmüştür. Çalışmanın analiz birim ölçüsü mahalledir. Istanbul Tarihi Yarımada Bölgesi içerisinde yer alan 33 mahallede belirtilen parametreleri ölçmek için açık veri ve idari veri kaynakları kullanılmıştır. Elde edilen veriler, veriden ağ öğrenme yolu ile oluşturulan Bayes Ağı ile analiz edilmiştir. Çalışmanın literatüre katkısı kentsel yaşanabilirlik kapsamında alanın ekonomik değerinin keşfedici bir yaklaşımla yapay zeka ve Bayesyen yaklaşım kullanılarak ölçülebilmesi ve kısıtlı veri kullanarak en etkin Bayes Ağı öğrenme algoritmalarının değerlendirilmesidir.*

***Anahtar kelimeler:*** *Bayes Ağı, öğrenen algoritmalar, yerin ekonomik değeri, yaşanabilirlik, esneklik/dirençlilik.*

**APA stilinde kaynak gösterimi:** Kırdar, G., & Çağdaş, G. (2021). Yaşanabilirlik kapsamında yerin ekonomik değerinin veri ile öğrenen Bayes Ağı üzerinden değerlendirilmesi: İstanbul Tarihi Yarımada Örneği. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf.291-302). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# The Evaluation of Place Economic Value in the Scope of Livability via Learning Bayesian Belief Network: Istanbul Historic Peninsula Case

Gülce Kırdar [1]; Gülen Çağdaş [2]
[1,2] İstanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics,
Architectural Design Computing Graduate Program
[1]kirdarg@itu.edu.tr; [2]cagdas@itu.edu.tr

## Abstract

*Livability is an urban policy developed for the improvement of the environmental, spatial, social and economic conditions of the place. The social, spatial, environmental and economic value of place are crucial for livable urban environments. This study assumes the multi-dimensionality of livability. In this regard, the focus of the study is on the economic value of the place and its affecting parameters. This research seeks to monitor the relationship network of place economic value parameters, and to measure the impact of urban decisions on relation network. The researchers have utilized Bayesian Belief Network (BBN) method to make decisions in uncertain conditions based on conditional probability of the variables. The objective of the study is to reveal the relation network between the place economic value and related parameters, and propose a decision support system that supports urban decisions considering the resilience of the site. BN learning algorithms are presented as a decision support system. The research questions address what is the relation pattern between the parameters of place economic value, to what extend the measures represent the variables, to what extend the decisions affect parameters and accordingly, how to support urban decisions in this site regarding resilience as a decision support system proposal. Istanbul Historic Peninsula is the testbed for this study. Istanbul Historic Peninsula embraces a rich variety of functions, building fabric, and culture with its multilayered structure. It becomes a haunting place for tourism, commercial and administration, and hosts four important World Heritage Sites. There is considerable number of urban studies related with the revitalization of Historic Peninsula.*

*In the scope of the study, the economic value of place has been analyzed with urban diversity, site-specific, socio-demographic features of the site within its accessibility conditions. The land price represents the place economic value; richness, concentration and distribution of the land-uses (land functions) indicates urban diversity; building condition, density and open public space amount depict site-specific; socio-economic status and population density increase of the residents depict socio-demographic; and finally, the cumulative accessibility for population and distance to stations display the accessibility measures. Neighborhoods stand for the unit of analysis, i.e., cases, in this study. The Master Development Plans of Istanbul Historic Peninsula have been digitized for data collection of site-specific and land-use variables. The contribution of the study to the existing literature is measuring place economic value via artificial intelligence supported BBN algorithms, and comparing different BBN structural learning algorithms in terms of evaluating performance with limited data sets.*

***Keywords:*** *Bayesian Belief Networks, learning algorithms, economic value of place, livability, resilience.*

**Citation in APA style:** Kırdar, G., & Çağdaş, G. (2021). The evaluation of place economic value in the scope of livability via learning Bayesian Belief Network: Istanbul Historic Peninsula Case. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (pp.291-302). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Yaşanabilirlik kentlilerin mekansal, sosyal ve ekonomik koşullarının iyileştirilmesi için geliştirilmiş kentsel bir politikadır. Yaşanabilirlik kent alanlarının başarılı olması için gereken bütün faktörleri ve aralarındaki karmaşık ilişkiyi temsil eden çok boyutlu bir kavramdır. Çalışma çok boyutlu yaşanabilirlik kavramında yerin ekonomik değerine odaklanarak yerin ekonomik değerinin kentsel çeşitlilik, alana özgü özellikler, alanın sosyo-demografik özellikleri ve erişilebilirlik özellikleri ile olan ilişkisini inceler. Alanın ekonomik değeri arazi rayiç bedeli; kentsel çeşitliliği fonksiyon çeşitlilik, yoğunluk ve dağılımı; alana özgü özellikeri bina yoğunluğu, bina durumu, açık kamusal alan miktarı ve kentsel yenileme projelerinin varlığı; demografik özellikleri, sosyo-ekonomik durumu ve nüfus yoğunluğu; erişilebilirlik ölçütleri durak mesafesi ve nüfusun eriştiği kümülatif fırsatlar ile ölçülmektedir. Çalışmanın uygulama alanı, farklı kültürel, fonksyionel ve yapı dokusuna rağmen kentsel çöküntü alanı olma riski taşıyan İstanbul Tarihi Yarımada Bölgesi'dir. Alanın yeniden canlandırılması konusunda alınan yönetim kararları ve bunların değerlendirildiği akademik çalışmaların varlığı sebebiyle çalışmanın uygulama alanı Tarihi Yarımada Bölgesi olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı, belirlenen ölçütler üzerinden yerin ekonomik değerini oluşturan ilişki ağını ortaya çıkartarak bu ilişki ağına göre alanın kentsel kararlara dirençliliğini/esnekliğinin değerlendirileceği bir karar destek sistemi önerisi sunmaktır. Karar destek sistemi olarak veri ile öğrenebilen Bayes Ağlarını önerir. Çalışma alanın ekonomik değerini belirleyen parametreler arasında nasıl bir ilişki deseni olduğunu, seçilen ölçütlerin bu değişkenleri ne derece temsil edilebileceğini ve bu ilişki desenine göre alınan kararların parametreleri nasıl etkileyeceğini sorgular. Çalışmanın literatüre katkısı kentsel yaşanabilirlik kapsamında yerin ekonomik değerinin keşfedici bir yaklaşımla yapay zeka ve Bayes Ağı yöntemlerinden yararlanarak ölçülmesidir. Çalışma aynı zamanda kısıtlı veri durumunda Bayes Ağı öğrenme algoritmalarının nasıl değerlendirileceği konusunda da literatüre katkı sağlamaktadır.

## 2. Literatür Araştırması

Yaşanabilirlik için gerekli olan yapılı çevre kalitesini Carmona (2019) yerin kalitesi ya da yerin değeri olarak kavramsallaştırır. Carmona (2019) yerin kalitesinin sağlık, sosyal, ekonomik ve çevresel değerlerinin bütünü olduğunu ifade eder. Carmona'nın (2019) yürüttüğü detaylı literatür çalışmasına göre alandaki fonksiyon dağılımı, yoğunluk ve çeşitliliği, açık kamusal alanlar, toplu taşıma duraklarına yakınlık, kültürel değerler, yapı ve nüfus yoğunluğu, alandaki konut ve ticari mülklerin fiyatlarını etkilemektedir.

Alanın gelişimini teşvik eden alanın ekonomik değeri çoğunlukla arazi bedeli üzerinden değerlendirilmektedir (Nakamura, 2019). Arazi rayiç bedeli bir taşınmazın piyasa koşullarındaki en düşük değeridir ve valiliklerin atadığı komisyonlarca belirlenir (Emlak360, n.d.). Gayrimenkulün konumu, toplu ulaşıma yakınlık ve yakınlarındaki kentsel donatının varlığı, binanın fiziksel durumu (yıpranma) arazi rayiç bedelini etkiler (Emlak360, n.d.). Konumda yer alan sosyo-ekonomik imkanlardan etkileniyor olması ve tarafsız değerlendirilmesi sebebiyle çalışmada yerin ekonomik değerinin (alan bedelinin) göstergesi olarak kabul edilmiştir. Literatürde alan bedeli değişkenliği (*land price variability*) alanın ekonomik gelişiminin göstergesi olarak kullanımı yaygındır (Kılıç ve diğ., 2019; Bölen ve diğ., 1999). Arazi rayiç bedeli fiyat artışını ölçmek için verilerin değişim katsayısı (*coefficient of variation*) baz alınmıştır. Değişim katsayısı verideki değişim miktarının ortalama değere göre ne kadar farklılık gösterdiğini yani ortalamadan ne kadar yayıldığını ifade eder (Akman, n.d.). Akman'a (n.d.) göre değişim katsayısı sadece rakamsal büyüklük değil verilerin ortalamadan nasıl saptığını, nasıl dağıldını da göz önüne alır, böylece değişkenlerin karşılaştırılmasında yorumlamaya yönelik sorunların azalacağını ifade eder.

Kang, Fan ve Jiao (2020) başarılı bir karma alan kullanımı için gerekli fonksiyon çeşitliliği, yoğunluğu ve dağılımı ölçütlerini kentsel çeşitlilik ölçütleri adı altında toplamaktadır. Fonksiyon, zaman ve mekansal çeşitliliğini kentsel çeşitlilik kavramı altında toplayarak kullanıcı yoğunluğu (mobil veri üzerinden ölçülen) ve kent algısı (kent imajları üzerinden ölçülen) arasındaki ilişkiyi istatiksel yöntemlerle değerlendirmiştir. Değerlendirme sonuçları fonksiyon, zaman ve mekan çeşitliliğinin kent algısı ve kentsel canlılık arasındaki güçlü ilişkiyi kanıtlamaktadır. Yue ve diğer araştırmacılar (2016) da çalışmalarında entropi (Shannon) zenginlik ve yoğunluk (Simpson) endeksleri ile ölçtükleri karma-kullanım (mix-use) oranının kentlilerin mobil verileri üzerinden değerlendirdikleri kentsel canlılık ile ilişkisini analiz etmişler; analiz sonucunda karma kullanımın entropi ölçütü ile sınırlı kalması durumunda karma kullanım ve canlılık arasındaki ilişkinin üç çeşitlilik endeksi ile ilişkinin belirgin olarak açıklandığını ifade etmişlerdir. Bu

çalışmalardan yola çıkılarak kentsel çeşitlilik kapsamında fonksiyon çeşitliliği, yoğunluğu ve dağılımı sırasıyla Zenginlik Endeksi (Allaby, 2010), Simpson Çeşitlilik Endeksi (Simpson, 1949) ve Shannon Çeşitlilik Endeksi (Shannon, 1948) ile ölçülmüştür. Grant (2007) kentlerde başarılı karma alan kullanımlarının işlevlerin çeşitliliği, yoğunluğu ve dağılımı arasındaki dengeye bağlı olduğunu belirtir. Jacobs (1961)'a göre de dengeli karma kullanıma sahip çok fonksiyonlu alanlar ekonomik açıdan daha başarılı, sosyal açıdan daha dengeli, daha güvenli ve daha ilgi çekici yerlerdir. Bir diğer mekansal ölçüt olan erişilebilirlik açık kamusal mekanların kalitesi ve aktivite fırsatları ile beraber kentlilerin memnuniyeti açısından önem taşımaktadır (Tan, 2016). Çalışmada erişilebilirlik erişilebilir kümülatif fırsatlar endeksi kullanılarak hesaplanmıştır. Yaygın olarak kullanılan kümülatif fırsatlara erişilebilirlik ölçütü (Handy ve Neimeier, 1997) imkanların yakınlığını göz önüne almadan belirlenen zaman ya da mesafede erişilebilen fırsatların sayılması ile elde edilmektedir. Ölçüte göre alanda erişilen daha fazla fırsat alanın daha erişilebilir olması demektir. Bir diğer erişilebilirlik ölçütü olan duraklara yakınlık için çalışma QGIS analiz eklentilerinden en yakın nokta analizini kullanır. Çalışmada, yukarıda bahsedilen ölçütlerin yanı sıra, Sosyo-ekonomik statüyü (SES) belirleyen yerleşim, gelir ve eğitim seviyesi değişkenlerin konut fiyatlarına olumlu etkisi (Mirkatouli ve diğ., 2018) ve düşük kaliteli konut dokusunun kentsel çöküntüyü arttırarak kent imgesine olan olumsuz etkisine (Deakin ve Edwards, 2005) dayanarak SES ve bina kaliteleri ölçütleri de dahil edilmiştir. Araştırmada kullanılan sosyo-demografik özellikler; kentlilerin sosyo-ekonomik statüleri ve nüfus yoğunluğudur. **Tablo 1** kentsel çeşitlilik, erişilebilirlik ve arazi bedeli artışı değişkenlerinin ölçütlerini ve nasıl hesaplandığını gösterir.

**Tablo 1:** Seçilen ölçütler için kullanılan endeksler ve endekslerin ölçme yöntemi.

| Değişken | Ölçüm endeksi | Ölçüm yöntemi/denklemi |
|---|---|---|
| Fonksiyon çeşitliliği | Çeşitlilik endeksi (*richness index*) | $D = \sum_{i=1}^{n} p_i^0$<br>$D_i = D/D_{max}$ |
| Fonksiyon dağılımı | Shannon eşitliliği (*Shannon equiability*) | $H = -\sum_{i=1}^{p} p_i \, lnp_i$<br>$E_h = H/H_{max}$ |
| Fonksiyon yoğunluğu | Simpson çeşitlilik endeksi (*Simpson diversity index*) | $D = 1 - \sum \frac{n(n-1)}{N\,(N_i)}$ |
| Erişilebilien kümülatif fırsatlar | Kümülatif fırsatlara erişim (kişi başına) *(Effective accessibility (opps/person))* | $Acc_i = \sum_j E_i c$<br>$E_{acc} = \frac{Acc_i}{Population}$ |
| Durak mesafelerine yakınlık | En yakın nokta analizi *(Nearest point analysis)* | *QGIS distance to neasrest hub* eklentisi ile en yakın mesafe hesaplama |
| Arazi bedeli artış katsayısı | Değişim katsatısı | $CV = \frac{Standart\ deviation}{Mean}$ |

## 3. Çalışma Alanı

Çalışmada örneklem alanı olarak seçilen Tarihi Yarımada Bölgesi çok katmanlı tarihi ve kültürel dokuya sahip bir bölge olup kent için önemli ölçüde kültür ve turizm potansiyele sahiptir. Kentin aynı zamanda yönetim ve ticaret odağı haline gelen bölge, fonksiyon alanları, mülkiyet dokusu, yapı biçimi, yükseklik ve yoğunluğu ile sosyo-ekonomik ve kültürel dokusunda zengin bir çeşitlilik barındırmaktadır (Turgut ve Özden, 2005). Tarihi Yarımada Bölgesi alınan yanlış fonksiyon kararları, kültürel değerlerin yeterince iyi değerlendirilememesi, kentsel projelerdeki yönetim ve koordinasyon eksikliği ve mülkiyet yapısından kaynaklanan sorunlar sebebiyle 'kentsel çöküntü alanı (urban deprivation area)' haline gelmiştir (Turgut ve Özden, 2005). Ergun (2010) fiziksel çöküntü sürecini bölgedeki ticari işlevler ve trafik yoğunluğu sebebiyle bölgedeki kullanıcı değişimi (düşük gelir gruplarının yerleşmesi), buna bağlı olarak konut yapılarının korunamaması olarak açıklamaktadır. Alanın barındırdığı önemli potansiyeller ve diğer yandan bölgenin fiziksel çöküntü alanı haline gelme riski alanı yeniden canlandırma konusunda yönetim ve araştırmacıları teşvik etmiştir. Çalışmada yeniden canlandırma amacıyla belirlenen alanın fonksiyonu, yapı özellikleri, sosyo-demografik ve ekonomik özellikleri arasındaki ilişki ve bu ilişkiye göre ilgili eylem kararlarının etkisinin görüntülenebilmesi açısından Tarihi Yarımada Bölgesi seçilmiştir.

Çalışma seçilen ölçütlerin alanda kentsel kararlar üzerindeki etkisini de göz önünde bulundurmaktadır. Çalışma kapsamında seçilen fonksiyon çeşitlilik, yoğunluk ve dağılım ölçütleri 1995, 2005 ve 2018 Alan Yönetim Kararlarında sıkça bahsedilmektedir. 1995 ve 2005 tarihli Tarihi Yarımada Bölgesi Alan Plan Kararlarında fonksiyon kararları ile ilgili farklı fonskiyon ağırlıklandırma senaryolarının üretilmesi (*Senaryo 1*: plan ticari ve konut ağırlıklı, *Senaryo 2*: turizm ve konaklama ağırlıklı, *Senaryo 3*: konut, ticari ve konaklama fonksiyonlarının dengeli dağılımı) ve sosyal donatı alanlarının arttırılması önerileri yer almaktadır (Turgut ve Özden, 2005).2018 tarihli İstanbul Tarihi Yarımada Alan Yönetim Planı Üst Ölçekli Mer'i Plan Kararlarında (1/100.000 ölçekli) yenileme alanlarında koruma kriterlerine uygun konut-ticaret-turizm-konaklama fonksiyonları, sosyal donatı alanları (yönetim, saglik-egitim-sosyal-kültürel alan ve belediye hizmet alanı gibi) ve rekreasyon alanlarının (park ve çocuk oyun alanları) yer alması; mevcut geleneksel konut dokusunun korunması, ve bölgedeki ağırlıklı ticari fonksiyonların baskısından kurtulması; bazı büyük ölçekli donatı alanlarının alanın dışına taşınarak yoğunluğun azaltılması gibi alan kullanımları ile ilgili kararlar bulunmaktadır. Ergun (2010) değişen alan kullanımlarının arazi değerleri, mahalleli sosyo-ekonomik statüsü (gelir grupları) ve nüfus yoğunluğu değişkenlerine olan etkisini Sultanahmet ve Cankurtaran mahallelerindeki yenileme süreci üzerinden ele almıştır. Ergun (2010) yapıların onarılarak işlev değiştirmelerinin bina değerlerini arttırdığını, artan bina değerlerinin mahallelilerin taşınması sonucu nüfus yoğunluğu ve sosyo-ekonomik statünün azaldığını belirtmektedir. Alan ile ilgili çalışmalar ve Alan Plan Kararları doğrultusunda çalışma, geliştirilecek Bayes Ağı kullanılarak kentsel çeşitlilik, alanın ekonomik değeri ve erişilebilirlik konusundaki kararların diğer dinamikleri nasıl etkileyeceğini araştırmaktadır.

# 4.Yöntem

### 4.1. Bayes İnanç Ağları

Çalışmada ilişki ağı oluşturmak için analiz yöntemi olarak Bayes İnanç Ağları (BBN) kullanılmıştır. Bayes İnanç Ağları (Bayesian Belief Network: BBN) değişkenler arasındaki bağlılıkları ve bu bağlılıklara dayanarak ilişkisel olasılıksal dağılımın bütününün temsilini gösteren yönlendirilmiş döngüsüz grafiklerdir (*directed acyclic graph*) (S. Lee ve K.C. Lee, 2012). Bayes İnanç Ağları'nda değişkenler düğümler ve yönlü çizgiler düğümler arasındaki ilişkileri temsil eder; değişkenler arasındaki nedensel ilişki (etkileyen) ebeveyn düğümünden (etkilenen) çocuk düğümüne doğru temsil edilen bağlantı ile gösterilir (Yanık ve diğ., 2017). Bayes İnanç Ağları yapay zeka, istatistik, karar analizi ve yöneylem araştırmaları ve uzman sistemler alanlarından beslenen, olasılıksal çıkarımlar yaparak belirsizlik altında kullanılabilen karar destek aracıdır. BBN geliştirilen senaryo alternatiflerinde öngörülmeyen olasılıksal ilşkilerin görüntülenmesi ve uzman görüşüne göre ağın güncellenebilmesi avantajlarından dolayı katılımcı ve uyarlanabilir (adaptif) yönetim yaklaşımlarında da kullanılmaktadır (McCloskey ve diğ. 2011). Prato (2005) Bayesçi yaklaşımın, uyarlanabilir yönetim kararlarındaki belirsizlik durumlarında geleneksel istatistik (*frequentist statistics*) yöntemlerinden daha etkin olduğunu belirtir. Bayes İnanç Ağları ilişkilerin kavramsallaştırılması ve öncelikli eylemlerin belirlenmesi (Kemperman ve Timmermans, 2014; Yanık ve diğ., 2017), farklı senaryoların test edilebilmesi (Fusco, 2006), sistemin uzman katılımı ile uyarlanabilmesi (Çinicioğlu ve diğ., 2015; McCloskey ve diğ. 2011) sebebiyle kentsel çalışmalarda karar destek aracı olarak kullanılmaktadır. Karmaşık sistemleri analiz etme, belirsizlik durumlarında yapay zeka ile olasılıksal çıkarım yapabilme ve değişkenler arasındaki olasılıksal ilişkilere sistematik bakış açısı sunabilme özellikleri Bayes Ağları ile analize olan ilgiyi arttırmıştır (Arentze ve Timmermans, 2009). Kentsel çalışmalarda BBN yönteminden faydalanan çalışmalara ulaşım sistemlerindeki yolcu memnuniyeti (Yanık, Aktaş ve Topçu, 2017), yeşil alanların ve diğer çevre faktörlerinin yaşlı nüfusun sosyal ilişkilerine olan etkisi (Kemperman ve Timmermans, 2014) ve popülarite üzerinden mahallelerin ilgi çekicilik analizi (Ardıç, Kırdar, Lima, 2020) örnek olarak verilebilir.

### 4.2. Veri ile Öğrenen BBN Algoritmaları

Bayes Ağları uzman tarafından ya da strüktürel öğrenme algoritmaları kullanılarak veriden öğrenme ile yapay zeka tarafından oluşturulabilir. Öğrenen algoritmalardan kısıt bazlı algoritmalarda istatiksel yöntemler ile koşullu bağımsızlık testleri yürütülür ve koşullu bağımsızlık test sonuçlarına göre ağ oluşturulur; arama-skorlama algoritmalarında ise bir düğümden başlayarak diğer düğümler arasındaki ilişki aranır; istatiksel yöntemler ile belirlenen ilişki skoru en yüksek olan bağlantı seçilerek ağ oluşturulur (Lee ve Lee, 2012). *Necessary Path Condition* (NPC) algoritması kısıt bazlı, *Rebane Polytree* (RP) ve *Greedy Search-Scoring* (GSS) algorimaları arama-skorlama bazlı öğrenen algoritmalardır. *Necessary Path Condition* (NPC) algoritması, değişkenlerin koşullu bağımsızlık durumunu istatistiksel testler yoluyla ölçerek ağ oluşturan, koşula bağlı öğrenme algoritmasıdır; belirsiz ilişkilerin çözümlenmesinde PC algoritmasının yetersiz kalması

sebebiyle geliştirilmiştir (Steck, Hofmann ve Tresp, 1999). NPC Algoritması iki değişkenin ilişki kümesinde bağımsız koşullu olması için başka bir değişken ile ilişkili olma durumunu arar (HUGIN Expert, 2020). Arama ve skorlama algorimatalarından *Rebane Polytree* (RP) algoritmasında değişkenler arasındaki ilişki bağlantıları ortak olasılık dağılımına göre çoklu ağaç (*polytree*) şeklinde dağıtarak temsil edilir (Rebane ve Pearl, 1987; HUGIN Expert, 2020).

Algoritma her düğüm çifti için karşılıklı bilgi (*mutual information*) değeri hesaplar; kök olarak herhangi bir değişkeni seçer ve ağırlıklandırılmış karşılıklı ilişki değer grafiğine göre ilişkileri dallandırır. *Greedy search and score* (GSS) algoritması aday ağ yapısının iyiliğini skorlama ile belirler, en yüksek puana sahip ilişkileri seçerek Bayes ağ yapısını oluşturur (HUGIN Expert, 2020). Skorlama düğümlerin koşullu olasılık tablolarının maksimum olabilirlik tahminlerine göre hesaplanır (HUGIN Expert, 2020).

### 4.3. Uygulama Çalışması

Çalışma kapsamında bu bölümde bahsedilen öğrenme algoritmaları (**Bölüm 2.2**) Tarihi Yarımada Bölgesindeki alan verileri ile oluşturulmuş veri setine uygulanacak, algoritmalar karşılaştırılarak belirlenen kriterlere göre performansları değerlendirilecektir. Çalışma kapsamında alan kullanım verileri, alandaki bina yoğunluk, bina durumu, kentsel yenileme alanları verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Şehir Planlama Müdürlüğü'nden elde edilen Tarihi Yarımada Koruma Amaçlı Nazım İmar Planı plan paftaları dijitalleştirilerek elde edilmiş, erişilebilirlik verilerinin ölçümü için gerekli ulaşım noktaları İBB Açık Veri Portalı ve QGIS Open Street Map (OSM) eklentisinden elde edilmiştir. Açık kamusal alan verileri aynı şekilde İBB Açık Veri Portalı, OSM verileri ve analiz paftalarından elde edilmiştir. Dijitalleştirme aşamasında fonksiyon verileri CBS ortamında analiz paftaları referans alınarak öznitelik tablosuna işlenmiştir. Diğer değişkenlerin dijitalleştirilmesinde analiz imajlarının histogram bilgilerinden faydalanılmış, farklı renk piksellerinin yoğunluklarına göre mahalle sınıflandırılmıştır. Örneğin bina analizi paftasında bina durumu iyi olan alanlar çoğunluktaysa lejand tablosuna göre ilgili renk kategorisine ait piksel yoğunluğu daha fazla olacaktır. Arazi rayiç bedelleri için Fatih Belediyesi (2021) Arsa Metrekare Birim Değeri Sorgulama Portalı kullanılmıştır. Şeker ve diğer araştırmacıların (2017) Mahallem Istanbul Projesi kapsamında geliştirdiği sosyo-ekonomik skor (SES) verileri ve nüfus artış hızı verileri kullanılmıştır. Çalışmanın veri toplama aşamasında analiz paftaları CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ortamında dijitalleştirilmiş, toplanan değişken verilieri belirtilen endeksler (**Tablo 1**) kullanılarak ölçülmüştür. Değişken verilerinin ölçüm dereceleri Bayes Ağı programlarında kullanılan algoritmaların daha etkin çalışması için oransal ölçekten (*ratio*) aralıklı ölçek (*interval*) derecesine getirilir. Örneklem veri sayısı az olduğu için veriler iki sınıfta kategorilenmiştir, veriler normal dağılmaması sebebiyle ortalama değerlerine göre yüksek ve düşük seviye olarak sınıflandırılmıştır. Değişkenlerin tanımlayıcı istatik bilgileri **Tablo 2**'de gösterilmiştir.

**Tablo 2:** Bayes İnanç Ağı için kullanılacak değişkenlerin tanımlayıcı istatik bilgileri (Yazar tarafından geliştirilmiştir).

| | *Değişkenlerin tanımlayıcı istatikleri* | | | | | | | | *Frekans dağılımı* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Değişkenlik ölçütleri* | | | | | *Merkezi eğilim ölçütleri* | | | | | |
| *Kategoriler* | *Değişkenler* | *En az* | *En fazla* | *Aralık* | *Std. sap.* | *Varyans* | *Ortalama* | *Medyan* | *Ölçek* | *Özellik* | *Frekans* | *Yüzde* |
| Kentsel çeşitlilik ölçütleri | Fonksiyon yoğunluk | 0.03 | 0.72 | 0.69 | 0.183 | 0.034 | 0.370 | 0.366 | oransal | <=0.37 düşük (1) | 17 | 51.5 |
| | | | | | | | | | | 0.38-0.74 yüksek (2) | 16 | 48.5 |
| | Fonksiyon çeşitlilik | 0.50 | 1.00 | 0.50 | 0.215 | 0.047 | 0.765 | 0.750 | oransal | <=0.50 düşük (1) | 11 | 33.3 |
| | | | | | | | | | | 0.51-1.00 yüksek(2) | 22 | 66.7 |
| | Fonksiyon entropi (eşit dağılım) | 0.10 | 0.96 | 0.86 | 0.211 | 0.044 | 0.575 | 0.600 | oransal | <=0.58 düşük(1) | 15 | 45.5 |
| | | | | | | | | | | 0.59-0.96 yüksek(2) | 18 | 54.5 |
| Alan ile ilgili ölçütler | Kentsel yenileme | 0 | 1 | 1 | 0.502 | 0.252 | 0.5 | 1 | kategorik | 0 mevcut değil(0) | 19 | 57.6 |
| | | | | | | | | | | 1 mevcut(1) | 14 | 42.4 |
| | Açık kamusal alan | 0 | 14 | 14 | 3.194 | 10.205 | 2.270 | 1 | oransal | <=2düşük(1) | 23 | 69.7 |
| | | | | | | | | | | 3-14 yüksek(2) | 10 | 30.3 |
| | Bina yoğunluk (TAKS) | 1 | 2 | 1 | 0.467 | 0.218 | 1.61 | 2 | sıralı | 1 düşük yoğunluk | 13 | 39.4 |
| | | | | | | | | | | 2 yüksek yoğunluk | 20 | 60.6 |
| | Bina durum (fiziksel kalite) | 1 | 2 | 1 | 0.479 | 0.229 | 1.67 | 2 | kategorik | 1 kötü durum | 11 | 33.3 |
| | | | | | | | | | | 2 iyi durum | 22 | 66.7 |
| Demografik ölçütler | SES skor | 18.10 | 44.90 | 26.80 | 5.897 | 34.776 | 26.900 | 25.700 | oransal | <=26.9 düşük(1) | 22 | 66.7 |
| | | | | | | | | | | 26.91-44.90 yüksek(2) | 11 | 33.3 |
| | Nüfus yoğunluk oranı | 0.13 | 28.51 | 28.38 | 7.363 | 54.214 | 6.530 | 2.780 | oransal | <=6.53düşük(1) | 21 | 63.6 |
| | | | | | | | | | | 6.54-28.51 yüksek(2) | 12 | 36.4 |
| Erişilebilirlik | Durak mesafesi | 53.96 | 1000 | 962.69 | 176.210 | 31050.114 | 173.364 | 239.470 | oransal | <=250 yakın(2) | 22 | 66.7 |
| | | | | | | | | | | 250-1050 uzak (1) | 11 | 33.3 |
| | Kümülatif fırsatlar (kişi başı) | 0.00 | 7.12 | 13.74 | 2.816 | 7.934 | 1.000 | 0.341 | oransal | <=0.50 düşük (1) | 20 | 60.6 |
| | | | | | | | | | | 0.51-7.12yüksek(2) | 13 | 39.4 |
| Ekonomik ölçüt | Arazi bedeli değişim katsayısı | 27.98 | 83.46 | 55.48 | 15.110 | 228.356 | 56.773 | 59.340 | oransal | <=50 düşük(1) | 13 | 39.4 |
| | | | | | | | | | | 50.1-83.46 yüksek(2) | 20 | 60.6 |

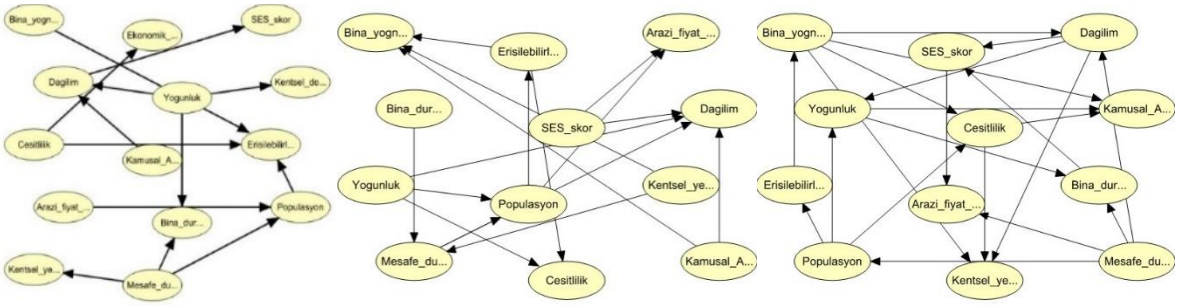
Veri analiz aşamasında, HUGIN programı kullanılarak Bayes İnanç Ağları oluşturulmuştur (**Şekil 1**). Öğrenen algoritmalar değişkenleri veri seti üzerinden ilişkilendirerek Bayes ağ strüktürünü yapay zeka ile oluşturur. Çalışmada

veri ile öğrenen algoritmalar ile oluşturulan Bayes Ağları belirlenen kriterlere göre karşılaştırılmış, veri setine en uygun öğrenen algoritma seçilmiştir. Karşılaştırma kriterleri ilişki ağındaki bağlantı ilişkileri, modelin logskor (log-likelihood), Akaik Bilgi Kriterleri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriterleri (BIC) değerlerine dayanarak strüktürel öğrenme algoritmasında performansı, verilerin hata oranına göre veri setinin Bayes Ağına uygunluğu, değişkenlerin karşılıklı ilişki değerleri (*symmetrical mutual information*) ve değişkenlerin değişikliklere duyarlılık analizidir (**Tablo 3**).

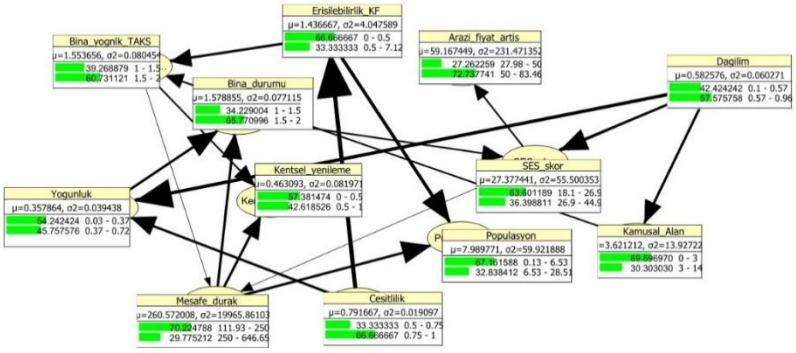
**Tablo 3:** Veriden öğrenen algoritmaların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi (Yazar tarafından geliştirilmiştir).

| | **Kısıt bazlı algoritma** | **Arama ve skorlamaya dayalı algoritma** | |
|---|---|---|---|
| **Strüktürel Öğrenme Algoritması** | **Necessary Path Condition (NPC)** | **Rebane Polytree (RP)** | **Greedy Search Score (GSS)** |
| **Model büyüklüğü** *(koşullu olasılık tablosu)* | 94 CPT | 60 CPT | 72 CPT |
| **Bağlantı bilgileri ve karmaşıklığı** | 12 düğüm (değişken)<br>16 bağlantı<br>Değişken başına ortalama ilişki: 1.33 | 12 düğüm<br>11 bağlantı<br>Değişken başına ortalama ilişki: 0.91 | 12 düğüm (değişken)<br>21 bağlantı<br>Değişken başına ortalama ilişki: 1.75 |
| ***Model büyüklüğü$_{NPC}$ >*** *Model büyüklüğü$_{GSS}$ > Model büyüklüğü$_{RP}$* | | | |
| ***Bağlantı ilişki$_{GSS}$ > Bağlantı ilişki$_{NPC}$ > Bağlantı ilişki$_{RP}$*** | | | |
| **EM-öğrenme algoritmasına göre modelin tahmin performansı** | Log-likelihood: -195.482<br>AIC: -242.482<br>BIC: -277.65 | Log-likelihood: -209.049<br>AIC: -239.049<br>BIC: -261.497 | Log-likelihood: -170.087<br>AIC: -206.087<br>BIC: -233.024 |
| ***Log-likelihood$_{GSS}$ > Log-likelihood$_{NPC}$ > Log-likelihood$_{RP}$*** | | | |
| ***AIC$_{GSS}$ > AIC$_{NPC}$ > AIC$_{RP}$*** | | | |
| ***BIC$_{GSS}$ > BIC$_{NPC}$ > BIC$_{RP}$*** | | | |
| ***Model tahmin performansı$_{GSS}$ > Model tahmin performansı$_{NPC}$ > Model tahmin performansı$_{RP}$*** | | | |
| **Değişkenlerin simetrik karşılıklı ilişki (SMI) katsayısı değer aralıkları** | Max SMI: 0.308<br>Min SMI:0.0021<br>Aralık: 0.287<br>Ort SMI:0.118<br>Güçlü SMI ilişki sayısı:11 | Max SMI: 0.327<br>Min SMI:0.0009<br>Aralık: 0.326<br>Ort SMI:0.170<br>Güçlü SMI ilişki sayısı:9 | Max SMI: 0.392<br>Min SMI:0.0016<br>Aralık: 0.390<br>Ort. SMI: 0.149<br>Güçlü SMI ilişki sayısı:15 |
| **Karşılıklık ilişki aralık $_{GSS}$ >** Karşılıklık ilişki aralık $_{RP}$ > Karşılıklık ilişki aralık $_{NPC}$ | | | |
| **Karşılıklık ilişki ortalama değer $_{RP}$ >** Karşılıklık ilişki ortalama değer $_{GSS}$ > Karşılıklık ilişki ortalama değer $_{NPC}$ | | | |
| **Veri setinin BBN ağına göre doğruluk oranı** | Ort. Hata oranı: 17.68%<br>min:6.06% max: 36.36%<br>Veri doğruluk: 82.32% | Ort. Hata oranı: 21.21%<br>min: 33.33% max: 12.12%<br>Veri doğruluk: 78.79% | Ort. Hata oranı: 10.35%<br>min: 0% max: 18.18%<br>Veri doğruluk: 89.65% |
| **Veri hata oranı $_{GSS}$** < Veri hata oranı $_{NPC}$ < Veri hata oranı $_{RP}$ | | | |
| **Veri doğruluk oranı $_{GSS}$ >** Veri doğruluk oranı $_{NPC}$ > Veri doğruluk oranı $_{RP}$ | | | |
| **Maksimum duyarlı değişken oranı** *(Duyarlılık analizi)* | 67% | 42% | 67% |
| **Duyarlılık oranı $_{GSS}$ = Duyarlılık oranı $_{NPC}$** > Duyarlılık oranı $_{RP}$ | | | |

Karşılaştırmaya göre veri setine en uygun algoritma Greedy Arama ve Skorlama algoritması (*Greedy Search Score*: GSS) olarak belirlenmiştir. Greedy Arama ve Skorlama (GSS) algoritması ile oluşturulan Bayes ilişki ağı modelinde değişkenlerin ebeveyn-çocuk ilişkisi daha fazladır (1.75). Log-likelihood, AIC ve BIC değerleri daha büyüktür; dolayısıyla, modelin tahmin kapasitesi daha yüksektir. Düğümler arası karşılıklı ilişki değerleri daha geniş bir aralığa yayılmış olup, ortalama karşılıklı ilişki değeri yüksektir; ayrıca düğümler arasındaki karşılıklı ilişki büyüklüğü yüksek olan bağlantı sayısı daha fazladır (15). Mevcut veri setinin doğruluk oranı oldukça yüksektir (90% civarında). Veri hata oranı da paralel olarak %10 civarındadır ve veri hata oranlarındaki fark diğer algoritmalarla kurulan BBN ağlarına kıyasla belirgindir. Duyarlılık analizine göre değişikliklere hassas değişken sayısı, modeldeki değişkenlerin yarısından fazladır (67% oranında). Seçilen Greedy Arama ve Skorlama algoritmasının oluşturduğu Bayes Ağ ve koşullu olasılıkların yer aldığı grafik modeli **Şekil 2**'de gösterilmektedir.




**Şekil 1:** (a) NPC, (b) RP, ve (c) Greedy (*GSS*) algoritmaları ile oluşturulan Bayes Ağları (Yazar tarafından geliştirilmiştir).




**Şekil 2:** Değişkenlerin koşullu olasılık dağılımını gösteren Bayes grafik modeli.

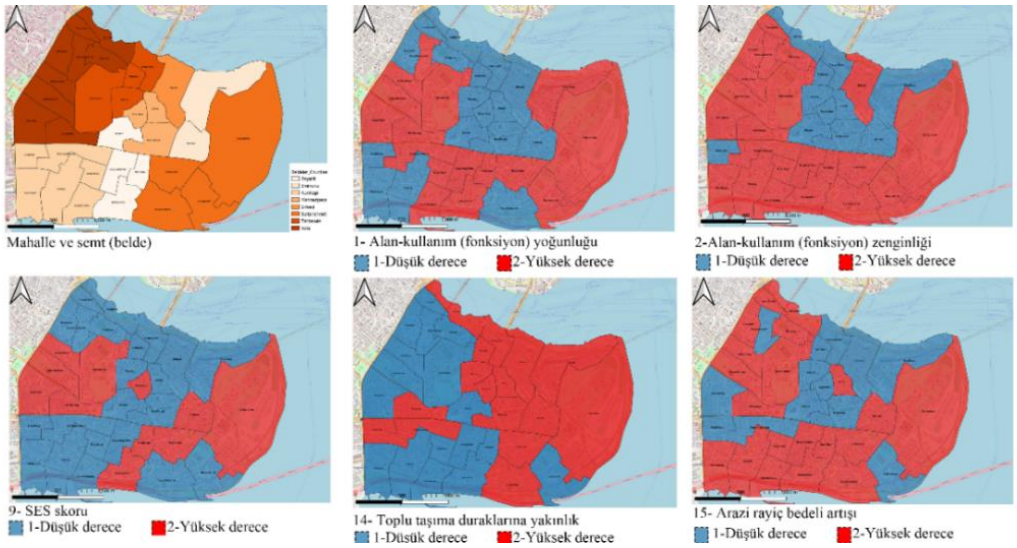
# 4. Bulgular

### 5.1. Mekansal analiz sonuçları

Çalışmada değişkenlerin veri analiz sonuçları Coğrafi Bilgi Sistemi aracılığıyla haritalandırılarak beldeler (semtler) üzerinden yorumlanmıştır. Elde edilen veriler ile kurulan Bayes grafiğinde Tarihi Yarımada Bölgesi'ndeki mahallelerde kentsel çeşitlilik ölçütlerinden fonksiyon çeşitliliği (67%) ve dağılımı (57%) yüksek, fonksiyon yoğunluğu düşüktür (54%). Yapı yoğunluğu (60%) ve kalitesi (66%) yüksek, açık kamusal alan miktarı (70%) düşüktür. Alan genelinde SES skoru (64%) ve nüfus artış hızı (67%) düşüktür. Erişilebilirlik açısından durak mesafesine göre alan erişilebilir (70%), nüfusa düşen kümülatif fırsatlar açısından erişilebilir değildir (67%). Arazi fiyatlarındaki artış bölge genelinde yüksektir (72%). Kentsel çeşitlilik sonuçlarına bakıldığında Yarımada'nın kuzeyinde kalan Tahtakale ve Mahmutpaşa bölgeleri kentsel çeşitlilik açısından (çeşitlilik, yoğunluk ve eşit dağılım) düşük seviyededir. Ticari işlevlerin baskın olduğu bu bölgelerde fonksiyon çeşitliliği azdır ve aktivite sayıları eşit dağılmamıştır. Vefa, Sultanahmet bölgeleri kentsel çeşitlilik açısından yüksek seviyededir. Alan ile ilgili ölçütlerden, kentsel yenileme projeleri ağırlıklı olarak Süleymaniye-Vefa- Beyazıt ve Nişanca-Sultanahmet aksındadır. Alan ile ilgili ölçütlerden kamusal açık alanlar Sultanahmet ve Kumkapı bölgesinin sahil şeridinde fazla olup, bölge genelinde yoğun değildir. Ticari işlevlerin ve konut yoğunluğunun fazla olduğu mahalleler kamusal açık alan yoğunluğu (yeşil alan ve meydan, parklar) açısından sıkıntı çekmektedir. Bina yoğunluğu Tahtakale, Mahmutpaşa, Sirkeci, Beyazıt ve Kumkapı bölgelerinde yüksek seviyededir. Bina kalitesi Yarımada'da genel olarak iyi durumda olup, Tahtakale, Mahmutpaşa, Sirkeci ve Sultanahmet bölgelerinde düşüktür.

Demografik ölçütlerden kentlilerin sosyo ekonomik statüsü (SES) bölge genelinde ortalamanın altında düşük seviyededir. Sultanahmet (Cankurtaran ve Binbirdirek) ve Beyazıt (Emin Sinan ve Şehsuvarbey) bölgeleri, Vefa bölgesinin güney mahalleleri ile Süleymaniye ve Taya Hatun mahallelerinde SES skoru yüksektir. Nüfus yoğunluğu ile SES skoru kısmen örtüşmektedir (Kalenderhane, Molla Hüsrev, Şehsuvar Bey Emin Sinan ve Binbirdirek mahallelerinde). Divanyolu Caddesi'ni Yarımada'yı ayıran ana aks olarak varsaydığımızda, nüfusun daha çok yarımadanın güney kısmında Kumkapı ve Sultanahmet bölgelerinin Katip Kasım-Küçük Ayasofya mahalleleri aksı ve Vefa bölgesindeki Kalenderhane, Mollahüsrev ve Hoca Gıyaseddin mahallelerinde yüksek olduğu gözlemenmektedir. Erişilebilirlik ölçütlerinden toplu taşıma duraklarından 250 metre mesafedeki kişi başına düşen kümülatif fırsatlar

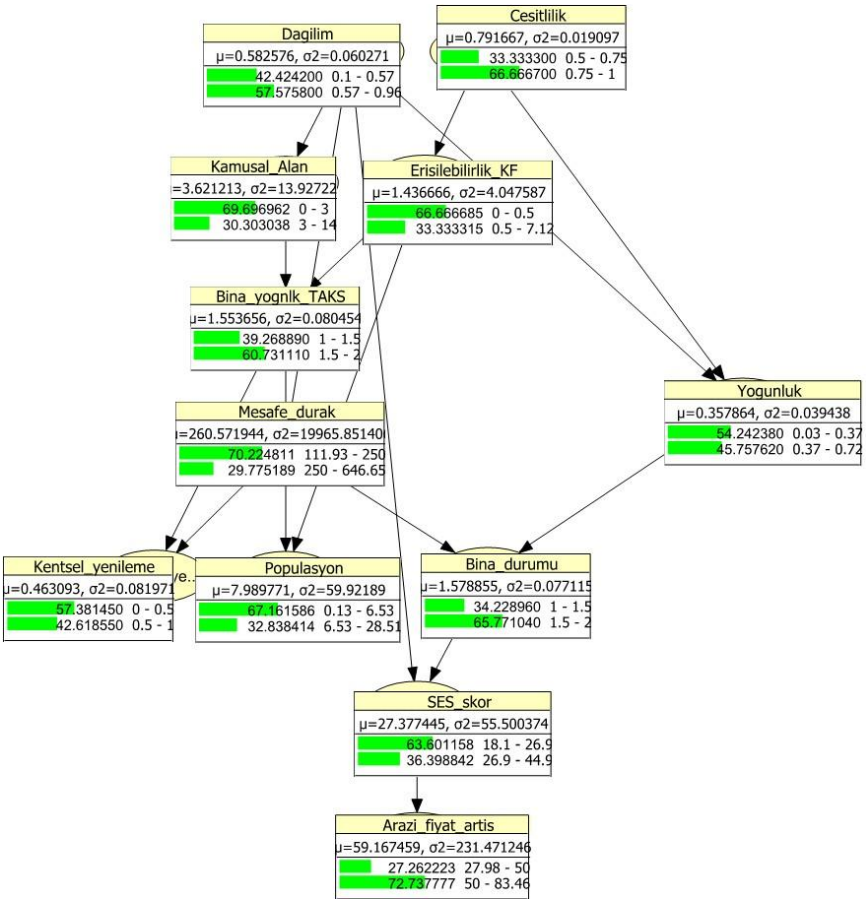
Yarımada'nın kuzey kısmındaki sahil şeridinde yoğunlaşmıştır. Tahtakale bölgesi ve Rüstempaşa-Sultanahmet sahil aksında nüfusun kümülatif fırsatlara erişebilirliği yüksektir. Konut bölgelerindeki erişilebilir fırsatlar nüfusa göre düşük oranda kalmaktadır. Ticari yoğunluklu Tahtakale ve Mahmutpaşa bölgeleri ile Sultanahmet bölgesi, Kumkapı bölgesinin kuzey kısmı (Mesihpaşa ve Mimar Hayrettin) ve Balabanağa'da konut ve ticari mekanlardan duraklara olan mesafe genelde 3 dakika yürüyüş mesafesinden (250 m) azdır. Arazi rayiç bedelindeki 2015-2019 yıllarındaki artış konut bölgelerinin yoğun olduğu Kumkapı ve Vefa bölgelerinde, turizm yoğunluklu Sultanahmet bölgesinde ticari yoğunluklu Mahmutpaşa ve Tahtakale bölgelerinden daha fazladır. Yenileme projeleri arazi rayiç bedeli artışı üzerinde etkili olmuştur. Ticari yoğunluklu bölgelerde tek fonksiyonluluktan dolayı arazi bedellerindeki artışın düşük seviyede kaldığı söylenebilir. **Şekil 3**'te CBS ile haritalanan değişkenlerin bir kısmını gösterilmektedir.




**Şekil 3:** Mahalle ölçeğinde değişken verilerinin haritalanması.

### 5.2. Bayes Modeli ile İlişkisel Analiz Sonuçları

Çalışmada geliştirilen ilişki ağı ile alan yönetim planında yer alan fonksiyon değişikliği kararlarının yerin ekonomik değerine, sosyo-ekonomik durumuna ve popülasyon yoğunluğuna etkisi analiz edilmiştir (**Şekil 4**). Geliştirilen Bayes modeline göre, Greedy arama-skorlama algoritması ile oluşturulan Bayes Ağı modeline göre seçilen değişkenlerin hepsinin arazi fiyat artışı üzerinde etkisi vardır. Arazi fiyat artışı sosyo-ekonomik skor ile doğrudan ilişkilidir. Alan kullanım parametreleri, yapı yoğunluk ve kalitesi ile erişilebilirlik parametreleri ve nüfus yoğunluğundan dolaylı olarak (sosyo-ekonomik durum üzerinden) etkilenmektedir. Kentsel çeşitlilik parametrelerinden fonksiyon dağılımı ve çeşitlilik parametreleri koşullu bağımsız olup ikisi de fonksiyon yoğunluğunu etkilemektedir. Nüfus yoğunluğu erişilebilirlik faktörlerinden (kişi başı kümülatif fırsatlara erişim ve durak mesafesi) doğrudan etkilenmektedir. Binaların durumunun iyileştirilmesi alanın sosyo-ekonomik durumunu ve arazi fiyatlarını arttırır. Açık kamusal alanların arttırılması taban alanına bağlı bina yoğunluğunu azaltır. Kentsel yenileme projeleri arazi fiyat artışını desteklemektedir. Fonksiyon kararlarının diğer parametrelere olan etkisi koşullu olasılık tabloları üzerinden incelenmiştir (**Tablo 4**). Buna göre fonksiyon çeşitliliğinin arttırılması fonksiyon yoğunluğu, nüfus yoğunluğu, sosyo-ekonomik durumu ve arazi fiyatları üzerinde olumlu, kişi başına erişilebilen fırsatları üzerinde olumsuz etkisi vardır. Fonksiyonların daha eşit dağıtılmasının fonksiyon yoğunluğu, nüfus yoğunluğu, SES ve arazi fiyat artışı üzerinde olumlu etkisi vardır. Fonksiyon yoğunluğunun arttırılması, SES ve arazi fiyatlarını olumlu, nüfus yoğunluğu ve bina yoğunluğunu olumsuz etkilemiştir. Fonksiyon kararlarından en çok fonksiyonların eşit dağılımı arazi fiyat artışı ve alanın sosyo-ekonomik durumu üzerinde etkili olmuştur. Geliştirilen ağa göre değişen fonksiyon durumlarında (fonkisyon çeşitliliğini arttırma gibi) alandaki ölçütlerin çoğu esneklik (*resilience*) göstermektedir. Arazi bedeli ölçütü diğer ölçütlerdeki değişikliklere en fazla adapte olabilen değişkendir; bu açıdan alandaki en esnek ve dirençli ölçüttür. Görüldüğü üzere Bayes Ağı sonuçları literatürdeki arazi değeriyle ilgili çıkarımlarla örtüşmektedir. Ancak Çinicioğlu ve diğ. (2015) belirttiği üzere, veri ile öğrenilen ağ modelinde değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi yeterince açıklanamaz. Örneğin durak mesafesi ve bina durumu ya da fonksiyon dağılımı ve açık kamusal alan miktarı ilişkilerinde dolaylı ilişki vardır, ancak nedensellik yoktur.




**Şekil 4:** Seçilen ölçütlerin birbirleri ile ilişki düzenine göre oluşturulan Bayes Ağı modeli.

**Tablo 4:** Fonksiyon çeşitliliği ve dağılım durumlarına göre güncellenmiş etkilenen değişkenlerin koşullu olasılık tablosu.

| *Fonksiyon çeşitlilik* | *Fonksiyon yoğunluk* | | *Kişi başı erişilen fırsat* | | *Popülasyon* | | *SES skor* | | *Arazi fiyat artışı* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* |
| *düşük* | *89% (+45)* | *11% (-45)* | *18% (-48)* | *82% (+48)* | *91% (+24)* | *9% (-24)* | *71% (+8)* | *29% (-8)* | *29% (+2)* | *71% (-2)* |
| *yüksek* | *37% (-18)* | *63% (+18)* | *91% (+24)* | *9% (-24)* | *55% (-12)* | *44% (+12)* | *60% (-4)* | *39% (+4)* | *26% (-1)* | *74% (+1)* |

| *Fonksiyon (eşit) dağılım* | *Fonksiyon yoğunluk* | | *Popülasyon* | | *SES skor* | | *Arazi fiyat artışı* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* |
| *düşük* | *92% (+38)* | *8% (-38)* | *69% (+2)* | *31% (-2)* | *92% (+28)* | *8% (-28)* | *36% (+8)* | *64% (-8)* |
| *yüksek* | *27% (-27)* | *73% (+27)* | *66% (-1)* | *34% (+1)* | *42% (-22)* | *58% (+22)* | *21% (-6)* | *79% (+6)* |

| *Fonksiyon yoğunluk* | *Bina yoğunluk (TAKS)* | | *Popülasyon* | | *SES skor* | | *Arazi fiyat artışı* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* | *düşük* | *yüksek* |
| *düşük* | *27% (-12)* | *73% (+12)* | *76% (-9)* | *24% (+9)* | *83% (+20)* | *17% (-20)* | *33% (+6)* | *67% (-6)* |
| *yüksek* | *53% (+14)* | *47% (-14)* | *57% (+10)* | *43% (-10)* | *40% (-24)* | *60% (+24)* | *20% (-8)* | *80% (+8)* |

## 6. Sonuç

Çalışma, ölçülmesi güç olan kentsel yaşanabilirliğin belirli ölçütler arasındaki ilişkiler üzerinden anlaşılabilmesi ve dayanıklılık konusunda etkin karar alma süreci için, öğrenme algoritmaları ile veriden ağ öğrenen Bayes Ağlarının kullanılmasını önermiştir. Sınırlı alandaki kısıtlı örneklem ile uzman müdahalesi olmadan en uygun Bayes Ağının nasıl kurulabileceğini göstermiştir. Çalışma, yapay zeka ve büyük verinin giderek daha büyük önem kazandığı kentsel karar alma sürecine Bayes Ağları yöntemini önererek kentsel karar alma çalışmalarına katkıda bulunmayı hedefler. Çalışma kapsamında oluşturulan ilişki ağı ile fonksiyon kararlarının alandaki diğer değişkenlere etkisi gözlemlenebilir. Kurulan ilişki ağı ile yaşanabilir çevreler için alınabilecek kararlar ve oluşturulan senaryolar karar aşamasında test edilebilir.

Çalışmada kullanılan Tarihi Yarımada bölgesindeki 33 mahalle örneklemi veri ile ağ öğrenme için yetersiz kalmıştır. Veri setindeki örneklem sayısı çalışma ölçeği genişletilmesi ya da analiz birim ölçeğinin küçültülmesi ile ilerleyen çalışmalarda arttırılacaktır. Bunun dışında, çalışma kapsamında sosyo-demografik yapıyı anlamaya yardımcı yeterince

veriye ulaşılamaması sonucu arazi bedeli, fonksiyon çeşitliliği kararlarının bölgedeki sosyal yapıya etkisi yeterince gözlemlenememiştir. Alana ait veriler ve fonksiyon verileri analiz paftalarının dijitalleştirilmesi ile elde edildiğinden düşük mekansal çözünürlüğe sahiptir. Ayrıca analiz paftaları güvenilir veri kaynakları olması ile beraber güncel değildir (2011 yılına aittir). Çalışmadaki sınırlı örneklem büyüklüğü sonuçları genelleştirmek ve parametrik istatistiksel yöntemleri uygulamak için için yeterli değildir. Yine çalışmadaki sınırlı örneklem sayısı sebebiyle verilerin oran ölçekleri (*ratio measures*) ortalamaya göre sınıflandırılarak 2 sınıflı (yüksek ve düşük yoğunluk) aralıklı ölçekler (*interval measures*) haline getirilmiştir. 2 sınıflı sınıflandırma sistemi ile değişkenlerin ara durumları (çok düşük-düşük-orta-yüksek-çok yüksek derece) görüntülenememektedir.

Modelin farklı mahallelere uygulanması ile bölgenin kentsel çeşitlilik (fonksiyon), yapı yoğunluğu ve durumu, ekonomik ve donatı imkanları ve sosyo-demografik yapısına göre alınan kentsel kararlar farklılık gösterebilir. Örneğin bölgedeki çöküntü alanları olmasından kaynaklı fonksiyon kararlarının alandaki sosyal dokuyu daha fazla etkileyeceği tahmin edilmektedir. Alandaki ticari fonksiyonun baskınlığı sebebiyle ekonomik imkanların arazi bedelini yüksek oranda değiştirmediği görülmüştür. Bu durumun da alana özgü ticari fonksiyon yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çöküntü kent alanlarında yeniden canlandırma amaçlı kentsel dönüşüm çalışmalarının sürdürülebilir olması için alandaki sosyal canlılık, alana aidiyet duygusu ve mahalleli kültürü gibi sosyal boyutlarının da ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Ergun, 2010). Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, alandaki değişim sürecinin sosyal boyutunun daha iyi ele alınabilmesi için sosyal çeşitlilik, sosyal ilişkiler, komşuluk ilişkileri ve aidiyet ilişkileri ile alandaki nüfus hareketliliği (göç, taşınma gibi) verilerinin dahil edilmesi hedeflenmektedir.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında alan kullanım analiz paftalarından elde edilen veriler ile ölçülen kentsel çeşitlilik parametresinin konum tabanlı kullanıcı verileri (*Location based social network: LBSN*) ile daha yüksek miktarda ve yüksek mekansal çözünürlükte veri toplanması hedeflenmektedir. Kentsel çeşitlilik ile doğrudan ilişkili kentsel canlılık aktif kullanıcı yoğunluğunun LBSN verileri ile ölçülmesi, çalışmanın ilerleyen aşamalarındaki hedefler arasındadır. Daha yüksek çözünürlükte elde edilecek daha fazla miktardaki veri ile örneklem sayısı arttırılarak ilişki ağının tahmin kapasitesinin de artması öngörülmektedir. Ayrıca, çalışma kapsamında veri ile öğrenen ilişki ağı oluşturma yöntemi değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında Bayes İnanç Ağları ile kurulan ilişki ağı istatiksel korelasyon analizleri ya da uzman görüşleri ile desteklenebilir.

**Teşekkür**
Bu çalışma, 'Yaşanabilir Kültürel Çevreler İçin Veri-Güdümlü Karar Destek Modeli İle Dijital Mekan Oluşturma Yaklaşımı' isimli ve 42708 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

Akman S.U. (n.d.). *İstatistik* [Pdf file]. İstanbul Üniversitesi, Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi. http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/kok/istatistikau215.pdf

Allaby, M. (2010). *A Dictionary of Ecology (4th Edition)*. Oxford University Press. https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199567669.001.0001/acref-9780199567669

Ardıç, S. İ., Kırdar, G., Lima, A.B. (2020). *An Exploratory Urban Analysis via Big Data Approach: Eindhoven Case*. Proceedings of the 38th eCAADe Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (pp. 309-318), Berlin, Germany. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2020_089.pdf

Arentze, T. A., & Timmermans, H. J. P. (2009). Regimes in social–cultural events-driven activity sequences: Modeling approach and empirical application.*Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43, 311–322. https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.11.010

Bölen, F., Yirmibeşoğlu, F., Türkoğlu, H., Korca, P. (1999). Determinants of land prices in Istanbul: a cese study. *ERSA conference papers*, European Regional Science Association. Determinants of Land Prices In Istanbul: A Case Study (repec.org)

Carmona, M. (2019). Place value: place quality and its impact on health, social, economic and environmental outcomes. *Journal of Urban Design*, 24(1), 1–48. https://doi.org/10.1080/13574809.2018.1472523

Chow, C.K., Liu, C.N. (1968). Approximating Discrete Probability Distributions with Dependence Trees. *IEEE Transsctıons On Informatıon Theory 14* (3), 462-467. https://doi.org/10.1109/tit.1968.1054142

Çinicioğlu, E. N. , Atalay, M , Yorulmaz, H . (2013). Trafik kazaları analizi için Bayes Ağları modeli. *Bilişim Teknolojileri Dergisi, 6*(2). https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazibtd/issue/6628/88011

Çinicioğlu, E. N., Ulengin, F., Önsel, Ş. (2015). Bayes ağ yapısının oluşturulmasında farklı yaklaşımlar: nedensel Bayes ağları ve veriden ağ öğrenme. 35. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi (pp. 115-134).

Deakin, N., Edwards, J. (2005). *The Enterprise Culture and the Inner City*. Routledge.

Elbarmelgy, M., M. Ali, S., Nassar, U.A. (2014). Economic land use theory and land value in value model. International *Journal of Economics and Statisitics 2014* (2), 91-98.

Emlak360. Rayiç Bedeli Nedir, Nasıl Hesaplanır? https://www.sahibinden.com/estate360/rayic-bedeli-nedir-nasil-hesaplanir

Ergun, N. (2010). İstanbul kent merkezi yakın çevresindeki konut alanlarında kullanım ve kullanıcı farklılaşması. *İtüdergisi/a 9*(1), 167-180.

Fatih Belediyesi. (2021). Arsa Metrekare Birim Değeri Sorgulama. https://www.turkiye.gov.tr/fatih-belediyesi-arsa-rayic?submit

Fusco, G. (2006). Looking for Sustainable Urban Mobility through Bayesian Networks. *Cybergeo: European Journal of Geography, 292*. https://doi.org/10.4000/cybergeo.2777

Grant, J. (2007). Encouraging mixed use in practice. In G. J. Knaap, A. Haccou, K.L. Clifton, W. Frece, Incentives, Regulations and Plans: The Role of States and Nation-States in Smart Growth Planning (pp. 57–76). https://doi.org/10.4337/9781847204325.00011

Handy, S. L., & Niemeier, D. A. (1997). Measuring accessibility: An exploration of issues and alternatives. Environment and Planning A, 29(7), 1175–1194. https://doi.org/10.1068/a291175

HUGIN Expert, (2020). HUGIN GUI Manual. http://download.hugin.com/webdocs/manuals/8.9/downloads/545b768771d6db8e42d51ecafa712c7b/HUGINGUI.pdf

İstanbul Tarihi Alanları Alan Başkanlığı. (2018). İstanbul Tarihi Yarımada Yönetim Planı. http://www.alanbaskanligi.gov.tr/evrak/typ.pdf

Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. Random House.

Kang, C., Fan, D., & Jiao, H. (2020). Validating activity, time, and space diversity as essential components of urban vitality. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 1–18. https://doi.org/10.1177/2399808320919771

Kemperman, A. Timmermans, H. (2014). Green spaces in the direct living environment and social contacts of the aging population. Landscape and Urban Planning 129, 44-54. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.05.003

Kılıç, O., Başer, U., Coşkun, G. (2019). Factors explaining urban land value variability: a case study in Atakum District, Samsun-Turkey. https://doi.org/10.30682/nm1904f

Lee, S., Lee, K.C. (2012). Context-prediction performance by a dynamic Bayesian network: Emphasis on location prediction in ubiquitous decision support environment. *Expert Systems with Applications 39*, 4908–4914. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.10.026

McCloskey, J.T., Lilieholm, R.J., Boone, R., Reid, R., Sader, S., Nkedianye, D., Said, M., Worden, J. (2011). A participatory approach for modeling alternative future land use scenarios around Nairobi National Park using Bayesian Belief Networks. *WIT Transactions on Ecology and the Environment 144,* 43-57. WIT Press. https://doi.org/10.2495/ECO110041

Mirkatouli, J., Samadi, R., Hossain, A. (2018). Evaluating and analysis of socio-economic variables on land and housing prices in Mashhad, Iran. Sustainable Cities and Society 41, 695-705. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.022

Nakamura, H. (2019). Relationship among land price, entrepreneurship, the environment, economics, and social factors in the value assessment of Japanese cities. Journal of Cleaner Production 217, 144–152. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.201

Prato, T. (2005). Bayesian adaptive management of ecosystems. *Ecological Modeling 183 (2)*, 147-156. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.024

Rebane, G.; Pearl, J. (1987). The recovery of causal poly-trees from statistical data. Proceeding of 3rd Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, 222–228. https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1304/1304.2736.pdf

Simpson, E. (1949). Measurement of Diversity. *Nature 163*, 688. https://doi.org/10.1038/163688a0

Shannon, C. E. (1948) A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal 27*, 379–423 and 623–656. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Steck, H., Hofmann, R., and Tresp, V. (1999). *Concept for the PRONEL Learning Algorithm*, Siemens AG, Munich.

Şeker, M., Ersöz, Y., Kazan, H., Saldanlı, A., Ulutürk, S., Bektaş, H, Uzun, S. (2017). *Mahallem Istanbul*. İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi.

Tan, H. (2016). Neighborhood satisfaction: responses from residents of green townships in Malaysia. *International Journal of Housing Markets and Analysis,* 9(1), 137-155. http://dx.doi.org/10.1108/IJHMA-01-2015-0001

Turgut, S., Özden, P. (2005). Sürdürülebilir ve Turizm Eksenli Bir Kentsel Dönüşüm Hedefine Doğru: Eminönü Tarihi Kent Merkezi. *Planlama 2005*,(1).

Yanık, S. Aktas, E. Topcu, İ. Y. (2017). Traveler satisfaction in rapid rail systems: The case of Istanbul metro. *International Journal of Sustainable Transportation 11*(9), 642-658. https://doi.org/10.1080/15568318.2012.674627

Yue, Y., Zhuang, Y., Yeh, A. G. O., Xie, J. Y., Ma, C. L., & Li, Q. Q. (2016). Measurements of POI-based mixed use and their relationships with neighbourhood vibrancy. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(4), 658–675. https://doi.org/10.1080/13658816.2016.12

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Kent Gelişimi Senaryolarının Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri ile Hücresel Özdevinim ve Yapay Sinir Ağları Tabanlı Benzetimi

Nur Sipahioğlu [1]; Gülen Çağdaş[2]
[1]Yaşar Üniversitesi; [2]İstanbul Teknik Üniversitesi
[1]nur.sipahioglu@yasar.edu.tr; [2]cagdas@itu.edu.tr

## Özet

*Kentler göz ardı edilemeyecek bir hızda değişmekte ve gelişmektedir. Hem insanlar hem doğal etkiler bu hıza katkıda bulunmaktadır, bu da kentleri karmaşık ve anlaşılması zor hale getirmektedir. İndirgemeci insan aklının görmezden geldiği bu karmaşık ilişkiler kent planlamasında sorunlara sebep olmaktadır. Bu noktada kentteki karmaşıklığı anlaşılır kılacak modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kent planlamasında alınan kararların kentin geleceğine etkilerini anlamayı amaçlamaktadır. Bunun için Hücresel Özdevinim ve Yapay Sinir Ağları tabanlı bir benzetim modeli kullanılarak senaryo tabanlı etkenlerin kentsel gelişim üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak hedeflenmiştir. İzmir kenti stratejik kalkınma planından altı farklı kentsel senaryo türetilmiştir. Senaryo benzetimleri için gereken arazi kullanımı ve belirleyici faktör verileri Earth Explorer ve OpenStreetMap veri tabanları kullanılarak QGIS ile hazırlanmıştır. Hücresel Özdevinim Ve Yapay Sinir Ağlarına dayalı FLUS adlı bir benzetim modeli kullanılmıştır. Benzetim sonuçları FRAGSTATS kullanılarak ve görsel analizle karşılaştırılmıştır. FRAGSTATS ile hesaplanan fraktal boyutlar, seçilen modelin şehrin genel karmaşıklığını koruduğunu kanıtlamıştır. Görsel analiz, farklı senaryoların farklı yerel büyüme olasılıkları yarattığını göstermiştir. Sonuçlar, kent benzetim modellerinin karar destek araçları olarak kullanılmasının daha kapsayıcı bir planlama sürecine zemin hazırladığını göstermektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Kent gelişimi, hücresel özdevinim, yapay sinir ağları, coğrafi bilgi sistemi, karmaşıklık*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Sipahioğlu, N., & Çağdaş, G. (2021). Kent gelişimi senaryolarının Coğrafi Bilgi Sistemi verileri ile hücresel özdevinim ve yapay sinir ağları tabanlı benzetimi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf.303-314). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Cellular Automata and Artificial Neural Networks Based Simulation of Urban Development Scenarios Using Geographic Information System Data

Nur Sipahioğlu [1]; Gülen Çağdaş[2]
[1]Yaşar University; [2]Istanbul Technical University
[1]nur.sipahioglu@yasar.edu.tr; [2]cagdas@itu.edu.tr

## Abstract

*Cities are changing and evolving at a speed that can't be ignored. Both humans and natural effects contribute to this speed, making cities complex and difficult to understand. These complex relationships ignored by the reductionist human mind cause problems in urban planning. The need for models that help unfold urban complexity arises. This study aims to understand the effects of urban planning decisions on the future growth of the city by incorporating a simulation model based on cellular automata and artificial neural networks, which helps unfold the effects of scenario based factors driving the urban development on urban growth. Six different urban scenarios were derived from the strategic plan of the city of Izmir, Turkey. Land use and driving factor data required for scenario simulation were prepared with QGIS using Earth Explorer and OpenStreetMap databases. A simulation model named FLUS based on Cellular Automata and Artificial Neural Networks was used. The simulation results were compared using FRAGSTATS and by visual analysis. Fractal dimensions calculated with FRAGSTATS proved that the selected model preserved the overall complexity of the city. Visual analysis showed that different scenarios created different local growth possibilities. The results suggest that using urban simulation models as decision support tools opens up a more inclusive planning process.*

***Keywords:*** *Urban development, cellular automata, artificial neural networks, geographic information system, complexity*

***Citation in APA Style:*** Sipahioğlu, N., & Çağdaş, G. (2021). Cellular automata and artificial neural networks based simulation of urban development scenarios using Geographic Information system data. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp.303-314). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Kentler farklı etkenler ve ilişkiler ile şekillenip değişmektedir. Tüm bunlar karmaşık bir sistem içerisinde gerçekleşmekte, kentleri anlamak ise bu karmaşıklık sebebiyle zorlaşmaktadır. Özellikle insan beyninin indirgemeci eğilimi kentteki karmaşıklığı ortaya çıkarmak için yardımcı araçlar üretmenin ve kullanmanın gerekliliğini göstermektedir. Planlamanın kentlerin hızlı gelişimine yetişememesi, karmaşık ilişkileri göz ardı etmesi önde gelen kent düşünürleri ve araştırmacıları tarafından eleştirilmiştir. Jane Jacobs (1961) kentlerde yaşamanın zorluğu ve kentlerdeki yaşam kalitesinin düşmesinin nedenlerini planlamanın aşırılığına, özellikle etki alanlarının birbirleri ve kentle ilişkileri anlaşılmadan biçimsel olarak mükemmel kentler oluşturmak adına karmaşık kent yapısının basitleştirilmesine bağlamıştır. Christopher Alexander (1965) da bu görüşü destekler şekilde herhangi bir şeyin ögelerinin birbirlerinden koparılarak ölçüsüz sınıflandırılmasının o şeyin yıkımına sebep olacağını belirtmiştir. Kentlerdeki ögeler de kendilerine ait etki alanlarını oluşturmakta, birbirlerinin sınırları içerisine girip girift ilişkiler kurarak karmaşıklığa katkı sağlamaktadır. Bunlar göz önüne alınmadan planlama yapmak kentleri basit kılmakta, bu basitlik kentlerin gelişimi ve işleyişini olumsuz etkilemektedir (White ve Engelen, 1993). Bu düşüncelerin iyice altını çizdiği kentlerin karmaşıklığı önem kazanmış, insanın eksik kaldığı noktalarda matematiksel hesaplamaların bu karmaşıklığı koruyarak daha gerçekçi sonuçlar elde ettiği kabul görmeye başlamıştır (Batty ve Longley, 1994).

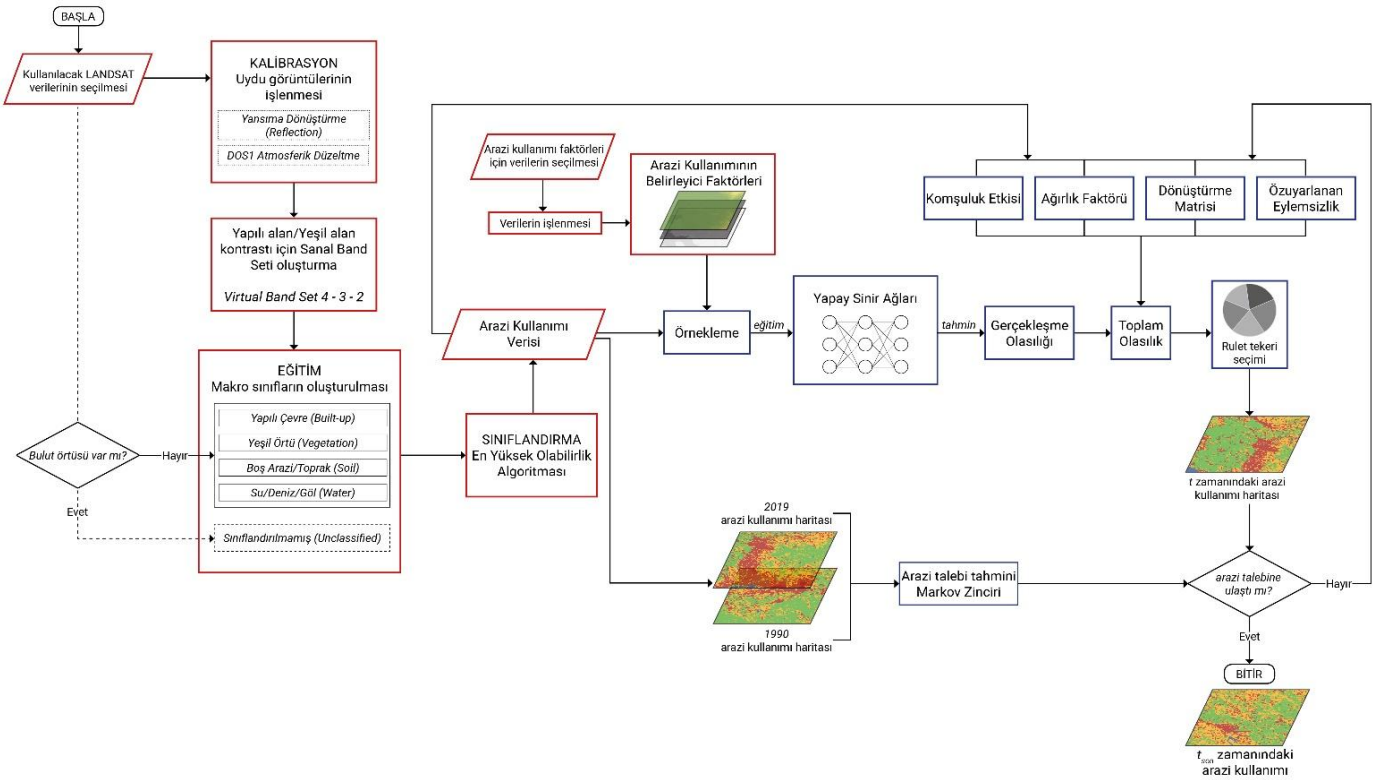
Bilim ve teknolojideki düşüncelerin değişmesi kentleri tek merkezli olarak ele alan düşüncenin terk edilmesini, çok merkezli kent anlayışının kabul görmesini sağlamıştır (Batty, 2007). Bilimdeki dönüm noktası ise Turing Makinesi olmuştur. Modern bilgisayarın temelini atan Turing Makinesi hesaplamaların hızlanması için ivmeyi artırmıştır, ona yakın dönemde de Karmaşık Sistem Teorisi gibi farklı düşünce biçimlerinin öne çıkmasıyla kentleri inceleyen disiplinler artmış, kentler ilk olarak hesaplanabilir sistemler olarak ele alınmış, daha sonra tahmini güç karmaşık sistemler olarak araştırılmaya başlamıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren kentler dinamik sistemler olarak değerlendirilmiş (Forrester, 1969; Batty, 1971), sonrasında kaos teorisinde yer bulan düzensizliğin kentlerde de olduğu savunularak bu düzensizlik fraktallarla açıklanmış (Batty ve Longley, 1994) ve böylece kent sistemlerinin doğrusal olmayan süreçlerden geçtiği anlayışını benimseyen Peter Allen yerel ölçekteki değişikliklerin kent gelişiminin sonsuz sayıdaki geleceklerinden sadece birinin gerçek etkisi olduğunu öne sürmüştür (Batty, 2007). Bu da planlamada aşağıdan yukarı gelişen sistemlerin önemini artırmıştır. Bu sayede kendisi de aşağıdan yukarı bir sistem olan Hücresel Özdevinim kent benzetimlerinde geniş yer almıştır. Kent modellerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinden faydalanmaya başlaması ile komşuluk ilişkilerinin büyük öneme sahip olduğu Hücresel Özdevinimin kullanımı artmıştır. Hücresel Özdevinimin gerçek yerlere uygulanması ise ilk olarak 1990'larda gerçekleşmiştir (Clarke ve diğ., 1997; White ve Engelen, 1997). Ancak bir noktadan sonra Hücresel Özdevinim tek başına yeterli olmamış, farklı yöntemlerle birleştirilerek genişletilmiştir (Aguejdad ve diğ., 2017; Soares ve diğ., 2002; Berberoğlu ve diğ., 2016; Feng ve Tong, 2019). Yapay Sinir Ağlarının sisteme eklenmesi (Li ve Yeh, 2002) bunlardan sadece bir tanesidir. Yapay Sinir Ağlarının öne çıkan özelliği herhangi bir ön tanım olmadan girdi verileri üzerinden öğrenerek ilerlemesi ve karmaşık ilişkilerden bilgi üretebilmesidir. Yapay Sinir Ağlarının gizli katmanında ne gerçekleştiğinin bilinmemesi ile bu sistem yukarıdan aşağıya olarak nitelendirilmektedir.

Bu çalışma kentlerin karmaşık yapısını temel alan benzetim modeliyle kent planlaması kararlarının kentin geleceğine etkilerini anlama amacıyla gerçekleştirilmiştir. Karmaşıklık ve kent anlayışının değişimi ile benzetim modellerinin bu doğrultuda nasıl etkilendiği paralel olarak incelenmiştir. Bunun sonucunda aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı ilişkileri temel alan yaklaşımlardan üretilen bir benzetim modeli kullanılmıştır. Uygulama alanı olarak daha önce benzer bir yöntemle incelenmemiş olan İzmir kenti seçilmiştir. İzmir'in stratejik planlarından altı farklı senaryo türetilmiştir. Benzetim yardımıyla kent gelişimi senaryolarıyla bu senaryoların belirleyici faktörlerinin değişimin kentin geleceğine etkisi gözlemlenmiştir. Senaryo benzetiminde gerekli olan belirleyici faktör ve arazi kullanımı verileri ise Coğrafi Bilgi Sistemi ile elde edilmiştir. Benzetim sonuçları karmaşıklık çerçevesinde görsel ve sayısal olarak analiz edilmiştir.

## 2. Yöntem ve Çalışma Alanı

Kentlerin hem planlanıyor olması hem de beliren davranışlar göstermesi kentleri incelemek için tek bir yaklaşımla sınırlı kalmamanın gerekliliğini vurgulamaktadır. Çalışmada Yapay Sinir Ağları ile planlamaya karşılık gelen yukarıdan aşağı ve Hücresel Özdevinim ile yerel ilişkilerden doğan belirmeyi karşılayan aşağıdan yukarı yaklaşımları bir araya getiren ücretsiz FLUS, Future Land Use Simulation (Liu ve diğ., 2017) modeli kullanılmıştır. İzmir kenti daha önce benzer bir

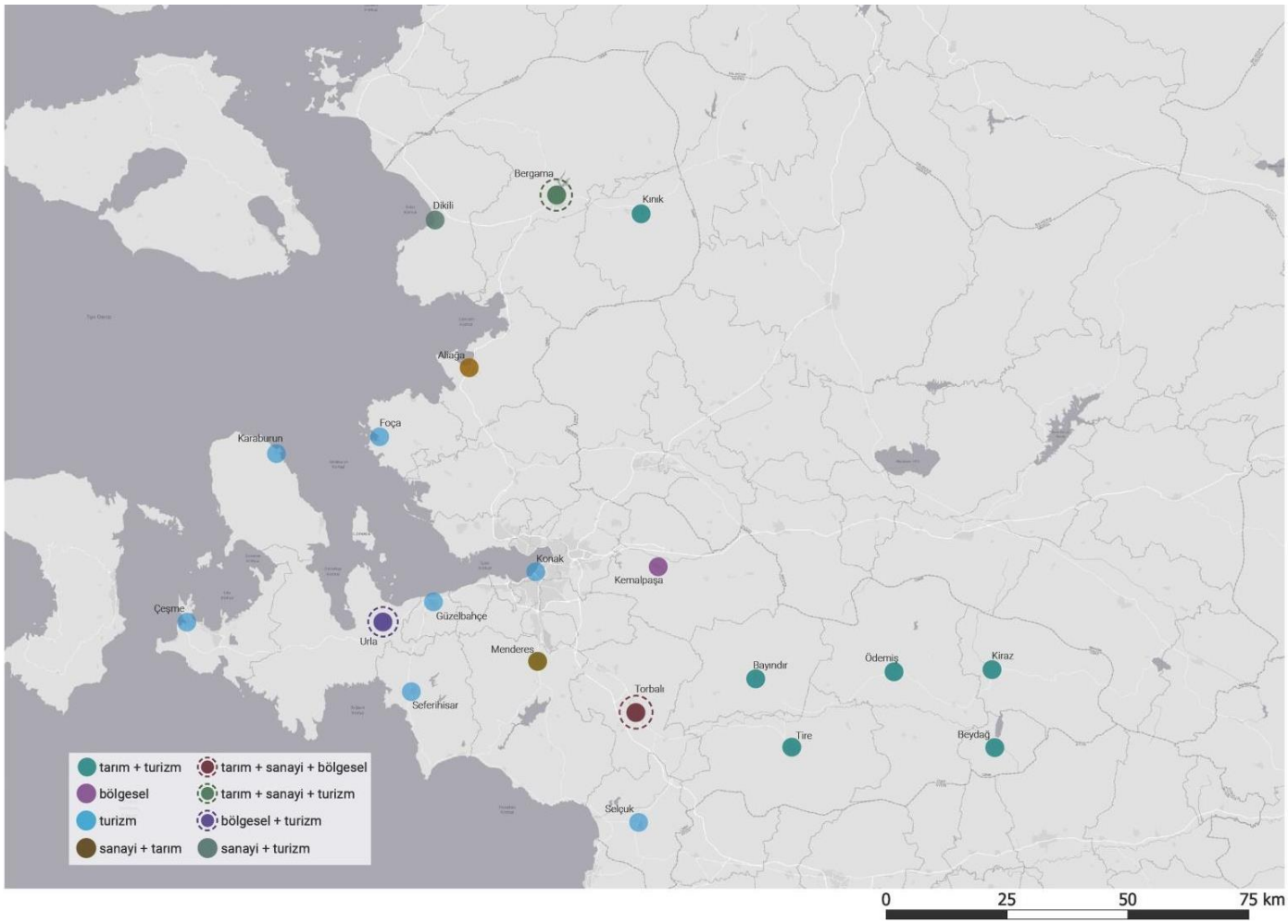
yöntemle çalışılmamış olması ve 2023 projeksiyonuna göre nüfus artış trendini koruyacağı (TÜİK, 2020) öngörüsüyle çalışma alanı olarak seçilmiştir. İzmir Kalkınma Ajansı'nın 2015 tarihli stratejik raporunun önerdiği gelişim odakları üzerinden oluşturulan altı farklı gelişim senaryosuna (temel, ulaşım, tarım, sanayi, turizm, bölgesel) ait belirleyici faktör verileri ve arazi kullanımı haritaları açık kaynaklı bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan QGIS ve onunla bütünleşik çalışabilen GRASS GIS ile hazırlanmıştır. Arazi kullanımı haritaları için Semi-Automatic Classification (Congedo, 2016) eklentisi kullanılmıştır. Belirleyici faktörlerin hazırlanması için Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) EarthExplorer ve OpenStreetMap Overpass API veri tabanlarına ulaşılmıştır. Tüm senaryolarda ortak olarak sayısal yükseklik modeli, eğim ve bakı verileri kullanılmıştır. Senaryolara göre gelişim odakları özelleştirilmiş, yol, liman, nehir, enerji, ilgi merkezleri gibi faktörler ayrıca eklenmiştir. FLUS'ta belirleyici faktörler Yapay Sinir Ağlarına girdi olarak verilerek arazi sınıflarının gerçekleşme olasılığı hesaplanmıştır. Hücresel Özdevinim ile bu olasılıklar hesaba katılarak senaryo benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemi ile verilerin hazırlanması ve benzetim modeli süreci **Şekil 1**'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Sonuçlar her bir odak noktası özelinde görsel olarak incelenmiş, arazi sınıflarının alan oranları, leke sayıları ve fraktal boyutları FRAGSTATS (McGarigal ve diğ., 2012) ile hesaplanmıştır.




**Şekil 1:** Benzetim modelinin akış şeması.

## 2.1. Kent Gelişimi Senaryoları

İzmir Kalkınma Ajansı 2012 ve 2013 yıllarında nüfus artışının neden olduğu ve olabileceği sorunları tespit etmek, analiz etmek ve kentin gelişimini tüm paydaşları dâhil ederek oluşturduğu kimliğine göre planlamak için bir dizi çalışma yürütmüştür. Bu çalışma sonucunda yayınlanan 2014-2023 İzmir Bölge Raporunda bölge planının üç hedef etrafında şekillendiği görülmektedir: Güçlü ekonomi, yüksek yaşam kalitesi ve güçlü toplum. Bu üç hedefin ortak noktası, hepsinin tarım, sanayi, turizm, sağlık ve girişimcilik gibi sektörlere odaklanmasıdır. Kentin mekânsal gelişimi de bu sektörlerin yoğunlaşma eğilimlerine göre planlanmıştır. Sektörel eğilimlere göre ilçeler tarım, sanayi, turizm ve bölgesel gelişim odağı olarak belirlenmiştir (**Şekil 2**). Belirlenen gelişim odaklarından hareketle altı farklı senaryo oluşturulmuştur: Temel senaryo, ulaşım senaryosu, tarım, sanayi, turizm senaryoları ve bölgesel senaryo. Kent benzetimi çalışmalarında senaryo odaklı ilerlemek, geleneksel düşünce kalıplarından çıkmayı sağlamaktadır. Tek bir noktadan ilerleyen ve kesin bir sonuç üreten benzetim modelleri kentin alternatif geleceklerini ortaya çıkarmaktansa olası tek bir geleceğini gösterdiği için kenti anlama açısından körlüğe sebep olmaktadır. Senaryo oluştururken farklı faktörler kullanmak gerekli olmakla birlikte senaryoların karşılaştırılmasını sağlamak için ortak değişkenlerin de kullanılması önem taşımaktadır (Mahmoud ve diğ., 2009).




**Şekil 2:** İlçelere göre gelişme odakları.

Altı senaryonun tamamında kullanılan ortak belirleyici faktörler arazi verileri ve korunan alanlardır. Arazi verileri, sayısal yükseklik modeli (SYM), eğim ve bakı gibi değişmeyen fiziksel faktörlerden oluşmaktadır. Tüm senaryolarda kullanılacak ortak veriler kararlaştırıldıktan sonra senaryo tabanlı benzetimlerde ilk adım temel senaryonun belirlenmesidir. Temel senaryo, kent gelişimi hakkında herhangi bir yorum yapmadan mevcut fiziksel ve ulaşım verilerini kullanmaktadır. Modelleyenin herhangi ayrıştırıcı belirleyici faktör olmadan kentsel gelişimin nasıl ilerleyeceğini görmesine yardımcı olmaktadır. Temel senaryonun belirleyici faktörleri ana, birincil ve ikincil yollar, limanlar, bakı, eğim ve sayısal yükseklik modelidir. Ulaşım senaryosu, farklı gelişim odakları göz ardı edilerek mevcut ve planlanan yolların gelişmeye daha fazla etki edeceği varsayımı altında belirlenmiştir. Ulaşım senaryosunda üçüncül, planlanmış ve yapım aşamasında olan yollar temel senaryodaki belirleyici faktörlere eklenmiştir. Tarım, sanayi, turizm senaryoları ve bölgesel senaryo İZKA tarafından hazırlanan rapordaki gelişim odaklarına göre kurgulanmıştır. Tarım senaryosu için veri setine sulak alanlar, yani nehirler ve akarsular, mevcut tarım alanları ve seralar dâhil edilmiştir. Sanayi senaryosunda sanayi bölgelerinin kümeleşme eğilimi göz önüne alınarak veri setinde organize sanayi bölgeleri ve güç kaynaklarına erişim dikkate alınmıştır. Tarım alanlarının liman ile doğrudan ilişkisi olmadığı ve sanayi için İzmir özelinde yük gemileri tek bir limanı kullandığı için limanlar her iki durumda da belirleyici faktör olarak kabul edilmemiştir. Turizm senaryosundaki fark, limanların ve turistik ilgi merkezlerinin dâhil edilmesidir. İzmir, liman kenti olması nedeniyle deniz turizmi ön planda tutulmaktadır ve bölgesel senaryo bu düşünceyle üretilmiştir.

### 2.2. Arazi Kullanımı Sınıflandırması

Benzetim çalışmaları özellikle çevre bilimleri ve coğrafyanın konusu olduğundan arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimine dayanmaktadır. İnsanlar ve eylemleri araziyi etkilemektedir ve bu da küresel ölçekte çevresel değişiklikleri şekillendirmektedir; bu nedenle arazi kullanımı değişikliğinin işleyişini ve nedenlerini anlamak, çevresel değişiklikleri anlamak açısından önemlidir (Turner ve diğ., 1994). İzmir'in arazi kullanım verilerinin üretilebilmesi adına ilk olarak

uzaktan algılama görüntüleri seçilmiştir. Uzaktan algılama verilerine QGIS'in Semi-Automatic Classification (SCP) eklentisi aracılığıyla ulaşılmıştır. SCP, uzaktan algılama görüntülerinin denetimli veya denetimsiz yarı otomatik sınıflandırmasını hesaplayan ücretsiz bir eklentidir. Analiz alanının koordinatları tanımlanarak ilgili görüntülerin indirilmesini, ön ve son işlemler ve raster hesaplamalar yapılmasını mümkün kılmaktadır. SCP üzerinden İzmir için en erken 1990 yılına ait uzaktan algılama görüntülerine ulaşılabilmiştir. 1990 ve 2019 arazi kullanım sınıflandırmasının kalitesini korumak için %0 bulut örtüsüne sahip görüntüler seçilmiştir. Görüntüler kalibrasyondan geçirildikten sonra arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırması Maksimum Olabilirlik algoritması ile üretilmiştir. Bu süreç, arazi kullanım sınıflarının oluşturulmasını ve yeterli miktarda eğitim verisinin seçilmesini gerektirmektedir. Toprak ve yapılı alan, spektral mesafeleri nispeten yakın olduğu için bitki örtüsü ve sudan daha fazla veriye ihtiyaç duymaktadır.

### 2.3. Belirleyici Faktörlerin Hazırlanması

Kent gelişiminin nasıl ve ne yönde gerçekleşeceğini etkileyen veriler belirleyici faktör olarak adlandırılmaktadır. Kararlaştırılan senaryolar kapsamında kullanılacak belirleyici faktörler farklı veritabanlarından elde edilmiştir. Tüm senaryolarda kullanılan sayısal yükseklik modeli (SYM), çeşitli arazi verilerinin elde edilmesine yardımcı olmaktadır. SYM'ye Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS), Earth Explorer veritabanından erişilmiştir. Eğim ve bakı verileri, QGIS'de SYM'den üretilmiştir. Overpass API, konum tabanlı çeşitli özelliklere sahip OpenStreetMap (OSM) veritabanını kullanan çevrimiçi bir arayüzdür. Mevcut ve planlanan yollar, limanlar, nehirler, enerji santralleri, seralar ve turistik ilgi merkezlerinin tümüne Overpass API üzerinden erişilmiştir. Ancak, Overpass API, veri tabanında yer almayan bazı noktalarda yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma özelinde, korunan alanlar için API'den elde edilen sonuçlar yeterli olmamıştır. Eksik bilgi, Tarım ve Orman Bakanlığı GeoData veri tabanından ve İzmir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nün verdiği bilgilerde belirtilen sekiz tabiat parkı ve iki yaban hayatı alanı ile tamamlanmıştır. Ayrıca, Overpass API'sinden alınan tarihi kalıntılar, arkeolojik alanlar, maden alanları ve askeri araziler, herhangi bir hesaplama yapılmayan korunan alanlar olarak belirlenmiştir. Yakın olan şeylerin birbiriyle daha çok ilişkili olduğunu öne süren Tobler kanunu temel alınarak insan, doğa ve ulaşım faktörlerini oluşturan tüm veriler Öklidyen uzaklık hesabı ile oluşturulmuştur. Öklidyen uzaklık, iki nokta arasındaki doğrusal mesafeyi ifade etmektedir. CBS'de, bir hücrenin bir kaynakla doğrusal bir mesafedeki ilişkisi olarak tercüme edilmektedir. Öklidyen uzaklık hesaplamaları QGIS ile entegre edilmiş Grass GIS üzerinden yapılmıştır.

## 3. Benzetim Modeli

İki farklı yıla ait arazi kullanım verileri ve senaryo verileri aynı çözünürlükte yeniden örneklenerek benzetim modeli için hazırlanmıştır. Tüm veri setleri 30x30 $m^2$ çözünürlükte ve X:6868, Y:5661 hücre sayısına sahiptir. Çalışma, bir benzetim modeli ile bir kentin gelişim senaryolarına göre nasıl büyüyeceğini ve bu gelişimin sadece senaryolardaki veri setlerini değiştirerek nasıl farklılaştığını görmeyi amaçladığından senaryolara göre arazi kullanım talebinin hesaplanması kapsam dışı tutulmuştur. Benzetim modelinin yapay sinir ağları (YSA) modülünde belirleyici faktörler ve arazi kullanım verileri ile her bir arazi sınıfı için gerçekleşme olasılıkları hesaplanmıştır. YSA'nın gizli katmanındaki nöron sayısı, benzetimi yapılacak senaryonun belirleyici faktör sayısına göre belirlenmektedir. Gizli katmandaki nöron sayısı, girdi sayısının iki katının bir ile toplamı (2x+1) olmalıdır. Ancak YSA üzerinde yapılan çalışmalar, girdi sayısının iki katının üçte birinin (2x/3) verimli ve hızlı sonuç verdiğini göstermektedir. Dikkate alınması gereken diğer nokta ise nöron sayısını girdi nöronlarının sayısının iki katından az tutmaktır. Gizli katman nöron sayısı, girdi ve çıktı katmanlarındaki nöron sayıları arasında olmalıdır. Buna göre her bir senaryo için belirleyici faktörler ve gizli katman nöron sayıları **Tablo 1**'de verilmiştir.

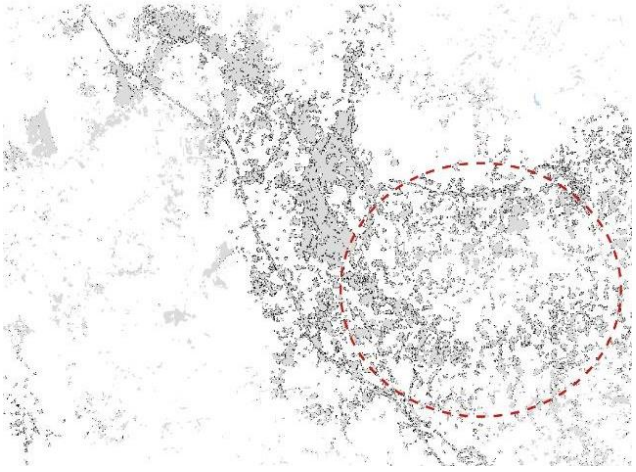
Benzetim ayarlarında komşuluk etkisi, her bir arazi sınıfının komşuluk ağırlığı, dönüşüm matrisi ve Markov Zinciri'nden elde edilen arazi kullanım talep sayıları belirtilmelidir. Ön denemeler, 3x3 Moore komşuluğunun özellikle İzmir kenti için daha uygun sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu nedenle tüm senaryoların 3x3 komşuluk etkisine göre benzetimi yapılmıştır. Belirleyici faktörlerin kent üzerindeki etkisini senaryo bazında görmek amaçlandığından komşuluk ağırlıkları, dönüşüm matrisi ve arazi kullanım talep sayıları tüm senaryolar için aynı tutulmuştur. Komşuluk ağırlıkları sezgisel olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1:** Senaryolara göre belirleyici faktörler ve gizli katman nöron sayıları.

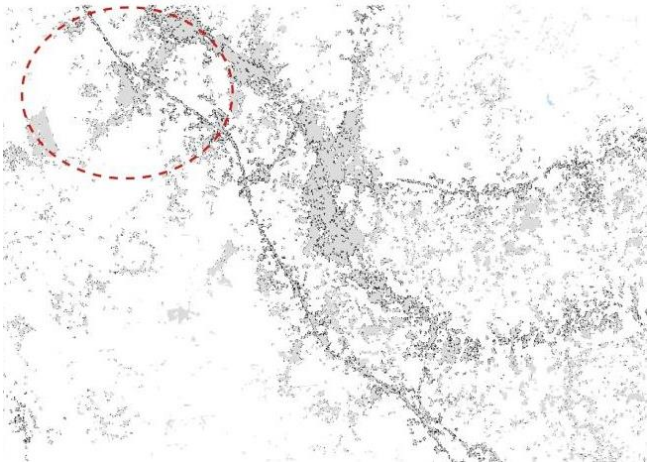
| Senaryo | Belirleyici Faktör 1 | Belirleyici Faktör 2 | Belirleyici Faktör 3 | Belirleyici Faktör 4 | Belirleyici Faktör 5 | Belirleyici Faktör 6 | Belirleyici Faktör 7 | Gizli katman nöron sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temel | SYM | Eğim | Bakı | Yollar | Limanlar | | | 5 |
| Ulaşım | | | | Üçüncül yollar dahil tüm yollar | Limanlar | Planlanan yollar | | 5 |
| Tarım | | | | Yollar | Seralar | Tarım gelişim noktaları | Sulak alanlar | 6 |
| Sanayi | | | | | Organize Sanayi Bölgeleri | Sanayi gelişim noktaları | Enerji kaynakları | 6 |
| Turizm | | | | | Limanlar | Turizm gelişim odakları | İlgi merkezleri | 6 |
| Bölgesel | | | | | Limanlar | Bölgesel gelişim odakları | | 5 |

### 3.1. Benzetim Modelinin Sonuçları

**Şekil 3**, **Şekil 4** ve **Şekil 5**'te sırasıyla tarım, sanayi ve bölgesel odağın birleştiği Torbalı ilçesinin benzetim sonuçları verilmiştir. Tarım senaryosunda güneye, yani seralara doğru büyüme izlenmektedir. Sanayi senaryosu kuzeye, sanayi bölgelerine gelişme gösterirken bölgesel senaryo yapılı alan çevresinde eşit miktarda gelişim olmuştur.



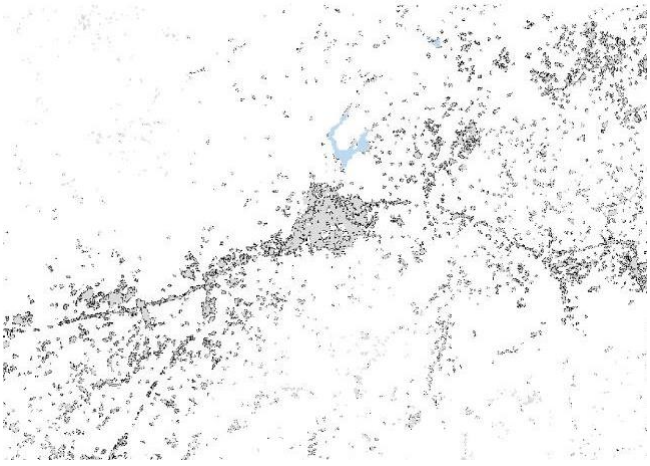
**Şekil 3:** Tarım senaryosu, Torbalı.



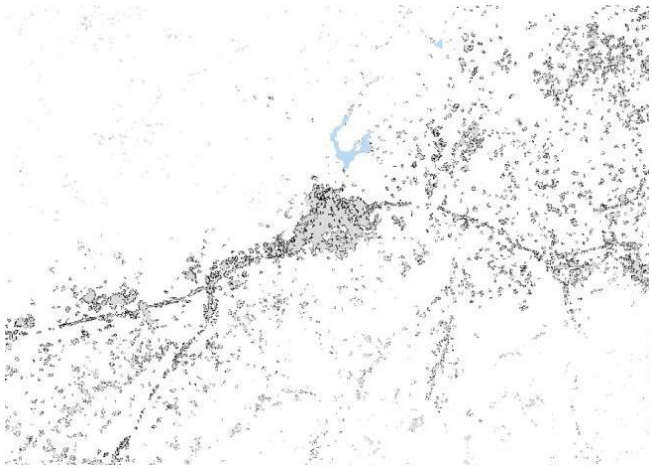
**Şekil 4:** Sanayi senaryosu, Torbalı.

**Şekil 5:** Bölgesel senaryo, Torbalı.

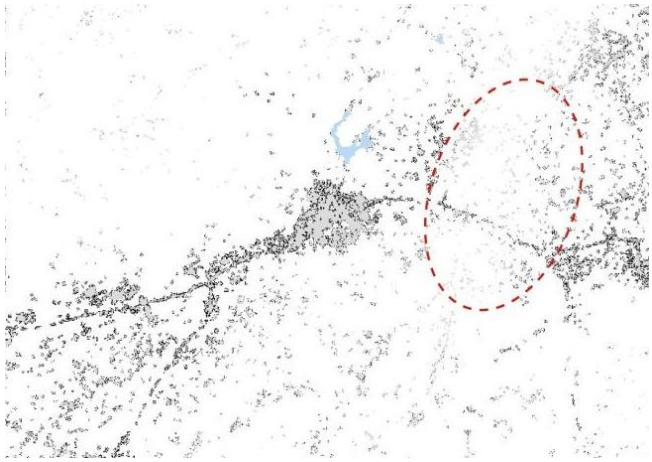
Bergama ilçesi, üç farklı sektörün, tarım, sanayi ve turizmin bir araya geldiği gelişim noktasıdır. **Şekil 6**'da tarım ve **Şekil 7**'de turizm benzer büyüme modelleri göstermektedir. **Şekil 8**'de sanayi senaryosunda gelişme göstermeyen bir bölge göze çarpmaktadır. Belirleyici faktörlere baktığımızda bunun arkasında belirgin bir neden öne çıkmamaktadır. Bu durum kentsel büyümenin simülasyonu olan hücresel özdevinim modelinin rastgeleliğine örnek olarak verilebilmektedir.



**Şekil 6:** Tarım senaryosu, Bergama.

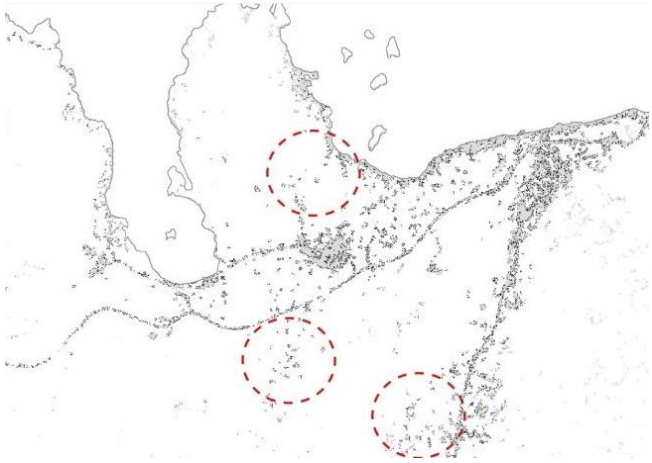


**Şekil 7:** Bölgesel senaryo, Bergama.

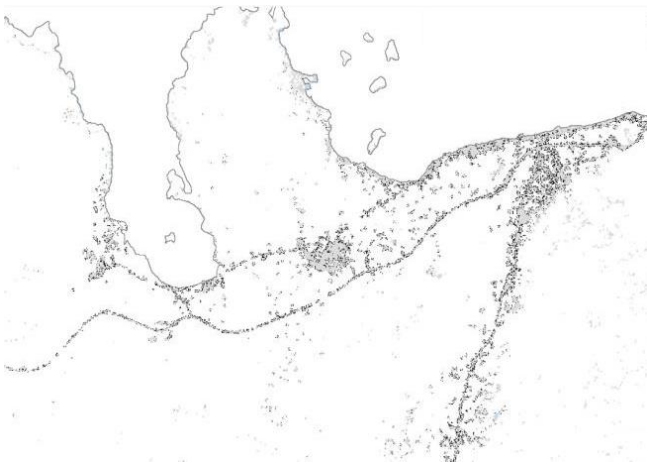


**Şekil 8:** Sanayi senaryosu, Bergama.

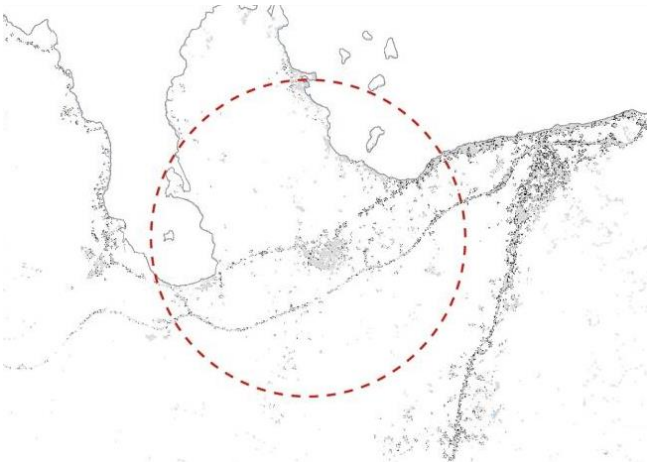
Urla, gelişim odağı açısından örnek olarak verilen önceki noktalardan farklı karakterdedir. Urla için odak, turizm ve bölgesel kalkınmadır. Bu sebeple bölgesel senaryoda **(Şekil 9)** belirgin bir gelişim söz konusudur. **Şekil 10**'daki turizm senaryosunda ilçenin bir turizm noktası olarak da önemli ölçüde geliştiği görülmektedir. En az gelişme sanayi senaryosunda **(Şekil 11)** görülmektedir. İlçe, sanayi odaklı gelişim noktalarından ve sanayi senaryosu için belirleyici faktörlerin çoğundan uzak olduğundan bu kabul edilebilir bir sonuçtur.



**Şekil 9:** Bölgesel senaryo, Urla.



**Şekil 10:** Turizm senaryosu, Urla.



**Şekil 11:** Sanayi senaryosu, Urla.

### 3.2. Benzetim Sonuçlarının Nicel Analizi

Sonuçlar, arazi sınıfı ölçeğinde nicel olarak analiz edilmiştir. Nicel analiz için mekansal bir ölçüm aracı olan FRAGSTATS (McGarigal ve diğ., 2012) kullanılmıştır. Öncelikle peyzajı ölçmek için kullanılan FRAGSTATS, kentsel gelişim çalışmalarında da sıklıkla kullanılmaktadır (Reis ve diğ., 2016). Benzetim modelleri için geçerlilik testleri genellikle hücrelerin konumunun doğruluğu üzerinde gerçekleştirilir. Ancak böyle bir yaklaşımda benzetim sonuçları gerçek büyümeden çok farklıdır ve hücre dağılımı açısından geçerlilik testi sonuçları yüksek çıkmaktadır (Pickard ve Meentemeyer, 2019). Bu çalışma aynı yıl için farklı senaryolar altında kentsel büyüme olasılıklarına odaklandığından geleneksel geçerlilik testlerinden farklı bir yöntem kullanılması gerekmiştir. Tercih edilen yöntem, kentsel planlama kararları açısından benzerlikleri görmek ve benzetim modelinin tutarlılığını test etmek için benzetim sonuçlarının mekansal örüntü ve karmaşıklığını karşılaştırmaktır. **Tablo 2**'de verilen her bir arazi sınıfının leke sayısı kentsel parçalanmayı temsil etmektedir. Buna göre 1990-2019 yılları arasındaki gelişme, arazi sınıfları içindeki bölünmeyi artırmıştır. Yapılı alanda parçalanma azalmış, bitki örtüsü ve toprak sınıflarında artmıştır. Bunun nedenleri olarak hücresel özdevinim (komşuluk etkisi ve ağırlık değerleri) ve rekabet mekanizması verilebilir. Farklı senaryolarda ani artış veya azalmaların olmaması bu çıkarımı desteklemektedir.

**Tablo 2:** Arazi sınıflarının leke sayıları.

| Yıl-Senaryo | Su | Yapılı alan | Bitki örtüsü | Toprak |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1263 | 16428 | 24556 | 22680 |
| 2019 | 1379 | 41492 | 32919 | 33642 |
| Temel | 1379 | 34893 | 37701 | 44037 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ulaşım | 1379 | 34772 | 37806 | 44437 |
| Tarım | 1379 | 34732 | 37941 | 44918 |
| Sanayi | 1379 | 34930 | 37556 | 43781 |
| Turizm | 1379 | 34584 | 37751 | 44660 |
| Bölgesel | 1379 | 34544 | 38019 | 45499 |

Çalışmada ayrıca, kentsel analizlerde kent dokusunun düzensizliğini açıklamada karmaşıklığın bir ölçüsü olarak önem taşıyan fraktal boyut hesabı yapılmıştır. Fraktal değer 1≤x≤2 aralığında yer alır ve ne kadar büyükse ölçülen biçim o kadar karmaşıktır. **Tablo 3**'te görüleceği gibi 1990'dan 2019'a kadar olan kentsel gelişimlerde, tüm sınıfların fraktal değerleri azalmıştır. Benzetim sonuçlarında yapılı alanın fraktal değeri artarken (sabit tutulan su sınıfı hariç) geri kalan sınıflar azalmıştır. Senaryo tabanlı benzetim sonuçları sayısal olarak birbirine çok yakındır. Fraktal değer, senaryolarda belirleyici faktörler değişse de kent ölçeğinde değişmemiştir.

**Tablo 3:** Arazi sınıflarının alan-çevre fraktal boyutu.

| Yıl-Senaryo | Su | Yapılı alan | Bitki örtüsü | Toprak |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1,4951 | 1,6114 | 1,5534 | 1,5734 |
| 2019 | 1,4401 | 1,5363 | 1,4987 | 1,5514 |
| Temel | 1,4401 | 1,5654 | 1,4625 | 1,4789 |
| Ulaşım | 1,4401 | 1,5615 | 1,4605 | 1,4764 |
| Tarım | 1,4401 | 1,5618 | 1,4612 | 1,4778 |
| Sanayi | 1,4401 | 1,5620 | 1,4626 | 1,4781 |
| Turizm | 1,4401 | 1,5653 | 1,4622 | 1,4784 |
| Bölgesel | 1,4401 | 1,5578 | 1,4603 | 1,4770 |

## 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Senaryo benzetimleri sonucunda belirleyici faktörlerin gelişime etkisi açıkça görülmüştür. Özellikle yerel ölçekteki değişim her senaryoda farklılaşmıştır. Senaryo bazında bulgular şu şekilde özetlenmektedir:

1. Temel ve ulaşım senaryolarında yolların etkisi görülmektedir.
2. Tarım senaryosunda seralara yakınlık etkili olmuştur.
3. Sanayi senaryosunda modelde kullanılan yaklaşımlardan ötürü beklenti dışı sonuçlar elde edilmiştir.
4. Turizm ve bölge senaryolarında limanların etkisi öne çıkmaktadır.
5. Bölgesel senaryoda belirleyici faktörlerin kent merkezinde yoğunlaşmasından ötürü idari sınırlara doğru gelişim izlenmemiştir.

Genelde kentteki gelişim odaklarında (diğer bir deyişle etki alanları) faktörlere bağlı olarak değişim ya da büyüme izlenmiştir. Senaryolarda kullanılan ortak verilerin dışında kalan faktörler senaryolardaki farklılıkları yorumlamayı sağlamaktadır. Planlama kararları ile modelden elde edilen sonuçlar arasında mantıklı ilişkiler kurulabilmesi hesaplamalı modellerin planlamaya yardımcı olabileceğini bir kez daha kanıtlamaktadır. Fraktal değerlere baktığımızda kent ölçeğindeki karmaşıklık belirleyici faktörler değişse de yakın sonuçlar vermiştir, bu da kullanılan modelin kentin özgün karmaşıklığını koruduğunu göstermektedir. Ancak yerel ölçekte gözlemlenen farklılıklar, ölçeğin karmaşıklığın bir ölçüsü olarak önemi olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonraki çalışmalarda karmaşıklığın derinlemesine incelenmesi adına daha farklı senaryo ve belirleyici faktör eşleşmeleri farklı ölçeklerde denenecek, bu çalışmada kapsam dışı bırakılmış olan arazi kullanım talebinin senaryoya göre

hesaplanması üzerine gidilecektir. Çalışmanın kısıtlarından biri karar vericiler ve planlamacıların uygulamaya dâhil edilmemiş olması, bu nedenle senaryoların gerçeğe kıyasla basit kalmasıdır. Ancak elde edilen bulgular, gerçek uygulamaların benzetim modelleriyle tamamlanmasının kaçınılmazlığını ortaya koymaktadır. Karar süreci benzetim aracılığıyla hesaplama ve planlama birlikteliğiyle bilgilendirilecek ve desteklenecektir.

## KAYNAKLAR


Aguejdad, R., Houet, T. & Hubert-Moy, L. (2017). Spatial Validation of Land Use Change Models Using Multiple Assessment Techniques: A Case Study of Transition Potential Models. *Environmental Modeling & Assessment*, 22(6), 591–606.

Alexander, C. (1965). A city is not a tree. *Architectural Forum*, 122(1), 58-62.

Batty, M. (1971). Modelling cities as dynamic systems. *Nature*, 231(5303), 425–428.

Batty, M. (2007). Fifty Years of Urban Modeling: Macro-Statics to Micro-Dynamics. *The Dynamics of Complex Urban Systems*, 1–20.

Batty, M., & Longley, P. A. (1994). *Fractal cities: a geometry of form and function*. London: Academic Press.

Berberoğlu, S., Akin, A. & Clarke, K. C. (2016). Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for adana, Turkey: A comparative approach. *Landscape and Urban Planning*, 153, pp. 11–27.

Clarke, K. C., Hoppen, S. and Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 247–261.

Congedo, L. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation.

Feng, Y. & Tong, X. (2019). A new cellular automata framework of urban growth modeling by incorporating statistical and heuristic methods. *International Journal of Geographical Information Science*. Taylor & Francis, 00(00), 1–24.

Forrester, J.W. (1969). Urban dynamics. Waltham: Pegasus Communications Inc.

Izmir Kalkınma Ajansı. (2015). Izmir Bölge Planı 2014-2023. Izmir.

Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. New York: Vintage

Li, X. & Yeh, A. G. O. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(4), 323–343.

Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Li, S., Wang, S., & Pei, F. (2017). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*. Elsevier, 168(September), 94–116.

Mahmoud M., Liu Y., Hartmann H., Stewart S., Wagener T., Semmens D., Stewart R., Gupta H., Dominguez D., Dominguez F., Hulse D., Letcher R., Rashleigh B., Smith C., Street R., Ticehurst J., Twery M., van Delden H., Waldick R., White, D., Winter L. (2009). A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making. *Environmental Modelling and Software*, 24(7), 798–808.

McGarigal, K., S.A., Cushman, & E., Ene. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Erişim Adresi: http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

Pickard, B. R. & Meentemeyer, R. K. (2019). Validating land change models based on configuration disagreement. *Computers, Environment and Urban Systems*. Elsevier, 77(July), p. 101366.

Reis, J. P., Silva, E. A. & Pinho, P. (2016). Spatial metrics to study urban patterns in growing and shrinking cities. *Urban Geography*, 37(2), 246–271.

Soares, B. S., Cerqueira, G. C. & Pennachin, C. L. (2002). DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154, 217–235.

Turner, B. L. I. I., Meyer, W. B. & Skole, D. L. (1994). Global land-use/land-cover change: Towards an integrated study. *Ambio*, 23(1), 91–95.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2020). "İllerin Aldığı, Verdiği Göç, Net Göç ve Net Göç Hızı, Genel Nüfus Sayımları - ADNKS" Erişim Adresi: http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1595

White, R., & Engelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, 25(8), 1175-1199.

White, R., & Engelen, G. (1997). Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and design*, 24(2), 235

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Dayanıklılığı Ölçmek: Ölçülemeyen ile Uğraşmak

Deniz Oskay ; Ethem Gürer
İstanbul Teknik Üniversitesi
oskayd@itu.edu.tr; egurer@itu.edu.tr

## Özet

*Geniş bir disiplinler kümesinde dayanıklılık, genel olarak bir sistemin yıkıcı olaylara yanıt verme, uyum sağlama ve bunlardan arınma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık üzerine yapılan çalışmaların önemi, karmaşık sistemler üzerine artan literatür çalışmaları ile daha da artmaktadır. Öte yandan, dayanıklılık kavramının çeşitli disiplinlerde farklı tanımları bulunmaktadır. Bu tanımlarda ortak olarak görülen unsurlar, beklenmedik değişikliklere ve yıkıcı olaylara karşı tepki verme ve bu durumlara uyum sağlama yeteneğidir. Birçok disiplinde dayanıklılık kavramını geliştirmek için yöntemler tanımlanmakta ve geliştirilmektedir. Öte yandan, dayanıklılığın ölçümünü ölçüm biliminin anlayışları ile birlikte ele alan herhangi bir araştırmaya rastlanmamaktadır. Bu araştırma, ölçüm biliminin anlayışlarından faydalanarak dayanıklılığın ölçümüne kapsamlı bir yaklaşım sağlamaya çalışmaktadır. Çünkü her iki alanda da, entegre bir bilgi birikimi sağlamak ve farklı anlayışlar geliştirmek için çok disiplinli bir çabaya duyulan ihtiyacı netleştiren ortak endişeler vardır. Bu araştırma, ölçüm teorisindeki iki temel kategorizasyon sistemi olarak kabul edilebilecek olan temsili ölçüm ve pragmatik ölçüm gibi ölçüm biliminin terminolojilerini kullanarak dayanıklılığın ölçüm anlayışını genişletmeyi amaçlamaktadır. Dayanıklılık kavramının tanımı kullanıma bağlı olarak yeniden kurulduğundan ve kurulabileceğinden, “hangi kavram ölçülmektedir?” sorusunun netleştirilmesi amacı önem kazanmaktadır. Bu nedenle Galileo'nun ‘ölçülebilir olanı ölçmek, ölçülemeyeni ölçülebilir yapmak’ anlayışından yola çıkarak, dayanıklılık kavramının ölçülebilir kılınması amacıyla, kavramın göstergelerini açıklığa kavuşturacak bir çerçeve önerilmektedir. Araştırmanın dayanıklılığı ölçülebilir kılma çabasında, literatür taramasına dayalı olarak, dayanıklılığı ölçmek için göz önünde bulundurulacak göstergeler iyileşme süresi ve iyileşme düzeyi ve hassasiyet ve uyumsal kapasite olarak tanımlanmıştır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Dayanıklılık mühendisliği, dayanıklılık ölçümü, ölçüm bilimi.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Oskay, D., & Gürer, E. (2021). Dayanıklılığı ölçmek: Ölçülemeyen ile uğraşmak. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf.315-324). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Measuring Resilience: Dealing with the “Unmeasurable”

Deniz Oskay ; Ethem Gürer
Istanbul Technical University
oskayd@itu.edu.tr; egurer@itu.edu.tr

## Abstract

*Across a broad set of disciplines, resilience has been generally defined as the ability of a system to respond to, adapt, and recover from some disruptive event.. Research on resilience has become one of the most crucial areas due to the growing body of literature on complex systems. The concept of resilience has different definitions in various disciplines. What are common in these definitions are the system’s responsiveness to unexpected changes and disturbances, and the ability to adapt to such changes. Even though there is a growing amount of scholarly literature defining and developing methodologies to improve the concept of resilience in numerous disciplines in their peculiarity, there cannot be found any research that attempts to take assistance from the measurement science for the measurement of resilience. This research attempts to provide a comprehensive approach to the measurement of resilience following measurement science since there are common concerns in both fields which clarifies the need for a multidisciplinary effort to integrate related areas to provide an integrated body of knowledge, and to bring different kinds of knowledge together to focus on the complementarity nature of the study. This research proposes the use of terminologies from measurement science, which are, representational measurement and pragmatic measurement, which can be regarded as two fundamental categorization systems in measurement theory. In the process of measuring resilience, the aim of clarifying the question of ‘which concept is being measured?’ becomes crucial, since the definitions of resilience may vary depending on the use. Therefore, by following the motto of Galileo, that is, ‘measure what is measurable, and make measurable what is not measurable’, the aim of the research is to conclude with a framework by clarifying the indicators of resilience measurement in order to make ‘resilience’ measurable. In the quantification effort of the research, based on the literature review, indicators to measure resilience are defined as recovery time and level of recovery, and vulnerability and adaptive capacity.*

***Keywords:*** *resilience engineering, measuring resilience, measurement science.*

**Citation in APA Style:** Oskay, D., & Gürer, E. (2021). Measuring resilience: Dealing with the “unmeasurable”. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp.315-324). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. The Complexity of Resilience

Much of the mainstream discourse revolves on the concept of resilience, which is being used to frame discussions about climate change, social protection, sustainable development, and humanitarian responses to a myriad of disruptive events. This growing interest presents a chance to reconsider and deploy effective intervention strategies. Besides, the majority of proposed tools and methods for measuring resilience in the literature reflect the wide range of disciplines that have adopted the term (Bene, 2013). ‘Resilience’ as a term originated from the field of ecology as the ability of ecosystems to absorb and respond to disturbances (Holling, 1973), and currently utilized in a wide range of multidisciplinary research that mostly covers human-nature relations. Besides, research on resilience has become one of the most crucial areas due to the growing body of literature on complex systems. The concept of resilience has different definitions in various disciplines. For example, in materials science, the resilience of a material is defined through the amount of energy that the material can absorb and still return to its original state. Or in computer networks, resilience has been defined as the capacity to deliver and sustain an adequate level of service in the face of defects and impediments to regular operations. The word ‘resilience’ comes from the Latin verb ‘resililire’, which means ‘to bounce back’ or ‘to recoil’. According to the definition of Merriam-Webster dictionary, resilience is “the capability of a strained body to recover its size and shape after deformation caused especially by compressive stress” or “an ability to recover from or adjust easily to misfortune or change”. While the first definition of the dictionary refers to the term from the point of view of materials science, the latter describes it in its relation to the social sciences. What is common in these definitions is the responsiveness to unexpected changes and disturbances, and the ability to adapt to such changes. Even though methods to measure resilience and the parameters differ from system to system, in other words, they are domain specific, the concept of resilience provides a level of general metrics that can be used across fields, that includes:

- The amount of change that the system can withstand and still persist within the same domain of attraction,
- The self-organization capability of the system,
- Adaptation and learning capacity of the system (Carpenter et al., 2001).

Woods (2015) categorizes the main uses of the term ‘resilience’ into four categories, that are:

- Resilience as rebound: how a system rebounds after the disruptive event and return to its initial state,
- Resilience as robustness: how a system is able to manage with a disruptive event,
- Resilience as graceful extensibility: how a system can increase its performance and may obtain the extra adaptive capacity
- Resilience as sustained adaptability: how a system adapts to future disruptive events.

On the other hand, Grafton et al. (2019) state that resilience can be related to what is called ‘three Rs’, which are, resistance, recovery and robustness. Resistance refers to the capacity to sustain functionality when confronted with a disruptive event, whereas recovery is regarded as the process of returning to the initial state after a disruptive event, and lack of robustness can be defined as when functioning is permanently diminished after the disruptive event. Therefore, what is crucial in the measurement of resilience is, it depends on how it is defined. For example, Gunderson and Holling (2002) define ‘resilience’ as a system’s ability to withstand disturbance while maintaining its functionality. By following this definition, resilience can be measured with the magnitude of disturbance that a system may withstand and still function. On the other hand, according to Pimm (1984), the ability of the system to withstand disturbance, and the rate at which the system can return to equilibrium following the disturbance are the appropriate measures for resilience. It can be seen that in both of the proposals the main question still remains since they still do not define how the measurement procedure can be performed. For example, the question of ‘the rate at which the system can return to equilibrium following the disturbance’ does not include what are the indicators to measure the rate. Hence, there is a need for extraction of indicators in order to clarify how the measurement procedure can be performed.

Miyake (2013) introduces the phenomenon of ‘black-box measurement’, which appears when attempting to measure features that are not directly accessible but can be measured by revealing the accessible parts of a system. For example, seismologists try to figure out the qualities of the deep sections of the earth by observing seismic waves at the surface, presuming that seismic waves are indicators of the qualities of the deep portions of the earth, as Miyake (2013) explains. On the other hand, in the case of resilience measuring, there is nothing in the physical world to be measured, since the term ‘resilience’ is defined according to its operational use, and it is difficult to measure any feature unless it is not exactly known what to be measured. This situation firstly necessitates a clear definition of

resilience, and recalls the assertion of ‘IQ is what IQ tests measure’. According to operationalists such as Bridgman (1927), measurement is merely what the measurement process catches. As a result, the questions define what is being measured themselves. Hand’s (2016) definition of pragmatic measurement is quite similar to the operationalists point of view since it is defined as the process of constructing a measure that encompasses the features that are relevant to the intended use. As a result, pragmatic measurement both defines and measures the features it specifies. In the case of resilience measurement, the procedures to measure resilience cannot be verified according to its truth or falsity, since there is not any reference in the physical world in order to investigate its correspondence. Snodgrass (1991) asserts a similar approach for interpretative situations by pointing out that interpretations can only be evaluated according to their suitability for a certain context rather than their truth or falsity. Similarly, in the case of resilience measurement, the success of the measurement procedure can be evaluated according to its intended use, since the measurement is a designed process in accordance with a specific purpose, and this purpose may vary according to the certain context. On the other hand, the aim of the paper is, instead of investigating what these certain situations may be, to enlarge the understanding of resilience measurement with the assistance of measurement science. Therefore, three terminologies from measurement science are adapted: that are the scales of Stevens, representational measurement, and pragmatic measurement.

## 2. Measurement Science

In the 21st century, measurement is mostly regarded as the foundation of all experimental and theoretical research as well as a source of trustworthy and reliable knowledge covering a wide variety of human activities and frequently used to aid decision-making processes. Since the measurement is highly dependent on the nature of the subject matter, its application, and the context, the process of measurement should be performed in order to make its definition explicit and satisfactory. The International Vocabulary of Metrology (2007), possibly the most authoritative present resource for the terms and concepts of measurement defines measurement as: “… process of experimentally obtaining one or more quantity values that can reasonably be attributed to a quantity” (p. 44). On the other hand, some definitions consider measurement equal to quantification. For example, Piotrowski (1992) defines measurement as a ‘quantitative observation’, and hence the act of measurement is to obtain quantitative output from the subject matter. Mari et al. (2017) raise two questions that can be used to clarify the demarcation of representational and pragmatic measurement.

- Is the evaluated property a quantity?
- Is it evaluated as a quantity?

While the first question is ontological, the latter one is operational. There is a need for clarification at this point. As Lawson (2005) points out, quantity, like quality, is not a single concept. Typically, quantities are measured and represented using a numerical system that assumes that all numbers behave in the same manner, which is incorrect as demonstrated by Stevens.

### 2.1. Scales of Stevens

Stevens (1946) suggested a category for constructing mathematical structures that did not rely on empirical facts from Russell's theory of arithmetic structures and aimed to enlarge the domain of numbers in order to overcome the severe constraint of measurability by offering four types of scales, that are ratio, interval, ordinal and nominal, that can be seen in **Table 1**.

**Table 1:** Scales of Stevens

| scale | empirical operations | true zero | equal intervals | order | category |
|---|---|---|---|---|---|
| ratio | equality of ratios | yes | yes | yes | yes |
| interval | equality of intervals | no | yes | yes | yes |
| ordinal | being greater or less | no | no | yes | yes |
| nominal | being equal or not | no | no | no | yes |

Ratio scales are numerical scales in which the difference between two variables is equal to the existence of a true zero. Interval scales are again quantitative scales in which the difference between two variables is equal, but there is no true zero. For example, in the case of temperature, 40°C cannot be accepted 2 times more than 20°C, since 0°C is

arbitrary. Ordinal scales, on the other hand, vary from interval scales in that there are no equal intervals, but the relationships of numbers represent an order. Lastly, nominal scales only refer to the sameness or difference, so they can be used for categorization. For example, green cannot be considered higher in rank than blue, since the labels only indicate if they are the same or not.

The scales of Stevens, particularly the nominal scales, sparked debate since it is considered as unclear if categorization could be called a measurement. Stevens (1946), on the other hand, asserted that categorization, being the initial step in all measures and foundation of all classifications and conceptualizations, should be regarded as a measurement as well. The approach of Stevens can be summarized by saying that the question of what measurement is and is not framed as a gradient rather than a Boolean classification. According to Carnap (1966), the development of scales is evolutionary, and so has a hierarchical structure. One learns how to categorize entities according to their attributes, which is on the nominal scale, in the early stages. Later on, when one’s understanding of the attribute grows, one learns how to rank them, which is the ordinal scale. Finally, one may discover a means to establish a meaningful measure among entities that have the same attribute; as a result, an interval or, to a greater extent, a ratio scale arises. By considering the scales of Stevens, quantities also behave in different ways. In the scope of the paper, the term ‘quantity’ hence will be used not just following ratio scales, but also following interval, ordinal and nominal scales. To return the questions of Mari et al. (2017), when the first question is answered as yes, that is ‘is the evaluated property a quantity’, then it is considered under representational measurement since there are quantities to be represented via a numerical system. On the other hand, if the first question is answered as ‘no’, and the latter question is ‘yes’, then this situation necessitates pragmatic measurement. As a result, in the scope of the paper, measurement is equated to quantification, yet with the use of pragmatic measurement, the scope of knowledge is not limited by the sole use of already quantitative properties and enlarged in order to include non-quantity properties by way of quantification.

### 2.2. Representational Measurement

Representational measurement theory is based on the work of Tarski on relational systems and model theory. According to this approach, measurement is understood as a homomorphic mapping of a certain empirical relational system onto some numerical system (Berka, 1983). In representational measurement theory, by its definition, there must be something to be represented in the physical world and can be regarded as a direct mapping of the physical phenomena to numbers via a model that shows empirical relationships that can be seen in **Figure 1**.

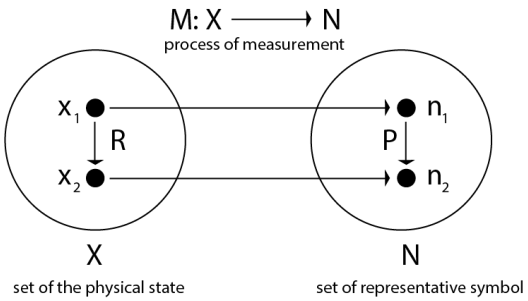



**Figure 1:** An abstraction of the representational measurement theory.

### 2.3. Pragmatic Measurement

In certain circumstances, in contrast to representational measurement, no property to be represented exists, such as in the case of ‘resilience’. Hand (2016) defines pragmatic measurement as the measurement when one constructs a measure that includes the sort of properties for the intended use. Therefore, pragmatic measurement simultaneously defines and measures what it defines. Since there is not an instrument that can be calibrated in order to measure ‘resilience’, these instruments have to be constructed and developed context-dependently.

### 2.4. An Integrated Measurement

While offering a theoretical clarification for the concept ‘resilience’, both measurement approaches and scales of Stevens will be used in the scope of the research. In the case of measuring resilience, representational measurement can be regarded as the subset of pragmatic measurement, since in the quantification effort of resilience, the term is

defined and measured through how it is defined, which corresponds to the pragmatic aspect of the measurement. On the other hand, after extracting the indicators of resilience, and when the indicators are in an inherently quantitative form, then it is exposed to representational measurement. As a result, the primary distinction between representational and pragmatic measurement is based on the question of whether there is a quantity in the physical world (representational measurement), or if it is only a term for a specific purpose (pragmatic measurement).

## 3. Proposed Framework for the Measurement of Resilience

Even though criteria of measurement may vary depending on its use, since the term ‘resilience’ may correspond different meanings in divergent fields, to propose a comprehensive framework, the main and common indicators of resilience can be regarded as following:

- Recovery time and level of recovery
- Vulnerability and adaptive capacity

### 3.1. Recovery Time and Level of Recovery

Pimm (1984) points out that the resilience of a system indicates “how fast the variables return towards their equilibrium following perturbation” (p. 322). By following this definition, the resilience is equated to recovery time of a system. Recovery time can be defined as the time it takes for a system to recover from a disruptive event, and return to its initial condition. In this case, the ratio scale is suitable. Even though time is inherently on the interval scale, since there is no true zero in the comprehension of the time, in the case of disruptive events, the start point can be accepted as the true zero. This necessitates the decision for the start point, since depending on the context, the starting point can be accepted as the time when the disruptive event has started, or the time when the system started to get affected by the disruptive event, or the time when a disruptive event prevents the system from functioning. Hence, it is critical to first decide by depending on the situation which time will be considered as the true zero in order to measure the recovery time. Therefore, recovery time is one of the indicators of resilience measurement. If a shorter recovery time is considered as a better resilience, then it can be concluded that a system that recovers faster is more resilient than the other one. This raises the question of what constitutes a reasonable recovery time. Therefore, a clear definition of the start and endpoints should be decided.

On the other hand, in order to determine the end point, there appears another question of how well recovery for a system is needed in a specific situation. Since recovery may mean to return of the system to its initial state, or it may be expected to obtain extra adaptive capacity, or in some cases, there may not be expected to return of the system to its initial state, but if the functioning of the system is disturbed, to return functioning can be regarded as recovery. Hence, characterization of both the start and end points, and recovery should be considered first in order to be measured. In order to do this, ordinal, interval, and nominal scales can be used as well, when initial state, disrupted state, and recovered states are considered. Therefore, in order to extract indicators of recovery time and level of recovery, there is a need for a characterization of the following components:

- Which points on a time scale are accepted as the start and end point?
- When will the system be considered as recovered?

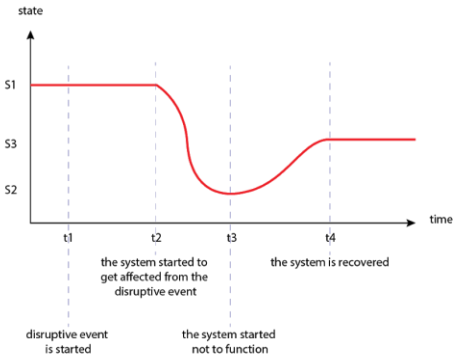



**Figure 2(a):** Lower recovery

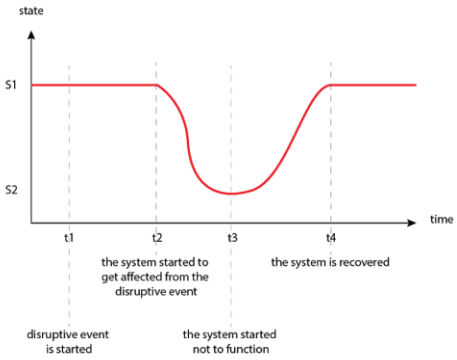



**Figure 2(b):** Equal recovery

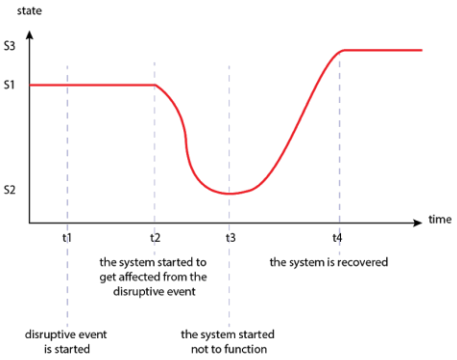



**Figure 2(c):** Higher recovery

The use of ratio scales can be as following:

1) In the cases where it is sufficient to recover to a minimum state (**Figure 2(a)**), the time scale of recovery can be calculated as:

1.1. If the start point is accepted when the disruptive event is started: |t4-t1|
1.2. If the start point is accepted when the system get affected by the disruptive event: |t4-t2|
1.3. If the start point is accepted when the system started not to function: |t4-t3|

2) In the cases where recovery level is accepted as the same as the initial state (**Figure 2(b)**), the time scale of recovery can be calculated as:

2.1. If the start point is accepted when the disruptive event is started: |t4-t1|
2.2. If the start point is accepted when the system get affected by the disruptive event: |t4-t2|
2.3. If the start point is accepted when the system started not to function: |t4-t3|

3) In the cases where recovery level is accepted when it is higher than the initial state (**Figure 2(c)**), the time scale of recovery can be calculated as:

3.1. If the start point is accepted when the disruptive event is started: |t4-t1|
3.2. If the start point is accepted when the system get affected by the disruptive event: |t4-t2|
3.3. If the start point is accepted when the system started not to function: |t4-t3|

### 3.2. Vulnerability and Adaptive capacity

The type of disruptive event is another parameter of the measurement procedure, since disruptive events may vary from natural disasters to policy shocks. Therefore, the question of ‘vulnerable to what’ is as important as ‘vulnerability of what’, since a system may be resilient to a specific kind of disruptive event, but not to any other. In this case, there appear other circumstances needed to be examined, such as:

- The ability to avoid disruptive events,
- The ability to avoid the impacts of the disruptive event from worsening,
- The ability to recover from a disruptive event that has already occurred (Erol et al., 2010).

The first question can be answered on a nominal scale, since avoiding a disruptive event has a Boolean answer, either a system is avoided from a disturbance, or not. If not, then the second and third circumstances can be examined and evaluated on an ordinal scale, since some impacts of disruptive events may be less or more worse, and a system can be considered as less or more recovered. On the other hand, according to Dalziell and McManus (2004), even though the traditional understanding of engineering concerns with developing less vulnerable systems, system resilience may also be improved by enhancing the system’s adaptive capacity by improving the system’s ability and speed to develop and adapt to new conditions as they emerge.

The adaptive capacity of a system corresponds to which a system is capable of learning and adapting to situations and the capability of a system to self-organize. Holling (1973) introduced resilience thinking with its relation to complex adaptive systems and characterized it as the capacity of a system to maintain its current situation against disruptive events. On the other hand, Luers et al. (2003) define adaptive capacity as the extent to which a system can modify its circumstances to move to a less vulnerable condition. Vulnerability is defined by Turner et al. (2003) as the likelihood of a system being harmed as a result of exposure to a hazard, such as a perturbation or stress. Hence, while the first

definition emphasizes the maintenance of the current situation, the latter focuses on the aspect of moving to a less vulnerable state.

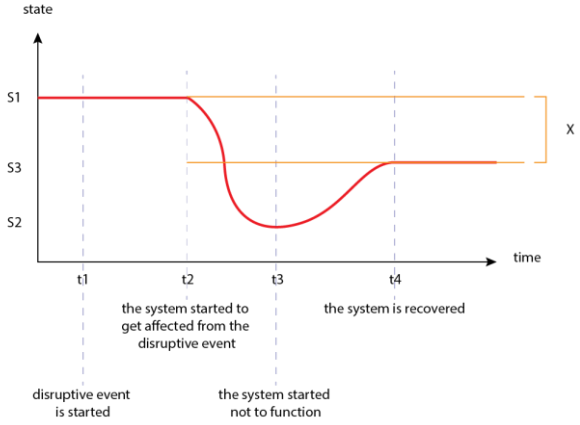



**Figure 3(a):** System A

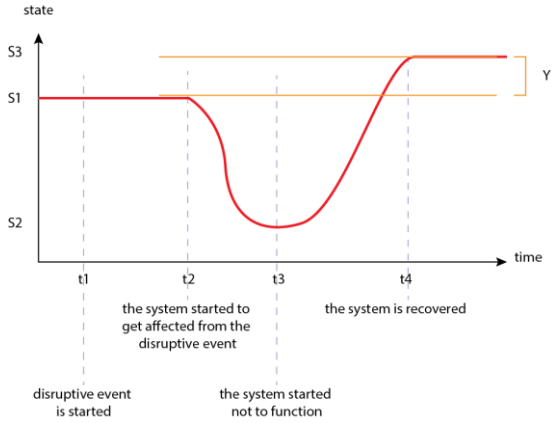



**Figure 3(b):** System B

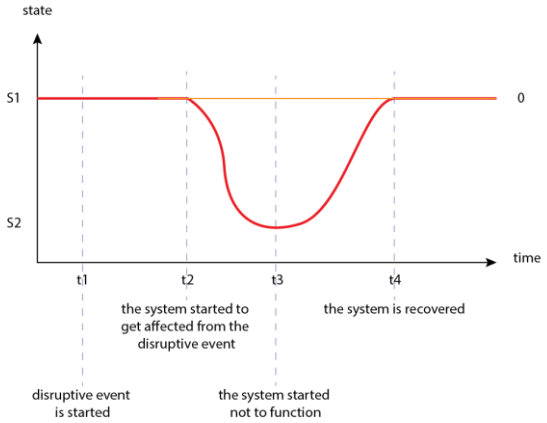



**Figure 3(c):** System C

By following the definition of Luers et al. (2003), the adaptive capacity of systems can be ordered as; System B>System C>System A. On the other hand, in the System A (**Figure 3(a)**), the symbol X refers to the loss of the system, since S3 is a lower state than S1, and the adaptive capacity of the system can be calculated as |S3-S2|, where the system moves to a less vulnerable state. In the System B (**Figure 3(b)**), the symbol Y refers to the acquisitions of the system, since S3 is a higher state than the state S1, and the adaptive capacity refers to the |S3-S2|. Lastly, in the System C (**Figure 3(c)**), there is neither a loss nor acquisition, since it maintains its initial state after the disruptive event, hence the adaptive capacity refers to |S1-S2|.

Even though the equations are represented with basic mathematical symbols, the symbol ‘S’ that refers to the state of systems cannot be represented on a ratio scale, since they do not occur in a quantitative form with a true zero, and they cannot be represented on an interval scale since the intervals cannot be calculated again. Hence, these equations can be considered either on ordinal and nominal scale, since the representations only give information about ordering and categorization relationships.

On the other hand, not being able to use ratio and interval scales does not necessarily mean that there is no information. Moles (2018) similarly asserts that ambiguous facts and imprecise relations are found in systems with weak correlations between quantitative variables. Yet a weak correlation is nevertheless something other than a lack of correlation, and hence should be considered as a subject of science. The use of statistics in the scientific investigation can be used as an example of ambiguous situations that are nonetheless worth studying. Brinberg et al. (1981) similarly point out that, researchers do not have to choose between the polar-extreme paradigms labeled ‘qualitative’ and ‘quantitative’, but might combine features from both paradigms to best meet the demands of the research topic at hand. Furthermore, according to Kelle and Erzberger (2004), there is a significant tendency for qualitative and quantitative techniques to be treated as mutually exclusive ways of thinking. The boundary between

qualitative and quantitative research, on the other hand, does not have to be impenetrable, and the current research can be considered as an attempt to construct a bridge between the quantitative and the qualitative worlds.

## 4. Conclusion

It is seen that ‘resilience’ is a concept that constructs its measurement procedure by depending on how it is defined for its operational purpose. This situation necessitates a clear characterization of the vocabulary. Depending on the literature review, it is concluded that there has been a great amount of research that attempts to create a common language in resilience terminology. Nonetheless, the multiplicity of the definitions demonstrate the ambiguous and multifaceted essence of the concept of ‘resilience’. Therefore, it is concluded that the term ‘resilience’ is challenging to measure since it is characterized with both multiplicities, which refers to the different layers of the concept, and plurality, that the meaning of ‘resilience’ may lead each researcher to conclude with different but still equitably valid conclusions. This situation demonstrates the necessity of the creation of a common language in the research field of resilience. Besides, when complex systems are being studied, it is challenging to determine which parameters to be monitored. Based on the literature review, the paper stressed the importance of having both well-defined quantitative and qualitative indicators to measure resilience. On the other hand, as Berkes (2007) proposed as well, there is a need for a living with the uncertainty that necessitates abandoning the notion of stability in order to learn from disruptive events, and resilience can be considered as a tool in order to deal with the uncertain situations and change.

## 5. Further Research

Since the current study is developed theoretically, it requires to be developed through case studies in order to examine the applicability of the framework to real-world situations. On the other hand, discussions on the fundamentals of measurement science are being continuously enriched thanks to the developments in different scientific fields. Since it's the first attempt to offer a bridge between measurement science and resilience measurement, further research may and should develop for specific cases of resilience due to the context-dependency of the term. It can be offered to use the terminology of measurement science such as derived and fundamental measurements, uncertainty, uniqueness problem, theory of error, validation, calibration, etc. The offered terminology is still open for discussion, and still being discussed within the measurement science, but to bring these discussions to the resilience measurement may support the discussions since there are similar concerns between resilience engineering and measurement science. By doing so, the potential of measurement science in resilience research may be revealed.

## REFERENCES


Béné, C. (2013). Towards a Quantifiable Measure of Resilience. *IDS Working Papers.* https://doi.org/10.1111/j.2040-0209.2013.00434.x

Berka, K. (1983). *Measurement: its concepts, theories and problems.* D. Reidel Publishing Company. https://doi.org/10.1007/978-94-009-7828-7

Berkes, F. (2007). Understanding uncertainty and reducing vulnerability: Lessons from resilience thinking. *Natural Hazards*, *41,* 283-295. https://doi.org/10.1007/s11069-006-9036-7

Bridgman, P. W. (1927). *The logic of modern physics.* Macmillan.

Brinberg, D., Cook, T., & Reichardt, C.S. (1981). Qualitative and quantitative methods in evaluation research. *Educational Researcher, 10.*

Carnap, R. (1966). *Philosophical foundations of physics.* Basic Books.

Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From metaphor to measurement: Resilience of what to what?., *Ecosystems, 4,* 765-781. https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9

Dalziell, E. P., & McManus, S. T. (2004, December 6-8). *Resilience, vulnerability, and adaptive capacity: Implications for system performance* [Paper presentation]. International Forum for Engineering Decision Making (IFED), Stoos, Switzerland.

Erol, O., Henry, D., & Sauser, B. (2010). Exploring resilience measurement methodologies. *INCOSE International Symposium, 20*(1), 302-322. https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2010.tb01072.x

Grafton, R. Q., Doyen, L., Béné, C., Borgomeo, E., Brooks, K., Chu, L., Cumming, G. S., Dixon, J., Dovers, S., Garrick, D., Helfgott, A., Jiang, Q., Katic, P., Kompas, T., Little, L. R., Matthews, N., Ringler, C., Squires, D., Steinshamn, S. I., Villasante, S., Wheeler, S., Williams, J., & Wyrwoll, P. R. (2019). Realizing resilience for decision-making. *Nature Sustainability, 2*(10). 907-913. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0376-1

Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2002). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems.* Island Press.

Hand, D. J. (2016). *Measurement: A very short introduction*. Oxford University Press.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics, 4,* 1-23.

Kelle, U., & Erzberger, C. (2004). Qualitative and quantitative methods: not in opposition. In U. Flick, E. Von Kardorff, & I. Steinke (Eds.), *A companion to qualitative research* (pp. 172-177). Sage Publications.

Lawson, B. (2005). *How designers think: the design process demystified* (4th ed.). Architectural Press.

Luers, L. L., Lobell, D. B., Sklar, L. S., Addams, C., L., & Matson, P. A. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change, 13*(4)*, 255-267.* https://doi.org/10.1016/S0959-3780(03)00054-2

Mari, L., Carbone, P., Giordani, A., & Petri, D. (2017). A structural interpretation of measurement and some related epistemological issues*. Studies in History and Philosophy of Science Part A, 65-66*, 46-56. https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2017.08.001

Measurement. (2007). In Internatonal Vocabulary of Metrology (VIM). Retrieved May 28, 2021, from https://www.oiml.org/en/files/pdf_v/v002-200-e07.pdf

Miyake, T. (2013). Underdetermination, black-boxes and measurement. *Philosophy of Science, 80*(5), 697-708. https://doi.org/10.1086/673729

Moles, A. (2018). *Belirsizin Bilimleri.* Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık.

Pimm, S. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature, 307*, 321–326. https://doi.org/10.1038/307321a0

Piotrowski, J. (1992). *Theory of physical and technical measurement.* Elsevier.

Resilience. (n.d.). In Merriam-Webster’s online dictionary. Retrieved June 12, 2021, from http://www.mw.com/dictionary/resilience

Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke C., & Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature, 413,* 591–596. https://doi.org/10.1038/35098000

Snodgrass, A. (1991). Hermeneutics and the application of design rules. *Proceedings of the Gadamer, Action and Reason Conference*, The University of Sydney, Australia, 1-11.

Stevens, S. S. (1946). On the theory of scales of measurement. *American Association for the Advancement of Science*, *103*, 677-680. https://doi.org/10.1126/science.103.2684.677

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L. Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martollo, M. L., Polsky, Cç, Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). *A Framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100*(14), 8074-8079. https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100

Woods, D. D. (2015). Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. *Reliability Engineering and Systems Safety, 141*, 5-9. http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2015.03.018i

Woods, D. D., & Hollnagel, E. (2006). Prologue: Resilience engineering concepts. In D. D. Woods, E. Hollnagel, N. Leveson (Eds.), *Resilience engineering: Concepts and precepts (pp. 1-6). Ashgat*

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Ön Tasarım Sürecinde Mimari Doku Üretimi: Bursa Örneği

Ender Şen [1]; Özgür Ediz [2]
[1]Bursa Teknik Üniversitesi; [2]Bursa Uludağ Üniversitesi
[1]ender.sen@btu.edu.tr; [2]ozgurediz.com, [2]ozgur@uludag.edu.tr

## Özet

*Hızlı yaşanan endüstrileşme ve küreselleşme etkisiyle birlikte, kentler yoğun göç almakta ve bu durum plansız ve kontrolsüz gelişmeyi de beraberinde getirmektedir. Geleneksel ve özgün kent dokusuna sahip birçok günümüz kenti de bu olumsuz gelişmelerden etkilenmektedir. Bursa, ülkemizin en büyük kentlerinden ve sanayi bölgelerinden biri olarak bu tipik olumsuzluklarla birlikte gelişmeye devam etmektedir. Çalışma ile, Bursa özelinde kentsel yayılma öngörü modelleri oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında iki çalışma alanı tanımlanmıştır. Özgün kent dokusunun çekirdeğini oluşturan tarihi hanlar bölgesi "referans alan"; öneri modellerin oluşturulacağı, tarihi hanlar bölgesi ile dolaylı fiziksel etkileşim kuran, aynı zamanda Bursa'nın fiziksel merkezi konumunda bulunan olası gelişim alanı Santral Garaj Bölgesi ise "uygulama alanı" olarak belirlenmiştir. Çalışma analiz, sentez ve optimizasyon aşamalarından oluşmaktadır. Analiz aşamasında Depthmap yazılımı kullanılarak kent ve yapı ölçekli mekan dizimsel analizler ile iki boyutlu biçim grameri analizleri yapılmıştır. Kentsel ölçekli analizler için aksiyel haritalar oluşturularak "entegrasyon ve sinerji değerleri" elde edilmiştir. Yapı ölçekli analizlerle geleneksel kent dokusuna sahip referans alanı şekillendiren hanların görünürlük haritaları oluşturularak "görünebilirlik değerleri" elde edilmiştir. Biçim gramerleri ile referans alanın mimari karakteristiğini en etkili şekilde yansıtan hanların biçimlenme durumları irdelenmiştir. Sentez aşamasında genetik algoritma tabanlı bir Rhinoceros 3D/ Grasshopper yazılımı eklentisi olan DeCoding Spaces aracı kullanılarak uygulama alanında öneri sokak ağı (network), imar adası/parsel (plot) ve biçim üretimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşaması olan optimizasyon aşamasında, referans alanda elde edilen kente dair sayısal verilerle oluşturulan öneri modellerin, yine mekan dizimsel analizlerle oluşan fiziksel durumları karşılaştırılarak benzerlikler ya da ayrışmalar ortaya konmuştur. Çalışma, geleneksel kent dokusunun potansiyelini analiz verileriyle ortaya koymanın yanı sıra, kenti şekillendiren dokunun potansiyel ve dinamiklerini kent için önemli odak noktalarında ön tasarım aşamasında kullanabilmek açısından bir altlık oluşturması itibariyle önemli görülmektedir. Sayısal ortamda elde edilmesi sebebiyle önerilen kentsel modeller kısa sürede yenilenebilir ve değiştirilebilir esnek modellerdir. Bu modeller, uygulandıkları alanda mevcut doku ile ilişki kurma, fiziksel sürdürülebilirlik ve kentsel kimlik kapsamında tartışılma imkanı vermektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Biçim gramerleri, genetik algoritmalar, mekan dizimi, mimari doku üretimi*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Şen, E., & Ediz, Ö. (2021). Ön tasarım sürecinde mimari doku üretimi: Bursa Örneği. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 325–335). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Architectural Pattern Generation in Pre-Design Process: The Bursa Case

Ender Şen [1]; Özgür Ediz [2]
[1]Bursa Technical University; [2]Bursa Uludağ University
[1]ender.sen@btu.edu.tr; [2]ozgurediz.com, [2]ozgur@uludag.edu.tr

## Abstract

*With the effect of rapid industrialization and globalization, intense immigration of cities causes unplanned and uncontrolled urban development. Many contemporary cities with traditional urban fabric are also affected by these negative developments. Bursa, as one of the biggest cities and industrial zones of our country, continues to develop together with these typical negativities. With this study, it is aimed to generate urban sprawl prediction models in Bursa. Two case areas were defined within the scope of the study. The Khans district which forms the core of the current urban fabric, was determined as the reference area. A possible urban development area, The Central Garage district, which has an indirect physical interaction with the Khans district and is also the physical center of Bursa was determined as the application area. The study consists of analysis, synthesis, and optimization phases. In the analysis phase, space syntactic and two-dimensional shape grammar analyses were made. Space syntactic analyses were made using Depthmap software. Integration and synergy values were obtained by creating axial maps for urban-scale analyses. With building-scale analyses, visibility values were obtained by creating the visibility maps of the khans and the covered bazaar that shape the reference area. Formation situations of the khans, which most effectively reflect the architectural characteristics of the reference area were examined by shape grammars. In the synthesis phase, a genetic algorithm based Rhinoceros 3D /Grasshopper software toolbox, DeCoding Spaces, was used to generate the proposed street networks, plots and buildings in the application area. In the optimization phase, which is the last stage of the study, the physical conditions of the proposed models obtained by using numerical data in the reference area, formed by spatial syntactic analysis, were compared with the reference area, and similarities or dissimilarities were revealed. The study is considered important in terms of revealing the potential of the traditional urban fabric with analysis data as well as creating a base in terms of using the potential and dynamics of the fabric that shapes the city at important focal points for the city in the pre-design phase. Due to the fact that they were obtained in digital environment, the proposed urban models are renewable and changeable models in a short time. These models provide an opportunity for discussion within the scope of relating to existing urban fabric, physical sustainability and urban identity in the area they were applied.*

***Keywords:*** *Shape Grammars, Genetic Algorithms, Space Syntax, Architectural Pattern Generation*

**Citation in APA Style:** Şen, E., & Ediz, Ö. (2021). Architectural pattern generation in pre-design process: The Bursa Case. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (sf. 325–335). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Sayısal tasarım kavramı, temel olarak ele alındığında; özellikle tasarım sürecinde bilgisayarların kullanımı ile çeşitli geometrik kurguların, nesnelerin ve mimari cümlelerin oluşturulmasında matematiksel tabanlı yaklaşımlar bütünü olarak tanımlanabilir. Sayısal tasarım uygulamaları, birbirinden farklı çeşitli araçlar ve kurgular ile gerçekleştirilmektedir. Biçim gramerleri ve genetik algoritmalara dayalı yaklaşımlar da belirli kurallara dayalı olarak ayrı ayrı ya da birlikte uygulanabilen üretken tasarım sistemleridir. Bu sistemlerle bilgisayar ortamında çeşitli parametreler ve algoritmalar oluşturularak analizler yapılabilmekte, ön tasarım aşamasında modeller elde edilebilmekte ve bu analiz ile modeller yorumlanabilmektedir.

Kentsel ölçekte bilgisayar destekli tasarım çalışmaları, kullanıcı ihtiyaçlarını günümüz koşulları ve gelecek öngörüleri doğrultusunda ele alan, etkin tasarım modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Kentsel tasarım ile ilgili eleştirel çalışmaların 1960'lı yıllarda yoğunlaşmasının ardından son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerin tanıdığı imkanlarla kentsel tasarım kavramı daha çok tasarım ürünleri ile araştırılmaktadır.

İnsanlardan çok araçlar için kurgulanmış mekanların yoğunlaştığı 1960'ların sonunda, Christopher Alexander, planlı yerleşimlerin hiyerarşik strüktürünü eleştirip, kentlerin bir ağaç gibi değil yarı gridal görünmesi gerektiğini önermiştir (Alexander, 1965). Bill Hillier ve Julienne Hanson, 1984'de Barlett-UCL'de kentsel tasarımın sosyal etkilerini analiz etmek amacıyla, adına Space Syntax dedikleri bir dizi araç geliştirmişlerdir (Hillier & Hanson, 1984). Sonraları, kentsel analiz ve simülasyon çalışmalarında fraktal geometriye dayalı kurgulardan faydalanılmıştır (Batty & Longley, 1994). Soyut kompozisyonlar oluşturma amacı ile başlayan ve kurala dayalı tasarımlar üretmek amacıyla geliştirilen biçim grameri yaklaşımı ise parametrik kurgu kavramı ile hem analiz hem de sentez süreçlerinde, mimarlık alanında kullanılmaya başlanmıştır (Stiny & Gips, 1972). Evrim kuramına dayanan ve 1950'lerden bu yana yapay zeka alanında çok sayıda parametreyi kapsayan problemlerle başa çıkmak niyetiyle geliştirilen genetik algoritmalar ise; bir değerlendirme (uygunluk) işlevinin uygulanmasıyla yeniden üretim ve doğal seçim sürecini simüle ederek gerçekleşir (Celani v diğ., 2011). Yakın zamanda Marshall, tasarımcıların verimlilik ve sosyal etkileşim için fırsatlar yaratma açısından daha iyi kentsel çevreler yaratmalarına yardımcı olmak amacıyla, nesnel olarak değerlendirilebilen kesin bir matematiksel model geliştirmiştir (Marshall, 2005). Genetik algoritmaların ve biçim gramerlerinin birlikte kullanımı Gero tarafından önerilmiştir (Gero & Kazakov, 1996). Bu teknikle, değiştirilebilen ve yeniden birleştirilebilen, parametrelerle optimize edilmiş tasarımlar üretilebilir.

Üretim, analiz ve tasarım aşamaları sayısal tasarım modellerinde birlikte işleyebilir. Birlikte işleme sürecinde genetik algoritmaların katılması daha iyi performans gösteren nesiller oluşturabilir. Üretilen modellerin, geleneksel kent dokusuna uyumu ise dokunun fraktal boyutunun sayısal veriler ile karşılaştırma yapılmasıyla değerlendirilebilir (Adem, 2020).

Plansız ve kontrolsüz bir şekilde başlayarak devam eden kentsel gelişim süreçleri olumsuz mimari sonuçlar doğurmaktadır. Bu olumsuz sonuçları ortadan kaldırabilmek ya da en aza indirebilmek amacıyla; kentsel yayılma öngörülerinde bulunabilmek, yayılmayı kontrol altına almak adına atılabilecek en önemli adımlardan biridir. Kentsel değişim ve dönüşüm dinamiklerinin analiz edilmesi ile kentlerin gelecekte nasıl bir yönde ve yoğunlukta yayılma gösterecekleri tahmin edilebilir.

Bu çalışmada, Bursa özelinde kentsel yayılma öngörü modelleri oluşturulması amaçlanmıştır. Söz konusu modeller, mimari tasarım sürecinde kullanılan üretken tasarım araçlarından biçim gramerleri ve genetik algoritmalar ile parametrik olarak kurgulanmıştır. Çalışma kapsamında özgün dokuya ait bir veri tabanı oluşturularak Bursa'da bulunan farklı kentsel alanlardaki dönüşüme ait, çeşitli öngörülerde bulunulması hedeflenmektedir.

## 2. Çalışma Alanı: Bursa Santral Garaj Bölgesi

Çalışma alanı olarak belirlenen Bursa, ülkemizin 4. büyük şehri ve gelişmiş sanayi bölgelerinden biridir. Özellikle 15. ve 17. yüzyılları arasında önemli ticaret ve üretim merkezlerinden biri olan Bursa, 17. yüzyıl başlarından 19. yüzyıl ortalarına kadar oldukça durağan bir görünüm sergilemiştir. Bursa'da 19. yüzyıl ortalarından itibaren kendi iç dinamikleriyle değil daha çok dış etkilerle sosyal, ekonomik ve fiziksel bir değişim süreci yaşanmış bu değişim günümüzde de gelişmekte olan ülkelerin tipik dinamiklerini yansıtan biçimde devam etmektedir (Bağbancı, 2007).

Bursa, geçmişten günümüze kadar çeşitli uygarlıklara ev sahipliği yapmış olması sebebiyle yoğun bir tarihi ve kültürel miras barındırmaktadır. Sur içinde küçük bir Bizans kenti iken günümüzde ülkemizin en büyük kentlerinden birine dönüşen Bursa, farklı kentsel odak noktaları ve merkezler barındırmaktadır. Osmanlı'nın fethinin ardından, ilk olarak Sur İçi'nin güney doğusunda, günümüz kent dokusunun çekirdeğini oluşturan Hanlar Bölgesi oluşmuştur (İlhan, 2020). Hanlar Bölgesi, çeşitli hanlar ve çarşılar ile bunları birbirine bağlayan sokaklardan oluşan özgün bir dokuya sahiptir.

Çalışma kapsamında, Bursa içerisinde referans ve uygulama alanı olarak iki farklı çalışma alanı seçilmiştir. Referans alan, Bursa'nın güncel kent dokusunun çekirdeğini oluşturan ve özgün bir dokuya sahip Hanlar Bölgesi; uygulama alanı ise bölge ile dolaylı etkileşim içerisinde olan ve Bursa'nın fiziksel merkezi konumunda bulunan Santral Garaj Bölgesidir **(Şekil 1)**.

**Şekil 1:** Referans ve uygulama alanları

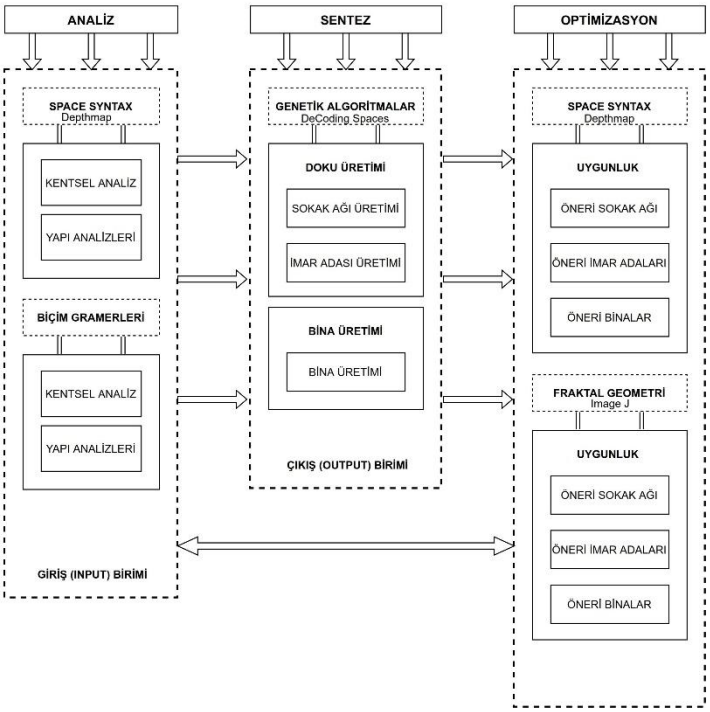
Hanlar Bölgesi içerisinde yer alan ve Bursa'da önemli bir merkez olma özelliği taşıyan Çarşı, 1958 yılında yaşanan yangından sonra çeşitli merkezlere doğru saçılmaya başlamıştır. Bu merkezlerden biri de Santral Garaj Bölgesi olmuştur (Ediz & Gürsakal, 2010). Bursa'nın merkezinde yer alan ve günümüzde de önemli bir odak noktası olan bölge, yoğunluğu ve taşıdığı potansiyel sebebiyle olası gelişme alanı olarak kabul edilmekte ve yerel yönetimlerce bölge için çeşitli kentsel dönüşüm projeleri hazırlanmaktadır (İlhan, 2019).

## 3. Mimari Doku Üretimi

Çalışma, referans alanda yapılan kent ve yapı ölçekli mekan dizimsel analizler sonucu elde edilen sayısal mimari verilerin sayısal ortamda girdi olarak işlenmesi ile uygulama alanında çeşitli mimari dokulara ve mekan üretim çıktılarına dönüştürülmesi ve elde edilen optimal sonuçların değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Çalışma alanı olarak belirlenen referans ve uygulama alanlarının, tarihsel süreç içerisinde geçirdikleri değişimin ve alana dair potansiyellerin belirlenmesi önemlidir. Sayısal ortamda ve gözlemlerle elde edilen verilerin yine sayısal ortamda nasıl kullanılacağı sorusu ile; parametrelerin önerilecek yeni doku kapsamındaki ön kararlara nasıl yansıyacağı çalışma kapsamında sorgulanmıştır.

Araştırma, üç aşamadan oluşmaktadır. (**Şekil 2**). Analizler, girdi olarak yeni kentsel modeller üretiminde kullanılacak sayısal veriler ile çıktı olarak üretilen modellerin mekan dizimsel olarak yorumlanması ve girdi-çıktı verilerinin karşılaştırılması aşamasında kullanılmıştır. Sentez sürecinde genetik algoritmalar ile sayısal ortamda mimari doku ve biçime dayalı üretimler gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon aşamasında ise, uygulama alanında elde edilen kentsel dokuların referans alanda bulunan mevcut doku ile benzerlikleri/ilişkileri tartışılmıştır.

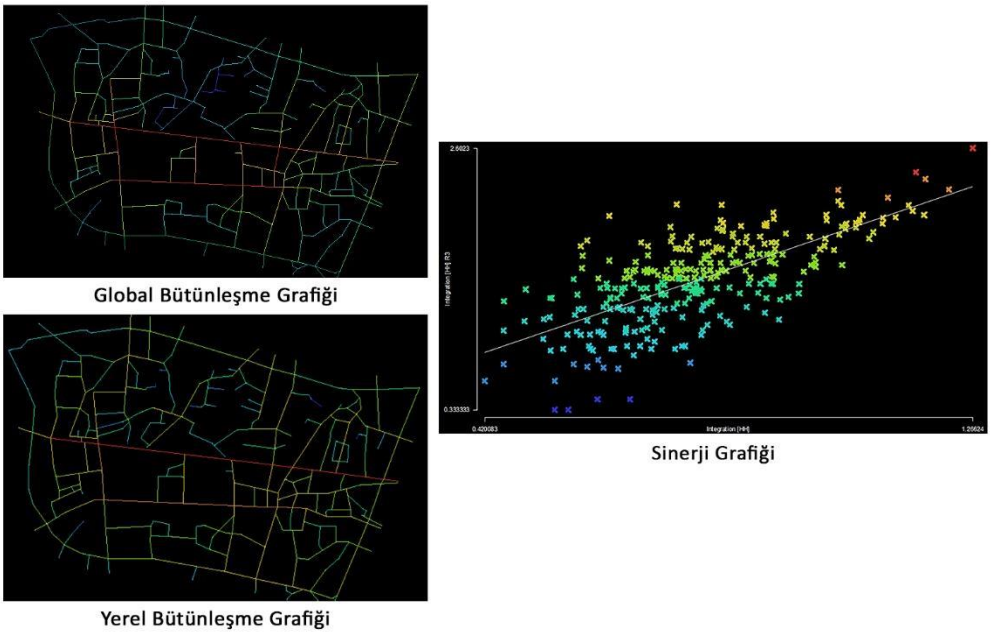



**Şekil 2:** Çalışma aşamaları

Çalışma sürecinde, mekan dizimsel analizler kapsamında Depthmap yazılımı kullanılmıştır. Yazılım ile kent ölçeğinde aksiyel haritalar kullanılarak entegrasyon ve sinerji değerleri elde edilmiştir. Yapı analizleri için ise alanda bulunan Han yapıları görünürlük haritaları oluşturularak analiz edilmiştir. Görünürlük haritaları ile yapılara ait entegrasyon ve sinerji değerleri elde edilmiştir. Model üretimleri ise genetik algoritma tabanlı Rhino/Grasshopper yazılımı eklentisi olan DeCoding Spaces eklentisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eklenti ile öncelikle sokak/cadde ağı (network) üretimi, sonrasında ise sırasıyla imar adası/parsel (plot) ve bina üretimleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.1. Analiz

Uygulama alanında önerilen mimari modellerde girdi olarak kullanılan sayısal veriler, referans alanın mekan dizimsel analizleri yapılarak elde edilmiştir. Kent ölçeğinde geleneksel dokuya ait aksiyel harita oluşturularak entegrasyon ve sinerji grafikleri oluşturulmuştur. **(Şekil 3)**.




**Şekil 3:** Referans alan entegrasyon ve sinerji grafikleri

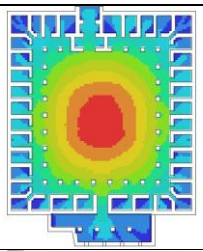
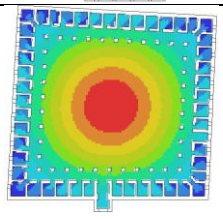
Bu grafiklerle minimum, ortalama ve maksimum entegrasyon değerleri ile sinerji değeri elde edilmiştir. Ortaya çıkan sayısal değerler **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

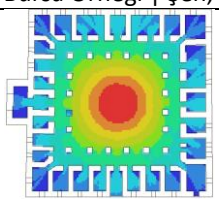
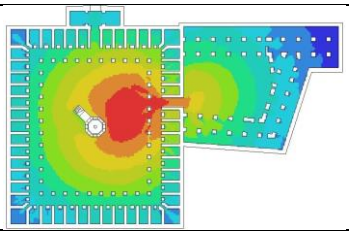
**Tablo 1:** Referans alan entegrasyon ve sinerji değerleri

| | Yerel Entegrasyon | | | Global Entegrasyon | | | Sinerji |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | min | ave | max | min | ave | max | |
| **Referans Alan** | 0,33 | 1,45 | 2,60 | 0,42 | 0,78 | 1,27 | 0.49 |

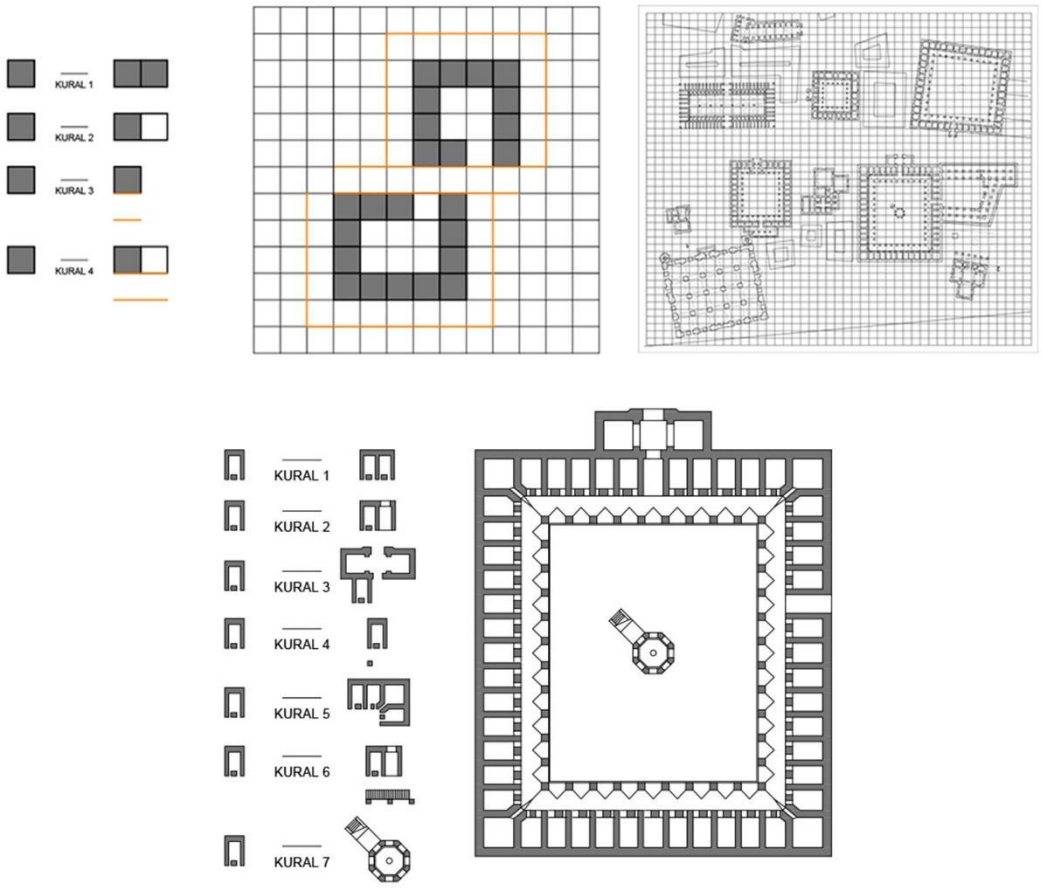
Geleneksel dokunun karakteristiğini en güçlü şekilde yansıtan hanların yapı ölçeğinde görünürlük grafikleri ve bu grafiklerle oluşan görsel entegrasyon değerleri de elde edilmiştir **(Tablo 2)**.

**Tablo 2:** Hanlara ait görünürlük grafikleri görsel entegrasyon değerleri

| | | Görsel Entegrasyon Değerleri | | |
|---|---|---|---|---|
| | Görünürlük Grafikleri | Min | Ort | Maks |
| **Emir Hanı** |  | 2,54 | 5,12 | 8,02 |
| **Fidan Han** |  | 2,16 | 4,01 | 5,85 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Geyve Han** |  | 3,70 | 7,97 | 13,98 |
| **Koza Han** |  | 1,51 | 2,86 | 4,23 |

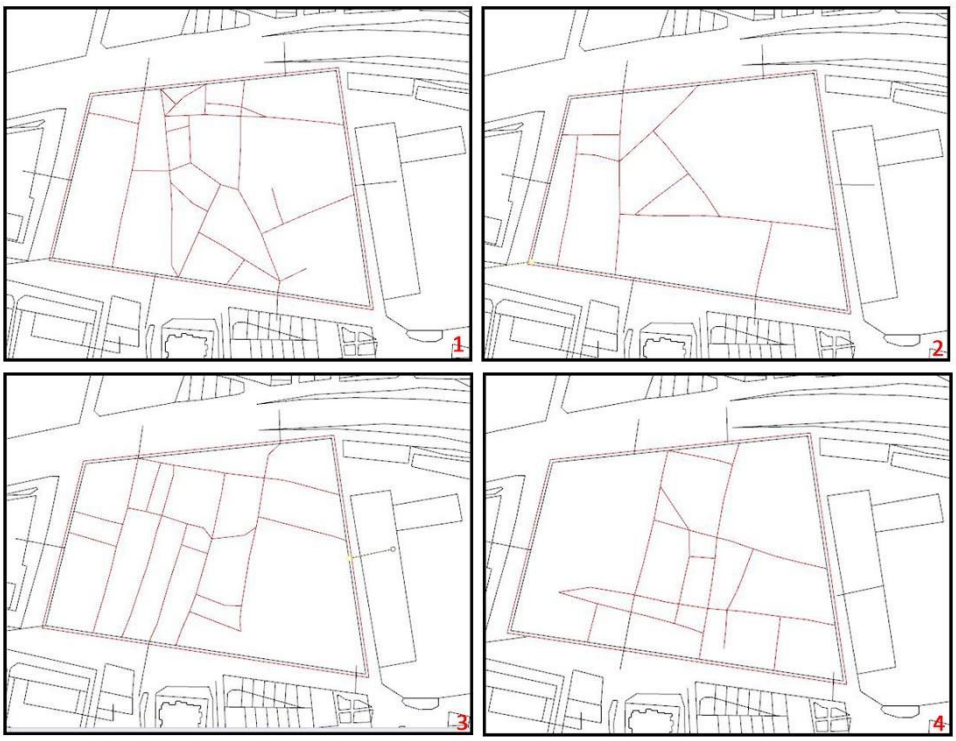
Sayısal kurgu ile elde edilen kentsel modelleri oluşturan referans sokak ağları ve yapılara dair biçimsel oluşum aşamaları kent ölçekli ve yapı ölçekli biçim grameri analizleri ile 2 boyutlu olarak oluşturulmuştur **(Şekil 4)**.




**Şekil 4:** Kent ve yapı ölçekli biçim grameri analizleri

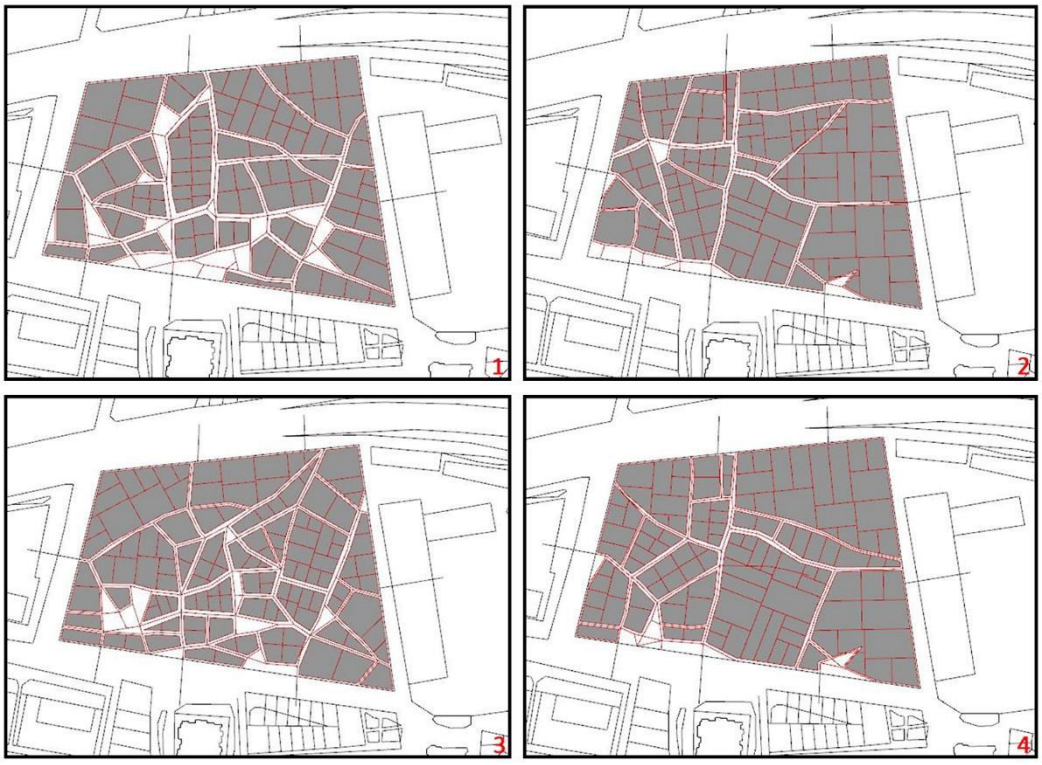
### 3.2. Sentez

Uygulama alanında oluşturulan öneri sokak ağları **Şekil 5**'te verilmiştir. Bu ağlar, alanın çevresinde bulunan, alanla etkileşim kuran Kent Meydanı ve metro istasyonu gibi çeşitli odak noktaları dikkate alınarak elde edilmiştir.



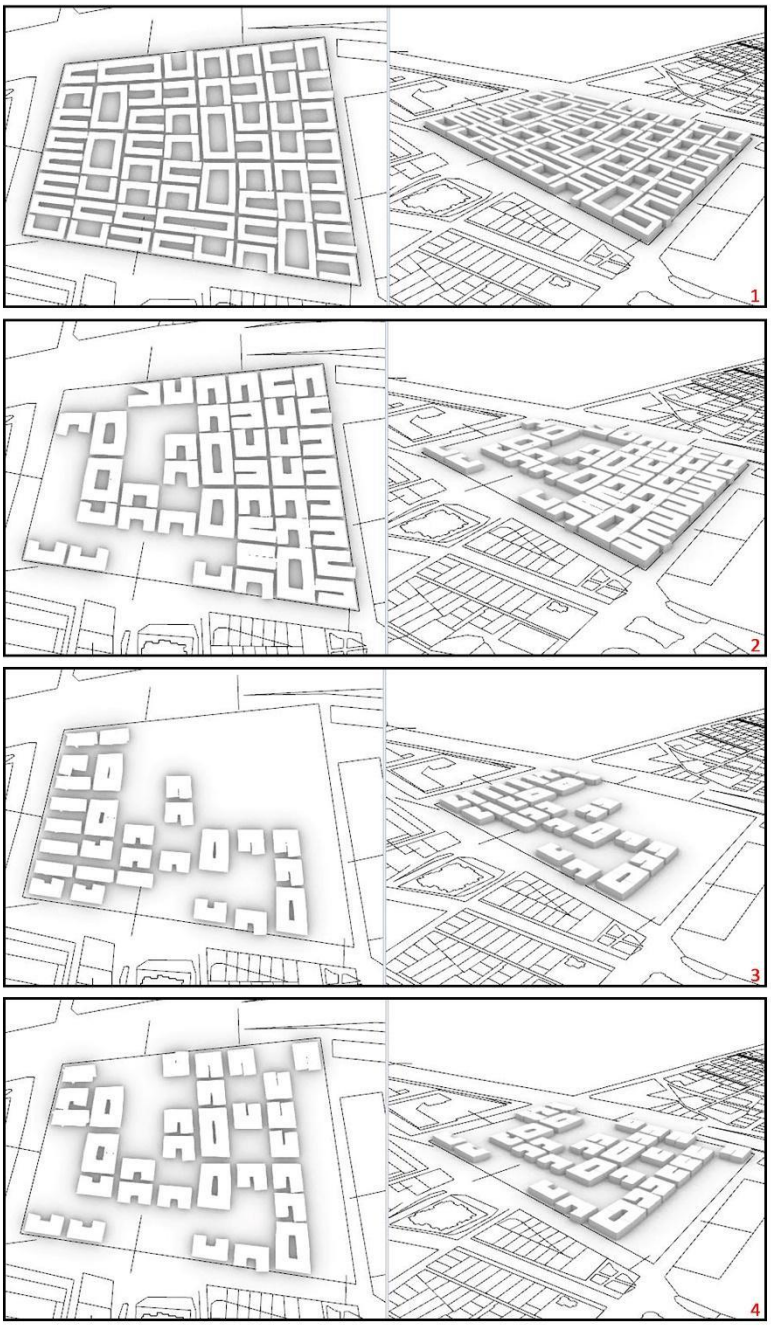

**Şekil 5:** Öneri sokak ağı üretimleri

Referans alanda farklı işlevlere sahip yapıların bulunduğu farklı büyüklükte imar adaları bulunmaktadır. Uygulama alanında da bu farklılıklar gözetilerek alanla doğrudan ve dolaylı olarak ilişki kuran kentsel odak noktaları dikkate alınarak üretilen imar adaları **Şekil 6**'da verilmiştir.




**Şekil 6:** Öneri imar adaları üretimleri

Sayısal görünebilirlik değerleri ve biçimsel oluşum analizleri ile referans alandan elde edilen bilgiler işlenerek, üretilen yapı üretimleri ve sokak ağları, imar adaları ve yapıların birlikte değerlendirilmesi sonucu, çeşitli mimari doku üretimleri gerçekleştirilmiştir. Yazılımla elde edilen üretimlere ait planlar ve üç boyutlu perspektif modeller **Şekil 7**'de verilmiştir.

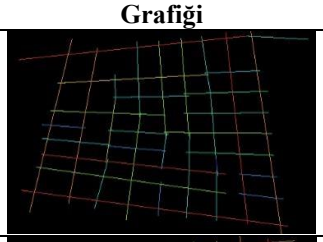
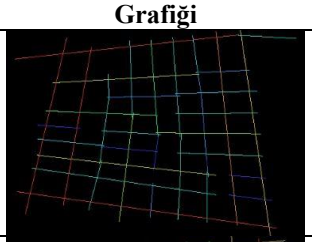
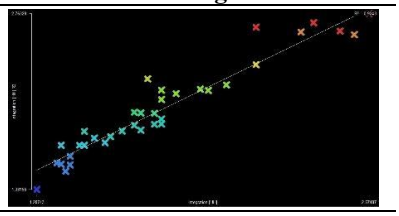
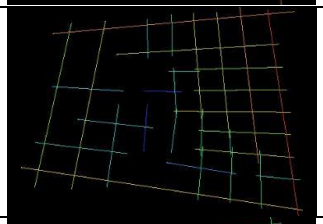
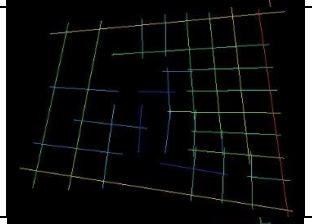
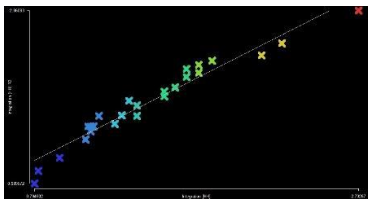
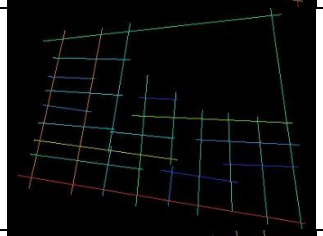
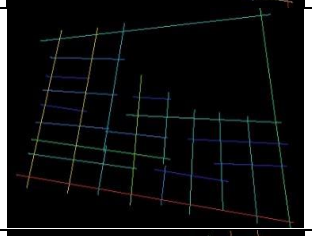
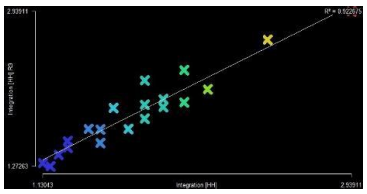
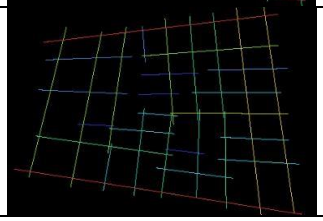
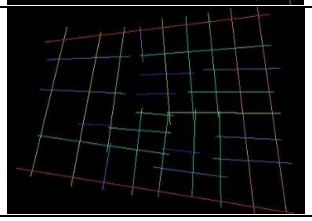
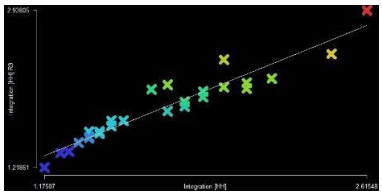



**Şekil 7:** Öneri mimari doku üretimleri

### 3.3. Optimizasyon

Bu aşamada üretilen mimari doku örnekleri, mekan dizimsel analizlerle irdelenmiştir. Her bir dokuya ait entegrasyon ve sinerji grafikleri elde edilmiştir **(Tablo 3)**. Bu değerlerle dokuların kendi içinde ve yakın çevresi ile olan fiziksel ilişkileri irdelenmiştir.

**Tablo 3:** Üretilen öneri modellere ait entegrasyon ve sinerji grafikleri

| | Yerel Entegrasyon Grafiği | Global Entegrasyon Grafiği | Sinerji Grafiği |
|---|---|---|---|
| 1. Öneri Model |  |  |  |
| 2. Öneri Model |  |  |  |
| 3. Öneri Model |  |  |  |
| 4. Öneri Model |  |  |  |

Üretilen modellerde kent fiziksel elemanların ilişkileri hakkında bilgi veren yerel ve global entegrasyon ve sinerji değerleri **Tablo 4**'de verilmiştir.

**Tablo 4:** Önerilen modellere ait entegrasyon ve sinerji değerleri

| | Yerel Entegrasyon | | | Global Entegrasyon | | | Sinerji |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | min | ave | max | min | ave | max | |
| **Öneri Model 1** | 1,38 | 2,01 | 2,76 | 1,28 | 1,77 | 2,57 | 0,92 |
| **Öneri Model 2** | 0,69 | 1,72 | 2,86 | 0,79 | 1,48 | 2,70 | 0,94 |
| **Öneri Model 3** | 1,27 | 1,85 | 2,94 | 1,13 | 1,69 | 2,94 | 0,92 |
| **Öneri Model 4** | 1,22 | 1,89 | 2,93 | 1,17 | 1,72 | 2,61 | 0,93 |

## 4. Sonuçlar

Günümüz yerleşimlerinde yaşanan değişim, dönüşüm ve geleceğe dair olası durumların tespitine dair yapılan bilimsel çalışmalar, sağlıklı doku-kent planlaması ve sürdürülebilirlik kavramları açısından önemlidir. Bu bağlamda birçok tasarımcı ve araştırmacı, sayısal ortamın kullanılmasıyla birlikte güncel kuram ve yaklaşımlara dayalı analizler yaparak özgün modeller oluşturabilmekte ve öngörülerde bulunabilmektedir. Bu bağlamda çalışma, mimarlıkta üretken tasarım sistemleri araçlarının ön tasarım sürecinde kullanılması ile oluşturulan tasarım ürünlerinin bir örneğini teşkil etmektedir.

Bursa'nın özgün geleneksel kent dokusunun, bir başka mimari analiz yöntemi olan mekansal dizim ile analiz edilerek dokuya ait nitelik ve potansiyellerin ortaya çıkarılması, çalışmanın öngörülen katkılarından biridir. Literatürde bulunan güncel yöntemlerle, geleneksel dokuya ait formel kurguların ve mekan organizasyonlarının sayılarla temsil edilerek sayısal ortamda yeni mimari doku ve formlara dönüştürülmesi amacı, çalışmanın özgün tarafını oluşturmaktadır.

Tasarım ürünlerinin bulundukları çevreyle kurdukları ilişkinin ve çevreye sağlayacakları etkilerin araştırılması, özgün doku ve mimari dilin sürdürülmesi çalışmanın dikkate aldığı diğer bir konu olarak düşünülmektedir.

Mekan dizimsel analizler sonucu referans alan olarak belirlenen tarihi hanlar bölgesinde özgün dokunun en önemli parçaları olan ve hanları birbirine bağlayan yolların ağa dayalı (network) entegre unsurlar olduğu söylenebilir. Yapılarda ise taç kapılarla bu yoğun aksa bağlanan avlular en baskın ve görünebilir mekanlar olarak analiz edilmiştir. Aynı zamanda, çalışmada hanların sahip olduğu mekansal kurgu ve bu kurgu ile birlikte ortaya çıkan biçimsel oluşumlar biçim gramerleri yaklaşımı ile ortaya konmuştur. Üretilen öneri modellerde, entegrasyon ve sinerji değerlerine bakılarak Han kurgusunu oluşturan keskin geometrik biçimlerle oluşan mimari formları, bu formları birbirine bağlayan yol akslarının ve avlu gibi çeşitli kentsel boşlukların daha güçlü ilişkiler kurduğu söylenebilir.

Çalışma halihazırda devam eden bir doktora tezinden üretilmiştir. Uygulama ve referans alanlarında sokak ağları, imar adaları gibi 2 boyutlu fiziksel doku elemanları analiz edildiğinden topoğrafya ihmal edilmiştir. Oluşturulan dokuya ait modellerin fraktal kurguya dayalı analizlerinin de yapılarak özgün dokuyla kurdukları ilişkinin incelenmesi çalışmanın bir sonraki adımında gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Diğer bir hedef ise; araştırma kapsamında elde edilen sayısal verilerin geleneksel dokuya özgü parametrelerle birlikte bir arayüze dönüştürülmesidir.

## KAYNAKLAR


Adem, P.Ç. (2020). Geleneksel Kent Dokusunda Çevresel Verilerin Sayısal Araçlarla Yorumu ve Hesaplamalı Bir Tasarım Modeli. (629141). [Doctoral dissertation, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yök Tez. Danışman: Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ.

Alexander, C. (1965). *A city is not a tree*. In Architectural forum. pp. 58–62. https://jessems.com/a-city-is-not-a-tree.

Bağbancı, Ö. K. (2007). Bursa Hanlar Bölgesi Değişim ve Dönüşüm Sürecinin İncelenmesi ve Bölgenin Korunması Üzerine Bir Araştırma. (213287). [Doctoral dissertation, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Yök Tez.

Batty, M. & Longley, P. (1994). Fractal cities: a geometry of form and function, Academic Press.

Celani, G., Beirao, J., & Duarte, J.P. (2011). Optimizing the “characteristic structure”: Combining shape grammars and genetic algorithms to generate urban patterns.

Ediz, Ö, Gürsakal, N. (2010). Bursa Çarşı Makroformundaki Saçılmanın Fraktal Boyut ile Belirlenmesi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 15 (2),. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/uumfd/issue/21675/233275

Gero J.S., Kazakov V.A. (1996) Evolving Building Blocks for Design Using Genetic Engineering: A Formal Approach. In: Gero J.S., Sudweeks F. (eds) Advances in Formal Design Methods for CAD. IFIP — The International Federation for Information Processing. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-34925-1_2

Hillier, B. & Hanson, J., (1984). *The social logic of space*. Cambridge University Press. Cambridge.

İlhan, C. (2019). Kent Dokusu Morfolojik Değişiminin Fraktal Geometri Aracılığıyla Hesaplanması: Bursa Örneği. Mimarlık ve Yaşam, 4 (1) , 117-140 . https://doi.org/10.26835/my.546927

İlhan, C. (2020). Sayısal analiz yöntemleriyle mimari dokuyu okumak: Bursa - Hisar bölgesi. (604929). [Master’s Thesis. Bursa Uludağ Üniversitesi]. Yök Tez. Danışman: Prof. Dr. Özgür EDİZ

Marshall, S. (ed.) (2005). *Streets and patterns*. CMP and Springer-Verlag, Berlin.

Stiny, G. & Gips, J., (1972). Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. Information processing, 71, pp.1460–1465.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# İklim Değişikliğinin Kentsel Doku İle İlişkisinin Saptanmasına Yönelik Bir Çalışma: Eski Foça Örneği

Fatma Nur Varol [1]; Nurseli Şanlı [2],; Maide Uğur [3]; Mediha Burcu Sılaydın Aydın [4];
[1,2,3]Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; [4]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, [1]fatos48.03@gmail.com; [2]nurselisanli8@gmail.com; [3]mimarmaideugur@gmail.com; [4]bsilaydin@gmail.com

## Özet

*Sanayileşme ile başlayan süreçte, kentleşmenin de artmasıyla beraber enerji taleplerini karşılamak için kullanılan fosil yakıt kaynaklı sera gazı emisyonları atmosferik dengeyi bozmuştur. Bu durum daha kısa sürelerde görülmeye başlayan iklim değişikliğini, ortaya çıkardığı veya şiddetini artırdığı sıcaklık değişimleri, yağış düzensizlikleri, kuraklık, buzul erimeleri, deniz seviyesinde yükselme gibi birçok doğa olayı sebebiyle günümüz kentlerine risk oluşturan önemli bir sorun haline gelmiştir. Kentlerde meydana gelen bu afetler neticesinde can ve mal kayıpları yaşanmakta; kentsel yaşam sekteye uğramakta; ulaşım ve altyapı sistemleri hasar görmektedir. Öte yandan iklim değişikliğine bağlı yaşanan tahribatın kentlerin tarihini, kültürünü, geleneklerini yansıtan alanlarda meydana gelmesi ise kentsel kimliklerin zedelenmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle kentin tüm bileşenleri ile beraber iklim değişikliğine karşı uyumunun sağlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu uyum kentsel mekân içerisinde birbirleriyle bağlantılı birden fazla form ve dokuda alanı da kapsayacak şekilde olmalıdır. Kentsel dokular açısından önemli bir farklılaşma, tarihsel özelliği nedeniyle yerleşime kimlik kazandıran geleneksel doku ile planlı şehircilik süreciyle şekillenmiş modern yapılaşma dokusu arasında görülmektedir. Doku özellikleri fark etmeksizin kentsel alanlar, kentin dinamiklerine, morfolojisine, konumuna, jeolojisine, iklimine ve iklim değişikliğinden etkilenme biçimine, yönetimine vb. özelliklerine bağlı olarak maruz kaldıkları tehlikelere karşı farklı kırılganlıklar göstermekte; kırılganlığın düzey ve desenleri bir yerleşim içinde de değişebilmektedir. Bu çalışma, kentsel mekânı oluşturan önemli bir bileşen olarak dokunun ve farklılıklarının iklim değişikliği ile arasındaki etkileşimi saptamaya çalışmaktadır. Bu bağlamda iklim değişikliğine bağlı gelişen afetlerden, deniz seviyesinin yükselmesine bağlı olarak su baskını, aşırı yağışlar nedeniyle yaşanabilecek seller ve aşırı sıcak hava dalgası afetlerine odaklanılmıştır. İzmir ili, Foça ilçesi, Eski Foça kent merkezinde belirlenen çalışma alanında kentsel alan içerisinde tarihsel süreçte varlığını korumayı başarmış kültürel miras alanlarını içerisinde barındıran geleneksel doku ve gelişmiş teknolojiler ile yapılmış modern dokuya sahip alanlar ile bu alanların geçiş sahalarının iklim değişikliği ile ilişkisi kırılganlık analizi ile saptanmıştır. Yapılan çalışma, farklı kentsel dokuların iklim değişikliğine karşı farklı düzeyde kırılgan olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla alınacak basit önlemler, kente kimlik ve karakter kazandıran, korunması gereken geleneksel doku alanları başta olmak üzere kentsel mekânın, iklim değişikliğine dirençli bir hale getirilebileceğini ortaya koymaktadır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Kentsel kırılganlık, kentsel doku, iklim değişikliği*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Varol, F.N., & Şanlı, N., Uğur, M., Sılaydın Aydın M. S. (2021). İklim değişikliğinin kentsel doku ile ilişkisinin saptanmasına yönelik bir çalışma: Eski Foça Örneği. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf.336-348). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Study On The Determination of Relationship Between Climate Change and Urban Texture: The Case of Eski Foça

Fatma Nur Varol [1]; Nurseli Şanlı [2]; Maide Uğur [3]; Mediha Burcu Sılaydın Aydın [4]
[1,2,3]Dokuz Eylul University The Graduate School of Natural and Applied Sciences; [4]Dokuz Eylul University, Faculty of Architecture, Department of City and Regional Planning
[1]fatos48.03@gmail.com; [2]nurselisanli8@gmail.com; [3]mimarmaideugur@gmail.com;[4]bsilaydin@gmail.com

## Abstract

*In the process that began with industrialization, with the increase of urbanization, greenhouse gas emissions from excessive fossil fuels used disrupted the balance of the atmosphere. Climate change, which has been seen in shorter periods has become an important problem that poses a risk to today's cities due to many natural events such as temperature changes, precipitation irregularities, drought, glacier meltdowns, and sea level rise because of this situtation. As a result of these disasters in cities, life and property losses are experienced; urban life is being disrupted; transport and infrastructure systems are being damaged. Therefore, the fact that the destruction caused by climate change occurs in areas that reflect the history, culture and traditions of cities can lead to damage to urban identities. For this reason, along with all the components of the city, the need to adapt to climate change has emerged. This adaption should also include multiple forms and textures, connected to each other in urban space. An important distinctness in terms of urban textures is seen between the traditional texture that gives the settlement an identity due to its historical feature and the modern structure texture that is shaped by the planned urbanization process. Urban areas, regardless of their texture characteristics, depend on the dynamics, location, geology, climate and the way they are affected by climate change, management, etc. depending on their properties, they show different vulnerabilities to the hazards they are exposed to; the level and patterns of vulnerability can also vary within a settlement. This study attempts to determine the interaction between texture and its differences about climate change as an important component of urban space. In this context, the focus has been on developing disasters because of climate change, flooding due to sea level rise, floods due to excessive rainfall and extreme heatwave disasters. Determined with the vulnerability analyse of succeed its presence in historical process, contain the cultural heritage areas traditional and modern texture areas built with developed technologies and cross borders of this areas relationship with climate change in the study area of Eski Foça city center, Foça District of İzmir. The study shows that different urban textures are vulnerable to climate change at different levels. So, simple measures to be taken reveal that the urban space, especially the traditional texture areas that give identity, character to the city and need to be protected, can be made resistant to climate change.*

***Keywords:*** *Urban vulnerability, urban texture, climate change.*

**Citation in APA Style:** Varol, F.N., & Şanlı, N., Uğur, M., Sılaydın Aydın M. S. (2021). a study on the determination of relationship between climate change and urban texture: The Case of Eski Foça. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Ed.), Computational Design in Architecture, 15th National Symposium (pp.336-348). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Endüstri Devrimi ile başlayan sanayileşme ve kentleşme süreçlerinde enerji taleplerinin karşılanması için fosil yakıtların kullanılması sonucu açığa çıkan sera gazları atmosferik dengeyi bozarak iklim değişikliğine yol açmış; günümüze kadar gelinen süreçte iklim değişikliği her geçen gün katlanarak büyüyen bir sorun haline gelmiştir. İklim değişikliği, yağış düzensizlikleri, kuraklık, buzul erimeleri, deniz seviyesinde yükselme gibi birçok olumsuz etkisiyle canlıların içinde bulunduğu çevreyi, toplumları, insanları ve insanların yaşam alanlarını ve özellikle kentsel yerleşimleri hem doğrudan hem dolaylı yoldan tehdit etmektedir.

Bu etki yelpazesi içinde kentsel alanların maruz kaldığı önemli afetler arasında, iklim değişikliğine bağlı ortaya çıkan ve/veya şiddeti artan seller, su baskınları, aşırı sıcak hava dalgaları, fırtınalar, kasırgalar yer almaktadır. Kentlerde meydana gelen bu afetler neticesinde can ve mal kayıpları yaşanmakta; kentsel yaşam sekteye uğramakta; ulaşım ve altyapı sistemleri hasar görmektedir. Bu noktada kentlerin en az hasarla sorunla mücadele edebilmesi açısından, uyum politikaları önem kazanmakta ve bu mücadelede kentlerin afetler ile başa çıkabilmeleri, risklerin ve kırılganlığın doğru ve rasyonel bir şekilde tanımlanması ile gerçekleşebilmektedir (Şanlı ve diğ.., 2021). Bu bağlamda kentsel kırılganlık; kenti içerisindeki her öğe ile birlikte ele almalı, tehlikelerin etkilerine duyarlılığını, hassasiyetini arttıran fiziksel, sosyal, ekonomik veya çevresel faktörler olarak değerlendirmelidir (Varol ve Kırıkkaya, 2017).

Öte yandan iklim değişikliğine bağlı yaşanan tahribatın kentlerin tarihini, kültürünü, geleneklerini yansıtan alanlarda meydana gelmesi ise kentsel kimliklerin zedelenmesine yol açabilmektedir. Özellikle 19. yüzyıldan sonra şiddeti artan doğal afetler ve savaş gibi insan kaynaklı afetler sonucunda korunması gerekli birçok kültürel miras zarar görmüş veya yok olmuştur. Bu durumda ülkeler, kültürel mirasın korunması konusuna odaklanmıştır (Gözlükaya, 2016). Afet ve kültürel miras ilişkisi ilk olarak 2005 yılında, UNESCO Dünya Miras Komitesi toplantısında gündeme gelmiş ve "Dünya Mirası Varlıklarında Afet Risklerinin Azaltılması" çalışma grubunda ele alınmıştır. 2010 yılında ise "Dünya Mirası için Afet Riski Yönetimi" el kitabı yayımlanmış ve afete sebep olabilecek etkenlerin meteorolojik, hidrolojik, jeolojik, astrofiziksel, biyolojik, insan kaynaklı ve iklim değişikliği kökenli olabileceği belirtilmiştir. Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi (ICOMOS)'nin ülkeler bazında yaptığı risk altındaki kültürel miras araştırmalarına göre, miras öğelerine en fazla hasar veren risklerin içinde iklim değişikliğine bağlı nedenler de bulunmaktadır (Bumbaru ve diğ. 2000; Busch, U.E., 2010; Oktay ve diğ.., 2020). Bu konuda birçok uluslararası kuruluş, düzenleme ve bildiri (Atina Konferansı, Venedik Tüzüğü vb.) yayımlamakta ve günümüzde de bu konu önemini koruyarak çalışmalara konu olmaya devam etmektedir. Kentsel mekân içerisinde birbirleriyle bağlantılı birden fazla form ve dokuda alan içermektedir. Doku açısından önemli bir farklılaşma, tarihsel özelliği nedeniyle yerleşime kimlik kazandıran geleneksel doku ile planlı şehircilik süreciyle şekillenmiş modern yapılaşma dokusu arasında görülmektedir. Geleneksel kentsel doku olarak tarif edilen alanlar, 1930 yılı öncesi yapılaşmış çevreyi kapsayan, plansız yol izinde oluşan ahşap/taş malzemelerle ve döneminin teknolojisi ile inşa edilmiş kültürel mirasları barındıran alanlardır. Bu alanlarda yollar ve binalar tarihsel süreç içerisinde organik olarak gelişirken kimi zaman planlı ve düzensiz, kimi zaman ise plansız ve düzensiz olarak oluşmuştur. Genel olarak kentsel tarihi alanlar ve çevrelerinde görülür ve yerleşme tarihi modern dokuya sahip alanlardan daha eskidir. Modern doku ise betonarme-çelik malzemenin yoğunlukla kullanıldığı; mimar, mühendis, şehir plancısı ve yerel yönetimleri kapsayan çok disiplinli çalışmalarla oluşturulmuş yapı grupları olarak tanımlanabilir. Modern dokuya sahip alanlar planlı olarak oluşmuş belli bir sistematiğe bağlı olarak geliştirilmiş yol ağları ve buna bağlı yapılaşma göstermektedir.

Doku özellikleri fark etmeksizin kentsel alanlar, kentin dinamiklerine, morfolojisine, konumuna, jeolojisine, iklimine ve iklim değişikliğinden etkilenme biçimine, yönetimine vb. özelliklerine bağlı olarak maruz kaldıkları tehlikelere karşı farklı kırılganlıklar göstermekte; kırılganlığın düzey ve desenleri bir yerleşim içinde de değişebilmektedir. İklim değişikliğine bağlı gelişen tehlikeler ile başa çıkabilmek adına yapılan risk ve kırılganlık çalışmalarında çalışma kapsamı, ölçek ve alanın kendine has özellikleri mutlaka dikkate alınmalı, veriler sınıflara ayrılarak değerlendirilmeye tabii tutulmalıdır. Günümüzde yaşanan doğal afetlerde meydana gelen artış ve pandemi gibi koşullar sebebiyle kırılganlık, risk ve dirençlilik üzerine yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. İSMEP'in Afete Dirençli Şehir Planlama ve Yapılaşma adlı rehber kitabında kırılganlık, kentsel alandaki riskleri belirleyen önemli kavramlardan biri olarak açıklanmaktadır ve afet zararlarını azaltmaya yönelik çalışmalarda kırılganlığın belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır (İSMEP, 2014a; 2014b). Kentsel dokunun yaratmış olduğu mekânsal farklılıklar, kültürel değerler ve miras gibi öncelikli konularda doğru karar geliştirmek oldukça önemlidir. Kentsel kültürel miras alanları yenilenemez kaynaklar olmakla birlikte yapım biçimi, teknolojisi gibi özellikleri ile olası tehlikelere karşı oldukça hassas alanlardır. Günümüz Koruma

Amaçlı İmar Planlarında risk kavramından söz edilmeye yeni başlanmış olup, İstanbul Tarihi Alanlar Alan Başkanlığı Planı haricindeki mevcut planların herhangi bir afete karşı duyarlı olmadığı, koruma kararlarının kentsel veya doğal risklere karşı başa çıkabilecek kapasitede olmadığı görülmektedir. Kültürel miras alanı olarak korunması gerekli bu alanlarda kararların rasyonel bir şekilde geliştirilmesi için kenti bir bütün olarak gören çalışmaların yanında, modern dokuya sahip alanlar gibi yıkıldığı veya yıprandığı durumlarda yerine yenisini koyamayacağımız bu alanların kendi özellikleri bağlamında (yapı malzemesi, yapı durumu, kullanım durumu, inşaat biçimi, mimarisi vb.) değerlendirildiği alt ölçekli ve kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kırılganlığın tespit edilmesi amacıyla yapılmış olan gösterge temelli analiz çalışmalarında niceliksel yöntemler kullanmakta ve kırılganlığın tanımından ortaya çıkan maruz kalma, hassasiyet, savunmasızlık, dirençlilik, uyarlanabilir kapasite gibi kavramlara ait gösterge ve ilgili veriler hesaplamalara dahil edilmektedir (Balica ve diğ.., 2009; Balica ve diğ.., 2012; De Leon, 2006). Kırılganlık ile ilgili çalışmaların birçoğu, deprem, heyelan ve sel gibi afetler üzerinden kurgulanmış, kenti bir bütün olarak ele almıştır (De Leon, 2006; Quarantelli, 2003.) İklim değişikliği ile ilgili çalışmalar (Pandley ve Jha, 2012; Görmüş ve Ayat, 2020) ele alınan afetlere ve alanın coğrafyasına göre farklılaşırken, literatürde kenti oluşturan öğeler üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı (Lindsay ve diğ.., 2006; Emmanuel ve Krüger, 2012) morfoloji ve karbon salınımı, sera gazı ve kentsel ısı adası etkisi gibi konuları ele almaktadır. İklim değişikliğine bağlı gelişen sel, taşkın, aşırı sıcak hava dalgası gibi afetlere karşı kırılganlığı analiz eden çalışmaların genellikle ülke, il ya da kentsel yapılaşmış alan ölçeğinde kaldığı (Muller ve diğ., 2011; Rasch, 2015; Mansur ve diğ.., 2016) görülmektedir. Kent içerisinde bulunan farklı bölgelerin ele alınması açısından, ilgili literatürde kent yoksullarının yaşadığı informal konut alanlarına odaklı çalışmaların (Bambrick ve diğ., 2015; Porio, 2011; Gran Castro ve Ramos De Robles, 2019) yapıldığı görülmektedir. Dolayısıyla ilgili literatür incelendiğinde, aynı kentsel alan içinde konumlanan ancak taşıdığı tarihsel kimlik, yapılaşma nitelikleri ve morfoloji itibariyle farklılaşan dokulara ait kırılganlık analiz ve karşılaştırmalı değerlendirmeleri içeren çalışmalar konusunda bir boşluk olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada iklim değişikliğine bağlı gelişen afetlerden, deniz seviyesinin yükselmesine bağlı olarak su baskını, aşırı yağışlar nedeniyle yaşanabilecek seller ve aşırı sıcak hava dalgası afetlerine odaklanılmıştır. Bu afetlere karşı geleneksel ve modern dokudaki yapılaşmayı içine alan bir çalışma alanında, kırılganlık düzeyinin niceliksel olarak hesaplanmasını ve doku farklılığının kırılganlık üzerine etkisini irdelemek amaçlanmaktadır. Bu kapsamda çalışma iklim değişikliğinin kentsel kırılganlık ve doku arasındaki etkileşimi üzerine anılan boşluğu gidermeye yönelik katkı sağlamayı hedeflemektedir. Çalışma, günümüzde turizm merkezi olan ve tarihi değere sahip bir kıyı yerleşmesi olan Foça ilçesi, Eski Foça kent merkezi odaklı olarak gerçekleştirilmiştir. Foça ilçesinin çeşitli iklim değişikliği projeksiyon çalışmalarında deniz seviyesi yükselmesi (Geymen ve Dirican, 2016), nem ve sıcaklık değişimi sebebiyle kuraklık (Birdal ve diğ.., 2018) ve kuraklığa bağlı etkenlere maruz kalacağı öngörülmektedir. İzmir ili içinde önemli turizm ve kültürel değeriyle ön plana çıkan bir ilçedir. Bu kapsamda korunması gerekli doğal ve tarihi bir alan olarak Eski Foça ilçesinde, iklim değişikliğine yönelik çalışmaların yürütülmesi önem taşımaktadır.

## 2. Çalışma Alanı

Eski Foça, Foça ilçesinin merkez mahallesidir. Kuzeyinde Yeni Foça, Güneyinde Gediz Nehri batısında Menemen olan Eski Foça, Foça ilçesinin en eski yerleşimidir. “İlçe, Ege Denizi’nin doğu sahilinde Çandarlı Körfezi’yle İzmir Körfezi arasında bulunan Foça Yarımadası’nın tepelik dağlık bölümünü içine almaktadır **(Şekil 1)**. İlçenin kent merkezi kıyıda, 10.07.2004 tarihinde kabul gören, 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu ile köy statüsünden mahalle statüsüne geçen yerleşimleri ise iç kısımlarda yer almaktadır” (Demirden, 2019: 60-61). Turizm merkezi olan Foça ilçesinde 2020 yılı TÜİK verilerine göre ilçede toplam 33.227 kişi yaşamaktadır. Söz konusu veri yerleşik nüfusu kapsamakta olup yaz aylarında bu nüfusun mevsimsel olarak 2-2,5 katına çıktığı görülebilmektedir (TÜİK, 2020).

**Şekil 1:** Foça'nın Coğrafi Konumu ve Çalışma Alanı (Kaynak: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, ve GIS User Community'den düzenlenmiştir).

Foça ilçesinde Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. İzmir ili içinde en az yağış alan ilçelerden biridir. Yöredeki yağışlı gün sayısı: 54,8 gün/yıl, yıllık yağış ortalaması: 780 mm, nemlilik oranı ise %64'tür. Foça, Cumhuriyet dönemine kadar tarımsal üretimin ve dış ülkelere satışının yapıldığı bir alandır. Ancak 1960'lı yıllarla birlikte turizm sektörü ile ekonomiye yön verilmiştir. Foça'nın kırsal yerleşimlerinde tarım ve hayvancılık, kent merkezinde ise turizm ve balıkçılık halkın önemli geçim kaynağıdır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü, 2016).

Çalışma alanı olarak belirlenen Eski Foça kent merkezi (**Şekil 2**), Atatürk mahallesinde geleneksel ve modern dokuların entegre olarak geliştiği ve bu bağlamda her iki dokuya sahip alanın aynı zaman diliminde, aynı afetlere maruz kaldığı görülmektedir ve konu bağlamında uygun koşullara sahiptir. Atatürk mahallesinde bulunan her iki doku alanına da sahip olan 22 yapı adası alan taraması için seçilmiştir. 2-4-5-6-7-8-11-12-14-18-19-20-21-22 nolu adalarda kültürel miras yapılarının yoğun olduğu tespit edilmiştir. Bu yapıların bulunduğu adalar geleneksel dokunun bulunduğu alanlar olarak tanımlanmıştır. 1, 10, 16, 17 ve 19 no'lu adalarda somut kültürel miras yapılarında bitişik ve ayrık nizamda betonarme yapılar bulunmaktadır

**Şekil 2:** Çalışma Alanı ve Kentsel Doku (Kaynak: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, ve GIS User Community'den oluşturulmuştur).

"Geleneksel doku" olarak incelenen alanda tek katlı dükkân, tek ve iki katlı konut yapılarında genellikle taş malzeme kullanıldığı gözlenmiştir. Tarihi konutların çoğu restorasyon geçirmiştir ve atıl durumda olan yıkılma tehlikesi bulunan tescilli yapılar da bulunmaktadır.

"Modern doku" olarak incelenen, İzmir-Foça Karayoluna yakın bulunan adalarda ise bölge sit alanı olarak tescillenmeden önce yapılmış olan betonarme konutlar bulunmaktadır. Betonarme konutların bulunduğu adalar modern doku olarak çalışmada yer bulmuştur. 20'nolu adanın bir kısmı, 13, 9 ve 3'nolu adaların tamamı betonarme yapılardır.

"Geçiş alanı dokusu" olarak incelenen alanda ise hem geleneksel hem de modern doku iç içe geçmiş durumdadır. 1, 10, 16, 17 ve 19 no'lu adalarda somut kültürel miras yapılarına bitişi-ayrık nizamda betonarme yapılar bulunmaktadır. Otel, pansiyon, yazlık, ticaret üstü konut işlevlerinde kullanılan bu çok katlı yapılar tarihi dokuyla beraber yeni bir doku oluşturduğu için geçiş alanı-dokusu olarak tanımlanmıştır.

## 3. Yöntem

İklim değişikliği, kentsel alanda yer alan fiziksel, mekânsal, ekonomik ve sosyal yapıyı farklı açılardan ve derinden etkilemektedir. Bir kentin veya kent parçasının iklim değişikliğinden etkilenebilirliğini veya direncini anlamak için kenti oluşturan her öğeyi kendi özelinde ve birbirleri ile olan ilişkileriyle incelemek gerekmektedir. İklim değişikliğinin kentsel alanda oluşturduğu kırılganlığı anlamak için çeşitli yöntemler üretilmiştir. Kırılganlık analizlerinde alanın iklim değişikliğine bağlı gelişebilecek afetlere karşı açık olma durumunu ortaya koyacak nedenler saptanmakta ve alanlar bu bağlamda derecelendirilmektedir. Bu noktada önemli olan ise afet türüne bağlı ve çalışma alanı ölçeğinde doğru göstergeleri saptamak, bu göstergelere dayalı kırılganlık derecelendirmesini doğru yapabilmektir. Bu çalışma, iki farklı kentsel dokunun iklim değişikliği ile olan ilişkisini anlamaya çalışmaktadır. Bunun için ise Foça ilçesinde belirlenen, modern ve geleneksel doku ve geçiş alanı özelliklerine sahip yapı adalarına kırılganlık analizi uygulanacaktır. Böylece kentsel alan içerisinde, kırılganlık düzeyleri üzerinden iklim değişikliğinin doku ile ilişkisini anlamak mümkün olacaktır. Kırılganlığı artıran ya da azaltan çeşitli faktörler bulunmaktadır. Kırılganlık analizine girecek birimin, iklim değişikliğine karşı maruz kalma ve hassasiyet, durumu artırıcı nitelikte olduğu için doğru; başa çıkabilme kapasitesi, dirençliliği veya uyarlanabilir kapasitesi, azaltıcı nitelikte olduğu için ters orantılı olarak etkileşimdedir. Bu ilişki biçimi gösterge temelli kırılganlık analizlerinde hesaplama formüllerinin oluşturulmasında sıkça kullanılmaktadır. Örneğin De Leon ve Carlos, (2006):

$$(1) \quad Kırılganlık = \frac{maruz\ kalma * hassasiyet}{uyarlanabilir\ kapasite}$$

hesaplamasını kullanmışlardır. Bir başka çalışmada da yine benzer yaklaşımla "Kırılganlık = (Maruz kalma x Hassasiyet)/ Dirençlilik" formülü kullanılmıştır (Balica ve diğ.., 2009; Balica ve diğ.., 2012). Bu çalışmada da kırılganlığı artıran ve azaltan faktörler itibariyle, analizlerde kullanılmak üzere şu formülden yararlanılmıştır:

$$(2) \quad Kırılganlık = \frac{maruz\ kalma * hassasiyet}{başa\ çıkabilme\ kapasitesi}$$

İklim değişikliği ve kente olan etkilerine dair az sayıda araştırma ve veri bulunması, sosyal faktörler açısından bakıldığında özellikle demografik göstergeler için ada ölçeğinde veri bulunamaması kısıtlarından dolayı, çalışmaya sadece fiziksel ve mekânsal göstergeler dâhil edilmiştir. Fiziksel ve mekânsal göstergeler, maruz kalma (exposure), hassasiyet (susceptibility) ve başa çıkabilme kapasitesi (coping capacity) olmak üzere veri sınıflarına ayrılarak **(Tablo 1)** hesaplamaya dahil edilmiştir. Alanda yapılan analizlerden elde edilen değerler verinin özelliğine göre ada veya bina bazlı olarak ArcGIS 10.3 uygulamasında oluşturulan veri tabanına işlenmiştir. Verilerin aynı düzeyde karşılaştırılabilmesi adına, bütün veriler ada bazında ölçüme dahil edilmiştir. Bina bazında girilen veriler, bulundukları ada kapsamında normalizasyona tabii tutulmuştur. Oluşturulan nihai veri tabanında risk derecelendirmesi aşağıda belirtilen özelliklere göre 5 çok yüksek riskli, 1 çok düşük riskli olacak şekilde hazırlanmıştır. Yapılan risk derecelendirmesi seçilen formüle girdi oluşturarak çalışma alanındaki kırılganlığı ortaya koyacaktır. Kırılganlık değerleri arasındaki büyük sayı farklılıkları derecelendirmeyi ve alanları sınıflandırmayı zorlaştırmaktadır. Bu durumun önüne geçmek amacıyla kırılganlık değerleri verilen normalizasyon formülü (3) ile 0-1 değer aralığına oturtulmuştur. Elde edilen sonuçlar, ArcGIS doğal kırılım yöntemi kullanılarak 5 derece ile değerlendirilmiş ve çalışma alanının nihai kırılganlık durumu ortaya konulmuştur.

$$Kırılganlık_{norm} = \frac{kırılganlık - kırılganlık_{min}}{kırılganlık_{max} - kırılganlık_{min}} \quad (3)$$

### 3.1 Fiziksel Yapı Göstergeleri

Kentin konumu ve formuyla ilgili göstergeler fiziksel faktörler kapsamında değerlendirilmektedir. Kentin coğrafi konumu, denizden yüksekliği, jeolojik yapısı gibi unsurlar kırılganlığı belirlemede önemli rol oynamaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak yaşanan küresel ısınma nedeniyle deniz suyu sıcaklıklarının artması sonucu buzulların erimesi ve bu bağlamda da deniz seviyesinde meydana gelebilecek artışlar söz konusudur (Geymen ve Dirican, 2016). Bir kıyı kenti olan Foça için de deniz seviyesi yükselmesi önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Geymen ve Dirican (2016), İzmir ilinin 11891m²'lik yüzölçümündeki 163m² kıyı şeridinin, 2500 yılı projeksiyonlarında iklim değişikliğinden yüksek derecede etkileneceğini ortaya koymuşlardır (**Şekil 3**).

**Şekil 3:** Türkiye 2500 yılı kıyı şeridi etki haritası (Kaynak: Geymen ve Dirican, 2016'dan düzenlenmiştir).

Deniz seviyesi yükselmesinin tehdidine karşı en kırılgan bölgeleri, deniz seviyesinden 0-10 metre alçak rakımlı alanları oluşturmaktadır. Bu nedenle rakım ve ayrıca denize olan uzaklık fiziksel yapı göstergeleri olarak değerlendirmeye alınmıştır.

İklim değişikliği kaynaklı yaşanan bir diğer afet de aşırı sıcaklıklardır. Kentlerde bulunan yeşil alanların ve buharlaşma yüzeylerinin azalması, beton, asfalt gibi kuru ve geçirimsiz yüzeylerin ve yapılaşmış alanların her geçen gün artması gibi nedenlerle hava olaylarında değişimler meydana gelmektedir. Bu durum yerel ve bölgesel ölçekte iklimlerin farklılaşmasına sebep olmaktadır ve bu olay da kentsel ısı adası olarak tanımlanmaktadır (Yüksel, Yılmaz, 2008). Küresel ölçekte gerçekleşen iklim değişikliği olayı yerel ölçekte aşırı sıcak hava dalgalarını bir afet şeklinde karşımıza çıkarmakta ve kentsel ısı adaları da bu afetin şiddetini artırarak kırılganlık düzeyini yükseltmektedir. Artan hava sıcaklıkları, rüzgâr akışını ve hızını engelleyen kentsel alandaki yapılaşmalar nedeniyle de kentsel ısı adası etkilerinin sıklığı ve şiddeti artmaktadır (Balaban, 2012). Rüzgâr yönü ve hızı göz önüne alınarak, rüzgârın geçişine izin verecek koridorlar oluşturarak kentleri planlamak hissedilecek sıcaklığı düşürerek kırılganlığın azalmasına yardımcı olacaktır. Çalışma alanında bulunan yapı adalarının rüzgâr geçirimliliğini hesaplayabilmek adına Grimmond, Burian (1999) Brown ve Linger (2002) tarafından kullanılan ve yapı adası alanı ile cephe alanlarını oranıyla hesaplanan "frontal area index" yöntemi ele alınmıştır. Ele alınan yöntem sonucunda çalışma alanının rüzgâr geçirimli olma durumu bir fiziksel gösterge olarak belirlenmiş ve derecelendirilmiştir.

### 3.2 Mekânsal Yapı Göstergeleri

Aşırı sıcak hava dalgalarının şiddeti, aşırı yağışlar ve deniz seviyesinin yükselmesine bağlı oluşacak hasarın büyüklüğü, çeşitli mekânsal yapı özelliklerine göre değişim göstermektedir. Bu doğrultuda çalışmada yapı yoğunluğu, zemin yapısı, yeşil alan/sert zemin oranı, sokak-yapı yüksekliği ilişkisi, yapı malzemesi, kent kompaktlığı, yapı durumu ve kaldırım durumu mekânsal yapı göstergeleri olarak belirlenmiştir **(Tablo 1)**. Yoğun yapılaşma olan alanlarda, binaların birbirlerine yakınlıkları sebebiyle gökyüzü açıklığı engellendiği için gündüz saatlerinde depolanan ısının gece saatlerinde

atmosfere yayılması zorlaşmaktadır. Çoğunlukla binalardan ve diğer yüzeylerden kaçmak isteyen güneş ışımaları yoğun doku içinde hapsolmakta, bu durum da gece soğumasını azaltmaktadır. Depolanmış ısının atmosfere geri salınmaması kentsel ısı adası etkisini meydana getirmektedir (Canan, 2017). Bu nedenle alandaki yapı yoğunluğu derecelendirilmiştir.

Sıcaklığın hapsolması ve kentsel ısı adası etkisinin yaşanması kanyon geometrisine sahip yerleşmelerde daha fazla görülmektedir (Streutker, 2003). Yüksek katlı binalar ve bununla birlikte dar sokaklardan meydana gelen "canyon effect" kırılganlığı artırıcı bir unsurdur. Bu nedenle çalışma alanında bulunan dar yollar ve kat yükseklikleri dikkate alınarak sokak-yapı yüksekliği ilişkisi derecelendirilmiştir.

Yüksek yoğunluğun iklim değişikliğine karşı olumsuz etkisi olduğu gibi olumlu etkileri de bulunmaktadır. Kentsel yoğunluk, ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanan $CO^2$ emisyonlarının seviyesini etkileyen önemli bir faktördür. Yoğun nüfuslu ve kentsel yoğunluğun da fazla olduğu şehirlerde, özel araç kullanımına daha az enerji harcandığı görülmektedir. Bu bağlamda kompakt kentsel formların, içerdikleri yüksek yoğunluklu alanlar nedeniyle araç kullanımını, dolayısıyla da $CO^2$ emisyonlarını azaltmada etkili olduğu bilinmektedir (Balaban, 2012). Bu nedenle kent kompaktlığı, iklim değişikliğine karşı dirençli kentler oluşturmada önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmakta ve çalışmaya dahil edilmektedir. Google Earth'ten alınan kent makroformu, FdEstimator uygulamasıyla Fraktal Boyut (Fractal Dimension) hesabına alınmıştır. Fraktal boyut m değeri 2'ye yaklaştıkça kompaktlığın arttığı söylenmektedir. Fraktal Boyut sonuçlarına bakıldığında çalışma alanının (m:1.71), Eski Foça ilçesine (m:1.83) göre daha düşük m değerine sahip olması, daha az kompakt olduğunu gösterir. Bu da iklim değişikliği açısından olumsuz bir etki yaratmaktadır.

Kentsel yapıları inşa etmek ve kentsel arazi yüzeylerini örtmek için kullanılan malzemeler, genellikle kırsal alanlarda doğal olarak bulunan malzemelerden önemli ölçüde farklılaşan termal orana sahiptir. Örneğin, nemli toprağın özgül ısı kapasitesi, asfalt ve betonun özgül ısısına göre yaklaşık %50 daha fazladır (Balaban, 2012). Bu durum kentsel alanlarda ısının hapsolmasına ve kentsel ısı adası etkilerinin görülmesine sebep olmaktadır. Çalışma alanındaki geçirimli (toprak) ve geçirimsiz (beton) zemin yapıları derecelendirilmiştir.

Kentlerde meydana gelen yoğun yapılaşma sebebiyle arazi örtüsü büyük oranda geçirimsiz hale gelmiştir. Yeşil alanlar ısı stresini azaltarak kentsel ısı adası etkisini azaltmada ve yağmur suyu sızmasını artırarak sel risklerini azaltmada etkilidir (Balaban, 2012). Benzer şekilde su baskınları ve kıyı yükselmesine karşı yeşil alan miktarının fazlalığı, kırılganlığı azaltmada doğru orantılı bir rol oynamaktadır. Çalışma alanındaki yeşil alan/sert zemin oranı uydu görüntülerinden elde edilen piksel sayma yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu oranın hesaplanması ve derecelendirilmesi yoluyla, kentsel kırılganlık açısından büyük önem taşıyan faktör, çalışmada dikkate alınmıştır.

Bir yapının uzun süre sağlıklı bir şekilde ayakta kalması birçok faktöre bağlıdır ancak yapının çatısı, temeli, yapı malzemesinin sağlam olması uzun süre fiziksel olarak ayakta kalacağını göstermektedir. Yapıyı taşıması, aldığı dengeli yük, zemin oturması gibi faktörlere bağlı olarak temel, yapının en mühim ögesidir. Temelin hasar alması, yağmur ve kar sularının doğru tahliye edilememesi yapıya zarar verecektir. Temelin hasar tespiti, beden duvarlarındaki çatlaklardan tespit edilebilir.

Tarihi kentlerin kırılganlık tespiti için dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur ise yapı malzemesidir. Tarihi kentlerde yapı malzemesi, yerel malzeme kullanımı ile dikkat çekmektedir. Bölgedeki taş ocağı, çevredeki orman alanı yahut toprak cinsi hava durumuna bağlı olarak taş, kargir, ahşap, kerpiç yapılar yapılabilmektedir. Çalışma alanı olarak belirlenen Eski Foça bölgesinin tarihi kent dokusunda genellikle gayrimüslim evi örnekleri görülmektedir. "Bu binaların hepsi bir veya iki katlıdır. Kesme ve moloz taştan yığma yapı tekniğiyle inşa edilmiştir" (Zegerek, 1997). İki katlı çoğunlukla avlulu yapılar harç ile bağlanmaktadır. Alandaki modern binalar ise genellikle betonarme olarak inşa edilmişlerdir. Eski Foça bölgesinde tarihsel kent merkezinden çeperlere doğru ilerlendikçe çok katlı olan yapı gruplarının arttığı gözlemlenmektedir. Çalışmanın önceki aşamalarında belirtilen aşırı sıcaklar ve beton malzemelerin, ısıyı hapsederek kentsel ısı adası etkisine sebep olması, kentsel unsurların malzeme seçimlerinin ne kadar önemli bir konu olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, özellikle tarihi yapıların bulunduğu alanlarda taş ve ahşap gibi malzemelerden oluşan yapılar, ısıyı betonarmeye göre daha az hapsetmelerine rağmen yağış, sıcaklık ve nem değişimi, rüzgâr gibi

atmosfer olayları ve hava kirliliği bu malzemelerde iklimsel yıpranma, boyutsal değişim ve renk değişimi gibi bozulmalara sebep olabilmektedir (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2017). Çalışma kapsamında ele alınan yapı adalarındaki binaların malzemeleri ve yapı durumları belirlenerek, adalara ortalama veri girişi yapılmıştır

İklim değişikliği kaynaklı afetlerin belki de en zarar vericisi olarak karşımıza çıkan taşkınlar, seller ve bunlara bağlı faktörler kırılganlığın belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Binalara belirli bir mesafede bulunan bahçe duvarı, istinat duvarı, kaldırım gibi malzemelerin taşkın anında suyun binayla direkt temasını engelleyici unsurlar olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda çalışma kapsamında ele alınan yapı adalarında kaldırım durumu da derecelendirilerek **Tablo 1**'de gösterilmiştir. Bahsedilen bu veriler ve derecelerin kırılganlık formülüne girilmesiyle de seçilen 22 adanın iklim değişikliğine karşı kentsel kırılganlık durumu belirlenmiştir.

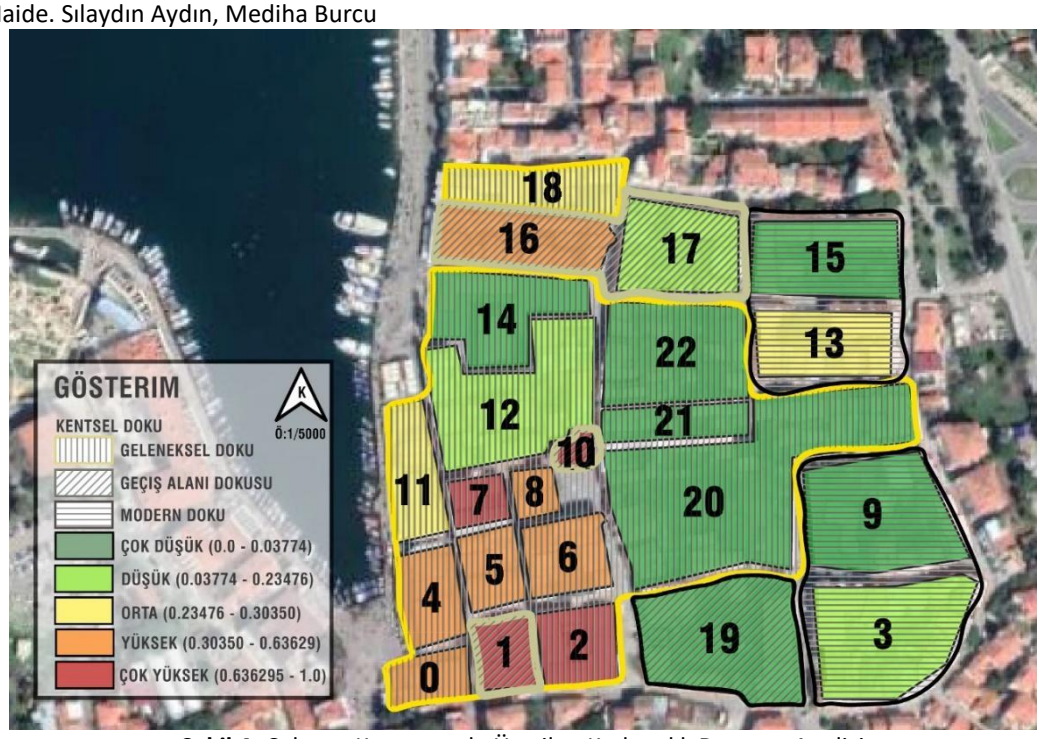
**Tablo1.** Çalışma Kapsamında Ele Alınan Verilerin Gösterge ve Dereceleri.

| Veri Grubu | Gösterge | Değer | Derece | Veri Sınıfı | Veri Elde Etme Yöntemi |
|---|---|---|---|---|---|
| Fiziksel | **Ada Konumu (Denize Yakınlık)** | 0-20 | 5 | Hassaslık | Google Earth Pro ve ArcGIS programı kullanılarak denize kuş uçuşu olan en kısa ve en uzun mesafelerin ortalamaları alınarak oluşturulmuştur. |
| | | 20-50 | 3 | | |
| | | 50-100 | 1 | | |
| Fiziksel | **Rakım** | 0-5 | 5 | Hassaslık | Google Earth Pro yükselti profilinden alınan rakım değerlerinin ortalaması alınarak oluşturulmuştur. |
| | | 5-7 | 3 | | |
| | | 7-10 | 1 | | |
| Mekânsal | **Yapı Yoğunluğu** | Yüksek | 4 | Maruziyet | ArcGIS programı kullanılarak hesaplanmıştır. |
| | | Orta | 3 | | |
| | | Düşük | 1 | | |
| Mekânsal | **Zemin Yapısı** | Geçirimli | 2 | Hassaslık | Piksel sayımı toprak ve beton yollara uygulanmıştır. Geçirimli ve geçirimsiz yüzeyler saptanmıştır. |
| | | Geçirimsiz | 5 | | |
| Mekânsal | **Yeşil Alan/ Sert Zemin Oranı** | Yüksek | 1 | Hassaslık | Google Earth Pro'dan alınan alanın Full Hd alan görüntüsü, Photoshop uygulamasıyla piksel sayımına alınarak saptanmıştır. |
| | | Orta | 3 | | |
| | | Düşük | 5 | | |
| Mekânsal | **Sokak-Yapı Yüksekliği İlişkisi** | İyi | 1 | Başa Çıkabilme Kapasitesi | Google Earth'ten alınan sokak genişliği verisi ile alan ziyareti sonucunda elde edilen kat sayısı verileri kullanılmıştır. h- 2h kurallarına göre yorumlanarak elde edilmiştir. Ada içerisinde girilen veride ortalama kat yüksekliği, en dar yollar göz önüne alınmıştır. |
| | | Orta | 3 | | |
| | | Kötü | 5 | | |
| Fiziksel | **Rüzgâr Geçirimi** | Rüzgâr Geçirimli 0-0.49 | 1 | Başa Çıkabilme Kapasitesi | Grimmond, C. S. B.,&Oke, T. R. (1999) ve Burian, S. J., Brown, M. J., &Linger, S. P. (2002) tarafından kullanılan building "frontalareaindex" yöntemiyle ele alınmıştır. |
| | | Yarı Geçirimli 0.50-1 | 3 | | |
| | | Rüzgâr Geçirimsiz 1+ | 5 | | |
| Mekânsal | **Yapı Malzemesi** | Betonarme | 5 | Başa Çıkabilme Kapasitesi | Ada bazında yoğun olarak kullanılan malzeme değerlendirilmiştir. Geleneksel yapım teknikliğiyle inşa edilmiş yapıları kagir olup taş malzeme sınıfında değerlendirilmiştir. Yeni yapı gruplarının ise betonarme kullanılarak inşaedildiği görülmüştür. Odak noktası olarak |
| | | Taş | 3 | | |
| | | Ahşap | 4 | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | seçilen adalarda ahşap yapım sistemine rastlanılmamıştır. |
| Mekânsal | **Kent Kompaktlığı** | Kente Göre Yüksek | 1 | Başa Çıkabilme Kapasitesi | Google Earth'ten alınan kent makroformu FdEstimator uygulamasıyla Fraktal Boyut hesabına alınarak elde edilmiştir. |
| | | Kente Göre Düşük | 5 | | |
| Mekânsal | **Yapı Durumu** | İyi | 1 | Başa Çıkabilme Kapasitesi | Alan ziyaretleri sonucunda elde edilen verinin ortalamalarına göre ada değerleri elde edilmiştir. |
| | | Orta | 3 | | |
| | | Kötü | 5 | | |
| Mekânsal | **Kaldırım Durumu** | Var | 1 | Başa Çıkabilme Kapasitesi | Alan ziyaretleri sonucunda elde edilen verinin ortalamalarına göre ada değerleri elde edilmiştir. |
| | | Yok | 5 | | |

## 4. Bulgular ve Sonuç

Yapılan çalışma, Foça İlçesi, Eski Foça merkezi, Atatürk mahallesinde yer alan ve her üç dokuyu da içerisinde barındıran bir alanda, iklim değişikliğine karşı kırılganlığı ölçmeyi, morfolojik faktörlerin kırılganlıktaki etkisini ve geleneksel-modern doku arasındaki farklılıkları irdelemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla yapılan kırılganlık analizi sonucunda, kırılganlık durumu "çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek" olmak üzere beş düzeyde sınıflandırılmıştır. Saptanan kırılganlık düzeylerine göre genellikle modern doku olarak tarif edilen alanda kırılganlık derecesi çok düşük, düşük seviyelerinde görülürken, geleneksel doku olarak tarif edilen alanda bu düzey çok yüksek, yüksek düzeylerindedir. Geçiş alanı olarak tanımlanan alanda kırılganlık düzeyinin çok yüksek, çok düşük ve orta dereceli olarak saptanması ile oldukça değişken olduğu görülmüştür. Ada bazlı kıyaslama yapıldığında, analizler sonucunda her üç dokuya sahip alanda iklim değişikliğine karşı kırılganlığın farklı sebeplerle çok düşük ve yüksek çıkabildiği görülmüştür (**Şekil 4**). Bu durumun yanı sıra, sahil şeridinde yer alan ve çoğunlukla geleneksel doku hâkim olan yapı adalarının, yapı yoğunluğunun fazlalığı, yeşil/sert zemin oranının düşük olması, rakımının düşük olması gibi sebeplerle daha kırılgan alanlar olduğu anlaşılmaktadır. Kırılganlık derecesi çok yüksek olarak sınıflandırılan yapı adalarının hepsinin geleneksel dokuya sahip olduğu, yüzey alanına oranla yapıların büyük bir yer kapladığı, bu adaları çevreleyen yolların dar ve geçirimsiz malzemeden oluştuğu, neredeyse hiç yeşil veya açık alanının bulunmadığı dikkat çekmektedir. Ancak bu 12 ve 14'nolu adalarda istisnai bir durum oluşturmaktadır. Özellikle 14'nolu adanın denize yakınlığı ve bahçe durumu ele alındığında, tarihi yapı ve ek betonarme okul yapısından dolayı kırılganlığının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Modern doku olarak tarif edilen, betonarme yapıların yoğunlaştığı alanlarda ise, açık ve yeşil alanların arttığı, bu adaların etrafını saran sokakların yapı yüksekliği ile olumlu bir ilişkide olduğu görülmüştür. Sahil şeridinden uzaklaştıkça kırılganlığın azaldığı görülmektedir. Bu alanlar doğal veya yapay eşiklerle daha az sınırlanmış, planlama çalışmalarının gerçekleşebildiği alanlardır. Sahil şeridine yakın olup kırılganlık derecesinin düşük olduğu alanların çevresinde meydan ve geniş yollarla yapılaşma yoğunluğun düşürüldüğü görülmektedir. Birçok ölçekte plana konu olan ve turizm potansiyeli ile önem verilen Eski Foça ilçesinde yer alan çalışma alanın modern ve geçiş alanı özelliği gösteren dokuya sahip alanların düşük ve seyrek kırılganlık düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Geleneksel dokunun yoğunlaştığı meydan ve çevresinin ise çok yüksek ve yüksek kırılganlığa sahip olduğu görülmüştür.




**Şekil 4:** Çalışma Kapsamında Üretilen Kırılganlık Durumu Analizi

## 5. TARTIŞMA

İklim değişikliğine bağlı gelişebilecek afetlere karşı kentsel mekânı daha dirençli hale getirmek için adımlar atılması gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilen kırılganlık düzeyleri ve göstergelerle bağlı ilişkiler yorumlandığında, geleneksel doku ve modern dokuya yönelik dirençliliği artırma hedefinde temel müdahale noktalarının neler olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Korunması gerekli olan geleneksel doku alanlarında yenilenen, geliştirilen alanlarda yeşil-sert zemin oranını artırmak adına, bahçe ve avlularda yeşil alan yaratmaya çalışılabileceği gibi, yenilenen yollarda geçirgen yüzeyler tercih edilebilir. Yıkılan ya da onarıma ihtiyacı olan yapıların yenilenecek kısımlarında yüzey sıcaklığını artırıcı malzemeler yerine geçirgen malzemeler tercih edilebilir. Bu şekilde gelişen bir koruma anlayışı, kültürel mirası, aidiyet duygusunu, kent kimliğini koruma da önemli bir rol oynayan geleneksel doku alanlarının gelecekte de var olmasına, değerinin artmasına sebep olurken, yaşanabilecek tehlikelere karşı direnç kazanan mekânın koruma masraflarının azalmasına neden olacaktır. Modern yapılaşma biçimine sahip alanlarda ise, daha fazla doğal ve mekânsal özelliğin yapılaşma öncesinde tespit edilebildiği ve buna bağlı olarak daha geniş planlama ve mimari karar alınabildiği görülmektedir. Bu durum ise yapılaşmanın iklim değişikliğine karşı daha düşük kırılganlık göstermesine sebep olmaktadır. Ancak her ne kadar kıyaslama yoluyla yapılan yorumlarda kırılganlığı düşük görülse dahi, bu alanlarda yeşil-sert zemin oranının korunmaması, yapılacak yol çalışmalarında geçirimsiz malzemelerin tercih edilmesi gibi durumlar sonucunda kırılganlık derecesi yükselebilir konumdadır. Bu sebeple bu alana ilişkin yeni kararların, yapılan analiz sonuçlarını göz önüne alarak kırılganlık noktalarını güçlendirecek şekilde üretilmesi kenti daha yaşanabilir kılacağı gibi, geleneksel dokuda bulunan kırılganlık düzeyini de dolaylı olarak azaltabilecektir.

Uzun yıllar varlığını sürdüren geleneksel dokunun devamlılığı için iklim değişikliğinin getirdiği afetlere karşı direnci arttırılmalıdır. Buna bağlı olarak, yüksek risk taşıyan kıyı bölgesindeki tarihi dokunun korunması için sokak ve kent boşluklarının geçirimli malzeme ile yeniden düzenlenmesi, (aşırı yağış, sel, heyelan gibi iklim değişikliğine bağlı afetler için) Geçiş alanlarında tarihsel süreç, belge ve arşiv taramasına bağlı olarak özgün halindeki durumu ile günümüz üzerinden yeniden ArcGIS üzerinden simüle ederek direnç ölçümü yapılması, eleme çalışmalarının buna bağlı olarak ilerlemesi, (ayıklama, eleme çalışmalarında doğru sonuç almak için) Geleneksel dokunun daha dirençli olması adına yapıların periyodik bakımlarının yapılması, (aşırı yağış, sıcaklık artışı, deniz yükselmesi, iklim değişikliğine bağlı afetler ev zamana karşı koruma için) Esaslı onarım isteyen geleneksel yapı gruplarında malzeme seçimi ve işçiliğin iklim değişikliğine olan direnci artıracak şekilde tercih edilmesi, (sıcaklık artışına bağlı olarak malzemenin davranış biçimi önem taşımaktadır) Eski Foça-Atatürk Mahallesi seçili adalar bazında getirilebilecek önerilerdir. Geçiş bölgesinde ise tarihi yapıların çoğunun restorasyon çalışmalarının tamamlanmış olması direncini arttırmış olduğu çıkarımı yapılabilir.

Tarihi çevrelerin korunmasında yapı ve yapı gruplarının dönemlik bakımları, malzeme seçimi, koruma amaçlı imar planlarında doğru eleme ve düzenleme çalışmalarının önemi ortaya çıkmaktadır. Geçiş bölgesinde inşa edilmiş tarihi, kültürel ve yapım niteliği taşımayan ticari ve rant kaygılarıyla inşa edilmiş çok katlı yapıların tarihi yapıların direncini düşürdüğü için eleme yapılması öneriler arasına getirilebilir. Buna bağlı olarak Eski Foça özelinde yapılacak bir aksiyom planında tarihi yapıların ve bölgenin yaşamını sürdürmesi adına alınacak kararlar kırılganlık analizine göre çözümlenmelidir. Tarihi çevredeki niteliksiz eklerin elenmesi, doğru koruma kararlarının alınması, deniz yükselmesi ve sel baskınları gibi tehlikelere karşı teknolojik çalışmalar geliştirilmelidir. Her ne kadar doku ayrımı yapılarak sorunlar tespit edilmiş olsa dahi, iki dokuya yönelik geliştirilecek kararlar, dokuların kendi kırılganlık düzeyleri ve özelliklerine göre kapsamlı bir şekilde ele alınmalı, bir dokudaki düzeltilemeyecek/önlenemeyecek eksi, diğer dokudaki artı ile dengelenmelidir. Yapılan çalışma kentsel mekânı oluşturan ana öğelerden yalnızca biri olan doku üzerinden yürütülmüş, kendine özgü nitelik taşıyan alanlarda kırılganlık saptanmıştır. ArcGIS 10 ile hazırlanmış olan kent morfolojisi ve iklim değişikliği ilişkisini açıklamaya çalışan bu araştırma gelecek eylem planları için farklı dokuların mevcut kırılganlığının saptandığı önemli bir altlık değeri taşımaktadır. Gelecek çalışmalarda kenti oluşturan her bir öğe (mavi-yeşil altyapı, yollar, altyapı, sosyal-ekonomik yapı) benzer yaklaşımlarla ele alınmalı, kırılganlık düzeyi saptanarak geliştirilecek kararlarda göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bu şekilde geleceğe, geçmişinden güç alan, karakterli, daha dirençli, daha dayanıklı ve esnek bir kent ulaştırmak mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR


Balaban, O. (2012). Climate change and cities: A review on the impacts and policy responses. *METU JFA*, 29(1), 22-44.

Balica, S.F., Douben N., Wright N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water Sci Technol*, 60 (10), 2571–2580.

Balica, S. F., Wright N. G., Van der Meulen F. (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat Hazards*, 64:73–105.

Bambrick H., Moncada S., Briguglio M. (2015). Climate change and health vulnerability in informal urban settlements in the Ethiopian Rift Valley, *Environmental Research Letters*, 10, 054014.

Birdal, A., Korkmaz, E., Erşen, G , Türk, T., Atun, R. (2018). Monitoring climate changes by geographical information systems (GIS): A case study of İzmir city. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4 (1), 45-55. https://doi.org/10.21324/dacd.363694

Burian, S. J., Brown, M. J., Linger, S. P. (2002). Morphological analyses using 3D building data bases: Los Angeles, California. *Los Alamos National Laboratory*, 74.

Bumbaru, D., Burke, S., Petzet, M., Truscott, M., & Ziesemer, J. (Eds.). (2000). *Heritage at risk: ICOMOS world report 2000 on monuments and sites in danger= Patrimoine en péril: ICOMOS rapport mondial 2000 sur des monuments et des sites en péril= Patrimonio en peligro: ICOMOS informe mundial 2000 sobre monumentos y sitios en peligro*. KG Saur, München.

Busch, U. E. (2010). Kentsel kültür mirasına yönelik risk azaltımı için bir yönetim modeli önerisi: İstanbul-Büyükada örneği [Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul]. Erişim adresi: http://hdl.handle.net/11527/9757.

Canan, F. (2017). Kent geometrisine bağlı olarak kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi: Konya örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 69-80.

De Leon, V., Carlos, J. (2006), Vulnerability a conceptual and methodological review, studies of the university: research, counsel, education. *Publication Series of UNU-EHS*, 4, 9-27, Bornheim, Almanya.

Demirden, H. E. (2019). Çok katmanlı kentlerin korunmasında tasarım destekli yöntem arayışları ve önlemsel yaklaşımlar: Eski Foça örneği. [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.].

Emmanuel, R., Krüger, E. (2012). Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: the case of Glasgow, UK. *Building and Environment*, 53, 137-149.

Geymen Y., Dirican, M. (2016). İklim değişikliğine bağlı deniz seviyesi değişiminin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak analiz edilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:* 8, No: 1, (65-74).

Gözlükaya, H. (2016). Sakınım planlaması sürecinde kentsel koruma alanlarının değerlendirilmesi; Burdur örneği. [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta].

Gran Castro, J. A., & Ramos De Robles, S. L. (2019). Climate change and flood risk: vulnerability assessment in an urban poor community in Mexico. Environment and urbanization, 31(1), 75-92.

Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R. (1999). Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *Journal Of Applied Meteorology*, 38(9), 1262-1292.

ICOMOS (2013). Türkiye mimari mirası koruma bildirgesi. http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0605742001542305046.pdf. Erişim tarihi: 15.05.2021.

İstanbul Valiliği, İstanbul Proje Koordinasyon Birimi. (İSMEP). (2014a). Afete dirençli şehir planlama ve yapılaşma, İstanbul, Türkiye.

İstanbul Valiliği, İstanbul Proje Koordinasyon Birimi. (İSMEP). (2014b). Kentsel risklerin azaltılması, İstanbul, Türkiye.
Lankao, P. R., Qin, H. (2011). Conceptualizing urban vulnerability to global climate and environmental change. Current opinion in environmental sustainability, 3(3), 142-149.
Lindley, S. J., Handley, J. F., Theuray, N., Peet, E., & McEvoy, D. (2006). Adaptation strategies for climate change in the urban environment: assessing climate change related risk in UK urban areas. *Journal of Risk Research*, 9(5), 543-568.
Mansur, A.V., Brondı´zio, E.S., Roy, S., Hetrick, S., Vogt, N.D., Newton, A. (2016). An assessment of urban vulnerability in the Amazon Delta and Estuary: a multi-criterion index of flood exposure, socio-economic conditions and infrastructure, Sustain Sci, 11, 625–643.
Muller, A., Reiter J., Weiland, U. (2011). Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 2107–2123.
Pandey, R. & Jha, S. (2012). Climate vulnerability index-measure of climate change vulnerability to communities: a case of rural Lower Himalaya, India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(5), 487-506.
Porio, E. (2011). Vulnerability, adaptation, and resilience to floods and climate change-related risks among marginal, riverine communities in Metro Manila. Asian Journal of Social Science, 39(4), 425-445.
Quarantelli, E. L. (2003). Urban vulnerability to disasters in developing countries: managing risks. Building Safer Cities, 211-232.
Rasch, RJ. (2015). Assessing urban vulnerability to flood hazard in Brazilian municipalities. Environment & Urbanization. 28(1), 145–168.
Streutker, D. R. (2003). A study of the urban heat island of Houston, Texas. [A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree, Rice University, Texas].
Şanlı, N., Varol, F. N., KILIÇ, S. E., & Güney, M. E. Planlama kapsamında kentsel risklerin tespiti ve derecelendirilmesine yönelik iki çalışma: Kocaeli örneği. *İdealkent*, 12(Kentleşme ve Yaşam Kalitesi Özel Sayısı), 415-440.
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü (2016). Foça özel çevre koruma bölgesi yönetim planı. 2016-2020. Aralık 2016.
TÜİK (2020), Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, Türkiye İstatistik Kurumu Veri Tabanı.
TYİDRYK (2017), Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, Vakıflar Genel Müdürlüğü.
Varol, N., Buluş Kırıkkaya, E. (2017). Afetler karşısında toplumun dirençliliği. *Resilience*, 1(1), 1-9.
Yüksel, Ü.D. ve Yılmaz, O. 2008. Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin yaz aylarında uzaktan algılama ve meteorolojik gözlemlere dayalı olarak saptanması ve değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Der*gisi, 23(4), 937–952.
Zegerek, G. (1997). Eski Foça'nın geleneksel dokusunda koruma ve sağlıklaştırma. [Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara].

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Kent Hakkı Sorunu Çözümüne Katkı Sağlayacak Bilgi Tabanlı Bir Dayanıklılık Modeli

Şemsi Barış Terzi [1]; Kevser Yıldız [2]
[1] İstanbul Teknik Üniversitesi - Mimari Tasarımda Bilişim Yüksek Lisans Programı;
[2]İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Mimarlık Bölümü
[1]www.baristerzi.com, [1]baris@virtualogie.com; [2]kevser@virtualogie.com

## Özet

*Dayanıklılık kavramından söz edilebilmesi için en az iki öğenin var olması gerekmektedir. Dayanıklılık öğelerin salt kendi varlıkları üzerinden değil ötekiyle ilişkisi üzerinden var olabilir ve tanımlanabilir. İlişkisel bir kavram olduğundan dayanıklılık kavramının tanımlanması merkeziyetçi bakış açısıyla gerçekleştirilmez, dayanıklılık kavramını tanımlayabilmek için öğeler arasındaki ağ yapılanması görülmeye çalışılabilir. Ağ yapılanmasındaki öğelerin optimize bir dayanıklılık sergilemesi için belirli bir tepki şiddeti oluşturulmalıdır. Tepkinin aşırı veya yetersiz olması dayanıklılığın olmadığı bir durum ortaya koyacaktır. Bir kent hakkı sorununun, kentin öğelerinin arasındaki ilişkinin dayanıklılık kavramı üzerinden okunarak anlaşılmaya çalışılması mümkündür. Bu durumda nesne tabanlı programlama kullanılarak, kent hakkı sorunlarının olası çözümlerine dair kentin öğelerinin dayanıklılıklarını optimize hale getirilmesi için bilgi tabanlı modeller üretilebilir mi? Bu modellerle kentin öğelerinin dayanıklılık ilişkisinden farklı potansiyeller üretebilir mi? Çalışma bu sorular doğrultusunda oluşturulan bir bilgi tabanlı dayanıklılık modeli tasarımını amaçlamaktadır. Tasarlanan model ile üretilen çıktıların kent hakkı sorununun olası çözümüne katkı sağlaması beklenmektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *: Kent hakkı, kent öğeleri, dayanıklılık, optimizasyon, bilgi tabanlı tasarım.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Terzi, S.B., & Yıldız, K. (2021). Kent hakkı sorunu çözümüne katkı sağlayacak bilgi tabanlı bir dayanıklılık modeli. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf.349-361). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Knowledge-Based Resilience Model That Will Contribute to the Solution of the Right to the City Problem

Şemsi Barış Terzi [1]; Kevser Yıldız [2]
[1] Istanbul Technical University, Architectural Design Computing Graduate Program;
[2]İstanbul Esenyurt University, Department of Architecture
[1]www.baristerzi.com, [1]baris@virtualogie.com; [2]kevser@virtualogie.com

## Abstract

*At least two elements must exist for resilience to occur. Resilience can exist and be defined not only through the entity's own existence but also through its relation to the other. In order to define the concept of resilience, it is tried to understand the network structure between the elements. For elements in the network to exhibit optimized durability, there must be a response intensity. Excessive or insufficient response destroys resilience. The problem of a right to the city can be understood by reading the relationship between the elements of the city through the concept of durability. Thus, can knowledge-based models be produced that can optimize the durability of the elements of the city to solve the right to the city problems using object-oriented programming? Can these models produce potentials different from the durability relationship of the elements of the city? The study aims to design a knowledge-based resilience model based on these questions. It is expected that the outputs produced with the designed model will contribute to the solution of the right to the city problem.*

***Keywords:*** *Right to the city, elements of city, resilience, optimization, knowledge-based design.*

**Citation in APA Style:** *Terzi, S.B., & Yıldız, K. (2021). A knowledge-based resilience model that will contribute to the solution of the right to the city problem. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp.349-361). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Bu çalışma, "dayanıklılık" kavramının irdelenmesiyle kavrama kent hakkı çerçevesinde sorulan soruların cevapları doğrultusunda bir model kurgusu oluşturulması ve bu modelin algoritmasının tasarlanması süreçlerinden oluşmaktadır. Çalışmanın ortaya çıktığı yıl sonu projesinin konusu "bilgi tabanlı bir yapılanma olarak dayanıklılık" üst başlığıyla belirlenmiş ve "dayanıklılık" kavramı değerlendirilerek bir bilgi tabanlı tasarım modeli oluşturulması amaçlanmıştır. "Bilgi tabanlı tasarım dayanıklılığı arttıran yönde etki edebilir mi, diğer yandan bu olumlu görünen etkinin ayrıca getirdiği yükler de olabilir mi?" ve "Bilgi tabanlı tasarım ile nesneler arası dayanıklılık optimize hale getirilebilir mi?" temel soruları doğrultusunda, İstanbul, Kadıköy, "Tarihi Yeldeğirmeni Mahallesi" olarak da bilinen Rasimpaşa Mahallesi'nde mevcut olan kent hakkı problemine yönelik bir çalışma yapılmış ve "Bilgi tabanlı tasarım ile kent öğeleri arasında kent hakkı korunabilir mi?" sorusu ile algoritma geliştirilmiştir. Algoritma bölgedeki Karakolhane Caddesi'nin bir bölümü ile denenmiştir. Algoritmanın kodlanmasında nesne tabanlı programlama temel alınarak Python kullanılmış ve Grasshopper ile arayüz tasarımı yapılmıştır.

## 2. Dayanıklılık

Dayanıklılığı ekolojik sistemler açısından Holling (1973) "Sistemlerin sürekliliği, değişime ve düzenin bozulmasına dayanarak durum değişkenleri arasındaki ilişkileri devam ettirebilme kabiliyetinin ölçütü" olarak tanımlarken fiziksel sistemler açısından Bodin ve Wiman (2004) "Bir yer değiştirmenin ardından sistemin denge noktasına ulaşma hızı" olarak tanımlamıştır (Gerçek ve Yılmaz Börekçi, 2019). Temel olarak dayanıklılık kavramı "sistemlerin devamlılığını sağlama kabiliyeti olarak" ele alınabilir. Bu durumda akış halinde bir sistemin var olabilmesi için sistemin ağ ilişkileri içerisinde dayanıklılık kavramının da var olması gerekmektedir. Dayanıklılık kavramı en az iki öğenin birbiri ile ilişkisi olduğu sürece mümkündür.

$$\text{Dayanıklılık} = \text{Fonksiyon}\,(f(x,y,..),g(x,y,..)...) \tag{1}$$

Dayanıklılığı ikiden fazla girdisi olan bir fonksiyon olarak ele alabiliriz. Bu fonksiyona giren bir öğe ötekiyle ilişkilenir ve ötekine yönelik tepki gösterir. Bu da o öğenin ötekine dair dayanıklılığını oluşturur. Dayanıklılık iki girdili bir f(x,y) fonksiyonu olarak düşünülürse,

$$f(x, y) = x\ \Delta\ y \tag{2}$$

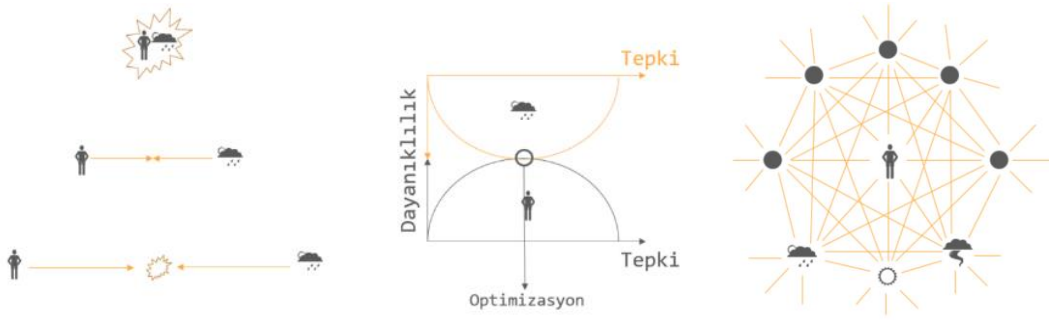
fonksiyonu için girdiler arasında gerçekleşen bir Δ işlemi olacaktır. Bu Δ işlemi "deneyimle veriye karşı verilen tepki" olarak tanımlanabilir. Peki bu tanıma nasıl ulaşılabilir? Örneğin "İşe gitmeye çalışan bir insanın evden çıkmadan önce yağmur yağdığını fark etmesi üzerine, işe gitmesini" temel alan bir dayanıklılık senaryosu oluşturulduğunda fonksiyonun girdileri insan ve yağmur olacaktır.

x= , y= f(x, y) (3)

İnsan farklı tepkiler vererek yağmura karşı dayanıklılık sağlayabilir. Ancak verdiği her tepkinin ayrı bir sonucu olacaktır. Sonuçların tamamıyla olumlu ya da olumsuz olması mümkün değildir. Bu tepkilere örnek olarak yanına şemsiye alması düşünüldüğünde şemsiyeyi tüm gün taşıyacağı için bu durum onun hareketliliğini kısıtlayacaktır; taksiye binerek gittiği düşünülürse para kaybına uğrayacaktır ya da yağmurun dinmesini beklediği düşünülürse bu durumda da zaman kaybına uğrayacaktır. İnsan yağmura karşı farklı tepkiler vererek dayanıklılık sağlayıp farklı sonuçlara ulaşabilir. Bu durumda farklı tepkiler verebilmesi esnekliktir (**Şekil 1**). Farklı sonuçlara ulaşması ise deneyimdir ve önceki deneyimleri ile de o anlık vereceği tepkiye karar verebilir. Deneyimleri doğrultusunda tepki verebileceği öğeyi öğrenmesini sağlayan ise veridir.

**Şekil 1:** Aynı girdilere sahip fonksiyonun farklı çıktıları.

Dayanıklılık için farklı tepkiler verilebilmesi durumunda Vale (2017) "Esneklik her zaman iyi midir, yoksa eşitsiz bir statükoya mı dönüşür?" sorusunu sorar. Bu statüko düşünülürse ve tepki şiddeti arttırılırsa ne olur? Mevcut senaryoda insanı insanlık ile bir bütün olarak düşünürsek ekolojik bozulma ile yağmur yok edilebilir. İnsanlığın yağmura karşı verdiği aşırı tepki doğanın ve insanlığın ciddi hasar almasına kuvvetle muhtemel de yok olmasına neden olacaktır. Bu nedenle dayanıklılık çift taraflıdır. "Kimin dayanıklığından söz ediyoruz?" sorusu sorulduğunda mevcut senaryoda hem insanın hem yağmurun dayanıklılığı sağlanmalıdır. Dayanıklılık için verilen tepkide tüm öğeler için olumlu sonucun üst düzeyde olacağı optimizasyon sağlanmalıdır.




**Şekil 2:** Tepkinin hiç olmaması, optimal veya aşırı olması durumda dayanıklılık(sol); Tepki – Dayanıklılık grafiği (orta); Rizom ilişkiler ağından oluşan bir dayanıklılık senaryosu (sağ).

Tepkinin hiç olmaması veya aşırı olması da dayanıklılık ilişkisinin potansiyellerini değerlendirilemez kılacaktır (**Şekil 2**). Mevcut durumda dayanıklılık için oluşturulan bu ilişki ağında sadece insanın deneyimle veriye karşı verdiği tepki ele alınacaktır. Bu ele alış biçimi tek merkezli bakış açısının olumsuz bir getirisidir. Ancak gerçekte sistemlerin akışından bahsedebilmek için dayanıklılıkta merkezde bir öğe bulunmamalı ve ilişki ağı bir rizom gibi düşünülmelidir. Rizom merkezi olan ve kökten gelen hiyerarşik bir ağaçtan uzaktır ve birleştirdikleri ağlar arasında hiçbir hiyerarşik düzen yoktur (Deleuze ve Guattari, 2005) (**Şekil 2**). Merkezi olmayan rizom ilişkiler ağından oluşan dayanıklılıkta sadece bir öğenin değil, tüm öğelerin tepkileri göz önüne alınmalıdır. Dayanıklılık fonksiyonunun girdileri ise bir öğeler bütünü olmalıdır.

$$z=[\,,\,,\,,\,] \quad \text{Dayanıklılık} = f(z) = \text{Rizom}[] \tag{4}$$

Bu durumda insan merkezli olmayan ancak insan bakış açısı ile oluşturulan bir dayanıklılık durumu nasıl kurulabilir? Bilgi tabanlı tasarım ile nesneler arası dayanıklılık optimize hale getirilebilir mi? Bu süreçte deneyim, veri ve tepkiler nesneler için objektif ve optimize bir değerlendirme sunabilir mi?

Çalışmada girdileri mimari tasarım ve sosyolojik unsurlar olan tüm öğelerin deneyim veri ve tepkileri göz önünde bulundurulacak bir proje önerisinde bulunulmaktadır. Bu öneride dayanıklılık fonksiyonu,

z = [mimari tasarım, sosyolojik unsurlar]

f(z)=mimari tasarım Δ sosyolojik unsurlar (s1 Δ s2 Δ s3...)

biçiminde tanımlanabilir.

## 3. Mimari Tasarım Problemi Olarak Dayanıklılık

Girdileri arasında optimum tepki ile optimize dayanıklılık sağlamayı amaçlayan proje önerisinin öğeleri mimari tasarım ve sosyolojik unsurlardan oluşmaktadır. Bir mimari tasarım problemi olarak kent hakkı ele alınmıştır ve bir algoritma ile bu kent hakkı sorununun çözümüne katkı sağlanmaya çalışılmaktadır. Lefebvre'nin (2015) tanımıyla; "Kent hakkı kendini üstün bir hak biçimi olarak ortaya serer: özgürlük hakkı, toplumsallık içinde bireyleşme hakkı, habitat ve mesken hakkı. Yapıt hakkı, katılım ve sahiplenme hakkı da (mülkiyet hakkından belirgin biçimde farklıdır) kent hakkının içinde yer alırlar." .Bilgi tabanlı tasarım ile kent öğeleri arasında kent hakkı korunabilir mi?

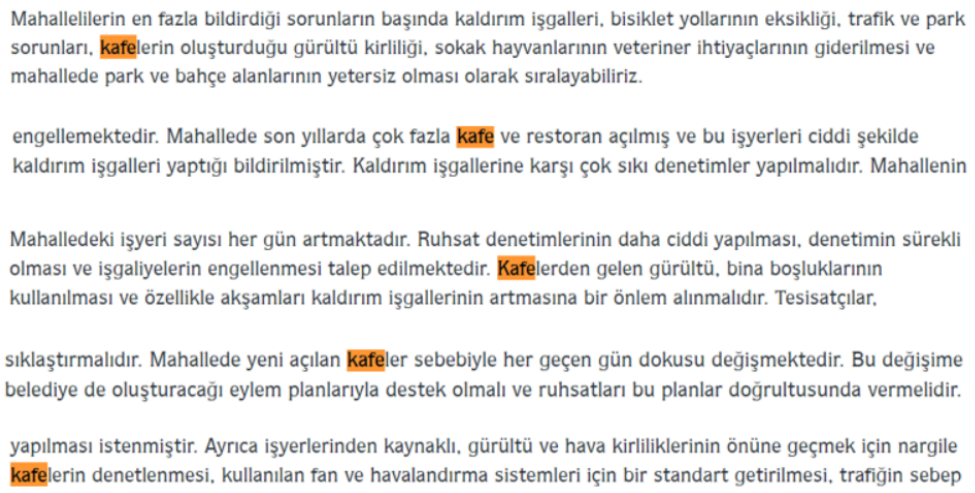
Tarihi Yeldeğirmeni Mahallesi'nde bölgenin sakinleri ile mevcut ticari alanlar arasındaki ilişkiler gerilim oluşturmaktadır. (**Şekil 3**) Bu gerilimin temelinde ise kent hakkı sorunları olarak bir başlıkta toplayabileceğimiz olumsuzluklar yer almaktadır. Bölgeye açılan işletmeler tamamen ticari kaygılar ile açıldığı için bölge sakinleri altyapı yetersizliği, kalabalık, gürültü ve hava kirliliği, sokak işgali, tarihi dokunun bozulması gibi durumlardan şikayetçidirler (İstanbul Kadıköy Belediyesi, 2019).

Bölgenin sakinlerinin şikayetleri ve ticari mekanların işlevleri göz önüne alındığında dayanıklılık fonksiyonu:

x=[ticari mekanlar, sakinler]

f(x)= ticari mekanlar Δ sakinler

biçiminde tanımlanabilir. İki öğe de yok olmadan olumlu potansiyelleri değerlendirilebilmesi ve kent hakkı sorununun çözümüne katkı sağlanabilmesi için bu dayanım fonksiyonunda iki öğe için de tepki şiddeti optimizasyonu sağlanması gerekecektir.


Mahallelilerin en fazla bildirdiği sorunların başında kaldırım işgalleri, bisiklet yollarının eksikliği, trafik ve park sorunları, kafelerin oluşturduğu gürültü kirliliği, sokak hayvanlarının veteriner ihtiyaçlarının giderilmesi ve mahallede park ve bahçe alanlarının yetersiz olması olarak sıralayabiliriz.

engellemektedir. Mahallede son yıllarda çok fazla kafe ve restoran açılmış ve bu işyerleri ciddi şekilde kaldırım işgalleri yaptığı bildirilmiştir. Kaldırım işgallerine karşı çok sıkı denetimler yapılmalıdır. Mahallenin

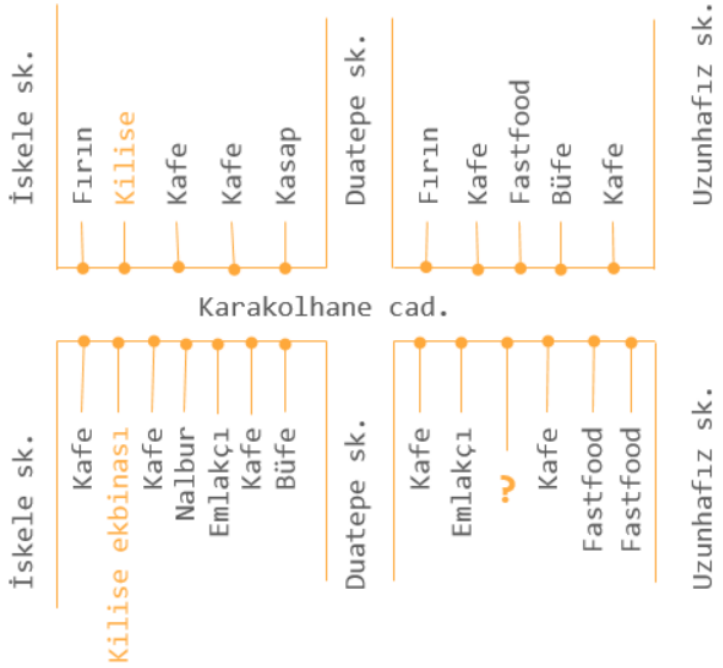
Mahalledeki işyeri sayısı her gün artmaktadır. Ruhsat denetimlerinin daha ciddi yapılması, denetimin sürekli olması ve işgaliyelerin engellenmesi talep edilmektedir. Kafelerden gelen gürültü, bina boşluklarının kullanılması ve özellikle akşamları kaldırım işgallerinin artmasına bir önlem alınmalıdır. Tesisatçılar,

sıklaştırmalıdır. Mahallede yeni açılan kafeler sebebiyle her geçen gün dokusu değişmektedir. Bu değişime belediye de oluşturacağı eylem planlarıyla destek olmalı ve ruhsatları bu planlar doğrultusunda vermelidir.

yapılması istenmiştir. Ayrıca işyerlerinden kaynaklı, gürültü ve hava kirliliklerinin önüne geçmek için nargile kafelerin denetlenmesi, kullanılan fan ve havalandırma sistemleri için bir standart getirilmesi, trafiğin sebep

**Şekil 3:** Kadıköy belediyesinin düzenlediği "Anlat Kadıköy" mahalle toplantılarında sakinlerin şikayetleri arasından "kafe" anahtar kelimesi ile ulaşılan şikayetler. (İstanbul Kadıköy Belediyesi, 2019).

Bölgenin önemli arterlerinden olan Karakolhane Caddesi'nin bir bölümü ele alındığında kafelerin yoğunlukta olduğu göze çarpmaktadır (**Şekil 4**). Mevcut durum göz önünde bulundurulduğunda ticari mekanlardan birinin işlevsiz kalması durumunda yerine gelecek işlevin eğer mekanın fiziki koşulları da uygunsa kafe olma ihtimali yüksektir. Bölgenin altyapısı ve sakinlerin tavırları daha fazla kafeye müsait midir? Konut bölgesiyle iç içe olan ticari işlevlere sadece ticari kaygılarla mı karar verilmelidir? Bir ticari işlev algoritması mümkün olabilir mi? Bu algoritma ile hem ticari kaygılar korunup hem de var olan kent dokusu korunabilir mi?




**Şekil 4:** Karakolhane Caddesi mevcut işlev durumu ve olası işlevsiz mekan.

### 3.1. Ticari İşlev Algoritması Tasarımı

Bu algoritma ticari mekanlar ve bölge sakinlerine ait verileri kullanarak, bölgenin mevcut koşullarını da düşünerek bir ticari mekanın işlevlendirilmesine katkı sağlamayı ve daha fazla kent hakkı sorununa sebep olmadan yerel yönetimin ticari işlevler konusunda sınırlar getirebilmesine yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Temel olarak ticari mekanlar ve sakinlere ait verilerin algoritma tarafından işlenmesini ve yeni bir ticari mekan için "hangi işlev?" sorusuna mevcut durumlar dahilinde mümkün olabilecek mekanları verimlilik oranlarına göre sıralayarak cevap oluşturulabilmesine yönelik tasarlanmıştır (**Şekil 5**).

**Şekil 5:** Temel çalışma yöntemi.

Algoritma "ticari" ve "sakin" adında iki sınıftan oluşacaktır. Bu sınıflar temel verileri barındıracak ve harici veriler ile yeni veriler oluşturabilecektir. Bu veriler bağımlı, bağımsız değişkenlerle, katsayılar ve varsayımlardan oluşmaktadır. Katsayılar sınıfların altında bulunan ve alt sınıflara göre değişkenlik gösterebilen sabit değerlerdir, varsayımlar ise hesaplanması mümkün olmayan veya zor olan değişkenlere etki eden bilgilerdir. Bağımsız değişkenler sınıfların alt sınıflarında katsayıların işlemlerle işlenerek oluşturduğu değişkenlerdir. Bağımlı değişkenler ise sınıfların alacağı harici verilere bağlıdır. Bunlarla beraber mevcut şartların sağladığı ve önceden tanımlanan sınır değişkenleri bulunmaktadır. Sınıfların harici veriler alarak ve alt sınıf işlemleri ile ürettiği değişkenler bir karşılaştırma fonksiyonuna girecek ve bu fonksiyon sınır değişkenleri ve sınıfların ürettiği değişkenleri kullanarak her parametre için bir puanlama yapacaktır. Bu puanlama doğrultusunda harici veriler ile tanımlanmış her işlev için ortalama puan oluşturulacaktır ve bu işlevler sıralanacaktır (**Ek 1**).

**Ticari Sınıfı**

Ticari sınıfı, kendi işlevlerine bağlı katsayılar ve ticari mekanın fiziksel özelliklerine bağlı harici veriler alan hem değerlendirme hem değerlendirilen sınıftır. Bu sınıfın değişkenleri **Tablo 1'**de verilmiştir. Değişkenlerin oluşmasında rol oynayan katsayılar ise **Tablo 2'**de verilmiştir. Ticari sınıftan objeler türetilirken verilen harici veriler ticari mekanın konumu, cephe genişliği, kaldırım genişliği, net alanı ve kirasıdır. Bölgedeki ticari mekanların mevcut işlevleri ile oluşturulan objeler değerlendirme sınıfı görevi görmektedir. İşlevsiz kalan ticari mekan için düşünülen veya algoritma tarafından önerilmesi istenilen objeler ise değerlendirilen sınıftadır.

**Tablo 1:** Ticari sınıfı değişkenleri.

| | Ticari | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Parametreler** | **Kısaltma** | **Tanım** | **Formül** | **Değer.** |
| | İşlev | cF | ticari işlevi niteleyen sınıf | | |
| Ekolojik Etmenler | Su tüketimi | cWC | kul. sayısı * su tük. kat. | cUN*cWCf | saatlik |
| | Atık üretimi | cWG | toplam kul. * atık üret. kat. | cTU*cWGf /10 | günlük |
| | Elektrik tüketimi | cEC | elek. tük. kat. * alan | cECf*(cUN/cUDf/12)/10 | günlük |
| | Gürültü seviyesi | cNL | kul. sayısı * gürültü kat. veya yönetmelikteki değer | cUNΔcNLf | saatlik |
| | Sokak kullanımı | cSU | cephe gen. * sokak kul. kat. | cPW*cFW*cSUf | |
| | Toplam kullanıcı sayısı | cTU | günlük toplam kullanıcı | Σ(cUN) | günlük |
| | Kullanıcı sayısı | cUN | kul. yoğ. kat. * alan * kullanıcı yoğ. | cUD*cUDf*cA | saatlik |
| | Kullanıcı yoğunluğu | cUD | her saat için yoğunluk oranı | | saatlik |
| Kullanıcı Profili | Hedef yaş aralığı | cAG | | | |
| | Hedef gelir aralığı | cSA | | | |
| | Hedef cinsiyet | cSE | opsiyonel | | |
| | Hedef meslekler | cJO | opsiyonel | | |
| Fiziki | Konumu | cL | başlangıç noktasına uzaklığı | | |
| | Cephe genişliği | cFW | mevcut için net, potansiyel için aralık | | |
| | Kaldırım genişliği | cPW | mevcut için net, potansiyel için aralık | | |
| | Alan | cA | mevcut için net, potansiyel için aralık | | |
| | Kira | cR | mevcut için net, potansiyel için aralık | | |

**Sakin Sınıfı**

Sakin sınıfı bölgenin kullanıcılarını tanımlamakta ve bu kullanıcıların verileri doğrultusunda bölgenin kullanıcı profilini çıkarmaktadır. Bu sınıf değerlendirme sınıfıdır. Sakin sınıfından türetilen objeler konut sayısı harici verisi ile **Tablo 3**'te görülen değişkenlere ve bu değişkenlerin oluşmasını sağlayan **Tablo 4'te** verilen katsayılara sahiptir. Bu sınıf ile oluşturulan objelerin verdiği değişkenler, işlevsiz kalan ticari mekan için düşünülen veya algoritma tarafından önerilmesi istenilen objelerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

**Tablo 2:** Ticari sınıfı katsayıları.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Katsayılar | Su tüketimi kat sayısı | cWCf | kullanıcı başına düşen su tüketimi | | |
| | Atık üretimi kat sayısı | cWGf | kullanıcı kişi başına düşen toplam atık | | |
| | Elektrik tüketimi kat sayısı | cECf | m2 başına düşen elektrik tüketimi katsayısı | | |
| | Sokak kullanımı katsayısı | cSUf | cephe genişliği her metresi için sokak kullanımı | | |
| | Gürültü katsayısı | cNLf | kullanıcı başına düşen gürültü | | |
| | Kullanıcı yoğunluğu katsayısı | cUDf | m2 başına yoğunluk | | |
| | Kira değeri katsayısı | cRVf | m2 değeri | | |

**Tablo 3:** Sakin sınıfı değişkenleri.

| | Sakinler | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Parametreler** | **Kısaltma** | **Tanım** | **Formül** | **Değer.** |
| Ekolojik Etmenler | Su tüketimi | rWC | konut sayısı * su tük. ort. | rRN*rWCf*rUD | saatlik |
| | Atık üretimi | rWG | konut sayısı * atık üret. ort. | rRN*rWGf*rUD | günlük |
| | Elektrik tüketimi | rEC | konut sayısı * elek. tük. ort. | rRN*rECf*rUD | günlük |
| | Gürültü tahamülü | rNL | yönetmelikteki değer | | saatlik |
| | Konut sayısı | rRN | | | |
| | Konut kullanım yoğunluğu | rUD | | | saatlik |
| Demografik | Yaş | rAG | aralık ve ortalama | | |
| | Gelir | rSA | aralık ve ortalama | | |
| | Cinsiyet | rSE | dağılım | | |
| | Meslek | rJO | meslek grupları | | |
| | Kira | rR | ortalama | | |

**Tablo 4:** Sakin sınıfı katsayıları.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Katsayılar | Su tüketimi kat sayısı | rWCf | konut başına düşen su tüketim ortalaması | | |
| | Atık üretimi kat sayısı | rWGf | konut başına düşen toplam atık ortalaması | | |
| | Elektrik tüketimi kat sayısı | rECf | konut başına düşen elektrik tüketim ortalaması | | |

**Sınır Değişkenleri**

Sınır değişkenleri bölgenin altyapısının, kent düzeninin ve yerel yönetimin getirdiği sınırlardır. **Tablo 5**'de yer verilen bu sınırlar işlevsiz kalan ticari mekan için düşünülen veya algoritma tarafından önerilmesi istenilen objelerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

**Tablo 5:** Sınır değişkenleri.

| | Sınırlar | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Parametreler** | **Kısaltma** | **Tanım** | **Formül** | **Değer.** |
| Ekolojik Etmenler | Su istihkakı | tWC | altyapının sağlayabildiği su miktarı | rRN*rWCf | saatlik |
| | Atık toplama | tWG | başedilebilecek atık miktarı | rRN*rWGf | günlük |
| | Elektrik istihkakı | tEC | altyapının sağlayabildiği elektrik miktarı | rRN*rECf | günlük |
| | Sokak kullanım izni | tSU | sokağın işgal edilebilecek toplam oranı | 0.5*cFW*cPW | |

Değişkenlerin belirlenmesinde kullanılan veriler ve katsayılar ilgili yayınlardan (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 1986; Elektrik Mühendisleri Odası, 2013; Kantaroğlu, 2013; Sevinç ve İlal 2017) elde edilmiş veya elde edilmesi mümkün olmayan durumlarda varsayımsal olarak belirlenmiştir.

**Değişkenlerin Puanlanması**

Değişkenler değerlendirilirken hedefler (**Tablo 6**) belirlenmiş ve bu hedefler doğrultusunda puanlama yapılmıştır. Değişkenlerin puanlanması için bir puanlama sınıfı oluşturulmuştur. Mevcut ticari mekan objelerinin değişkenleri ile sakin objelerinin değişkenleri bir "Toplam" fonksiyonu ile toplanmakta ve bu değişkenlerin toplamı "Puanlama" sınıfına aktarılmaktadır. "Ticari" sınıfından oluşturulmuş potansiyel ticari mekan objesinin değişkenleri ve sınır değişkenleri de "Puanlama" sınıfına aktarılmaktadır. "Puanlama" sınıfı, girdileri olan bu değişkenleri değerlendirir ve su tüketim puanı, atık üretim puanı, elektrik tüketim puanı, sokak kullanımı puanı, gürültü puanı, yaş aralığı puanı, gelir aralığı puanı, hedef cinsiyet puanı, hedef meslek puanı ile bu puanların ortalamasını verir. Potansiyel ticari mekana ait bu su, elektrik tüketim ve atık üretim puanları, birim başına düşen sınırı aşıp-aşmamasına göre ve toplam tüketimi ne kadar arttırdığına göre; gürültü puanı sakinlerin tahammül sınırını aşıp-aşmamasına göre; hedef yaş ve gelir aralığı puanları sakinlerin yaş ve gelir aralıklarından sapma miktarına göre; varsa hedef cinsiyet ve meslek puanları, sakinlerin cinsiyet ve meslek oranlarından sapma miktarına göre belirlenmektedir. Ortalama puan tüm puanların ortalaması hesaplanarak bulunmaktadır. Potansiyel ticari mekan belirsizse algoritma tüm ticari işlevlerden birer obje oluşturarak hepsinin puanını hesaplar ve sıralar.

**Tablo 6:** Puanlama yapılması için belirlenen hedefler.

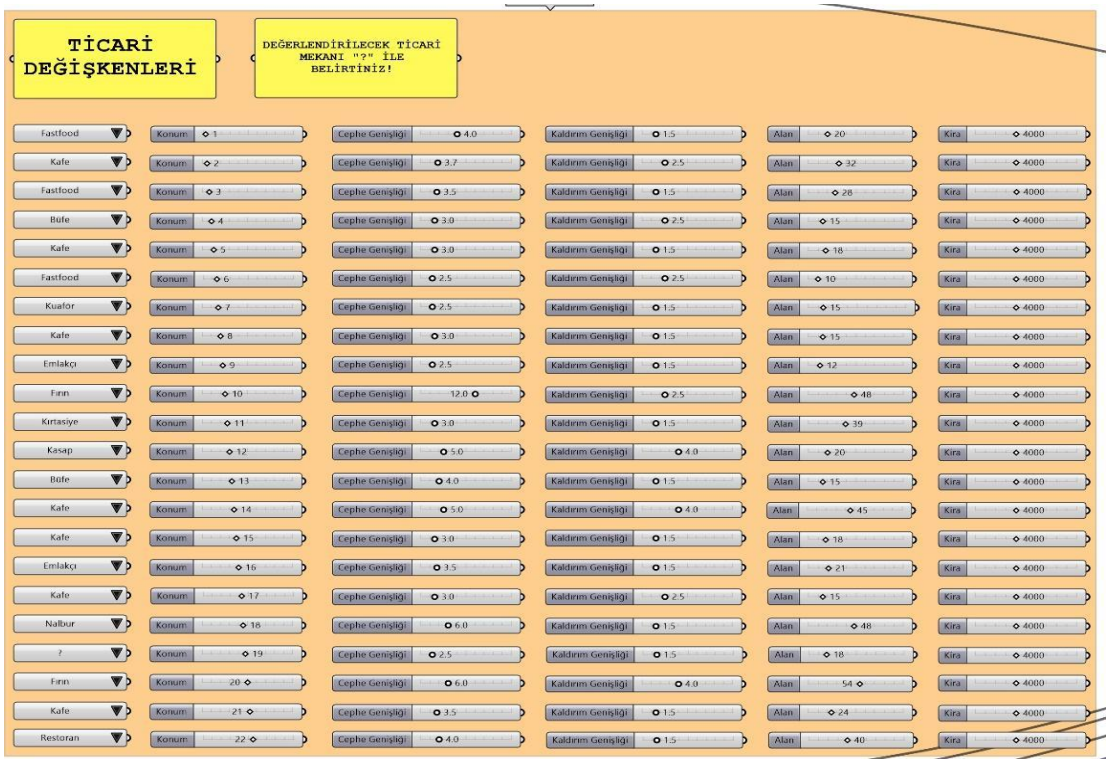
| Hedefler | Tanım | Formül |
|---|---|---|
| Su tüketimi | Saatlik toplam tüketim, saatlik su istihkakından ve potansiyel birimin su tüketimi birim başına düşen tük. miktarından az olmalıdır. | tWC>Σ(cWC)+rWC |
| Atık üretimi | Günlük toplam atık üret., günlük başedilebilecek atık mik. ve potansiyel birimin atık üret. birim başına düşen üret.. miktarından az olmalıdır. | tWG>Σ(cWG)+rWG |
| Elektrik tüketimi | Günlük toplam tüketim, günlük elektrik istihkakından ve potansiyel birimin elek. tüket. birim başına düşen tük. miktarından az olmalıdır. | tEC>Σ(cEC)+rEC |
| Gürültü seviyesi | Anlık gürültü seviyesi konutların gürültü tahamülünden düşük olmalı. | cNL<rNL |
| Sokak kullanımı | Sokak kullanımı, toplam sokak kullanım izninden az olmalı | tSU>Σ(cSU) |
| Hedef yaş aralığı | hedef yaş aralığı ile sakinlerin yaş aralığı yakın olmalı. | cAG~rAG |
| Hedef gelir aralığı | hedef gelir aralığı ile sakinlerin gelir aralığı yakın olmalı. | cSA~rSA |
| Hedef cinsiyet | ticari alanların hedef cinsiyet oranı ile sakinlerin cinsiyet oranları yakın olmalı. | cSE~rSE |
| Hedef meslekler | hedef meslek grupları ile sakinlerin meslek grupları arasında benzerlikler olmalı. | cJÖ~rJO |
| Konum | benzer işlevlerin yanyana gelmesinin engellemesi | |
| Kira | ticari alan kiraları ile konut kiraları oranına göre, konut kiraları sakinlerin ortalama gelirinin 1/3üne eşit olmalı. | |

## 3.2. Algoritmanın Kodlanması

Tasarlanan algoritmanın bilgisayar diline aktarılmasında nesne tabanlı programlama temel alınmıştır. Kodlama dili olarak Python kullanılmıştır. Katsayıların sınıfların içine aktarılması için csv kütüphanesinden yararlanılmıştır. Arayüz olarak Grasshopper kullanılmış, Grasshopper'a dahil edilen GH_CPython eklentisi ile Python kütüphanesinin içine

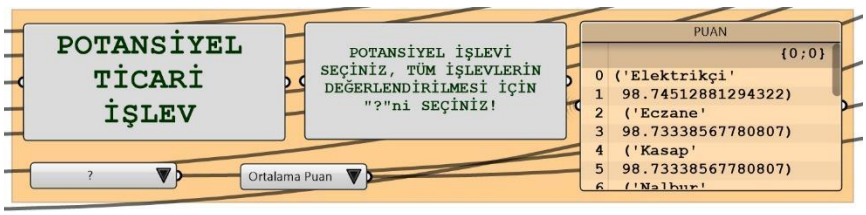
yerleştirilen modüllere erişim sağlanmıştır. Grasshopper'da tanımlanacak her bir ticari mekanın harici verilerinin girilebileceği bir panel (Ticari Paneli) (**Şekil 6**), sakin sınıfının harici verilerinin girilebileceği bir panel (Sakin Paneli) (**Şekil 7**) ve potansiyel ticari işlevin sorgulanabileceği bir panel (Potansiyel Paneli) (**Şekil 8**) oluşturulmuştur. Ticari paneline sokak üzerindeki tüm ticari mekanlar işlevleri ile işlenir ve işlevi belirsiz mekanın işlevi "?" olarak tanımlanır. Sakin paneline sokağın sakin profili ile ilgili veriler girilir. Potansiyel panelinde ise hedeflenen bir işlev varsa tanımlanır ve verimlilik puanı elde edilir veya işlev "?" olarak tanımlanarak tüm işlevler değerlendirilip sıralanarak puanları elde edilir. Grasshopper'a eklenen GH_CPython, python operatörü ile oluşturulan "Resilience" isimli nodu ile de tüm sınıflardan obje oluşturma, puanlama ve sıralama işlemleri yapılmıştır (**Şekil 9**).

Karakolhane Caddesi'nin çalışma alanı olarak seçilen kısmı Rhino'da 2 boyutlu ve temsili biçimde modellenerek ve ticari birimlerin konumlarına atanan noktalar işlevlere bağlanarak kullanıcı tarafından daha anlaşılır bir görünüm sağlanabilmektedir (**Şekil 10**)**.**

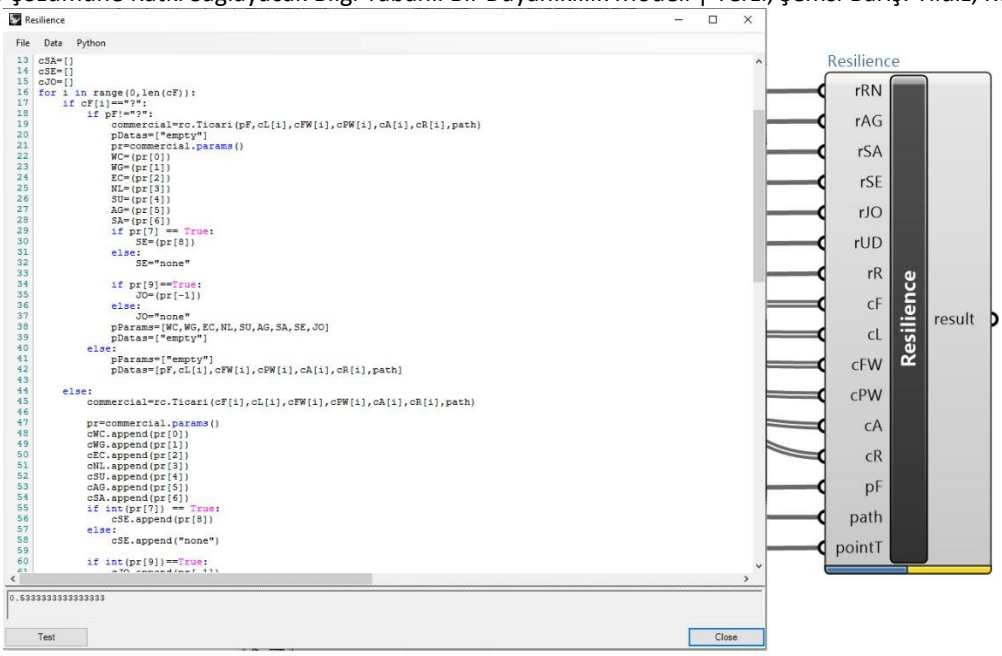



**Şekil 6:** Ticari sınıfı harici verilerin girildiği Ticari Paneli

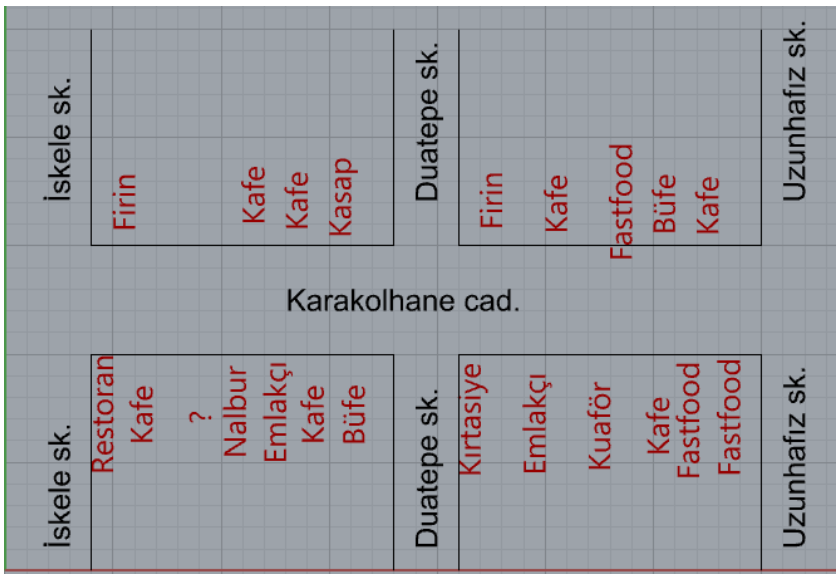
**Şekil 7:** Sakin sınıfının harici verilerinin girildiği Sakin Paneli




**Şekil 8:** Potansiyel ticari işlevin sorgulanabileceği ve sonuçların izlenebileceği Potansiyel Paneli




**Şekil 9:** Obje oluşturma, puanlama, sıralama işlemlerini yapan "Resilience" GH_CPython nodu




**Şekil 10:** Rhino'da oluşturulmuş 2 boyutlu temsili sokak çizimi

## 4. Sonuç

"Bilgi tabanlı tasarım ile kent öğeleri arasındaki kent hakkı korunabilir mi?" sorusuna cevap arayan bu çalışmada oluşturulan algoritma ile Tarihi Yeldeğirmeni Mahallesi'nde Karakolhane Caddesi'nin bir bölümü değerlendirilmiş ve sonuçlarından çıkarımlarda bulunmuştur. Çalışma algoritmanın işlevselliğini ve bölgenin değerlendirmesini yorumlayan iki sonuca varmıştır.

### 4.1. Karakolhane Caddesi'nin Bir Bölümünün Algoritma İle Değerlendirilmesi

Caddenin, caddeyi kesen Uzunhafız Sokak ve İskele Sokak arasındaki bölümü değerlendirmeye alınmıştır. Bu bölümde zemin kotunda 22 adet ticari birim bulunmaktadır ve 88 adet konut olduğu varsayılarak algoritma çalıştırılmıştır. Ticari birimlerden konum 19'da bulunan 2.5m cephe genişliği, 1.5 m kaldırım genişliği ve 18 m² net alana sahip olan potansiyel bir ticari mekan (potansiyel 1) ile konum 14'te bulunan 5 m cephe genişliği, 4 m kaldırım genişliği ve 45 m² net alana sahip olan potansiyel bir ticari mekan (potansiyel 2) değerlendirmeye alınmıştır.

Potansiyel 1 için algoritma tüm işlevleri değerlendirmiş ve sırasıyla Elektrikçi:98.745, eczane, kasap, nalbur, optik, petshop, zücaciye: 98.733 büfe: 98.495 emlakçı:97.146, manav:96.891 ortalama puanlarını vermiştir. Bu sıralamada ilk beş puan sıralamaya alınmıştır. Yine potansiyel 1 için caddede yaygın bulunan kafe işlevi hedef işlev olarak tanımlanmış ve 63.319 ortalama puan almıştır.

Potansiyel 2 için yine algoritma tüm işlevleri değerlendirmiş ve sırasıyla eczane, elektrikçi, fırın, kasap, nalbur, optik, petshop:99.145, emlakçı:97.558, ayakkabı tamircisi:97.078, zücaciye:95.329, büfe:90.353 ortalama puanlarını vermiştir. Bu sıralamada ilk beş puan sıralamaya alınmıştır. Yine potansiyel 2 için caddede yaygın bulunan kafe işlevi hedef işlev olarak tanımlanmış ve 49.818 ortalama puan almıştır.

Sosyal, ekolojik ve ekonomik etkiler düşünülerek iki potansiyel ticari mekanın da değerlendirilebiliyor olmasının getirisi ile ticari etkiler de göz önünde bulundurularak yerel otoriteler tarafından işletme izni verilirken bu algoritmadan yararlanılabilir. Bu iki potansiyel için değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda kafe, restoran, fastfood, hazır giyim, market gibi işlevler son sıralarda yer almaktadır. Söz konusu işlevlerin son sıralarda yer almasının temel nedeninin sirkülasyonu fazla olan işlevler olması olduğu düşünülmektedir. Daha gerçekçi sonuçların elde edilebilmesi için algoritmada kullanılacak verilerin direkt çalışma alanından sağlanıyor olması gerekmektedir.

### 4.2. Ticari İşlev Algoritması Değerlendirilmesi

Algoritma temel bazı veri başlıkları üzerine kurulmuştur ve bu veri başlıkları algoritma tasarımcısı tarafından kişisel deneyimlere dayalı olarak ve çevre sakinlerinin yorumları doğrultusunda belirlenmiştir. Bu başlıkların verilerinin bazıları ilgili yayınlardan, bazıları ilgili yayınlara dayandırılarak varsayımsal ve bazıları ise tamamen varsayımsal olarak elde edilmiştir. Algoritma temel olarak nesne tabanlı programlama üzerine kurulmuştur ve geleneksel programlama yöntemleri ile oluşturulmuştur. Geliştirmeye açık ve uyarlanabilir olarak tasarlanması amaçlanmıştır. Algoritmanın temel eksiklikleri daha doğru sonuçları verebilmesi için verilerin elde edilirken ve işlenirken güncel ölçülebilir verilere dayandırılamaması, kullanıcı ile daha kolay etkileşime girebilecek bir ara yüze sahip olmaması ve sadece bir sokak üzerinde çalışabilmesidir. Veriler gerekli otoritelerle iletişime geçilerek ölçülebilir bir biçimde elde edilebilir, işlenmesi için oluşturulan fonksiyonlar farklı disiplinler tarafından yeniden tasarlanabilir; kullanıcı ile daha kolay iletişim kurabilmesi için bir programa (Grasshopper) bağımlı olmayan veya programda eklenti olarak çalışan bir ara yüz tasarlanabilir ve bir sokak değil bir bölgenin değerlendirilebileceği biçimde kapsamla hale getirilebilir. Bu geliştirmelerle beraber geleneksel programlama yerine yeterli veri ile makine öğrenmesi kullanılarak algoritma eğitilebilir ve böylece işlemler algoritma tarafından belirlenebilir. Algoritmada kullanılması planlanan ve girdi olarak algoritmaya sunulan “konum” ve “kira” verileri henüz algoritma tarafından işlenmemektedir ve algoritmanın bu verileri işlenmesi için geliştirilmesi gerekmektedir. Bu eksiklikler göz ardı edildiğinde de algoritma sonuç üretebilecek şekilde çalışmış ve aynı fiziksel özelliklere sahip ticari mekanı farklı işlevler için değerlendirebilmiştir. Çalışma kapsamında algoritmada yer verilmeyen bir işlev de sonradan katsayıları belirtilerek algoritmaya eklenebilir.

Tasarlanmış olan algoritma ile kent hakkı sorununun olası çözümüne katkı sağlanabilir, yetkililerin karar verme aşamasında yardımcı olunabilir. Ekolojik, sosyal ve ekonomik veriler ile yapılan değerlendirme ile ticari mekanlar ve bölge sakinleri arasında optimum bir dayanıklılık sağlanabilir. Sağlanan optimum dayanıklılık ile kent öğelerinin aşırı tepkisi sonucu birbirlerine zarar vermesinin ya da birbirlerini yok etmesinin önlemleri alınarak birlikte var olma ilişkilerinin olumlu potansiyelleri ortaya çıkarılabilir.

**Teşekkür**

Çalışma, Mimari Tasarımda Bilişim Programı 2020-2021 Güz Yarıyılı‘nda Prof. Dr. Gülen Çağdaş, Araş. Gör. Begüm Hamzaoğlu, Araş. Gör. Burak Delikanlı tarafından yürütülen MBL 511 Bilgi Tabanlı Mimari Tasarım dersinin yıl sonu projesinden üretilmiştir

.

## KAYNAKLAR

Bodin, P., & Wiman, B. L. (2004). 33the ESS Bulletin - Volume 2 Number 2 2004 Resilience and other stability concepts in ecology: notes on their origin, validity and usefulness. Environmental Science Section, 33-43.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (1986). Gürültü Kontrol Yönetmeliği. Resmi Gazete.

Deleuze, G., & Guattari, F., (2005). A Thousand Plateaus. University of Minnesota Press.

Elektrik Mühendisleri Odası, (2013). ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI: 4 KİŞİLİK BİR AİLENİN ASGARİ AYLIK FATURASI 142 TL`YE ÇIKTI. Aralık 29, 2020, EMO: https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=128261&tipi=2&sube= adresinden alındı

Gerçek, M., & Yılmaz Börekçi, D. (2019). "Resillience" Kavramına Örgüt Bağlamında Türkçe Karşılık Önerileri. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 28, Sayı 2, 198-213.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review Of, 1-23.

İstanbul Kadıköy Belediyesi. (2019). Stratejik Plan Mahalle Toplantıları. Ocak 09, 2021, Anlat Kadıköy: https://anlat.kadikoy.bel.tr/duyurular/stratejik-plan-mahalle-toplantilari?id=13 adresinden alındı

Kantaroğlu, F. (2013). Konut Dışı Yapılarda Değişen Verimlilikteki Sıhhi Tesisat Sistemlerinin Su Tüketim Miktarına Etkisi. 11. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ, 1743-1775.

Köktürk, U. (tarih yok). Sıhhi Tesisat Tekniğinde Su Tüketimi Hesabı. Aralık 29, 2020, Makina Mühendisleri Odası: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/ed33392d3a48aa1_ek.pdf adresinden alındı

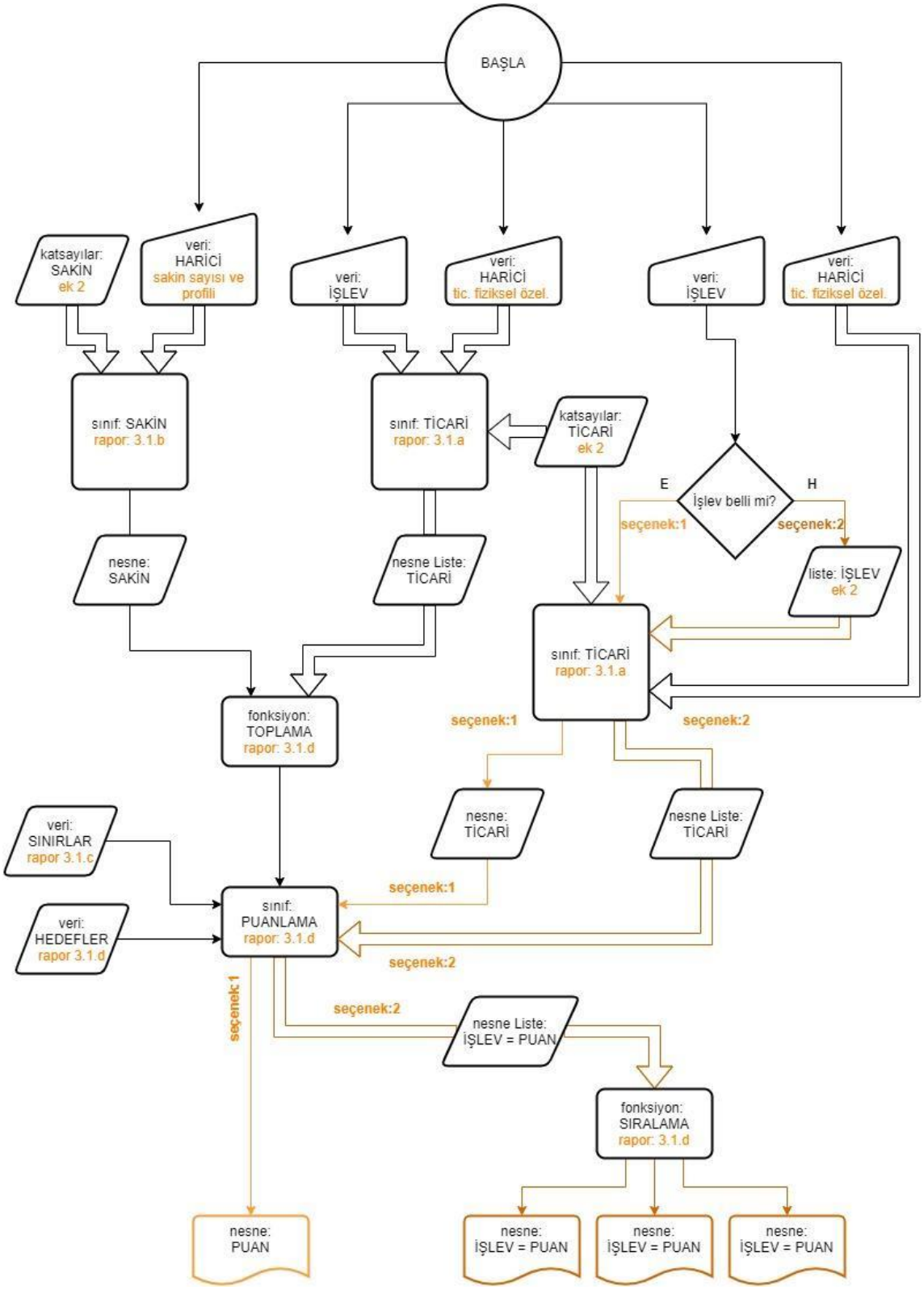
Lefebvre, H. (2015). Şehir Hakkı. Sel Yayınları.

Mehaffy, M., & Salingaros, N. (2014). Toward Resilient Architectures 1: Biology Lessons. Aralık 29, 2020, P2P Foundation: https://blog.p2pfoundation.net/toward-resilient-architectures-1-biology-lessons/2014/01/03 adresinden alındı

Sevinç, Z., & İlal, M. E. (2017). Ortak Mekanlarda Kullanıcı Sayısına Bağlı Olarak Gürültü Seviyeleri. 12. ULUSAL AKUSTİK KONGRESİ ve SERGİSİ . URLA, İZMİR: İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ.

Vale, L. (2017). Resilient Cities. Aralık 29, 2020, Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=3NYxf8vFG3A&feature=emb_title&ab_channel=DUSPMIT adresinden alındı

**Ek 1:** Akış Diyagramı



# OTURUM 7

## Sanal, Artırılmış ve Karma Gerçeklik

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Mimari Tasarımın Erken Evresinde Karma Gerçeklik Mecrası Kullanımının Uzman Değerlendirmesi

Leman Figen Gül [1]; Sema Alaçam[2]; Süheyla Müge Halıcı[3]
[1,2,3] İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
[1,2,3]mbl.itu.edu.tr, [1]fgul@itu.edu.tr; [2]alacams@itu.edu.tr; [3]halicis@itu.edu.tr

## Özet

*Mimari tasarımın erken aşaması, birbirinden farklı türde çok sayıda verinin entegre edilmesi beklenen, tasarım fikirlerinin temsilinde, problem tanımında ve tasarım hedeflerinde muğlaklıklar içeren bir evredir. Dijitalleşen tasarım araçları ve mecraları, pek çok tasarım girdisinin kısa sürede görselleştirilmesine, işlenmesine, çakıştırılmasına ve tasarım modellerinin değerlendirilmesine olanak sağlarken, tasarımın erken evresini destekleyen Karma Gerçeklik (KG) teknolojilerinin kullanımına yönelik çalışmalar az sayıdadır. Bu araştırmada mimari tasarımın erken evresinde KG teknolojilerinin kullanımı ile hızla gelişmekte olan bu mecraların tasarımcıların bilişsel yüklerine olan etkisinin anlaşılması amaçlanmıştır. Bu bildiride araştırmanın ilk aşamasını oluşturan KG mecrasının geliştirilmesine yönelik olarak, arayüz geliştirme, mecranın mimari tasarımın erken evresinde hangi potansiyelleri barındırdığı ve tasarım sürecini ne şekilde desteklemekte olduğunu anlamaya yönelik yapılacak esas deneylerin kurgusunu oluşturmak için bir pilot çalışma sunulmaktadır. Deney ortamı, geliştirilen mecra, fiziksel maket ve dijital modelin eş zamanlı yer alabileceği yatay bir düzlem, başa takılan gözlük tabanlı görselleştirme katmanı ve el ile kontrolün sağlanabileceği bir kumanda cihazından oluşmaktadır. Önerilen mecra çeşitli uzman değerlendirme kuralları esas alınarak, 4 uzman mimar tarafından değerlendirilmiş, deney sonrası mülakatla mecra ve araçla ilgili olumlu ve olumsuz bulunan yönlerin tespiti yapılmıştır. Uzman değerlendirmesi bulguları, mimari tasarımın erken evrelerinde kısıtlı malzeme ve karmaşık geometrik kompozisyonlar ile biçim arayışı süreçlerinde, karma tasarım ortamının üç boyutlu tasarım için pratik ve esnek bir ortam sunduğu, geliştirilmeye açık ve üretken bir tasarım ortamı olduğunu göstermektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Karma gerçeklik, teknoloji destekli melez tasarım mecrası, uzman değerlendirmeleri, mimari tasarım.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Gül, L. F., Alaçam, S. & Halıcı, S. M. (2021). Mimari tasarımın erken evresinde karma gerçeklik mecrası kullanımının uzman değerlendirmesi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 363-374). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Expert Evaluation of Mixed Reality Medium in Early Stage Architectural Design Process

Leman Figen Gül [1]; Sema Alaçam[2]; Süheyla Müge Halıcı[3]
[1,2,3] İstanbul Technical University, Faculty of Architecture
[1,2,3]mbl.itu.edu.tr, [1]fgul@itu.edu.tr; [2]alacams@itu.edu.tr; [3]halicis@itu.edu.tr

## Abstract

*The early stage of architectural design involves integration of large number of different types of data as well as including ambiguities in the representation of design ideas, problem definition and design goals. While digital design tools and environments enable design inputs to be quickly visualized, processed, registered and evaluated, there are very little studies on the use of Mixed Reality (MR) technologies supporting the early phase of design. In this research, the paper's aim is to understand the effect of the rapidly developing MR technologies on the cognitive load of designers in the early stage of architectural design. In this paper, a pilot study which is the first stage of an ongoing research project is presented. The pilot study aims to test the proposed MR interface and experiment set-up for the main study, with the main purpose in the context of supporting the early phase of architectural design process. The experimental set-up consists of a horizontal plane where the physical model and digital model can be worked on simultaneously, with a head-mounted display, and a hand-held device. The proposed MR tool was evaluated by 4 expert architects based on the expert evaluation rules and the positive and negative aspects of the interface were determined in a post-experiment interview. The expert evaluation shows that in the early stages of architectural design, in the process of form finding and composition explorations with the given materials, the developed MR interface offers a practical, flexible and productive environment for 3D design.*

***Keywords:*** *Mixed reality, technology aided hybrid design environment, expert evaluation, architectural design.*

**Citation in APA Style:** Gül, L. F., Alaçam, S. & Halıcı, S. M. (2021). Expert evaluation of mixed reality medium in early stage architectural design process. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 363-374). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Gelişen teknolojiler mikro ölçekte tasarımcıların yapma biçimlerini ve genel olarak tasarım pratiğini dönüştürmektedir. Tasarımcıların tasarım araçlarını kullanım şekillerini anlamak, tasarımcı ile tasarım modelleri ve tasarım nesnesi arasındaki etkileşimdeki değişimi kavramak gelecekteki eğilimlerin tahmin edilmesi açısından önem taşımaktadır. Dijitalleşen tasarım araçları ve ortamları, mimarlık alanında daha esnek çalışma ortamlarının önerilmesine ve tartışılmasına olanak sağlamaktadır (Schubert ve diğ., 2015; Fricker, 2018; Hermansdorfer ve diğ., 2020). Dijital ortamın üretkenliği ile fiziksel ortamın sunduğu zenginliğin bir arada sunulduğu karma tasarım ortamları tasarım alanında dikkat çekmekte (Wang & Schnabel, 2008; Goepel & Crolla, 2021), daha önce mümkün olmayan çalışma ve işbirliği olasılıkları sunmaktadırlar (Gül, 2018; Gül, 2020; Garbett ve diğ., 2021). Teknoloji destekli tasarım ortamlarından biri olarak araştırmalarda ele alınan Karma Gerçeklik (KG) teknolojisi, mimari tasarım sürecinde tasarım önerilerinin üretilmesi, geliştirilmesi ve sunulması amacıyla kullanılabilmektedir (Fazel & Izadi, 2018; Durmazoğlu & Gül, 2019; Koçer Özgün & Alaçam, 2019; Jin ve diğ., 2020; Bayraktar & Çağdaş, 2020). Fiziksel ve dijital temsillerin eş zamanlı değerlendirilebildiği bu yeni nesil tasarım ortamları gelişen teknoloji ve uygulamalarla pek çok araştırmacı tarafından ele alınmaktadır (Gül ve diğ., 2016; Akın ve diğ., 2018; Suzuki ve diğ., 2020). Her geçen gün teknolojideki bu gelişmelere paralel olarak, daha etkin ve üretken tasarım ortamları yaratmak için tasarımcı kullanıcı üzerindeki etkileri anlamak önem kazanmaktadır.

Literatürdeki Karma Gerçeklik (KG) teknolojileri incelendiğinde, ortak bileşenlerinin fiziksel ortam, dijital ortam, fiziksel ortamdan dijital ortama veri aktarımı ve dijital ortamdan fiziksel ortama görsel katmanların iz düşürülmesi olduğu görülmektedir. Dijitalleşen tasarım araçları ve ortamları, dijital ve fiziksel arasındaki veri akışları konusunda yeni olanaklar sunarken, diğer yandan insan faktöründen ya da teknoloji bileşenlerinden kaynaklanan çeşitli problemleri de beraberinde getirmektedir. Örneğin fiziksel ve dijital ortamlar arasında veri senkronizasyonunun yavaş olması, fiziksel ortamda tek adımda yapılabilecek bir işlemin KG ortamında çok sayıda işlem gerektirmesi, görselleştirme amacıyla kullanılan çeşitli cihazların insan hareketini kısıtlaması gibi etkenler tasarımcıların bilişsel yükünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla mimari tasarımda kullanılabilecek KG mecralarının geliştirilmesinde, bu mecraların kullanıcıların bilişsel yüklerine etkisinin araştırılması önem taşımaktadır. Buna ilaveten KG teknolojileri, tasarım kararları alınmış bir mimarlık nesnesinin görselleştirilmesinin ötesinde, tasarımın fiziksel ve dijital modellerinin eş zamanlı değiştirilmesi ve dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda çalışma, KG teknolojilerine dayanan tasarım mecralarının mimari tasarımın erken aşamalarında gerçek zamanlı kullanılabilirliğine odaklanmaktadır.

Bu bildiride fiziksel maket ve dijital modelin melez bir tasarım ortamı olarak kullanımının konu edildiği halen devam etmekte olan bir araştırma projesi için geliştirilen KG tasarım ortamının uzman değerlendirmelerinin yer aldığı bir pilot çalışmanın sonuçları ve bulguları sunulmakta, geliştirilen KG aracının hangi iyileştirmeleri içermesi gerektiği tartışılmaktadır. Çalışma kapsamında malzeme, süre ve tanımlı bir tasarım problemi içeren deney ortamı kurgulanmış, pilot çalışmada bu deney ortamından yararlanılmıştır. Değerlendirme sonucunda karma tasarım ortamının erken tasarım sürecinde üç boyutlu (3B) tasarım için pratik ve esnek bir ortam sunduğu, geliştirilmeye açık ve üretken bir tasarım ortamı olduğu görülmüştür.

## 2. Mimari Tasarımın Erken Evrelerinde Karma Gerçeklik

Karma Gerçeklik (KG) kavramının tanımı ile ilgili ilk açıklamalardan biri, Milgram ve Kishino (1994) tarafından ortaya konulmuştur. Bu öncül çalışmada karma gerçeklik (KG) gerçek-sanal uzamında, sanal ile gerçek mecraları farklı düzeylerde içeren; fiziki gerçeklik, artırılmış gerçeklik, artırılmış sanallık ve sanal gerçeklik olmak üzere dört gerçeklik düzeyinin uzamsal bütününü ifade eder. Bunlardan artırılmış sanallık üzerinde pek fazla çalışma olmamasına karşın Artırılmış Gerçeklik (AG) kavramı hem araştırmacıların hem de teknoloji üreticilerinin ilgisini çeken bir alan olmuştur. AG fiziki gerçekliğin üzerine sanal nesnelerin eklenerek gerçek ve sanalın birlikte algılandığı bir durumu tarifler. Arth ve diğ. (2015) AG teknolojilerinin tarihsel süreçte artan bir ivmeyle yaygınlaşmasının temel sebepleri arasında, kamera, algılayıcı, işlemci, farklı etkileşim arayüzlerinin ve mobil cihaz teknolojilerinin küçülerek gelişmesi, işaretleme yöntemlerinin gelişmesi, uygulamaların geliştirildiği arayüzlerin kolaylaşması, internet ve bulut sisteminin teknolojiye dâhil olması gibi nedenleri sıralamaktadır. Benzer şekilde KG'e dayalı teknolojilerin de kullanım alanları çeşitlenmiş ve teknoloji üreticilerinin de etkisiyle (özellikle Microsoft Hololens) bu kavramının ifade ettiği içerik değişmiştir.

Günümüzde KG, bir ortamdaki, sanal nesne ile fiziki nesnenin ilişkilendiği; fiziki gerçekliğin verilerinin algılanarak işlendiği ve sistemin her iki uzamında etkileşimine olanak tanıdığı bir mecrayı ifade etmeye başlamıştır. Örneğin, başa giyilebilir bir cihazla (see-through headset) algılanan sanal nesne artık, fiziki bir masanın üzerine yerleştirilebilir, masa düzlemi sanal nesne için bir referans düzlemine dönüşebilir. Fiziki nesnelerle sanal nesneler arasında olabilecek bu karma etkileşimin özellikle yer ve bağlamın çok önemli olduğu tasarım pratiğinde kullanım alanı bulması kaçınılmaz hale gelmektedir.

KG teknolojisinin hızlı gelişimi ve yaygınlaşması, mimarlık alanında araştırmacıların da dikkatini çekmektedir. KG teknolojisi mimari tasarım sürecinden yapım-yönetim sürecine kadar değişen yelpazede birçok farklı disiplinin yeni nesil ürün geliştirme ve değerlendirme ortamı olarak kullanılabilmektedir. KG teknolojisinin mimari tasarım sürecinde fiziksel ve sanal ortamları bir araya getirişi, uzaktan ve/veya birden çok kişinin tasarım sürecine dahil olabilmesi nedeniyle esnek, dinamik ve mobil tasarım ortamları sağlamaktadır. Örneğin, bu mecraların mimari tasarımda prefabrikasyon aşamasında, yerleşim planı oluşturmada, planlama ve tasarım ürününün kullanım aşamalarındaki çeşitli kararları almada ve tasarım iletişiminde faydalı olabileceğini öne süren çalışmalar mevcuttur (Dunston ve diğ.,2003). Sayısal ortamlar mimarlar için sanal model üzerinde yapılabilecek olan eş zamanlı değişimlerin aktarımının kısa süre içerisinde yapıldığı, farklı malzeme ve kompozisyon alternatiflerinin canlandırılabildiği, hem zaman hem de malzeme kullanımı açısından ekonomik çözümler sunmaktadır. Özellikle mekânsal bilgiyi oluşturan ögelerle birlikte, görsel ve dokunsal bilginin, etkileşimli ve eş zamanlı olarak sunulması (Shelton & Hedley, 2004), tasarımın doğal düşünme sürecinin kesintiye uğramadan devam etmesi bakımından önemlidir.

KG teknolojilerinin mimari tasarım sürecinde mimarlara sağlayabileceği temel etkileşim olanaklarını aşağıdaki gibi listelemek mümkündür:

- Tasarımcıların fiziki ortam üzerine 3B sanal nesneleri bir ek katman olarak koyabilmeleri,
- Tasarımcıların oluşturdukları 3B sanal nesnelerle fiziki mekân nesnelerinin ilişkilenebilmesi, etkileşime girebilmesi,
- Tasarımcıların 3B sanal nesnelerin üzerine haritalanmış sanal veri ve bilgi katmanları atayabilmeleri ve etkileşime girebilmesi,
- Tasarımcıların bulundukları ortamdaki diğer bireyler ile iletişime girebilmesi,
- Eş zamanlı bir şekilde farklı ortamdaki tasarımcıların aynı proje üzerinde çalışabilmesine olanak sağlaması,
- Sanal modelin yeniden ölçeklendirilebilmesi ve içinde gezilebilen mekânsal alternatiflere dönüşmesi.

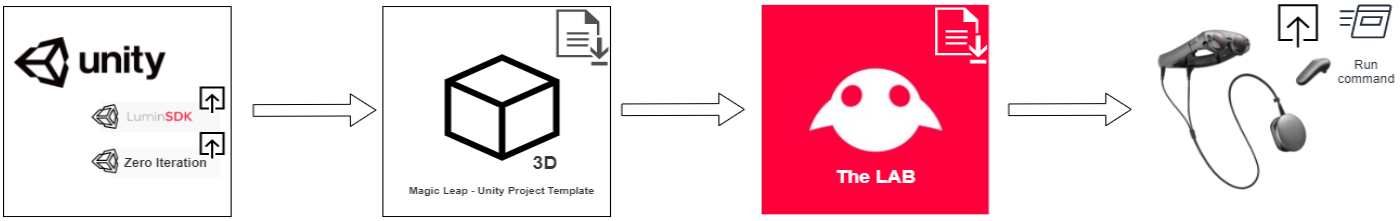
Bu potansiyeller göz önüne alınarak, KG ve mimarlık alanı birlikteliğine özel çeşitli çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Belcher ve Johnson (2008) mimari tasarımın erken aşamalarında KG teknolojilerine odaklanarak, tasarıma ilişkin verilerin görselleştirilmesi, tasarımda işbirliği ve biçim üretimi bağlamında bir KG arayüzü önermektedir. Seichter (2003) ise AG teknolojilerinin tasarım stüdyolarında özellikle hızlı maket üretimi ve alternatiflerin sınanması aşamasında kullanılma potansiyeline işaret etmektedir. Gül'ün İstanbul Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirmiş olduğu araştırma projesinde işbirlikli tasarım sürecindeki mimarlık öğrencilerinin AG teknolojisi desteğiyle tasarımın erken aşamasında önerilerini geliştirebildikleri gözlemlenmiştir (Gül, 2018). Bayraktar ve Çağdaş (2020) mimari tasarımın erken aşamalarında kullanılabilecek artırılmış gerçeklik tabanlı bir arayüz önerisini yüksek yapılar gibi bir bağlam-spesifik alanda test edip değerlendirmektedir. Diğer yandan Durmazoğlu ve Gül (2019) ile Koçer Özgün ve Alaçam (2019) mimari tasarımın erken evrelerine yönelik önerdikleri artırılmış gerçeklik tabanlı arayüzleri uzman olmayan öğrencilerin katılımıyla ve ucu açık tasarım problemleri üzerinden ele almaktadır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada fiziksel maketle sanal nesnenin iletişim kurduğu bir KG mecrasında tasarımın erken evresinde, kullanılan malzemelere kısıt getirilmiş ve önceden tanımlı elemanların kullandığı parametrik bir tasarım problemi kurgulanmıştır. Bayraktar ve Çağdaş'ın (2020) tasarım problemi bağlamına benzer şekilde yüksek yapıların tasarımının erken aşamalarında biçim arayışına odaklanılmış olsa da pilot çalışma Bayraktar ve Çağdaş'ın çalışmasında olduğu gibi mobil bir arayüz vasıtasıyla değil, başa takılan bir cihaz ve ön tanımlı malzemelerden oluşan fiziksel maket içeren melez bir KG mecrasında yürütülmüştür. Çalışma kapsamında önerilen melez KG mecrasının, mimari tasarımın erken aşamalarında kullanılabilirliğinin araştırılmasına ilaveten, uzmanlarla mülakat yapılarak mecranın olumlu ve olumsuz yönleri saptanmış, mecra bilişsel yük bağlamında değerlendirilmiştir.

# 3. Melez Karma Gerçeklik Mecrası Önerisi

Çalışmada, melez KG tasarım mecrası olarak, maket ile tasarım yapan tasarımcılara eş zamanlı sayısal modelleme imkânı sunan bir uygulama geliştirilmiştir (prototip v.1). Uygulamanın temel amacı fiziksel maketle sanal modelin etkileşimde olabileceği, önceden belirlenmiş maket malzemelerini sayısal tasarım elemanı olarak sunan bir sanal modelleme ortamı sağlamaktır. Bu aşamada hazırlanan prototip v.1 sadece fiziksel maketi okuyan ve algılayan bir sistemi desteklemekte olup uzman değerlendirmeleri sonrasında geliştirilecek olan v.2'de fiziki ve sanal nesne etkileşiminin sağlanması hedeflenmektedir. Bu bölümde uygulama geliştirme sürecinde kullanılan teknoloji, önerilen uygulamanın sistem mimarisi ve uygulamadaki etkileşimlerden bahsedilmektedir.

## 3.1. Teknoloji ve Uygulama Mecrası

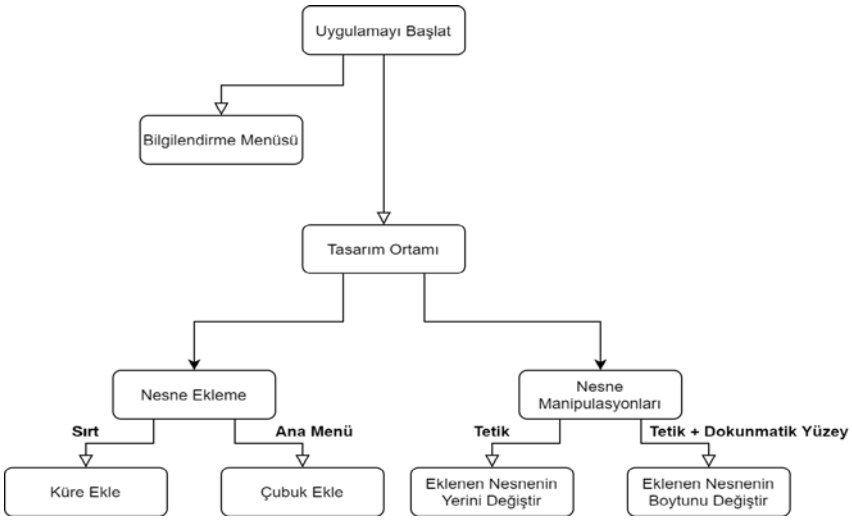
Fiziksel ortamda 3B sanal bilginin görselleştirilmesine katkı sunan KG ortamı, uygun teknolojik altyapıya sahip mobil cihazlarla kullanılabilmektedir. Donanımında yer alan sensör, kamera ve etkileşim araçlarıyla teknolojik altyapı olarak güncel KG teknoloji yöntemlerini sunabilmesi nedeniyle bu çalışma kapsamında Magic Leap (ML) One (bkz.Magic Leap, 2021a) tercih edilmiştir. Geliştirilen uygulama, giyilebilir KG teknolojisi ML için Lumin SDK geliştirici kütüphanesiyle Unity oyun motoru üzerinde tasarlanmıştır. Unity 2020.2.7f ile mlsdk v0.25.0 versiyon uyumluluğu dikkate alınarak, ML resmi sayfasında önerilen Unity altlığı kullanılarak uygulama geliştirilmiştir (bkz. Magic Leap, 2021b) (**Şekil 1**). Intel(R) Core (TM) i7-8750H 2.20GHz 16GB RAM cihaz için kurulum ve geliştirme süreci tamamlanmıştır.




**Şekil 1:** Uygulamanın geliştirilme sürecinde Unity'de gerçekleştirilen kurulum adımları.

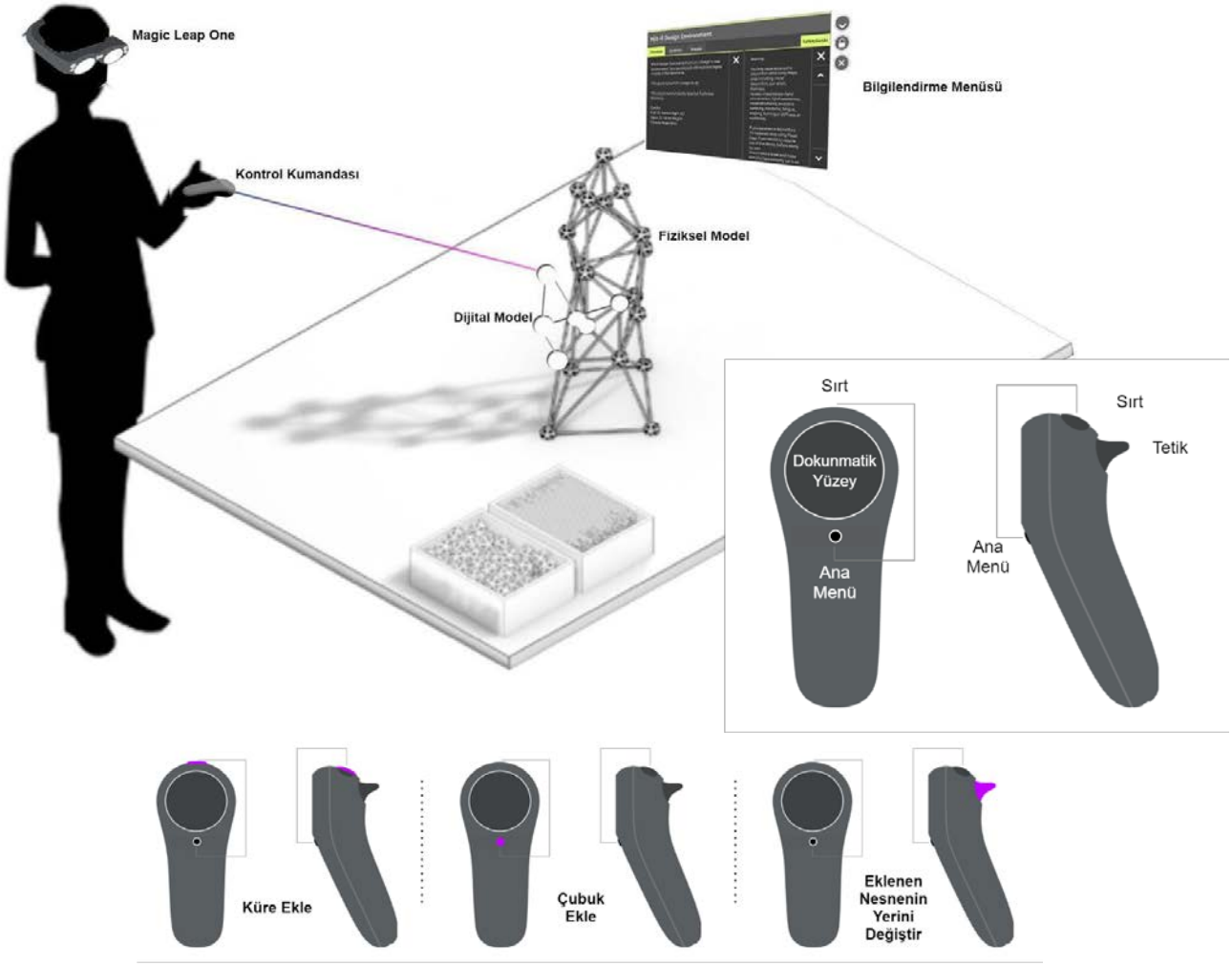
## 3.2. Sistem Mimarisi ve Etkileşim Araçları

Melez KG mecrası geliştirme sürecinde öncelikle Unity yazılımında, fiziki maket elemanları olarak kullanılacak olan malzemeler (strafor küre ve ahşap çubuklar) doğru ve aynı ölçülerde 3B oyun nesneleri olarak, melez KG mecrasında oluşturulan yeni sahnede tanımlanmıştır. Unity sistemi üzerinde tanımlanan bu oyun nesnelerinin, tasarımcının etkileşimi ile sahneye gelebilmeleri ve müdahale edilebilir olabilmeleri sağlanmıştır. Sistem mimarisi incelendiğinde (**Şekil 2**) görülebileceği gibi programlanan iki tür nesne bulunmaktadır.




**Şekil 2:** Sistem mimarisi

Tasarımcı etkileşimi ML kontrol kumandası ile gerçekleştirilmektedir. KG uygulaması, araç geliştirme sürecinde tasarım ortamının bilişsel yük (cognitive load) yaratmayacak kullanım basitliğinde ve tasarımcıların alışkın olduğu geleneksel tasarım elemanlarıyla kurulan ilişkiye benzer bir ilişki kurmaları hedeflenerek tasarlanmıştır. Sırt (Bumper) tuşuna basarak sahneye küre, ana menü tuşuna basarak sahneye çubuk eklenmektedir. Sahnede yaratılan her bir nesne tetik ile taşınabilir, dokunmatik arayüz ile büyütülüp-küçültülebilir (**Şekil 3**). ML'nin, üzerinde bulunan sensörler ile bulunduğu ortamın nokta-bulut olarak tarayabiliyor olması, tasarım ortamının çevresel bilgisini kullanarak işliyor olması ve ağ olarak görselleştirmesi sayesinde fiziki ve sanal entegrasyonu sağlanabilmektedir. Eş zamanlı maket elemanlarının konumlarını algılama ve dijital nesnelerle eklenti yapabilme imkânı tanımak için uygulamaya MLSpatialMapper eklenmiş, böylece hazırlanan oyun nesneleri fiziksel ortam bilgisiyle eşleştirebilir hale getirilmiştir. Nitekim, tasarımcıların daha esnek çalışabilmeleri için yer çekimi gibi fiziksel simülasyon kütüphaneleri uygulanmamıştır.




**Şekil 3:** Çalışma Ortamı ve Tasarım Elemanları

### 3.3. Temel Bileşenler, Temsiller ve Etkileşim

Deney ortamı, fiziksel model ve dijital modelin eş zamanlı yer alabileceği yatay bir düzlem, başa giyilebilir gözlük tabanlı görselleştirme katmanı ve el ile kontrolün sağlanabileceği bir kumanda cihazından oluşmaktadır (Şekil 3). Fiziksel maket, küresel bağ elemanları ile lineer çubuk elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 4). Bu elemanların, uygulama içerisinde geometrik kısıtları temel alınarak dijital kopyaları bulunmaktadır. Pilot çalışmada önceden tanımlı elemanlar tercih edilmesinin nedenleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Fiziksel maket ve dijital model arasındaki senkronizasyonun kolaylığına katkısı;
- Tasarım nesnesinin sayılabilirlik, ölçülebilirlik gibi nicel yöntemlerle değerlendirilmesine katkısı;

- Uzun vadede düzenlenmesi planlanan deneylerde, tasarım nesnesinin geometrisinin basit, karmaşık, basitten karmaşığa geçiş gibi farklı lenslerle değerlendirilmesine olanak sağlaması;
- Dijital ortamda oluşturulacak parametrik modelde, birleşim noktalarında farklılaşan açısal ilişkiler barındırmasıdır.

Ayrıca, farklı açısal ilişkiler barındıran düğüm noktalarından oluşan bir ağ (mesh) geometrinin fiziksel ortamda maketinin yapılması aşamasında, dijital ortamdan açı bilgisinin farklı ortografik temsillerden kontrol edilerek alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum da maket yapma sürecine ilave işlemler getirebilmektedir (Bak-ölç-bak-ölç-yap-ölç gibi). Oysa fiziksel ortamda yapılan maketin üzerine, dijital model verisi haritalanabilmektedir. Bu durumda ilave işlemlere ihtiyaç duymadan, birkaç adım sonraki ya da önceki işlemleri görüntüleyerek maket yapmak olanaklı hale gelmektedir.

Pilot çalışma kapsamında, tasarımcının uygulamada ekleyebileceği dijital kopya sayısı sınırlandırılmamıştır. Fiziksel modeldeki etkileşime benzer şekilde tasarım ortamına eklenen dijital nesneler “silinmek” istendiğinde tasarım düzleminden kenara çekilerek üretilen önerinin bir parçası olmaktan çıkarılmaktadır. Böylece, önceden üretilip kenara çekilen dijital herhangi bir nesne, tasarım düzlemine geri alınarak yeniden tasarıma dahil edilebilmektedir.

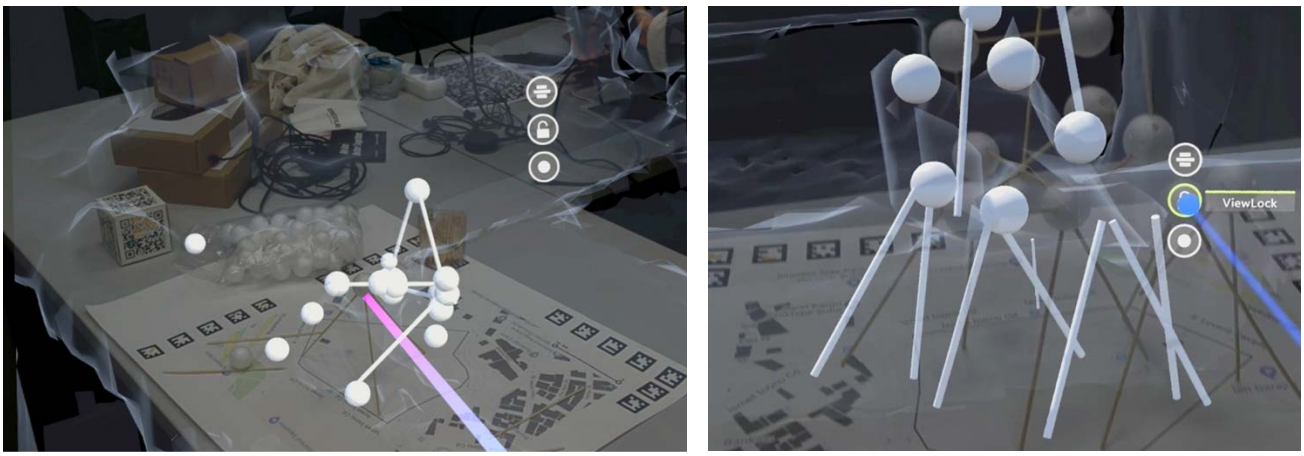
# 4. Karma Gerçeklik Mecrası Önerisinin Değerlendirmesi

## 4.1. Yöntem

Çalışmada KG teknolojisinden faydalanılarak oluşturulmuş olan bir tasarım aracının, mimari tasarımın erken evresinde hangi potansiyelleri barındırdığı, önerilen arayüzün tasarım sürecini ne şekilde desteklemekte olduğu ve arayüzün kullanımının değerlendirilmesine odaklanılmıştır. Bildiri kapsamında, geliştirilen melez KG aracının kullanımının pilot çalışma üzerinden uzman değerlendirmesi sunulmaktadır. Değerlendirme yöntemi olarak insan bilgisayar etkileşimi çalışmalarında uzman değerlendirmesi için kullanılan Nielsen ve Shneiderman kural setlerinden faydalanılmıştır (Nielsen, 1994; Nielsen, 2005; Shneiderman & Plaisant, 2010). İnsan-bilgisayar etkileşiminin ön planda olduğu çalışmalarda uzman değerlendirmeleri için Nielsen’in 10 kuralı (1994; 2005) ve Shneiderman’ın (2010) altın kuralları sezgisel değerlendirme yöntemleri olarak sıklıkla tercih edilmektedir (Çağıltay, 2011).

## 4.2. Veri Toplama

Uzman değerlendirmesi tasarım alanında uzman 4 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm tasarımcılar en az bir dijital tasarım programını rahatlıkla kullandığını belirtmiştir. Tasarımcıların üçü AR/VR araçlarına dair tecrübesi olduğunu belirtmiştir. Tasarımcılara deney öncesinde, melez KG ortamını tanıtan egzersizler yaptırılmıştır. Uzmanların fiziksel ve sanal tasarım elemanlarını birlikte kullanarak bir mimari tasarım problemi üzerine çalışmaları istenmiştir. 30 dakika süren deneylerde uzmanlardan, İstanbul Levent bölgesinde bulunan Büyükdere caddesine paralel olarak sıralanmış yüksek yapılar arasında yer alan ve mevcutta otobüs terminali olarak kullanılan boş arazi üzerine yüksek gabarili bir ofis yapısına yönelik kütlesel tasarım önerileri oluşturmaları istenmiştir. Uzmanların fiziksel ve dijital modellemeyi bir arada kullanarak verili problem çerçevesinde çözümler üretmeleri beklenmiştir. Katılımcılara, alanın planı ve maket malzemeleri verilmiştir (**Şekil 4 ve 5**). Tasarımcılara verilen maket malzemeleri, 3 cm çapında strafor küreler ve bu kürelere saplanabilecek incelikte 5-10 cm uzunluğunda ahşap çubuklardan oluşmaktadır.




**Şekil 4:** Çalışma ortamının kullanıcı gözünden görünümü. U1’in (solda), ve U2’nin (sağda) tasarım sürecinden bir sahne

**Şekil 5:** Uzman değerlendirmeleri ve üretilen fiziki maketler

Uzman değerlendirmesi kapsamında araştırmada nitel ve nicel veri olmak üzere iki aşamalı veri toplama gerçekleştirilmiştir. Nicel veri Nielsen'in 10 kuralı (1994; 2005) ve Shneiderman'ın (2010) altın kurallarını var/yok biçiminde ikili sistemde değerlendirmesi üzerinden toplanmıştır. Deneylerden sonra uzmanlardan toplanan Nielsen ve Shneiderman'ın kural setlerine dayanan anketlere verilen yanıtlar aşağıda paylaşılmaktadır (**Tablo 1 ve 2**). Nitel veri ise, uzmanlarla arayüzün test edilmesi sürecinde ve test edilmesinin ardından retrospektif biçimde ucu açık görüşme biçiminde toplanmıştır. Spesifik olarak tasarım sürecinde ve sonrasında, tasarımcıların kullandıkları araç ve ortamla ilgili olumlu ve olumsuz buldukları konuları belirtmeleri ve ayrıntılandırmaları istenmiştir. Uzman tasarımcılardan U1 ve U2'nin verilen tasarım problemine yönelik ürettiği çözümün KG platformundan alınan ekran görüntüsü **Şekil 4**'te paylaşılmaktadır.

**Tablo 1:** Shneiderman'ın (2010) önerdiği kurallardan oluşan anket sorularına verilen yanıtlar

| | **Shneiderman'ın Altın Kuralları / Golden Rules of Shneiderman** | **U1** | **U2** | **U3** | **U4** |
|---|---|---|---|---|---|
| **S1** | Arayüzde tutarlılığın-kararlılığın-uyumun sağlanmasına özen gösterilmesi / strive for consistency | + | + | + | + |
| **S2** | Genel kullanılabilirliği sağlanması / enable frequent users to use shortcuts - seek universal usability | + | - | + | - |
| **S3** | Açıklayıcı, bilgilendirici geri bildirim önerilmesi / offer informative feedback | - | - | - | - |
| **S4** | Eylemin sonlandırılabilmesi için kullanıcı ile iletişimin düzgün tasarlanması / design dialogs to yield closure | + | + | + | + |
| **S5** | Hata önleme ve müdahale kolaylığı/ offer simple error handling | + | + | + | - |
| **S6** | Eylemlerin kolayca geriye döndürülebilmesi / permit easy reversal of actions | + | + | + | - |
| **S7** | Kullanıcının hakimiyeti / keep users in control | + | + | + | + |
| **S8** | Kısa –süreli bellek yükünün azaltılması / reduce short-term memory load | + | + | + | + |

**Tablo 2:** Nielsen'ın (1994; 2005) önerdiği kurallardan oluşan anket sorularına verilen yanıtlar

| | Nielsen'ın 10 Kuralı / 10 Rules of Nielsen | U1 | U2 | U3 | U4 |
|---|---|---|---|---|---|
| **N1** | Sistem durumunun görünürlüğü / visibility of system status | + | + | + | + |
| **N2** | Sistem ile gerçek dünyanın eşleşmesi / match between system and the real world | + | + | + | + |
| **N3** | Kullanıcı kontrolü ve özgürlük / User control and freedom | + | + | + | + |
| **N4** | Hataları Önleme / Error prevention | + | - | + | - |
| **N5** | Kullanıcıların hataları tespit edip, tanı koyup, hataları geri alabilmesi konusunda yardımcı olması / Help users recognize, diagnose, and recover from errors | + | - | - | - |
| **N6** | Tutarlılık ve standartlar / Consistency and standards | + | + | + | + |
| **N7** | Hatırlamak yerine tanıma / Recognition rather than recall | + | + | + | + |
| **N8** | Esneklik ve kullanım verimliliği / Flexibility and efficiency of use | + | + | + | + |
| **N9** | Estetik ve sade tasarım / Aesthetic and minimalist design | + | + | + | + |
| **N10** | Yardım ve Belgeleme / Help and Documentation | - | - | - | - |

### 4.3. Uzman Değerlendirmesi ve Bulgular

Tüm deneyler kesintisiz bir şekilde tamamlanmış, uygulama hata vermemiş veya kesintiye uğramamıştır. Tasarımcılar kullanım sürecinde herhangi bir rahatsızlık veya problem hissetmemiştir. Tasarımcıların hepsi verilen 30 dakikalık süre içerisinde fiziksel ve dijital model ile öneriler üretmeyi başarmışlardır (**Şekil 4**). Uygulama arayüzünün basit, tutarlı, anlaşılabilir olduğu, kolay müdahaleye imkân veren, kullanıcıyı yormayan bir altlığa sahip olduğu belirtilmiş, ancak bilgilendirici ve belgelendirici araçların eksikliği vurgulanmıştır. Ayrıca arayüzün estetik, evrensellik, özgürlük ve gerçek dünya ile eşleşen yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Anketlerden alınan yanıtlar aşağıda detaylı olarak değerlendirilmektedir.

Olumlu bulunan konular:

- Arayüzde tutarlılığın sağlandığı, kullanıcıların etkileşim komutlarını hatırlamada sorun yaşanmadığı görülmektedir (S1 ve N7).
- Benzer olarak kullanıcı hakimiyeti (S7) ve eylemlerin rahatlıkla gerçekleştirildiği (S4) görülmektedir.
- Tasarımcıların uygulama içi araç kullanımına dair karar vermede kolay ve anlaşılır bir arayüzün yani sistem durumunun görünürlüğünün sağlandığı görülmektedir (N1).
- Sistem ile gerçek dünyanın eşleşmesinin olumlu bulunması (N2), kullanıcıların aracı ve uygulamayı yadırgamadan kullanabildiklerini; kullanıcı kontrolünün sağlanması (N3) ise tasarım sürecinin uygulama ile kesintisiz bir şekilde yürütülebildiğini işaret etmektedir. Özellikle kısa süreli bellek yükü oluşturmayan etkileşim sunması olumlu bulunmuştur (S8).
- Ayrıca uygulama arayüzü, estetik ve sade tasarımı ile odağın tasarlanan nesneye kayması sebebiyle beğeni kazanmıştır (N9).

Olumsuz bulunan konular:

- Tasarımcıların tasarım etkinliğini kesintiye uğramadan sürdürebilmeleri önem arz etmektedir. Esnek ve kullanım verimliliği sağlayan bir arayüz sunulmuş olsa da (N8), evrensel kullanımda yaygınlaşan geri alma

komutunun, sisteme dahil edilmesinin faydalı olabileceği görülmektedir (S6). Bu durumla ilgili olarak silme komutunun daha etkin tasarlanması önerilmiştir.

- Tasarım süreçlerinde alışılmış modelleme araçlarında olduğu gibi düzenleme komutlarının eksen bazında çalışıyor olmasının daha uygun olduğu belirtilmiştir.
- Fiziki ortamda oluşturulan maketle 3B model ortamında oluşturulan sanal nesnenin iki yönlü etkileşimine yönelik potansiyellerin değerlendirilmesinin iyi olabileceği vurgulanmıştır.
- Ayrıca oluşabilecek hataların önüne geçmeye yönelik hata uyarı ve önleme sistemlerinin eklenmesi katılımcılar tarafından önerilmektedir (N4).
- Genel kullanılabilirlik konusunda kararsızlık mevcuttur (S2), ML aracı her ne kadar basit bir kumanda ise de yeni kullanıcılar için tuşların anlamını hatırlama süreci yaşanmaktadır. Bu durum donanımın genel kullanım tecrübesinin (fare, klavye kullanmaya olan aşinalık gibi) olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Tüm katılımcılar uygulamada bilgilendirici dokümanların eksikliğini olumsuz karşılamıştır (S3 ve N10). Bu durum hem kontrol mekanizmalarının hem de araç ve uygulama hakkında bilgilerin kesinlikle uygulama içine eklenmesi gerektiğini işaret etmektedir.
- Uzman değerlendirmesinde önerilen melez KG tasarım ortamının tutarlı, esnek ve hatasız çalışabildiği; tasarımcıyı destekleyen ve geliştirilmeye açık bir tasarım ortamı sunduğu görülmektedir. Ayrıntıları sunulan uzman değerlendirmesinde elde edilen bu sonuç ve değerlendirmelere göre prototip v.2'nin çalışmalarına başlanmıştır.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, araştırma kapsamında geliştiren bir KG tasarım mecrası tanıtılmış ve uzman değerlendirmeleri sunulmuştur. Dört uzman tasarımcı ile gerçekleştirilen deneyler, insan-bilgisayar etkileşimi konusunda sezgisel değerlendirme yöntemi olarak kullanılan Shneiderman'ın (2010) ve Nielsen'in (1994) kural setlerine dayanan anketler üzerinden değerlendirilmiştir. Uzman değerlendirmesi bulguları, mimari tasarımın erken evrelerinde kısıtlı malzeme ve karmaşık geometrik kompozisyonlar ile biçim arayışı süreçlerinde KG mecrasının tasarımcıların genel olarak bilişsel yüklerini olumlu yönde etkileyebileceğine işaret etmektedir. Deneyler sonrasında yapılan anketlere göre geliştirilen melez KG tasarım mecrası bir araç olarak, tasarım önerilerinin rahatlıkla geliştirebildiği ve insan-bilgisayar etkileşiminde gereken ilkelerin çoğunu barındırdığı görülmektedir.

Tasarımcılar deneyleri başarıyla tamamlamış ve verilen tasarım problemine fiziksel ve dijital modelleme araçlarını birlikte kullanarak çözüm üretmişlerdir. Tasarım etkinliğinde bilişsel yük oluşturmayan, rahat anlaşılır, pratik ve esnek bir arayüz sunduğu ifade edilirken; uygulama ve eylemlerin nasıl uygulandığını açıklayan bilgilendirici içeriklerin yer almasının faydalı olacağı vurgulanmıştır. Geri alma, gruplandırma, kaydetme ve silme işlemlerini sağlayan araçlar tasarımcılar tarafından talep edilmiştir. Gelecek çalışma için belirtilen eksikler değerlendirilerek gereken şekilde uygulama güncellenecektir.

Temel bileşenler, temsiller ve etkileşim odağında değerlendirildiğinde literatürde yer alan KG araçları ile gerçekleştirilmiş çalışmalarda çoğunlukla gördüğümüz etkileşim aracı olan el hareketleri ve jestler yerine, ML kontrol kumandasının bulunması tasarımcılarda kullanım veya etkileşim zorluğu yaratmamıştır. Çalışma ortamı, değerlendirildiğinde, melez KG tasarım mecrası ile çalışan tasarımcılar, çalışma alanı etrafında rahatça hareket ederek farklı açılardan müdahalelerde bulunmuş, oluşturulan tasarım nesnesinin görsel incelemesini yapabilmişlerdir. Sanal ve fiziksel nesnelere eş zamanlı müdahalelerin mümkün kılınması tasarımcıların eşzamanlı ve melez önerilerin geliştirilmesine imkân tanımıştır. Kullanım kolaylığı ve seri bir şekilde öneri üretebildikleri için dijital modellemenin tasarım sürecinde daha çok tercih edildiği gözlemlenmiştir. Konuyla ilgili olarak, fiziksel modelin kaydedilerek dijital model olarak uygulamaya aktaran bir sistem ile melez KG tasarım mecrasının ikili etkileşim ortamının zenginleştirilmesi gelecek çalışma önerisi olarak sunulabilir. Geliştirilecek bu melez KG tasarım mecrası çok sayıda tasarımcıyla yürütülecek bir deneysel çalışma ile tasarımcı, tasarım süreci ve tasarım önerileri üzerindeki etkilerini anlamaya ve betimlemeye yönelik daha detaylı olarak değerlendirilecektir.

**Teşekkür**

Bu çalışma, İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Genel Araştırma Projeleri kapsamında MGA-2019-42289 numaralı proje ile desteklenmiştir. Destek veren uzman mimarlara teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Akın, Ş., Ergün, O., Surer, E., & Dino, İ. G. (2018, November 28-20). *An immersive design environment for performance-based architectural design: A BIM-based approach*. In Proceedings of the 4th EAI international conference on smart objects and technologies for social goo*d* (pp. 306-307). Bologna, Italy.

Arth, C., Grasset, R., Gruber, L., Langlotz, T., Mulloni, A., & Wagner, D. (2015). The history of mobile augmented reality. arXiv preprint arXiv:1505.01319

Banerjee, N. T., Baughman, A. J., Lin, S. Y., Witte, Z. A., Klaus, D. M., & Anderson, A. P. (2020). Development of alternative reality environments for spacecraft habitat design evaluation. *Virtual Reality*, 1-10.

Bayraktar, M. E., & Çağdaş, G. (2020). A Mobile Design Environment for Building Form Generation. *Journal of Design Studio*, *2*(2), 131-142.

Belcher, D., & Johnson, B. (2008). MxR: A Physical Model-Based Mixed Reality Interface for Design Collaboration, Simulation, Visualization and Form Generation.

Çağıltay, K. (2011). *İnsan bilgisayar etkileşimi ve kullanılabilirlik mühendisliği: Teoriden Pratiğe*. Ankara: ODTÜ.

Dunston, P., Wang, X., Billinghurst, M., & Hampson, B. (2003). Mixed reality benefits for design perception. *Nist Special Publication SP*, 191-196.

Durmazoğlu, Ç., & Gül, L.F. (2019). *Mimari Tasarım Sürecinin Erken Evrelerinde Kullanılacak Bir AG Uygulamasının Geliştirilmesi ve Kullanılabilirlik Değerlendirmesi Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. MSTAS 2019: "Örtüşmeler, Kesişmeler" temalı XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu. Kocaeli, Türkiye.

Fazel, A., & Izadi, A. (2018). An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces. *Automation in Construction, 85*, 135-145.

Fricker, P. (2018). The Real Virtual or the Real Real: Entering Mixed Reality. Journal of Digital Landscape Architecture, 3-2018.

Garbett, J., Hartley, T., & Heesom, D. (2021). A multi-user collaborative BIM-AR system to support design and construction. *Automation in Construction, 122*, 103487.

Goepel, G., & Crolla, K. (2021). Secret Whispers & Transmogrifications: a case study in online teaching of Augmented Reality technology for collaborative design production.

Gül, L. F., Halıcı, M., Uzun, C., & Esengün, M. (2016, October). Understanding the impact of mobile augmented reality on co-design cognition and co-modelling. In *International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering* (pp. 362-370). Springer, Cham.

Gül, L. F. (2018). Studying gesture-based interaction on a mobile augmented reality application for co-design activity. *Journal on Multimodal User Interfaces*, *12*(2), 109-124.

Gül, L. F. (2020). The Impact of Digital Technologies On Collaborative Design//Dijital Teknolojilerin İşbirlikli Tasarıma Olan Etkisi. *Megaron*, *15*(1), 84.

Hermansdorfer, M., Skov-Petersen, H., Fricker, P., Borg, K., & Belesky, P. (2020). Bridging tangible and virtual realities: computational procedures for data-informed participatory processes. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 354-365.

Jin, Y., Seo, J., Lee, J. G., Ahn, S., & Han, S. (2020). BIM-based spatial augmented reality (SAR) for architectural design collaboration: A proof of concept. *Applied Sciences, 10(17)*, 5915.

Koçer Özgün, F.N., & Alaçam, S. (2019). *Tasarımın Erken Aşamalarında Kullanılabilecek Artırılmış Gerçeklik Tabanlı Br Arayüz*. MSTAS 2019: "Örtüşmeler, Kesişmeler" temalı XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu. Kocaeli, Türkiye.

Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IECE Trans. on Information and Systems (Special Issue on Networked Reality), 77(12),* 1321-1329.

Nielsen, J. (1994). Enhancing the explanatory power of usability heuristics. Proc. ACM CHI'94 Conf. (Boston, MA, April 24-28), 152-158.

Nielsen, J. (2005). Ten usability heuristics. Erişim tarihi 1 Haziran 2021. https://pdfs.semanticscholar.org/5f03/b251093aee730ab9772db2e1a8a7eb8522cb.pdf

Shelton, B. E., & Hedley, N. R. (2004). Exploring a cognitive basis for learning spatial relationships with augmented reality. *Technology, Instruction, Cognition and Learning,1(4),* 323.

Schubert, G., Schattel, D., Tönnis, M., Klinker, G., & Petzold, F. (2015). Tangible mixed reality on-site: Interactive augmented visualisations from architectural working models in urban design. *In International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures* (pp. 55-74). Springer, Berlin, Heidelberg.

Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2010). Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction. Pearson Education India.

Suzuki, T., Ikeda, H., Takeuchi, I., Matsunaga, F., Sumitomo, E., & Ikeda, Y. (2020). Holonavi: A study on user interface for assembly guidance system with mixed reality in a timber craft of architecture. *In 25th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2020* (pp. 691-700).

Wang, X., & Schnabel, M. A. (Eds.). (2008). Mixed reality in architecture, design, and construction. Springer Science & Business Media.

Magic Leap (2021a). *Magic Leap One*. Erişim tarihi 1 Haziran 2021, https://www.magicleap.com/en-us/magic-leap-1

Magic Leap (2021b). *Get Started Developing with Unity - Magic Leap Dev Guide*. Erişim tarihi 1 Haziran 2021, https://developer.magicleap.com/en-us/learn/guides/get-started-developing-in-unity

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Tasarım Odaklı Düşünce ve Genişletilmiş Gerçeklik ile Uzaktan Eğitimde Birlikte Çalışma Deneyimi

Hande Yazıcı [1]; Emre Şahin [2]; Ahmet Fatih Karakaya [3]
[1,2,3]TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
[1]h.yazici@etu.edu.tr, [2]e.sahin@etu.edu.tr, [3]afkarakaya@etu.edu.tr

## Özet

*Global bir kriz haline gelen ve tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgını pek çok alanda hasarlar yarattı ve yaratmaya da devam etmektedir. Bu alanların başında hiç kuşkusuz eğitim alanı gelmektedir. Özellikle uygulamalı alanlar bu süreçten en çok etkilenen gruplar arasındadır. Bu bağlamda, gelişen teknolojilerin imkânlarından da yararlanarak sanal bir tasarım mekânı yaratılması ve farklı disiplinlerden tasarım öğrencilerinin birlikte çalışma deneyiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Yürütülen çalışmada, sanal gerçeklik platformu Mozilla Hubs kullanılarak ve Tasarım Odaklı Düşünme (TOD) yöntemleri ile sanal bir tasarım mekânı kurgulanmıştır. Bu çalışmada amaç sadece çevrimiçi tasarım eğitimi sürecinin problemlerini çözmek değildir, zira bu süreçte başka yan ya da ana problemlerin varlığından da söz edilebilir. Sadece video konferans görüşmeleri dışında tasarım öğrencileri sanal bir platformda tasarım problemlerine alternatif çözümler üretebilirler mi? Yine oldukça zorlanılan bir konu olarak öğrencilerden ziyade eğiticilere yönelik bir çalışma yapılabilir mi gibi sorulara cevap aranması hedeflenmektedir. Çalışmada tasarım öğrencilerinden TOD yöntemlerini uygulamaları için Miro uygulamasını ve tasarım sürecini gerçekleştirmeleri için de Mozilla Hubs sanal gerçeklik platformunu kullanmaları istenmiştir. Tasarım problemi olarak sanal gerçeklik ortamında tasarım stüdyosu verilen öğrenciler 6 kişilik 3 gruba ayrılmışlardır. Çalışmada veri toplama aracı olarak yarı yapılandırılmış görüşme formları ve Technology Acceptance Model (TAM) kullanılmıştır. Veriler analiz edildiğinde öğrencilerin uzaktan çevrimiçi tasarım stüdyosu olarak sanal gerçeklik platformu kullanmaya istekli oldukları ve gelecekte stüdyo çalışmalarında TOD ve genişletilmiş gerçeklik platformlarının faydalı olacağını düşündükleri tespit edilmiştir.*

***Anahtar kelimeler:*** *Online eğitim, genişletilmiş gerçeklik, tasarım odaklı düşünme, işbirlikçi tasarım.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Yazıcı, H., Şahin, E. & Karakaya, A. F. (2021). Tasarım odaklı düşünce ve genişletilmiş gerçeklik ile uzaktan eğitimde birlikte çalışma deneyimi. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 375-386). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Experiencing Working Together in Distance Education with Design Thinking and Extended Reality

Hande Yazıcı [1]; Emre Şahin [2] Ahmet Fatih Karakaya [3]
[1,2,3]TOBB University of Economics and Technology
[1]h.yazici@etu.edu.tr, [2]e.sahin@etu.edu.tr, [3]afkarakaya@etu.edu.tr

## Abstract

*The Covid -19 pandemic, which has become a global crisis and affected the whole world, has caused and continues to cause damage in many areas. One of these areas is undoubtedly the field of education. Especially applied fields are among the groups most affected by this pandemic. In this context, it is aimed to create a virtual design space by making use of the opportunities of developing technologies and to research the experience of design students from different disciplines working collaboratively. In the study carried out, a virtual design space was constructed using the virtual reality platform Mozilla Hubs and with Design Thinking Methods (DTM). The aim of this study is not only to solve the problems of the online design education process, because there are other side or main problems in this process. Can design students produce alternative solutions to design problems on a virtual platform other than just video conference calls? Again, it is aimed to seek answers to questions such as whether a study can be conducted for educators rather than students, as a very difficult subject. In the study, design students were asked to use the Miro application to apply DTM and to use the Mozilla Hubs as a virtual reality platform to perform the design process. Students who were given a design studio in a virtual reality environment as a design problem were divided into 3 groups of 6 people. Semi-structured interview forms and Technology Acceptance Model (TAM) were used as data collection tools in the study. When the data were analyzed, it was determined that the students were willing to use a virtual reality platform as a remote online design studio and they thought that DTM and extended reality platforms would be useful in their design studio in the future.*

***Keywords:*** *Online education, extended reality, design thinking methods, collaborative design.*

**Citation in APA Style:** Yazıcı, H., Şahin, E. & Karakaya, A. F. (2021). Experiencing working together in distance education with design thinking and extended reality. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Ed.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 375-386). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Tasarım öğrencilerinin zihnindeki nihai tasarımı ancak eskiz (kâğıt) ve dijital (bilgisayar) ortamında iki boyutlu çizimlerle aktarabilir. Üç boyutlu sunum aracı olarak kullanılan maket ve prototipler yüksek maliyetlidir ve her kritik oturumundan sonra değiştirilmesi, geliştirilmesi veya yeniden üretilmeleri gerekmektedir. Yine de öğrencinin sonuçta oluşacağını öngördüğü yapıyı gerçeklik dünyamızdaki hacim etkisiyle, tasarlanan boyutuyla, rengi ya da dokusuyla görme, tasarımı bu haliyle ele alma ve üzerinde tekrar çalışma gibi bir olanağı yoktur. Dolayısıyla tasarım oluşturma, alternatif geliştirme, olasılıkları okuma, problem çözme gibi bir dizi zihinsel performansı yaşaması beklenen öğrenci için bu süreçler ancak çizim ve maketlerin sunduğu zaman, fiziksel performans ve algı sınırları içinde kalabilir.

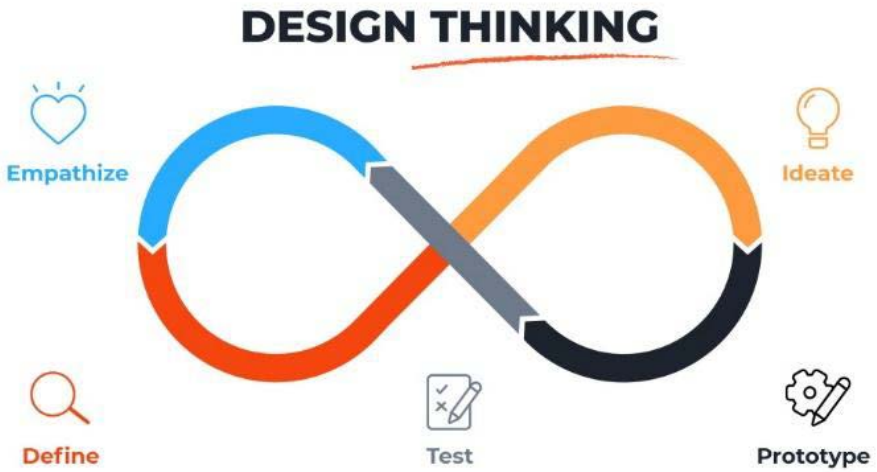
Ancak tasarım stüdyolarında gerçekleştirilen çalışmalarda, kâğıt üzerinde ya da maket ile gerçekleştirilen çalışmalarda ya da Kartezyen koordinat sisteminde uzaysal algı boyutlarına tam olarak ulaşmamız çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Gerçek bir çevreye hayali kurguları aktarmak ancak genişletilmiş gerçeklik (GG) teknolojisi gibi sanal ortam ile fiziksel ortamı kesiştirebilen bir teknolojiyle sağlanabilir. Öngörülemeyen hayali planları ancak uygulama bitiminde elde edilmesi yerine, karma gerçeklik teknolojisi yetileri ile nihai sonuca kurgu başlangıcında görmek maliyet, zaman, tasarım ve kullanışlılık gibi birçok alanda çeşitli artılar sağlayabilir. Bir ikinci neden de tasarımcı bakış açısının genel anlamda tasarım öğrencileri ile sınırlı kalması ve çok disiplinli çalışmalardaki olası faydalarından gerektiği gibi yararlanılamamasıdır. Tasarım; sanatın yaratıcı yaklaşımı kadar bilimin mantıksal ve analizci tarafını da kapsar. Bir araştırma, hizmet ya da ürün geliştirme sürecinde disiplini ne olursa olsun, Tasarım Odaklı Düşünme (TOD) tasarımın bu kapsayıcılığını uygulamaya dökmek için uygulaması kolay ve etkili bir yöntemdir. Yaratıcılık, problem çözme için en gerekli yeteneklerden biridir ve TOD yaratıcılığı tetiklemede işe yarayan bir araç olagelmiştir.

Tasarım Odaklı Düşünce (TOD) ve Genişletilmiş Gerçeklik (GG) ile Uzaktan Eğitimde Birlikte Çalışma Deneyimi çalışmasının temel amacı; denek grubu öğrencilerin bu alanlara olan ilgi ve beceri düzeylerini atölye etkinliği üzerinden anlamaya çalışmak, yöntem olarak TOD'un ve araç olarak GG'nin öğrenme ve birlikte çalışma deneyimine katkısını ölçmektir. Bu amaçla, tasarım öğrencilerinin uzaktan öğrenme deneyimi esnasında yaşadıkları problemleri saptayarak, güncel çalışma alanlarından ikisi olan TOD metodolojisi ve GG teknolojisi ile öğrenme ve birlikte çalışma deneyimi geliştirmek üzere farklı disiplinlerden tasarım öğrencileri ile bir çalışma yürütülmüştür.

## 2. Tasarım Odaklı Düşünme

Borja de Mozota (2003) tasarımın disiplin olarak hem bilim hem de sanatı kapsadığını söylemektedir. Tasarım, bilimin analizci yaklaşımı ile sanatın yaratıcı doğası arasında mükemmel bir köprüdür. Lawson (2006) tasarımın (süreç olarak) nihayetinde bir probleme çözüm olmak için var olduğunu, bu nedenle öznel olmaktan kaçamayacağını belirtmektedir. 1960'ların sonunda "Tasarım Bilimi" ifadesiyle (Simon, 1969) temellerinin atıldığı ilk andan itibaren gelişim sürecini ivmeli olarak devam ettiren Tasarım Odaklı Düşünme (Design Thinking) tasarlama, problem çözme, öğrenme gibi pek çok farklı nedenle uygulanan ve eğitim, iş dünyası gibi alanlarda katma değer yaratabilen bir yaklaşım ya da yöntem olmuştur. Başlarda tasarımcıların neredeyse sezgisel olarak uyguladığı tasarım süreçleri, zamanla tasarımcı olmayanların da yararlanacağı biçimde modellenerek bugünkü bilinen anlamda Tasarım Odaklı Düşünme (TOD) metodolojisine evrilmiştir (Şahin 2019). Tasarım Odaklı Düşünmenin tanımı, Stanford tasarım okulu (Stanford D. School) tarafından problem çözme yöntemi olarak yapılmıştır. Razzouk ve Shute (2012) iyi tasarım odaklı düşünme becerilerine sahip olmanın, gerçekten karmaşık sorunları çözmenin yanı sıra beklenmedik değişikliklere uyum sağlama konusunda da faydalı olduğunu belirtmiştir. Tasarımın çok disiplinli doğası farklı alanlardaki kişilerin tasarım sürecine yabancılık çekmeden dâhil olmasını, ilk defa deneyimleyen birinin bile uyumlu çalışabilmesini sağlar (Chasanidou, Gasparini ve Lee, 2014).

Tasarım odaklı düşünme süreci modellenirken yıllar boyu 3,4,5,6 ve 7 aşamalı modeller kullanılmıştır. Her ne kadar farklı isimler kullanılsa da özünde aynı akış yatmaktadır. Kullanıcı her zaman için merkeze konur. Buna bağlı olarak önce fikir geliştirilir. Sonra çözümün fizikselleşmesi için prototip aşaması gelir. Ardından test ve ürün geliştirme aşamaları gelir. Tüm bu süreçler her zaman bir döngü içerisindedir. TOD'un çizgisel bir yapısı değil, tekrarlayan ve sürekli gelişimi destekleyen bir doğası vardır. En yaygın kullanılan TOD modellerinden biri 5 aşamalı modeldir (Design Thinking Bootleg, 2018). Bu modele göre aşamalar sırayla empati, tanım, fikir, prototip ve testtir (**Şekil 1**).




**Şekil 1:** 5 adımlı TOD modeli (Karl S. 2020)

Okul öncesi eğitimden yükseköğretime eğitim dünyasının pek çok seviyesinde uygulama alanın bulan TOD (Scheer ve Noweski, 2012; Noel ve Liub, 2017) iş dünyasında da hızlı popülerlik kazanmıştır (Groeger ve Schweitzer, 2014). Tasarım Odaklı Düşünme ve yaratıcı öğrenmenin ilişkisi de pek çok araştırmada ele alınmıştır. Carroll ve diğ. (2010) yaratıcı özgüveni geliştirmek için TOD metodolojisini önermektedir. Dunne ve diğ. (2006) makalesinde tasarımcı bakış açısını, eğitimde geleneksel süreçlerin getirdiği kısıtlamaları aşmak için bir fırsat olarak sunar.

## 3. Genişletilmiş Gerçeklik

Genişletilmiş gerçeklik (GG), Karma Gerçeklik (KG), Artırılmış Gerçeklik (AG) ve Sanal Gerçeklik (SG) kavramlarının tümünü anlatmak için literatürde yeni kullanılmaya başlamış bir çatı kavramdır. Genişletilmiş Gerçeklik ve işbirliğine dayalı öğrenme, öğrencinin bilgi edinme sürecinde eksiksiz bir deneyim sunar ve yaratıcılığın yayılmasını sağlamaktadır. SG ve AR, öğrencilerin güvenli bir ortamda maliyetsiz ve sınırsız sayıda deneyler yapmasına olanak tanımaktadır Akıllı eğitim, gerçek olanla bilgisayarda oluşturulan arasındaki çizgiyi belirsizleştiren yeni teknolojiyi kullanır ve duyuları (görme, işitme, koku ve dokunma) geliştirerek eksiksiz bir deneyim sunmaktadır

Genişletilmiş gerçeklik, özellikle ortak yaratım (co-creation) ve ortak tasarım (co-design) süreçlerinde çeşitli ve bariz faydalar sağlamaktadır. Ek olarak fiziki olarak bulunulması gereken mekanları bu zorunlulukların dışında tutarak, sanal evrenlerde farklı ve etkili deneyimler sunar. (El-Jarn ve diğ, 2020).

Sanal gerçeklik aynı zamanda tasarım dünyaları oluşturmak için bir araç olarak kabul edilir ve aslında benzersiz tasarım durumları sunabilir ve tasarım akıl yürütme sürecini yansıtabilir (Wang, 1999). Genişletilmiş gerçeklik son zamanlarda daha erişilebilir ve ekonomik hale geldi ve artık günlük yaşamda, özellikle eğlence endüstrisinde – örneğin video oyunları ve mobil oyunlarda – aynı zamanda mühendislik, mimari, sağlık ve eğitimde kullanılmaktadır (Quint ve diğ., 2015) Bu teknoloji, işbirliği, görselleştirme, birlikte tasarlama/birlikte oluşturma, eğitim ve öğretim gibi çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır (Scholz ve Smith, 2016; Bacca ve diğ, 2015).

## 4. Genişletilmiş Gerçeklik ve Teknoloji Kabul Modeli

Teknoloji Kabul Modeli (Technology Acceptance Model, TAM) kullanıcıların bir teknolojiyi nasıl kabul ettiklerini ve kullandıklarını modelleyen bir bilgi sistemleri teorisidir. Kullanıcıların teknolojik bir yeniliği kullanmasına dair davranışsal niyetlerini açıklamaktadır (Davis 1989). Haugstvedt ve Krogstie (2012) mobil artırılmış gerçeklik uygulaması ile yaratılmış tarihi fotoğraflar üzerinden, 200 katılımcı ile yaptığı nicel araştırmasında, algılanan kullanışlılık ve algılanan keyfin, teknoloji kullanma niyeti üzerinde etkin bir rol oynadığını ifade etmiştir.

Manis ve Choi (2019) sanal gerçeklik donanımları ve teknoloji kabulü üzerine yaptığı çalışmada, algılanan kullanım kolaylığının algılanan kullanışlılık üzerinde güçlü ve pozitif bir tahmin değişkeni olduğunu göstermiştir. SG donanımının yararlı olarak görülmesi, onu basitçe anlamaları ve kullanmalarına bağlı olmaktadır. Sagnier ve diğ. (2020) 89 katılımcı üzerinde SG teknolojilerinin kullanıcı kabulünü ve kullanıcı deneyimini incelediği araştırmasında göstermiştir ki sanal gerçekliği kullanma niyeti algılanan kullanışlılıktan olumlu etkilenirken, siber rahatsızlıktan olumsuz etkilenmektedir.

## 5. Genişletilmiş Gerçeklik ve Tasarım Süreçleri

Genişletilmiş Gerçeklik (GG) teknolojileri ile yaratıcı/birlikte tasarım süreçlerinin bir arada kullanılma çalışmaları 2000'li yılların başına kadar gitmektedir. Fröst ve Warren (2000) VR-Cave cihazı kullanarak yaratılan bir sanal çalışma ortamında mimari tasarım süreçlerini üniversite öğrencilerinden oluşan katılımcılarla birlikte gerçekleştirilen atölyede gözlemlemiştir. Çalışma ileri görselleştirme araçlarının mimari tasarım süreçlerinde son derece verimli çalıştığını göstermiş, SG çalışma ortamının katılımcılar arası ortak zemin oluşturmadaki başarısını vurgulamıştır. Düşük-detay SG modellerin erken aşama tasarım sürecinde sorunsuz işlediği de araştırmada belirtilmiştir. İleriki çalışmalarda oyunlaştırma kullanımından söz edilmiştir.

Adenauer, Israel ve Stark (2012) örnek 3 çalışma üzerinden yaratıcı tasarım ve sanal gerçeklik teknolojileri ilişkisini irdelemiştir. Sanal objelerle etkileşime girilebilen bir çalışma alanının sağladığı özgürlükleri ve potansiyelleri 3-boyutluluk, Etkileşim ve Dijital Kültür olarak 3 başlıkta özetlemiştir. Araştırmaya göre SG teknolojileri konsept ürün geliştirme sürecinde yaratıcı destek sunmaktadır. Detay bakımından geleneksel tasarım araçları kadar gelişmiş olmasa dahi, SG tasarım araçları geniş kullanım alanı ve sağladığı özgürlükler bakımından erken aşama tasarım safhasında yararlı bulunmuştur.

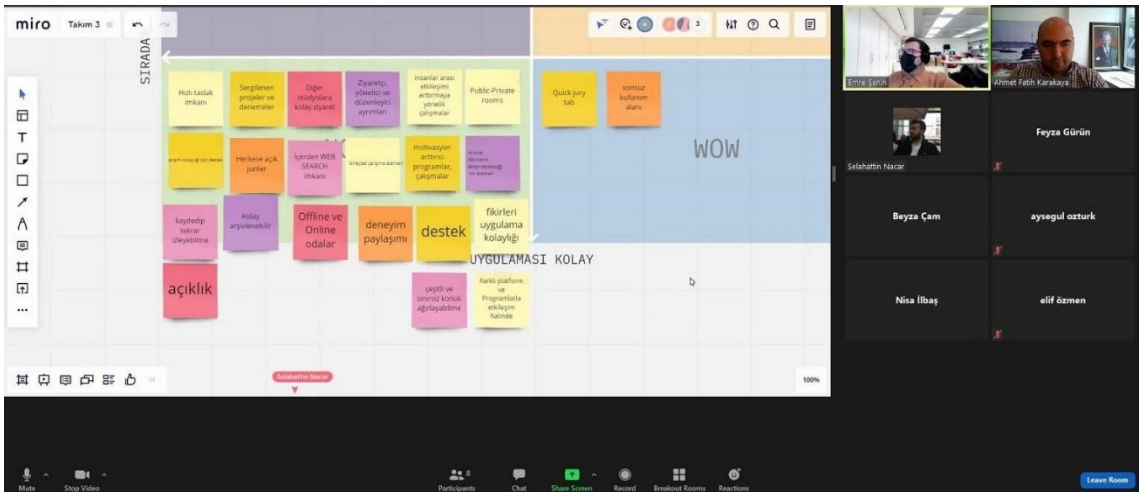
Lau (2012) tasarım eğitiminde yaratıcı öğrenme deneyimi ve sanal gerçeklik ilişkisine odaklandığı araştırmasında, 9 üniversite öğrencisinin Active Worlds isimli sanal ortamdaki davranış ve çalışmalarını gözlemlemiştir. Çalışmada elde edilen nitel veriler ışığında ileri araştırmalar için 3 madde önerilmiştir. Öğrencilerin yaratıcı düşünmesini kolaylaştırmak için çevresel uyarım yaratmak, öğrenme deneyimini artırmak için oyunlaştırma destekli öğrenme ortamı sunmak, yaratıcı öğrenmeyi geliştirmek için avatar kullanılarak yapılan rol-yapma benzetimi oluşturmak.

Rive ve Karmokar (2016) araştırma projesinde, coğrafi olarak dağıtık katılımcıların tasarım odaklı düşünme araçlarını nasıl kullanabileceğini incelemiştir. Projede, iki gruba ayrılan yaklaşık 90 üniversite öğrencisinden, her grubun diğeriyle Second Life isimli sanal ortamla diyaloga geçmesi istenerek, sanal ortamda yaratılan birlikte çalışma araçları ile tasarım odaklı düşünme uygulaması yapılmıştır. Second Life uygulaması imkanları dahilinde yapılan prototip çalışmasında çizim aracından çok 3 boyutlu modeller ile prototip tercih edilmiştir. Araştırma sonucunda bazı fiziksel tasarım odaklı düşünme araçlarının sanal olanıyla rahatlıkla yer değiştirebileceği belirtilmiştir. Katılımcılar her ne kadar arayüz ve uygulamayı kullanmanın zorluklarına değinse ve zaman zaman sürece olan ilgilerini kaybetseler de, kolayca iterasyon sürecine girebilmeleri, prototiplerini çeşitli öğelerle zenginleştirmeleri düşük duyarlı prototip çalışmalarında sanal ortamın bir başarısı olarak görülmüştür.

## 6. Yöntem

Araştırmada veriler TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi İÇT 313 Sanal Tasarım Stüdyosu seçmeli dersinde toplanmıştır. Bu ders fakülte seçmeli dersi olarak kurgulanmış ve İçmimarlık ve Çevre Tasarımı, Endüstriyel Tasarım ve Mimarlık bölümlerinden öğrenciler ile birlikte yürütülmüştür. Derse kayıtlı 18 öğrenci 3 gruba ayrılmış ve tasarım projesi problemi olarak "uzaktan eğitimde sanal gerçekliği kullanarak nasıl bir tasarım stüdyosu kurgulanmalı?" sorusu ile sanal gerçeklikte bir eğitim mekanı tasarlamaları istenmiştir. Çalışma öncesi ve sonrası anket çalışması, tasarım sürecinde alınacak ekran kayıtları ve katılımcıların uygulama platformlarında gerçekleştirdikleri çalışma dosyaları veri toplama araçlarıdır. Çalışma süresince öğrenciler ile haftada bir gün canlı görüşmeler için Zoom (zoom.us), Genişletilmiş gerçeklik (GG) uygulaması ortak çalışma alanı için Mozilla Hubs (hubs.mozilla.com) **(Şekil 2)**, tasarım odaklı düşünme (TOD) çalışma alanı olarak Miro (miro.com) (**Şekil 3**) platformları kullanılmıştır.

**Şekil 2:** Mozilla Hubs sanal gerçeklik platformu




**Şekil 3:** Tasarım odaklı düşünme alanı Miro

Sanal tasarım stüdyosunda öğrencilerin proje geliştirme süreçlerini tasarım odaklı düşünme evrelerine paralel yürütmeleri istenmiştir. Tasarım öğrencileri kendi tasarım gruplarında Miro ve diğer platformları kullanarak aşağıdaki adımları 4 derste çevrimiçi ve ders saatleri dışında çevrimdışı olarak gerçekleştirmişlerdir:

1. ders öncesi: Katılımcılara TOD ve GG ile ilgili kısa okumalar ve videolar verilmiştir. Çalışma öncesi anket doldurmaları istenmiştir.

1. ders: ANLAMA evresi. Canlı ZOOM görüşmesinde teorik bilgi verilmiştir. Tasarım problemi, empati kanvası ve veri toplama araçları tanıtılmıştır. Takımlar belirlenmiş ve ilk takım çalışması Miro üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda katılımcılardan bir persona (kullanıcı profili) oluşturmaları beklenmiştir.

2. ders öncesi: Katılımcılar verilen araştırma sorusu ile ilgili mülakat/anket çalışması yapmışlar ve sonuçları Google Drive'a kaydetmişlerdir.

2. ders: FİKİR evresi. Katılımcılar Miro'dan empati kanvasını doldurulmuştur. Persona kimliği tamamlanmıştır. Canlı görüşmede teorik bilgi verilmiş ve fikirleme etkinliği yapılmıştır. (Bireysel ve takım çalışması) Etkinlik çalışması Miro üzerinden takip edilebilmiştir.

3. ders öncesi: Katılımcılardan Mozilla Hubs yüklemeleri ve üye olmaları istenmiştir. Eğer yarım kalmışsa Miro'daki beyin fırtınası tablolarını bitirmeleri istenmiştir.

3. ders: PROTOTİP evresi. Canlı ZOOM görüşmesinde Mozilla Hubs tanıtılmıştır. İlk uygulama hem programı kullanmayı öğrenmek hem de verilen basit bir görevi bireysel olarak gerçekleştirmelerini ölçmek amaçlı olmuştur. Görevle ilgili ölçümler alınmış ve daha sonra Miro üzerinden doğru fikri bulup prototipleme çalışması başlamıştır.

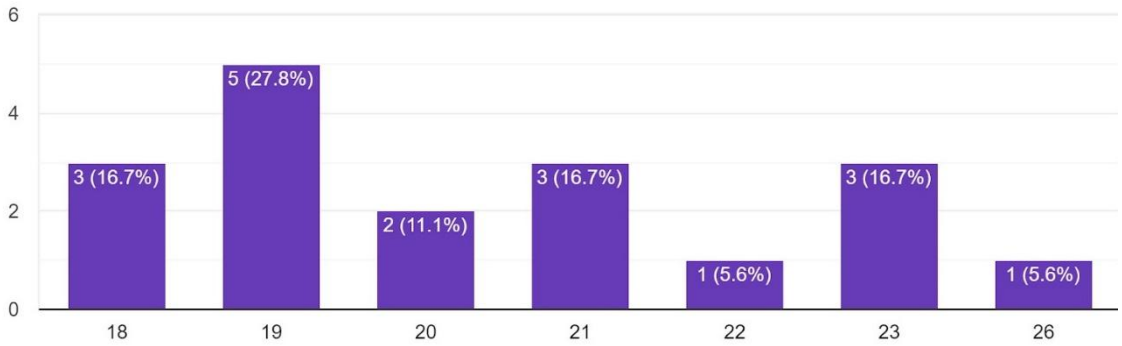
4. ders öncesi: Miro üzerinde prototip kanvası doldurulmuştur. Mozilla Hubs, serbest çalışma için bir dahaki görüşmeye kadar açık kalmıştır.

4. ders: UYGULAMA evresi. Canlı ZOOM görüşmesinde teorik bilgi verilmiş ve katılımcıların prototiplerini test etmeleri ve atölye sorusuna uygun bir ürün/hizmet sunumuna hazırlanmaları beklenmiştir. Mozilla Hubs ana çalışması yapılmış, bu çalışmada her takımın kendine ait bir Mozilla Hubs sanal gerçeklik mekanı oluşturmaları sağlanmış ve takımlar burada projelerini geliştirmişlerdir. 4. ders sonunda anket katılımcılara dağıtılmış ve sanal gerçeklik deneyimlerini değerlendirmeleri istenmiştir.

## 7. Bulgular

Betimsel analiz için öğrencilerin başarısını, korelasyon analizi, TAM kullanılabilirliğini ve etkinliğini test etmek için istatistiksel analizleri IBM SPSS Statistics 21.0 yazılım paketini kullanarak gerçekleştirdik. Mozilla Hubs kullanımı için TAM sorularının katılımcılar tarafından bilinçli bir şekilde cevaplandığını ve anketin güvenilir olup olmadığını test eden Cronbach's alpha değeri 0,932 olarak hesaplanmıştır ve çok güvenli çıkmıştır. Çalışmadaki denek sayısı 20'nin altında olduğu için One- Sample Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış ve veri setinin normal dağılım gösterdiği anlaşılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Teknoloji Kabul Modeli (Technology Acceptance Model, TAM) Davis'ten (1989) uyarlanmıştır, dört kategoriye ayrılmış toplam 20 soru içermektedir: algılanan fayda (AF); algılanan kullanım kolaylığı (AKK); kullanma niyeti (KN); ve algılanan haz (AH).

Çalışmaya TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesinden 18 tasarım öğrencisi katılmıştır. Öğrenciler İçmimarlık ve Çevre Tasarımı, Endüstriyel Tasarım ve Mimarlık bölümlerine kayıtlı, temel tasarım derslerini başarı ile geçmişlerdir. Katılımcıların yaşları 18 ile 26 arasında değişmektedir **(Şekil 4)**. Katılımcıların cinsiyet dağılımları ise 14 kız öğrenci ve 4 erkek öğrencidir.




**Şekil 4:** Katılımcıların yaşları

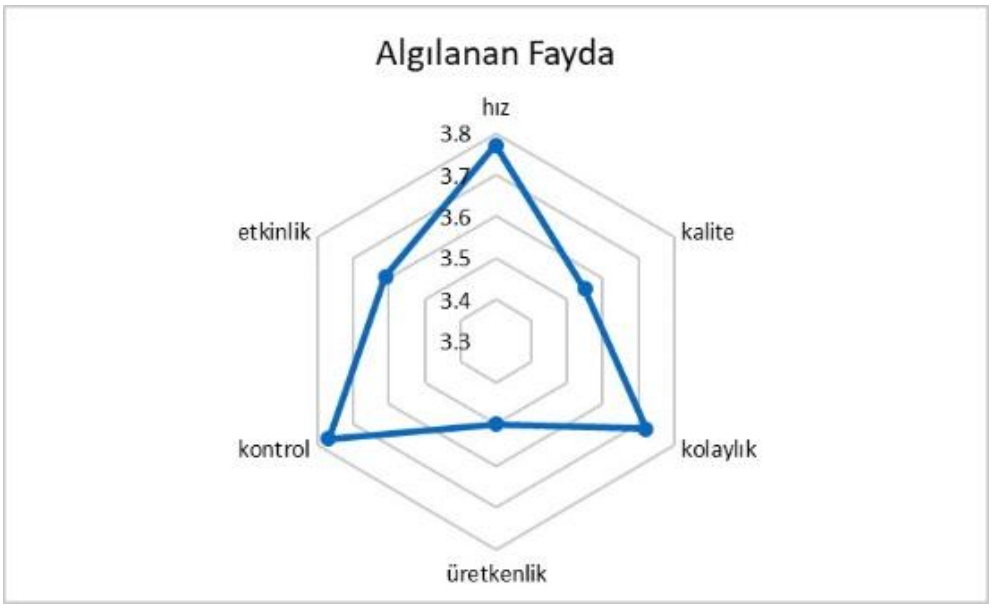
Katılımcıların sanal gerçeklik platformu kullanırken deneyimlerini kategorilere göre gösteren **Tablo 1**'e göre, öğrencilerin algılanan hazzı (m=4,24, SD=,97014) en yüksek, algılanan kullanım kolaylığı (m=3,54, SD=1,07861) en az ölçülmüştür.

**Tablo 1:** TAM kategorilerine göre ortalama değerler.

| TAM Kategorileri | Ortalama değer |
|---|---|
| Algılanan Fayda | 3,65 |

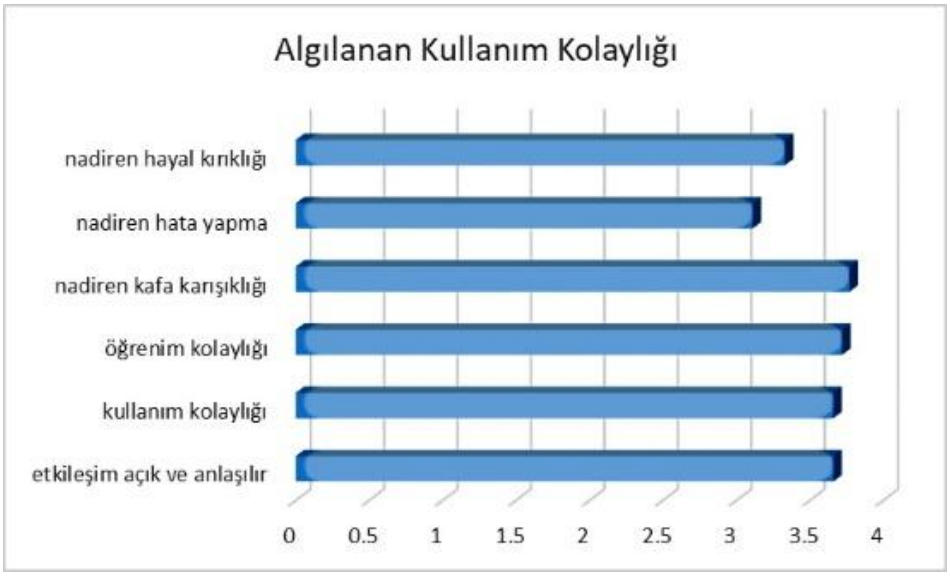
| | |
|---|---|
| Algılanan Kullanım Kolaylığı | 3,54 |
| Kullanma Niyeti | 4,16 |
| Algılanan Haz | 4,24 |

Katılımcı tasarım öğrencilerinin sanal gerçeklik deneyimlerinde algılanan fayda **(Şekil 5)** incelendiğinde, öğrenciler en çok görevleri hızlı tamamlama (m=3,77 SD=,94281) ve işleri üzerinde daha fazla kontrol sağlama (m=3,77 SD=,87820) özelliklerinin faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Üretkenlikleri (m=3,5 SD=,85749) ise tasarım yaparken en az etkilenen ölçüt olarak belirtilmiştir. Genel olarak öğrenciler Mozilla Hubs kullanımlarını hızlı, kontrollü ve kolay olarak değerlendirmişlerdir.



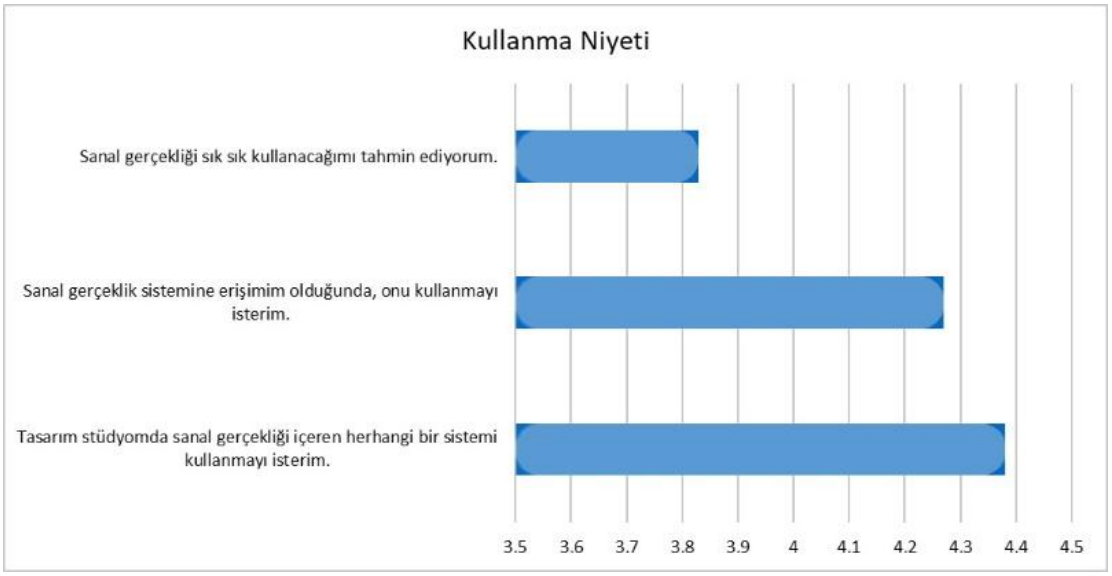

**Şekil 5:** Tasarım öğrencilerinin sanal gerçeklik deneyimlerinde algılanan fayda

Tasarım öğrencileri sanal gerçeklik platformu kullanım kolaylığını değerlendirdiklerinde **(Şekil 6)** Mozilla Hubs'ın genel olarak kolay kullanıldığını belirtmişlerdir. Öğrenciler sanal gerçekliği tasarım sürecinde kullanırken nadiren kafalarının karıştığını (m=3,77 SD=,73208) ve kullanmayı öğrenmenin kolay olduğunu (m=3,72 SD=1,22741) belirtmişlerdir.




**Şekil 6:** Tasarım öğrencilerinin sanal gerçeklik kullanım kolaylığı ölçeği

Çalışmanın katılımcıları olan tasarım öğrencileri sanal gerçeklik platformunu gelecekte de kullanmak istediklerini belirtmişlerdir **(Şekil 7)**. Öğrencilerin büyük çoğunluğu tasarım stüdyolarında da sanal gerçeklik kullanmak istediklerini (m=4,38 SD=,69780) ve ileride sanal gerçekliğe erişimleri olduğunda kullanmak istediklerini (m=4,27 SD=,75190) ifade etmişlerdir.




**Şekil 7:** Tasarım öğrencilerinin gelecekte sanal gerçeklik kullanım tercihleri

Katılımcı öğrenciler tasarım süreçlerinde sanal gerçeklik platformu kullanmanın genel olarak hoşlarına gittiğini belirtmişlerdir **(Şekil 8)**. En çok sanal gerçekliğin ilginç bir deneyim olduğunu (m=4,55 SD=,70479) ve en az Mozilla Hubs kullanırken zevk aldıklarını (m=4,05 SD=1,10997) açıklamışlardır.

**Şekil 8:** Tasarım öğrencilerinin sanal gerçeklik kullanımında aldıkları haz ölçeği

Pearson Korelasyon Katsayısına göre teknoloji kabul modelinin dört bileşeni arasındaki korelasyonları analiz ettik. Bu analiz sonucunda r= -1 ise tam negatif doğrusal bir ilişki, r= +1 ise tam pozitif doğrusal bir ilişki olduğunu, değişkenler arasında 0-0,3 zayıf ilişki, 0,3-0,7 arası orta ilişki ve 0,7 den büyük değerler için de güçlü ilişki olduğu yorumlanmıştır.

Teknoloji kabul modelinin algılanan fayda (AF) kategorisindeki sorulardan ***Sanal gerçeklik, görevleri daha hızlı tamamlamamı sağlıyor (s1)*** ile ***Sanal gerçeklik çalışma kalitemi geliştirdi (s2)*** arasında pozitif orta ilişki olduğunu tespit ettik (r=0,654 p=0,003). Ayrıca ***Sanal gerçeklik çalışma kalitemi geliştirdi (s2)*** ile ***Sanal gerçeklik üretkenliğimi geliştirdi (s4)*** arasında da pozitif yönlü güçlü bir ilişki tespit edilmiştir (r=0,700 p=0,001).

Algılanan fayda (AF) ve algılanan haz (AH) kategorileri arasında ***Sanal gerçeklik işteki etkinliğimi artırıyor (s6)*** ile ***Mozilla Hubs kullanmak hoşuma gidiyor (s17)*** arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur (r=0,725 p=0,001). Algılanan Kullanım Kolaylığı (AKK) ve kullanma niyeti (KN) arasında ***Sanal gerçeklikle etkileşimim açık ve anlaşılır oldu (s7)*** ile ***Sanal gerçeklik sistemine erişimim olduğunda, onu kullanmayı isterim (s14)*** sorularında güçlü bir ilişki tespit edilmiştir (r=0,702 p=0,001).

Algılanan fayda (AF) ile kullanma niyeti (KN) arasındaki sorulardan ilk olarak ***Sanal gerçeklik işteki etkinliğimi artırıyor (s6) ile Sanal gerçekliği sık sık kullanacağımı tahmin ediyorum (s15)*** arasında pozitif yönlü orta ilişki olduğunu tespit ettik (r=0,665 p=0,003). İkinci olarak ***Sanal gerçeklik işim üzerinde bana daha fazla kontrol sağlıyor (s5)*** ile ***Tasarım stüdyomda sanal gerçekliği içeren herhangi bir sistemi kullanmayı isterim (s13)*** arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki olduğu bulunmuştur (r=0,725 p=0,001). AF ve KN arasında bulunan son ilişki ***Sanal gerçeklik işimi kolaylaştırıyor(s3)*** ile S***anal gerçekliği sık sık kullanacağımı tahmin ediyorum (s15) soruları*** arasında pozitif yönlü orta ilişki bulunmuştur (r=0,653 p=0,003).

## 8. Tartışma ve Sonuç

Yürütülen çalışmanın bulguları değerlendirildiğinde hem tasarım odaklı düşünme yöntemi hem de genişletilmiş gerçeklik ve özellikle sanal gerçeklik platformunun tasarım öğrencilerinin tasarım süreçlerini desteklediği bulunmuştur. Özellikle hızlı, verimli ve eğlenceli olmasından dolayı teknoloji öğrencilere ilginç ve cazip geliyor; geleneksel tasarım eğitimindeki mekân ve zaman sınırlarından sonra uzaktan eğitimde sanal gerçekliği deneyimlemek öğrencileri özgürleştiriyor. Öğrencilerin büyük çoğunluğu tasarım pratiğini 3 boyutlu ortamda yapmanın ve teknolojiyi kullanmanın geleneksel stüdyo ortamına göre daha eğlenceli olduğunu düşünüyorlar.

Yapılan görüşmelerde katılımcı öğrenciler tasarım odaklı düşünme yönteminin genişletilmiş gerçeklik uygulamaları ile birlikte projelerine katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Adım adım proje sürecinde ilerlemek öğrencilerin hem zaman planlaması yapmalarını hem de takım içindeki görev dağılımlarını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

Sanal gerçeklik platformunun kullanım kolaylığının etkisi ile öğrenciler kolayca öğreniyorlar ve daha sonra da tasarım stüdyosunda kullanmak istiyorlar. 3 boyutlu tasarımlarını sanal ortamda fiziksel sınırlamalara maruz kalmadan ve hızlı ve eğlenceli bir şekilde yapmak öğrencilerin motivasyonlarını yükseltmiştir. Geleneksel tasarım eğitimi süreçlerine eklenecek sanal tasarım stüdyoları öğrencilerin daha özgür ve verimli bir tasarım eğitimi almasına katkıda bulunacaktır.

## KAYNAKLAR


Adenauer, J., Israel, J. H., & Stark, R. (2013). Virtual reality technologies for creative design. *In CIRP Design 2012* (pp. 125-135). Springer, London.

Borja de Mozota, B. (2003). *Design Management: Using Design to Build Brand Value and Corporate Innovation.* New York, NY: Allworth Press : Design Management Institute.

Carroll, M., Goldman, S., Britos, L., Koh, J., Royalty, A., & Hornstein, M. (2010). Destination, imagination and the fires within: Design thinking in a middle school classroom. *International Journal of Art & Design Education*, 29(1), 37-53.

Chasanidou, D., Gasparini, A., & Lee, E. (2014). Design thinking methods and tools for innovation in multidisciplinary teams. *In Workshop Innovation in HCI*. Helsinki, Finland: NordiCHI (Vol. 14, No. 2014, pp. 27-30).

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, 319-340.

Design Thinking Bootleg (2018). Stanford d.School. Retrieved May 26, 2021, from https://dschool.stanford.edu/resources/design-thinking-bootleg

Dunne, D., & Martin, R. (2006). Design thinking and how it will change management education: An interview and discussion. *Academy of Management Learning & Education*, 5(4), 512-523.

Frost, P. & Warren, P. (2000). Virtual reality used in a collaborative architectural design process. In Proceedings of the IEEE International Conference on Information Visualization (IV'00). 568–573. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/IV.2000.859814.

Get Started with Design Thinking (2018). Stanford d.School. Retrieved June 12, 2021, from https://dschool.stanford.edu/resources/getting-started-withdesign-thinking.

Groeger, L., & Schweitzer, J. (2014, July). Transformational Leadership, Design Thinking and the Innovative Organisation. Paper presented at European Group for Organizational 173 Studies Conference. Retrieved May 26, 2021, from https://www.researchgate.net/profile/Jochen_Schweitzer

Haugstvedt, A. C., & Krogstie, J. (2012). Mobile augmented reality for cultural heritage: A technology acceptance study. Paper presented at the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2012 Science and Technology Proceedings, Atlanta

Karl, S. (2020). The Design Thinking Process - How does it work? MAQE. Retrieved June 12, 2021, from https://www.maqe.com/insight/the-design-thinking-process-how-does-it-work/.

Karmokar, S., & Rive, P. (2016). Design thinking methods and creative technologies in virtual worlds. In The 11th European Conference on Innovation and Entrepreneurship (pp. 635-645). Academic Conferences and Publishing International Limited.

Lau, K. W. (2012). A study of students' learning experiences in creativity training in design education: An empirical research in virtual reality. Journal of Design Research, 10(3), 170-188.

Lawson, B. (2006*). How Designers Think: The Design Process Demystified* (4th ed.). Oxford; Burlington, MA: Elsevier/ Architectural Press.

Manis, K. T., & Choi, D. (2019). The virtual reality hardware acceptance model (VR-HAM): Extending and individuating the technology acceptance model (TAM) for virtual reality hardware. *Journal of Business Research*, 100, 503–513. http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.021

Noel, L. A., & Liub, T. L. (2017). Using Design Thinking to Create a New Education Paradigm for Elementary Level Children for Higher Student Engagement and Success. *Design and Technology Education*, 22(1), n1.

Noweski, C., Scheer, A., Büttner, N., von Thienen, J., Erdmann, J., & Meinel, C. (2012). Towards a paradigm shift in education practice: Developing twenty-first century skills with design thinking. *Design thinking research* (pp. 71-94). Springer, Berlin, Heidelberg.

Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What is design thinking and why is it important? *Review of Educational Research*, 82(3), 330-348. http://dx.doi.org/10.3102/0034654312457429.

Sagnier, C., Loup-Escande, E., Lourdeaux, D., Thouvenin, I., & Valléry, G. (2020). User acceptance of virtual reality: an extended technology acceptance model*. International Journal of Human–Computer* Interaction, 36(11), 993-1007.

Simon, H. A. (1969). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, MA: MIT Press.

Stanford D. School, Design Thinking. Retrieved June 12, 2021, from https://dschool.stanford.edu/resources

Şahin, E. (2019). Tasarım odaklı düşünme yönteminin benlik saygısı ve yaratıcılık ile bilişsel ve duygusal bağlamda ilişkilendirilmesi: bir etkinlik çalışması. (Tez No. 591397) [Yüksek lisans tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanı.

Quint, F., Sebastian, K. and Gorecky, D. (2015). A mixed-reality learning environment. *Procedia Computer Science*, Vol. 75, pp. 43-48.

Scholz, J. & Smith, A. (2016). Augmented reality: designing immersive experiences that maximize consumer engagement, *Business Horizons*, 59(2), pp. 149-161.

Wang, C.-J. (1999). Architectural design thinking in virtual reality , G. Jingwen and W. Zhaoji (eds), CAADRIA'99, in G. Jingwen and W. Zhaoji (eds), CAADRIA'99, Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, Shanghai, China, pp. 71-80

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Mimari Satın Alma Eyleminde Marka Bazlı Davranışlar: Sinir Bilimleri ile Bir Bakış Açısı

İlker Erkan [1]
[1]Suleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi;
[1]ww3.sdu.edu.tr, [1]ilkererkan@sdu.edu.tr

## Özet

*Literatürde satın alma üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak mimaride satın almada karar verme üzerine bir çalışmaya rastlanmaması üzerine mimarideki satın alma duygusunun insan beyninde yarattığı aktiviteye yönelik ilk çalışmadır. Ayrıca bu kararın fizyolojik ve bilişsel etkileri de incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma mimari satın alma kararlarını etkileyen faktörlerden biri olduğu bilinen logo kullanımına odaklanmıştır. Çalışma için iki farklı deney düzeneği kurulmuştur. Birinci deney düzeneğinde 5 cephe görüntüsüne ülkemizin önemli inşaat firmalarından birinin logosu yerleştirilmiştir. İkinci grup deney düzeneğinde yine 5 cephe görüntüsü kullanılmış ancak hiç logo yerleştirilmemiştir. Çalışmaya 14 erkek ve 14 kadın olmak üzere toplam 28 katılımcı davet edilmiştir ve katılımcıların herhangi bir tasarım eğitimi almaması ön koşul olarak kabul edilmiştir. Katılımcılar sırasıyla resimleri incelemiş ve katılımcılardan her gördükleri resim için 1-10 arası puan vermesi istenmiştir. Deneyin başlangıç aşamasından sonuna kadar katılımcılara Elektroensefalografi (EEG), göz izleme (Eye-tracking) cihazı ve kalp hızı değişkenliği ölçüm cihazları (HRV) kullanılmıştır. EGG, beyinde gerçekleşen elektriksel aktiviteyi ölçmek için; Göz izleme, katılımcıların gösterilen resimlerde nereye/ne kadar süre ile baktıklarını belirlemek için; HRV ise katılımcıların hem logolu hem de logosuz resimlere baktıkları anda kalp hızı değişkenliğinin olup olmadığını test etmek için kullanılmıştır. Katılımcılar bilgisayar ekranı karşısında gösterilen cephe görüntülerini incelemiştir. Sonuç olarak, katılımcılar logolu olan cephe görüntülerine diğerlerine göre daha fazla puan vermiştir. Logolu olan cephe görüntülerine logolu noktasına bakışların %15 daha fazla olduğu dolayısıyla katılımcıların logoyu önemsedikleri düşünülmektedir. Bunun yanında EEG verilerinde logolu olan cephe görüntülerini inceleyen katılımcıların frontal bölgelerinde daha fazla bir aktivite olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yani frontal (ön) lobun aktive olması özellikle dikkatin arttığı ve belki de odaklanmanın yoğunlaştığı anlamına gelmektedir. Bu durum katılımcıların logolu olan cephe görüntülerini daha dikkatli ve yoğunlaşarak incelendiği anlamına gelebilir. Çalışma, insanlara gösterilen mimari cepheler üzerine odaklanmış, mimari cephe görüntülerinin sağ altlarına yerleştirilen firma logosunun insanlar üzerindeki nöro-bilişsel etkileri üzerine durmuş ve kayda değer verilere ulaşmıştır. Dolayısıyla çalışmada elde edilen somut veriler dikkate alındığında, logo kullanımının mimari satın almayı etkilediği düşünülmektedir Bu çalışmanın gelecekteki mimari satın alma/karar verme çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Mimari satın alma, EEG, göz izleme, sinirbilmi-mimarlık.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Erkan, İ. (2021). Mimari satın alma eyleminde marka bazlı davranışlar: sinir bilimleri ile bir bakış açısı. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 387-394). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Brand-Based Behaviors in Architectural Purchasing: A Perspective with Neuroscience

İlker Erkan [1]
[1]Suleyman Demirel University, Faculty of Architecture;
[1]ww3.sdu.edu.tr, [1]ilkererkan@sdu.edu.tr

## Abstract

*There are many studies on purchasing in the literature. However, there is no study on decision making in architecture, it is the first study to see the activity in the human brain created by the sense of purchasing in architecture. In addition, the physiological and cognitive effects of this decision were also examined. The study focused on logo use, which is known to be one of the factors affecting architectural purchasing decisions. Two different experimental phases were set up for the task. In the first experiment setup, the logo of one of the important construction company was placed on five facade images. The same images were used again in the second group experimental setup, without the logo. A total of 28 participants, 14 men and 14 women, were invited to the study, and it was accepted as a prerequisite that the participants did not receive any design training. Participants examined the pictures in turn and were asked to give points between 1 and 10 for each picture they saw. Electroencephalography (EEG), eye-tracking device, and heart rate variability measurement devices (HRV) were used on the participants from the beginning to the end of the experiment. EGG, to measure the electrical activity in the brain; Eye tracking is used to determine where/how long participants look at the images shown; HRV, on the other hand, was used to test whether there was heart rate variability when participants looked at pictures with and without logos. The participants examined the facade images shown in front of the computer screen. As a result, the participants gave higher points to the facade images with the logo than the others. It is thought that the point of view of the pictures with the logo is 15% more, so the participants care about the logo. In addition, it was determined that there was more activity in the frontal regions of the participants who examined the frontal images with the logo in the EEG data. This means that the frontal lobe is activated when attention is increased, and perhaps the focus is intensified. Thus, it may mean that the participants examine the facade images with the logo more carefully and concentrating. The study focused on the architectural facades shown to people, focused on the neurocognitive effects of the company logo placed on the lower right of the architectural facade images, and reached essential data. Therefore, considering the factual data obtained in the study, it is thought that logo use affects architectural purchasing. It is thought that this study will shed light on future architectural purchasing/decision-making studies.*

***Keywords:*** *Architectural purchasing, EEG, eye tracking, neuro-architecture.*

**Citation in APA Style:** Erkan, İ. (2021). Brand-based behaviors in architectural purchasing: a perspective with neuroscience. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 387-394). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

# 1. Giriş

Karar verme eylemi oldukça karmaşık ve süreç gerektiren bir eylemdir. Bu sürecin milisaniyelerle ifade edildiğini gösteren çalışmalar (Dijksterhuis, 2004; Wittmann & Paulus, 2008) mevcuttur. Bu sürecin "doğru bir karar" ile tamamlanmasını sağlayan birçok faktör vardır. Karar verme bir problemin çözülmesi ya da herhangi bir konuya adım atılması için muhtemel yollardan en uygun olanın tercih edilmesi olarak ifade edilebilir (Semerci, 2000). Birçok farklı disiplinde farklı karar verme yöntemleri kullanılmaktadır. Tıptan (Kaplan & Frosch, 2005), mühendisliğe (Parnell ve diğ ., 2011 ), ekonomiden (Zavadskas & Turskis, 2011), eğitime (Shapiro & Stefkovich, 2016) kadar birçok farklı alanda görülen karar verme davranışları kişilerin anlık (bazen de belirli bir süreçte) seçim yapma davranışıdır. Bu davranışın farklı tekniklerle analiz edildiğini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, müşteri davranışlarının karar verme tepkilerinden (Gollwitzer & Sheeran, 2009), turistlerin karar verme analizlerine (Decrop, 1999), hatta liderlerin karar verme tutumlarına (Vroom, & Yetton, 1973) kadar birçok farklı davranış modelleri incelenmiştir.

Birçok farklı disiplinde insanların bilişsel/davranışsal/sezgisel karar verme davranışları analiz edilmiştir. Ancak mimarlıkta satın alma kararlarının analizi ile ilgili çalışma oldukça kısıtlıdır. Feria ve Amado (2019) mimari tasarım stratejilerine sürdürülebilir bir karar verme modeli üzerine çalışmıştır. Di Noia ve diğ. (1999) mimari tasarımda araç destekli karar verme için bulanık ontoloji tabanlı bir yaklaşım üzerine model geliştirmiştir. Ancak mimari satın alma karar verme davranışının bilişsel yönünü analiz eden çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışma özellikle son yıllarda ANFA (www.anfarch.org) enstitüsünün de desteklediği neuro-architecture kavramının uygulanması ve mimaride satın alma kararlarına giriş açısından ilktir. Satın alma kararlarının mimarideki karşılığını inceleme üzerine odaklanan bu çalışmada sinir bilimleri disiplininden destek alınmıştır. Beyin loblarının işlevlerinin 20.yy'ın sonlarına doğru daha ileri seviyede bilinmesi, bilişsel davranışların anlamlandırılmasına da imkan vermiştir. Buradan hareketle, bu çalışma, insanların mimari tasarımların satın alma kararları sırasındaki marka algısı üzerine odaklanmış, bilişsel durumları analiz edilmiş ve bu aşamada beyin görüntüleme, göz izleme ve kalp atış hızları incelenmiştir. Özetle, mimari satın alma davranışlarının marka ile ilişkisi neuro-bilişsel olarak incelenmiştir.

# 2. Yöntem

Çalışmada, 10 farklı mimari tasarım katılımcılara belirli aralıklarla gösterilmiştir. Gösterilen 10 farklı tasarım ünlü film yıldızlarının evlerinden cephe görüntüleridir. Bu gösterim bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar ekrandan 1.4 metre uzaklıktadır. Bu aşamada tüm katılımcılar bir sandalyede oturmaktadır. Katılımcıların sağ ellerine bir not pad verilmiş ve not verme işlemi için bu not pad'den yararlanılmıştır.

## 2.1. Katılımcılar

Herhangi bir sağlık problemi olmayan 14 erkek ve 14 kadın (tüm grubun yaş ortalaması= 32.14; SS= 12.11) olmak üzere toplam 28 kişinin sonuçları analiz edilmiştir. Katılımcıların hepsi bir mimari alt yapısı olmayan kişilerden seçilmiştir. Diğer bir deyişle, herhangi bir tasarım eğitimi almamış ancak herhangi bir dört yıllık lisans bitirme zorunluluğu aranmıştır. Katılımcıların hiçbirinde daha önceden bilinen bir psikiyatrik sorun olmadığı bilinmektedir. Ayrıca katılımcılardan deneyden bir gün önce alkol ve sigara tüketmemeleri ve en az sekiz saat uymaları istenmiştir.

## 2.2. Kullanılan Malzemeler

Katılımcılara Mind-Wave Mobile Elektroensefalografi (EEG) bağlanmıştır. Aynı zamanda EEG cihazı ile birlikte göz izleme (eye-tracking) ve kalp atış hızı tespit (HRV) cihazı takılmış, bu sayede katılımcıların kalp atış hızı test edilmiştir.

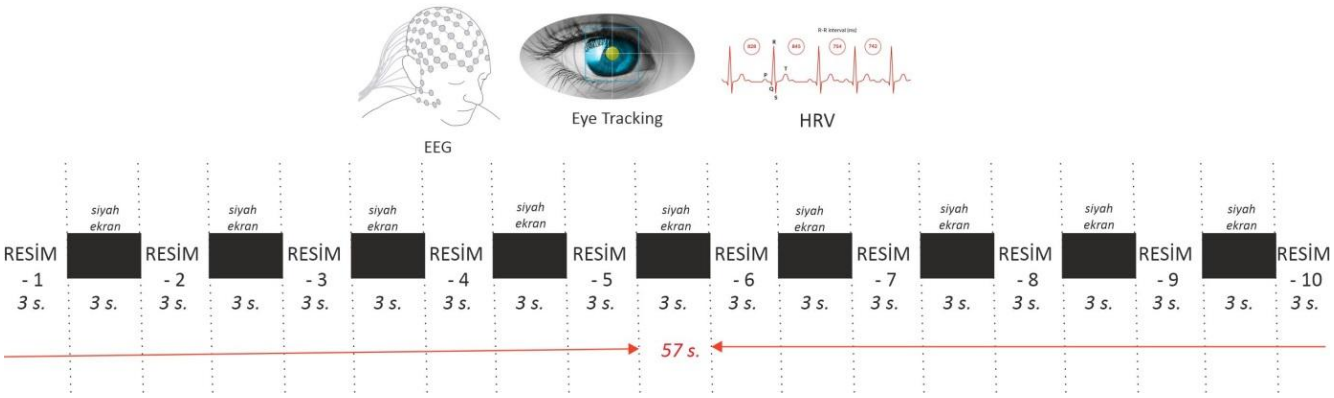
EEG cihazı beynin elektriksel aktivitesini ölçmek için kullanılmıştır. Sinir biliminde epilepsi hastalığının tespitinden farklı demans türlerinin sınıflandırılmasına kadar birçok tanıda kullanılmaktadır. Alfa, beta, teta, delta ve gama olmak üzere farklı dalga boyları bulunmaktadır. Çalışma 10/20 elektrot yerleşme sistemine göre yerleştirilmiştir. Çalışmada 14 kanallı mobile-eeg cihazı kullanılmıştır.

Eye-Tracking (Göz izleme) cihazı ise görsel uyarıcılar karşında göz hareketlerinin incelenmesini sağlamaktadır. Yazılımlar sayesinde göz bebeği çapı değişiminden, en çok izlenen (bakılan) alana, ilk bakış noktasından, bakılan alanların büyüklüğüne kadar birçok veri analiz şekli bulunmaktadır.

HRV cihazı ile kalp atış hızı değişkenliği ölçülür, bu sayesinde, kalp atışları arasındaki zaman aralığında fizyolojik varyasyon olgusu tespit edilir.

### 2.3. Deney Prosedürü

Deneyin ilk aşamasında katılımcılara 5 markalı, 5 markasız villa gösterilmiş ve gösterilen bu villalara 1-10 (10 en yüksek) arası puan vermesi istenmiştir. Marka ile kastedilen durum; ülkemizde yer alan inşaat firmalarının logolarının kullanılan görsellere uygulanmasıdır. Marka olarak kastedilen logolar resimlerin sağ alt bölümüne yerleştirilmiştir. Dolayısıyla 5 resimde logo bulunmakta, diğer 5 resimde ise logo bulunmamaktadır. 10 farklı resim 3 saniye aralıklarla gösterilmiş aralarında da 3 saniye siyah ekran yansıtılmıştır. Resimler rastlantısal olarak katılımcının karşısına çıkmıştır. Bu aşamada katılımcılar verilen wii-joystick ile not verme işlemini sorunsuz tamamlamıştır. Çalışmanın nasıl olacağı katılımcılara önceden anlatılmış ancak logo (marka) ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemiştir. Çalışmanın basit bir akış şeması **Şekil 1**'de gösterilmiştir.



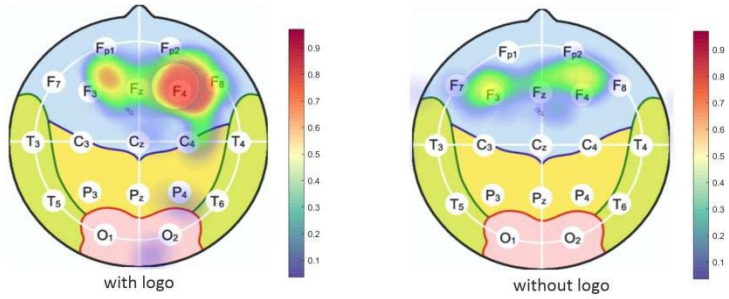

**Şekil 1:** Çalışmanın basit şeması

Çalışma katılımcılara detayı olarak anlatılmış en yüksek not vermenin satın alma kararı ile ilişkili olacağı anlatılmıştır. Öyle ki 10 üzerinden en yüksek skora yaklaşmanın satın alma durumu ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla katılımcılara en yüksek not verme işleminin beğeni olarak değil "satın alabilme" kararı olarak anlatılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada katılımcıların gösterilen logolara aşina olup olmadıkları tespit edilmemiş, ancak birçok katılımcının aşina olduğu düşünülmektedir. Şekil 1'de gösterilen şemada bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Hem logolu resimler hem de logosuz resimler aynı büyüklük ve çözünürlük gibi özelliklerde sunulmuştur.

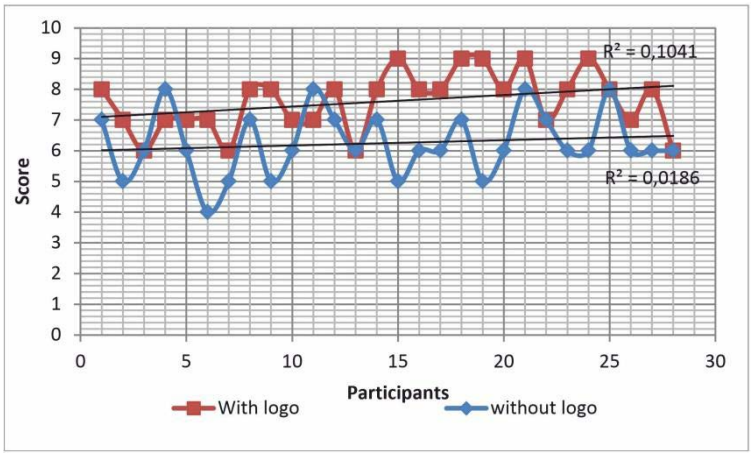
EEG verileri, başlangıçtaki güç spektrumuna bölünerek normalize edilmiştir. Değişkenlerin dağılımının normal olup olmadığını belirlemek için Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. P değeri <0.05 olduğundan tüm değişkenler için normal dağılım saptanmamıştır. Mimari satın alma seçim kriterlerinin gruplar içindeki farklılıkları incelemek için Wilcoxon işaretli sıra testleri yapılmıştır. Katılımcıların logolu resimlere baktıkları anda frontal loblarında bir aktivite olduğu; bu aktivitenin de logosuz resimlere bakanlara göre daha şiddetli olduğu tespit edilmiştir. **Şekil 2**'den de görüldüğü gibi bir katılımcının logoya baktığı anda sağ frontal bölgesinde bir aktivite tespit edilmiştir.




**Şekil 2:** Logoya bakan katılımcının frontal lobunda görülen belirgin aktivite

**Şekil 2**'den de görüldüğü gibi logolu görsellere bakan katılımcıların frontal loblarında belirgin aktivite görülmüştür. Bu görülen aktivite özellikle logolu görselleri inceleyen katılımcıların yaklaşık %85'inde belirgindir.

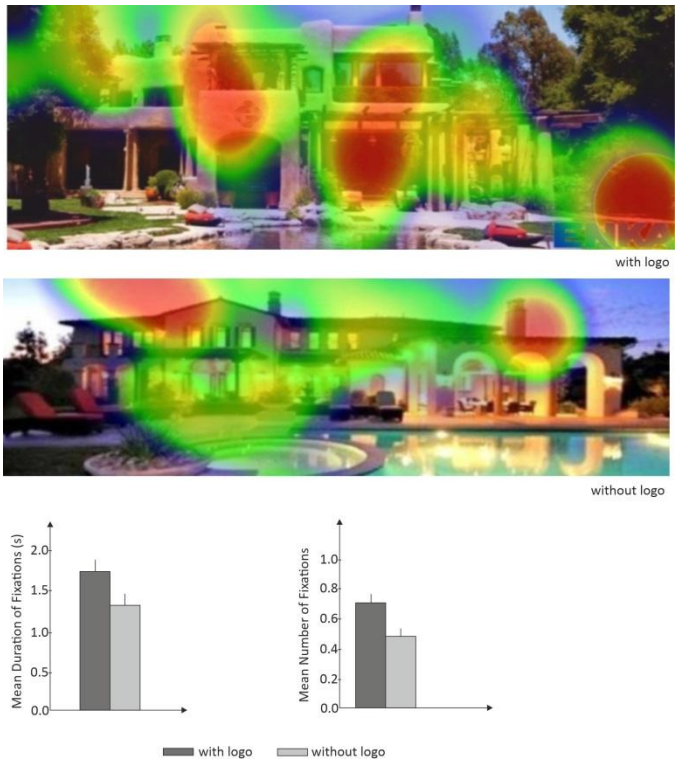
Bunun yanında logolu görsellere bakan katılımcıların verdikleri puanlarda logosuz görsellere bakanlara göre dikkate değer ve istatistiksel olarak da anlamlıdır ($p<0.00$) (**Şekil 3**).



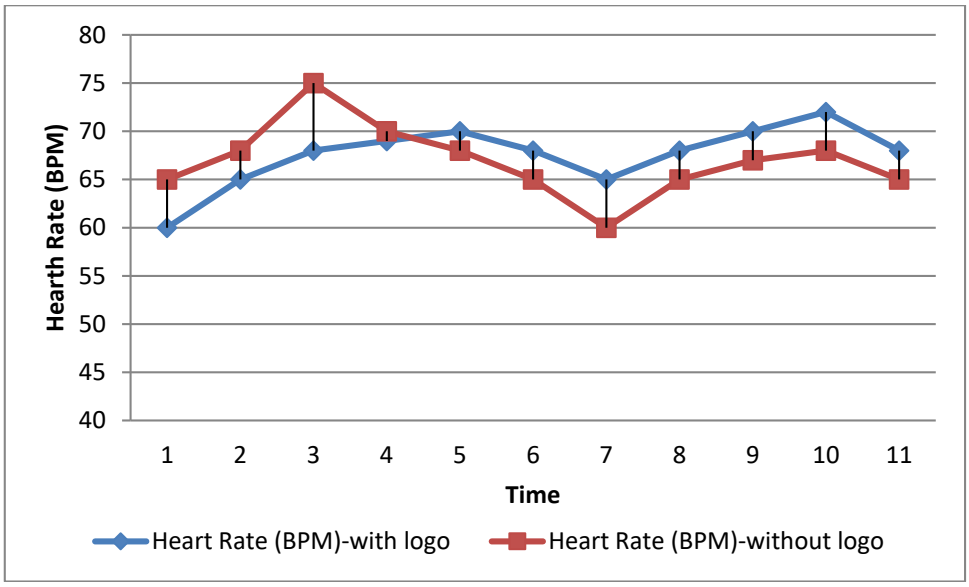

**Şekil 3:** Logolu ve logosuz görsellere bakan kişilerin verdikleri puanlar

Göz izleme verileri için heat-map (ısıl haritalar) verileri incelenmiştir. Çalışmada logoların belirli bir süre incelendiği tespit edilmiştir. Katılımcıların toplam izleme zamanlarının nerdeyse %15'lik kısmını logoyu inceleme üzerine ayırdıkları tespit edilmiştir (**Şekil 4**).

**Şekil 4**'ten de görüldüğü gibi ısı haritalarında logonun dikkat çektiği hatta bazı cephelerin izlenme oranı kadar bakıldığı belirlenmiştir. Bunun yanında izleme alanlarında logolu resimlerde oldukça fazla olması dikkat çekicidir.
HRV cihazından alınan veriler incelendiğinde hem logolu hem de logosuz resimlerde istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. **Şekil 5**'te logolu ve logosuz resimleri inceleyen iki katılımcının HRV grafiği görülmektedir.




**Şekil 4:** Heat-map verileri ve toplam izleme süreleri üzerinden gösterilen resimlerin analizi




**Şekil 5:** Logolu ve logosuz resimlere bakan katılımcıların HRV grafiği örneği

Özellikle son yıllarda beyin bilimleri ve mimarlık ilişkisinin önemini vurgulayarak farklı çalışmalar yapılmıştır (Dougherty & Arbib, 2013; Erkan, 2018; Erkan, 2021a; Erkan 2021b; Karandinou & Turner, 2017; Shemesh ve diğ., 2017). Bu çalışmada, mimari satın alma kararları üzerinde durulmuş katılımcılara gösterilen resimlerin sağ altına yerleştirilen logoların etkileri incelenmiştir. Çalışmada EEG verileri logo kullanımın etkisini frontal lobta göstermiştir. Aynı görseli inceleyen katılımcılarında logolu görseli diğerinden daha fazla alanı inceledikleri belirlenmiştir. Çalışma için hazırlanan görsellerde logolu resimlere katılımcıların daha fazla puan verdikleri belirlenmiştir. Bütün bunların yanında kalp hızı değişkenliğinde istatistiksel olarak anlamlı bir veri bulunamamıştır (LF/HF oranı).

Çalışmada alınan fizyolojik veriler incelendiğinde özellikle logolu görselleri inceleyen kişilerin frontal bölgelerinde bir aktivite olduğu görülmüştür. Bu aktivite olan kişilerden de bu logolu görsellere yüksek skor verdiği tespit edilmiştir. Bunun yanında göz izleme verileri logolu görsellerin daha çok izlendiği heat-map haritalarından görülmektedir.

Çalışmada birçok kısıt bulunmaktadır. İlk olarak çalışmada daha fazla veri sağlayabilen fMRI cihazı kullanılmamıştır. Bu durum beynin tam olarak hangi noktasının aktive olduğu tespit edilememiştir. İkinci olarak çalışmada bir bilgisayar ekranında yapıldığı için doğal ortam uyarıcılar da EEG veri setinde görülebilmektedir. Bu veriler temizlense de minimum uyarıcının olduğu ortamda yapılması daha uygun olacağı düşünülmektedir. Gelecekte deney seti ve kurgusu genişletilebilir bu sayede marka değerinin mi yoksa sadece bir marka olmasının mı karar vermede etkinliği araştırılacaktır.

## 4. Sonuçlar

Tüketicilerin satın alma kararlarında birçok rasyonel faktör etkilidir. Bu rasyonel faktörlerin yanı sıra bilişsel durumları da yadsımamak gereklidir. Çalışmada mimari satın alma tercihlerindeki "farklı seçimlerin" temel sebepleri üzerine durulmuştur ve bilişsel faktörlere odaklanılmıştır. Damasio & Damasio (2012) tüketiciler karar verirken beyinlerinin rasyonel bölümlerinin değil, duygusal kısımlarını kullanarak karar verdiğini savunmuştur. Üzerine marka yerleştirilen mimari tasarımlara bakan katılımcıların özellikle frontal bölgesinde aktivite tespit edilmiştir. Aynı aktivitenin markasız tasarımlarda görülmediği(çok az görüldüğü) gözlenmiştir. Bununla birlikte markalı tasarımlara daha yüksek not verildiği gözlemlenmiştir. İlginç olan, katılımcıların 24'ü resimlere ilk olarak logoya baktığı, daha sonra beyninde aktivite gözlendiği ve en son not verdiği görülmüştür. Bu 24 kişi markalı tasarımlara hep yüksek not vermiştir. Bunun yanında ilk olarak logoya bakmayan kişilerin daha sonra yine logoya odaklandığı görülmüştür. Logolu gösterilen resimlerde logoya bakma zamanın toplam zamanının neredeyse %15'ini kapsadığı belirlenmiştir. Bunun yanında HRV analizlerinde kayda değer verilere rastlanmamıştır. Yani hem markalı hem de markasız tasarımların HRV verilerinde istatistiksel olarak anlamlılık bulunmamıştır. Çalışma markanın tasarımların sunulmasında ve mimaride satın alma kararlarında oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

**Teşekkür**
Çalışmaya katılan tüm katılımcılara gösterdikleri sabırdan dolayı teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

Dougherty, B. O., & Arbib, M. A. (2013). The evolution of neuroscience for architecture: introducing the special issue. Intelligent Buildings International, 5(sup1), 4-9.

Dijksterhuis, A. (2004). Think different: the merits of unconscious thought in preference development and decision making. Journal of personality and social psychology, 87(5), 586.

Erkan, İ. (2021a). Cognitive response and how it is affected by changes in temperature. Building Research & Information, 1-18.

Erkan, İ. (2020b). A neuro-cognitive investigation of the impact of glass floors on people. Architectural Science Review, 1-10.

Erkan, İ. (2018). Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG). Architectural Science Review, 61(6), 410-428.

Damasio, A. R., & Damasio, H. (Eds.). (2012). Neurobiology of decision-making. Springer Science & Business Media

Decrop, A. (1999). Tourists' decision-making and behavior processes. Consumer behavior in travel and tourism, 103-133

Di Noia, T., Mongiello, M., Nocera, F., & Straccia, U. (2019). A fuzzy ontology-based approach for tool-supported decision making in architectural design. Knowledge and Information Systems, 58(1), 83-112.

Feria, M., & Amado, M. (2019). Architectural Design: Sustainability in the Decision-Making Process. Buildings, 9(5), 135.

Gollwitzer, P. M., & Sheeran, P. (2009). Self-regulation of consumer decision making and behavior: The role of implementation intentions. Journal of Consumer Psychology, 19(4), 593-607.

Kaplan, R. M., & Frosch, D. L. (2005). Decision making in medicine and health care. Annu. Rev. Clin. Psychol., 1, 525-556.

Parnell, G. S., Driscoll, P. J., & Henderson, D. L. (Eds.). (2011). Decision making in systems engineering and management (Vol. 81). Hoboken: Wiley.

Karandinou, A., & Turner, L. (2017). Architecture and neuroscience; what can the EEG recording of brain activity reveal about a walk through everyday spaces?. International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, 32(sup1), S54-S65.

Semerci, N. (2000). Yönetimde Karar Vermenin Kritik Düşünmeyle İlişkisi. Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi, (2), 191-201.

Shapiro, J. P., & Stefkovich, J. A. (2016). Ethical leadership and decision making in education: Applying theoretical perspectives to complex dilemmas. Routledge.

Shemesh, A., Talmon, R., Karp, O., Amir, I., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2017). Affective response to architecture–investigating human reaction to spaces with different geometry. Architectural Science Review, 60(2), 116-125.

Vroom, V. H., & Yetton, P. W. (1973). Leadership and decision-making (Vol. 110). University of Pittsburgh Pre.
Wittmann, M., & Paulus, M. P. (2008). Decision making, impulsivity and time perception. Trends in cognitive sciences, 12(1), 7-12.
Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. Technological and economic development of economy, 17(2), 397-427.

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# Sosyal Mesafe Kurallarına Uygun Kurgulanmış Bir Oyun Alanı Algoritması

Pelin Gül Arman [1]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı;
[1]arman.pelin@gmail.com

## Özet

*Şehirler ve buna bağlı olarak toplumlar sürdürülebilirliklerini sağlamak amacıyla dünyanın maruz kaldığı değişimlere adapte olmaları ve gerekli yeni stratejiler geliştirmeleri gerekmektedir. 2020 yılının başından beri yaşanılan pandemi koşulları, bu tip bir gerekliliğe iyi bir örnektir. Pandemi koşulları; gündelik yaşantımıza sosyal mesafe, uzaktan eğitim, çevrimiçi buluşma gibi yeni kavramlar getirmiştir. Çoğu insan, sosyal yaşamlarını benzer kalitede devam ettirebilmek için bu koşullara uyum sağlayacak yeni sosyalleşme araçları geliştirmiştir. Ancak, bu koşullara uyum sağlamakta zorluk çeken toplumun farklı kesimleri ve farklı yaş gruplarından bireyler de bulunmaktadır. Özellikle, çocuklar pandemi sürecinden en çok etkilenenler arasındadır. Çocukların zihinsel ve fiziksel gelişimleri için çevreleriyle etkileşim içinde olmaları gerekmektedir. Oyun çocukların nesneleri, kişileri ve bulundukları çevreyi keşfetme, kendilerini tanıma imkanı sağlarken bir yandan da öğrenme süreçlerini hızlandıran bir aktivitedir. Ancak, 2020 yılı içerisinde çocuklar sosyal ortamlarından kopmuş ve zamanlarını ev ortamında geçirmek durumunda kalmışlardır. Çocukların gelişimi, sosyal yaşantılarını sürdürebilmeleri ile bağlantılıdır.*

*Bu projenin temel amacı, pandemi koşulları altında ve sosyal mesafe kuralları gözetilerek çocuklar arasında sürdürülebilir etkileşime izin veren yeni bir oyun alanı kurgusu yaratmaktır. Çocukları farklı mekanlar içinde uzaktan etkileşime sokarak sınırlamak değil, çocuklar için yeni dinamik bir mekan arayışı hedeflenmiştir. Bu bağlamda, mekansal kısıtlar, oyun algoritmasının parametreleri olarak tarif edilmiştir. Üretilen oyun alanı içinde çeşitli hareketli ve sabit mekansal elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanlar hem birbirleriyle hem de kullanıcılarla etkileşim içindedir. Mekan kurgusunun dinamik yapısı, oyun algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Oyun alanı içerisine yerleştirilen hareketli ve sabit birimlerin pozisyonu, hareket yönü, hareket kısıtları, birbirleriyle etkileşim kuralları, kullanıcı ile etkileşim kuralları oyun kurgusunu zenginleştiren parametreler arasındadır. Oyun alanının, mekan organizasyonu bu parametreler çerçevesinde üretilmiştir. Mekan kısıtları ve tasarım kriterleri belirlendikten sonra, oyun algoritması çeşitli akış diyagramları aracılığıyla geliştirilmiş ve görsel programlama aracı olan Rhino / Grasshopper ortamında modellenmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Sosyal dayanıklılık, oyun alanları, interaktif yapı elemanları.*

**APA Stilinde Kaynak Gösterimi:** Arman, P. G. (2021). Sosyal mesafe kurallarına uygun kurgulanmış bir oyun alanı algoritması. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Editörler), *Mimarlıkta Sayısal Tasarım XV. Ulusal Sempozyumu* (sf. 395-403). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

mstas 2021
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı; Mimarlık Fakültesi; Hesaplamalı Tasarım Araştırmaları ve Eğitimi Ağı

MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM
XV. ULUSAL SEMPOZYUMU

# A Playscape Algorithm Proposal in Accordance with Social Distance Rules

Pelin Gül Arman [1]
[1]Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing Graduate Program;
[1]arman.pelin@gmail.com

## Abstract

*Cities and societies need to adapt to the changes that the world is exposed to and develop necessary new strategies in order to ensure their sustainability. Since the beginning of 2020, the pandemic conditions experienced are a direct example of this type of necessity. Pandemic conditions; brought new concepts to our daily lives such as social distance, distance education and online meeting. Most people have developed new socialization tools to adapt to these conditions in order to continue their social lives with a similar quality. However, there are different segments of the society and individuals from different age groups who have difficulties in adapting to these conditions. In particular, children are among those most affected by the pandemic process. Children need to interact with their environment for their mental and physical development. Play is an activity that accelerates the learning processes of children while providing the opportunity to discover objects, people and the environment they are in, and to get to know themselves. However, in 2020, children were cut off from their social environments and had to spend their time at home. The development of children is related to their ability to maintain their social life.*

*The main purpose of this project is to create a new playscape setup that allows sustainable interaction between children under pandemic conditions and by observing social distance rules. It is not aimed to limit children by interacting in different spaces from a distance, but to seek a new dynamic space for children. In this context, spatial constraints are described as parameters of the game algorithm. There are various mobile and fixed spatial elements in the produced playscape. These elements interact both with each other and with users. The dynamic structure of the space setup forms the basis of the game algorithm. The position of the moving and fixed units placed in the playground, the direction of movement, the movement restrictions, the rules of interaction with each other, the rules of interaction with the user are among the parameters that enrich the game setup. The spatial organization of the playground has been produced within the framework of these parameters. After the space constraints and design criteria were determined, the game algorithm was developed through various flow diagrams and modeled and simulated in the Rhino / Grasshopper environment, which is a visual programming tool.*

***Keywords:*** *Social resilience, playscapes, interactive building elements.*

**Citation in APA Style:** Arman, P. G. (2021). A playscape algorithm proposal in accordance with social distance rules. G. Çağdaş, M. Özkar, L. F. Gül, S. Alaçam, E. Gürer, S. Yazıcı, B. Delikanlı, Ö. Çavuş, S. Altun, & G. Kırdar (Eds.), *Computational Design in Architecture, 15th National Symposium* (pp. 395-403). https://mstas2021.itu.edu.tr/sempozyum/bildiri-kitabi

## 1. Giriş

Dayanıklılık kavramı, başlangıçta sadece, sürekli değişime açık olan dünyanın ekolojik sistemlerinin kalıcılığını sağlamak amacıyla kullanılırdı. Daha sonradan bu kavram, küresel değişim karşısında daha kritik olan sosyal dönüşüm sorununu da tartışmaya açmıştır. Sosyal dayanıklılık, bireylerin çeşitli çevresel ve sosyal tehditleri tolere etme, özümseme, başa çıkma ve bunlara uyum sağlama yetenekleri ile ilgilidir (Keck & Sakdapolrak, 2013). Bireyin genel olarak temel ihtiyaçları dört kategoride incelenebilir: varoluş, sahip olma, yapma ve etkileşim kurma. Bu temel ihtiyaçlar, bireyin yaşadığı çevrenin sosyolojik, ekonomik, kültürel yapısına göre farklılaşıp çeşitlenmektedir. Bu bağlamda, şehri insan perspektifinden anlamak, şehirdeki politika ve yönetim düzenlemelerinin ortak odağı olarak ekonomik, teknik ve çevresel zorunluluklarla birlikte insan ihtiyaçlarını dikkate almak anlamına gelir (Keck & Sakdapolrak, 2013). Şehirler ve buna bağlı olarak toplumlar sürdürülebilirliklerini sağlamak amacıyla dünyanın maruz kaldığı değişimlere yönelik yeni stratejiler geliştirmeleri gerekmektedir (Keck & Sakdapolrak, 2013). 2020 yılının başından itibaren yaşanılan Covid-19 pandemisi ile değişen yaşam şartları, bu tip gerekliliklere iyi bir örnektir.

Pandemi koşulları; gündelik yaşantıya sosyal mesafe, uzaktan eğitim, çevrimiçi buluşma gibi yeni kavramlar eklemiştir. Çoğu insan, bu süreçte, sosyal yaşamlarını benzer kalitede devam ettirebilmek için bu koşullara uyum sağlayacak yeni sosyalleşme araçları geliştirmiştir. Ancak, bu koşullara uyum sağlamakta zorluk çeken toplumun farklı kesimleri ve farklı yaş gruplarından bireyler de bulunmaktadır. Özellikle, çocuklar pandemi sürecinden en çok etkilenenler arasında yer almaktadır (Miranda ve diğerleri, 2020). Bu dönemde, tüm çocuklar zamanlarını ev ortamında geçirmeye başlamış ve buna bağlı olarak, çocukların fiziksel aktiviteleri de kısıtlanmıştır. Çocukların ruh sağlıklarını korumak ve fiziksel gelişimlerine destek olmak için pandemi döneminde özel stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir (Miranda ve diğerleri, 2020).

Bu makalede, pandemi döneminde 8 - 12 yaş arası çocukların sosyal dayanıklılıklarını korumayı amaçlayan yeni oyun stratejileri geliştirmek hedeflenmiştir. Çocukların sağlıklı fiziksel ve zihinsel gelişimi için oyun çok önemlidir. Oyun, çocukların hayal güçlerini ve el becerilerini geliştirirken yaratıcılıklarını kullanmalarına izin verir. Bununla birlikte, çocuklar oyun aracılığıyla çevrelerindeki dünya ile ilgilenir ve etkileşim kurarlar (Back ve diğ., 2016). Oysaki, 2020 yılının başından beri çocuklar ne fiziksel olarak okulda bulunabilmiş ne de arkadaşlarıyla fiziksel bir çevrede vakit geçirebilmişlerdir. Çocukların gelişimi, sosyal yaşantılarını sürdürebilmeleri ile bağlantılıdır. Bu bağlamda, şehirde çocukların birbirleriyle iletişim kurdukları ve etkileşime girdikleri oyun alanları, çocukların sosyal dayanıklılıklarını sağlamak amacıyla sosyal mesafe ve pandemi koşulları göz önünde bulundurularak yeniden gözden geçirilmelidir. Bu çalışmada, çocukların oluşturulacak oyun alanının içinde özgürce etkileşime girmesi hedeflenirken, öte yandan oyun alanın organizasyonel ve değişken yapısı sayesinde çocukların arasındaki mesafenin korunması amaçlanmıştır. Buna ek olarak, oyun alanının mekansal organizasyonu aracılığıyla, çocukları kolektif bir bilinçle hem fiziksel hem zihinsel becerilerini kullanmaya teşvik etmek hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, oyun alanını oluşturan parçalar blok, grid sistem, platform gibi soyut kavramlar ile tanımlanmıştır. Bu tanımlama oyun alanı algoritmasının farklı bağlamlara uygulanabilirliğini vurgulamak amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma etkileşimli teknoloji araçları ile yeni bir oyun kurgusu sunmaktadır. Oyun alanını oluşturan yapı elemanlarının fiziksel üretimi sırasında, çevreyle uyumlu yerel malzemelerin ve yapım tekniklerinin kullanılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, oyun alanının reel fiziksel tanımlamaları yapılmamıştır. Bu sayede, algoritma farklı tasarım yaklaşımlarına uygulanabilir bir çerçevede geliştirilmiştir.

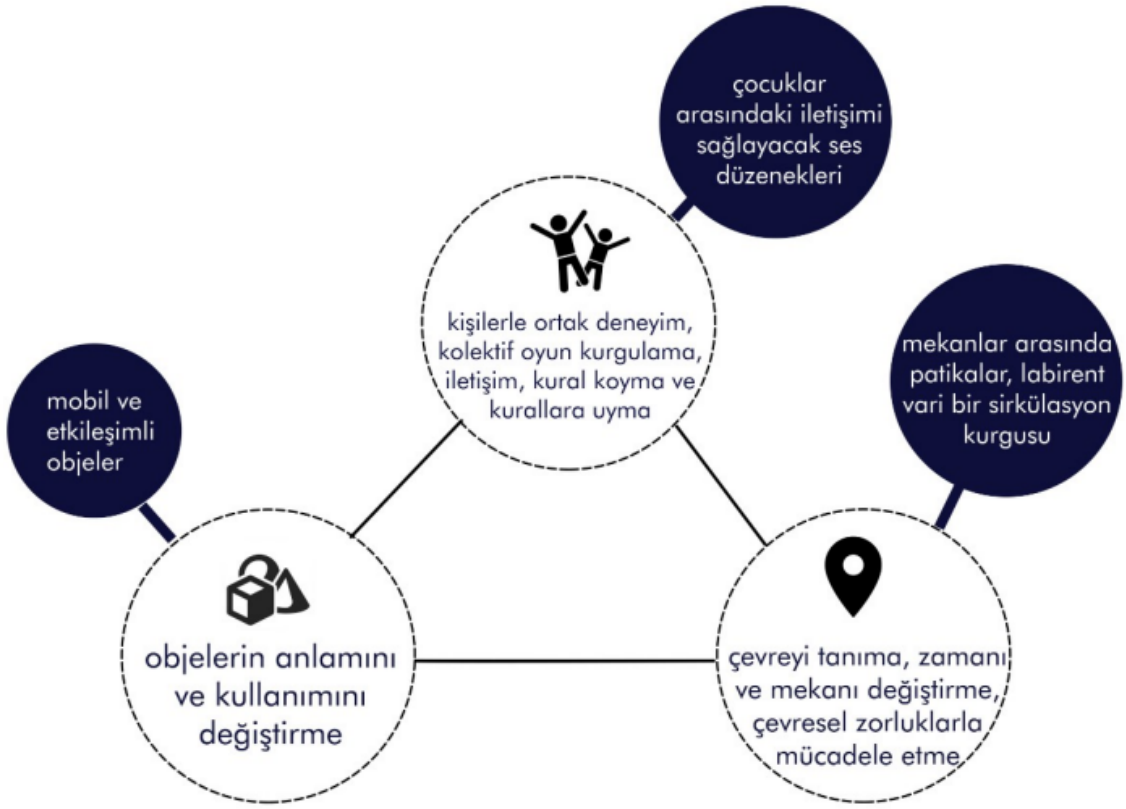
## 2. Yöntem

Bu çalışma üç aşamada geliştirilmiştir. İlk aşamada, ilkokul çağındaki çocuklar için tasarlanmış çeşitli etkileşimli oyun alanları ve oyun araçları incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bununla birlikte pandemi koşulları için gerekli sosyal mesafe kuralları değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamadan elde edilen veriler ışığında, oyun alanının mekansal ihtiyaçları saptanmıştır. Bu bağlamda, oyun alanının mekan organizasyonu için gerekli tasarım kriterleri belirlenmiş ve listelenmiştir. Son aşamada ise, oyun algoritması geliştirilmiştir. Bu aşamada, ilk olarak oyun alanının sınırlarını belirleyen üç boyutlu gridal yapı oluşturulmuş ve grid sisteminin hücre boyutları belirlenmiştir. Üç kottan oluşan bu sistemin giriş kotu oyun alanının da girişi olarak belirlenmiştir. Sonrasında, grid sisteme dört adet farklı niteliğe sahip blok yerleştirilmiştir. Bu blokların her biri içerisine birer çocuk bulunacak boyutta ve yapıda tanımlanmıştır. Bu blokların hem birbirleriyle hem de içerisinde bulundukları ızgara sistemle ilişkileri, kurallar ve akış diyagramları ile

belirlenmiştir. Ardından, ızgara sistem içerisinde kullanıcıların sirkülasyonlarına yön veren geçiş alanları oluşturulmuştur. Bu geçiş alanları ızgara sistemin hücrelerine yerleştirilmiş hareketli platformlardan oluşmaktadır. Bu platformların hareketi kural tabanlı olup kullanıcılar ve blokların bulundukları pozisyon ile ilişkilendirilmiştir. Sirkülasyon alanlarının algoritmasının kuralları akış diyagramları ile geliştirilmiştir. Son aşamada, oyun alanı algoritması, görsel programlama aracı olan Rhino / Grasshopper ortamında modellenmiştir.

## 3. Oyun ve Etkileşim

Fiziksel çevre ve nesneler, çocukların bilişsel gelişimlerinde ve kendi dünya görüşlerini oluşturmada anahtar role sahiptir. Çocukların oyun kurgusunu etkileyen iki temel unsur, objeler ve çevresidir. Özellikle nesneler, çocukların oyun sırasında çevrelerini keşfetmelerinde merkezi bir rol oynar (**Şekil 1**). Bu bağlamda Bekker ve diğerleri (2010), etkileşimli oyun nesnelerinin çocukların gelişimleri üzerindeki rolünü araştırmıştır. Etkileşimli oyun tasarlayarak çocuklara yeni oyun fırsatları yaratmayı, sensörler gibi dijital teknolojiyi kullanan nesneler ve akıllı sistemler ile çocukların hareketini ölçerek onlara yeni oyun motivasyonları sağlamayı amaçlamışlardır. Bu sayede, teknolojik nesnelerden edindikleri bilgiler ile oyunları çocukların becerilerine göre farklılaştırmayı hedeflemişlerdir. Bununla birlikte Bekker ve diğ. (2010), çocukların nasıl oyun oynadığına ilişkin araştırmalara dayanarak, çocukların oyun kurallarını oluşturma ve uyarlama becerisine sahip oldukları ve bunun oyun davranışlarının önemli bir yönünü oluşturduğunu belirtmişlerdir. Buna paralel olarak, genel oyun hedefleri olmadan oyun alanında sadece oyun konseptleri tasarlamak, oyuncuları kendi oyun hedeflerini geliştirmek için yaratıcılıklarını kullanmaya teşvik etmektedir. Boon ve diğerlerinin (2016) çalışmasında ise, hastanede kanser tedavisi gören çocukların fiziksel aktivitelerini sürdürebilmeleri için etkileşimli oyun araçlarından faydalanmıştır. Çocukların oyun sırasında aldıkları geri bildirimler doğrultusunda hem kendiliğinden gelişen bir oyun kurguladıkları, hem de ihtiyaç duydukları fiziksel aktivitelerini sağladıkları gözlemlenmiştir.




**Şekil 1:** Çocukların etraflarındaki fiziksel nesnelerle, çevreleriyle ve bireylerle kurdukları ilişki diyagramı

Ek olarak, açık havada oyun, özellikle fiziksel aktiviteyi teşvik etmesi sebebiyle çocuklar için genellikle gerekli, sağlıklı ve arzu edilen bir aktivite olarak kabul edilmektedir (Chakravarthi, 2009). Teknolojiyi dış mekan ortamına dahil etmek, klasik dış mekan oyununun sosyal - fiziksel avantajlarını teknolojinin çekiciliği ile birleştirmenin ve böylece dış mekanda oynamayı çocuklar için daha çekici bir hale getirmenin yollarından biridir. Bu durumda, etkileşimli oyun

alanı, fiziksel oyun araçlarının oyunu teşvik eden dijital teknolojiyle zenginleştirildiği bir oyun alanı olarak tanımlanabilir (Sturm ve diğ., 2008). Bu bağlamda, Back ve diğerlerinin (2016) "DigiFys" adlı çalışması etkileşimli teknoloji ile doğal çevrenin birleşiminin oyun aktivitesinin çok yönlülüğüne nasıl katkıda bulunabileceğini gösteren iyi bir örnek sunmaktadır.

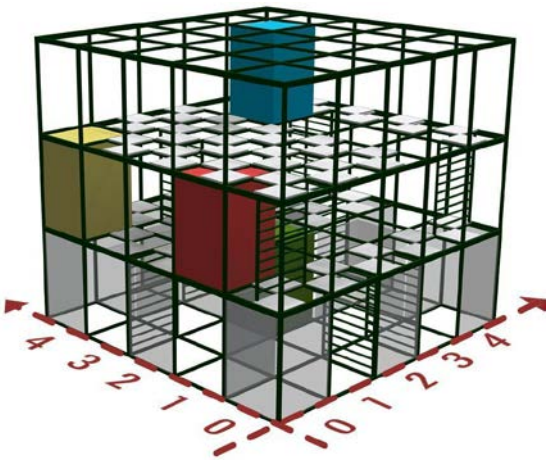
Bu makalede, oyun - etkileşim - teknoloji ara kesitinde çocuklar için bir oyun alanı algoritması geliştirilmiştir. Etkileşimli teknolojiden yararlanılarak sosyal mesafe kurallarını dikkate alan bu oyun alanı algoritması, çocukların hem dış mekanda serbest oyun kurgulamalarını sağlayarak bilişsel gelişimlerini katkıda bulunmayı, hem de fiziksel aktivitelerini sürdürebilmelerini ve bu sayede motor becerilerini geliştirmelerini hedeflemektedir. Böylelikle çocukların oyun alanı içerisinde, oyun alanının etkileşimli kurallarını kendi oyun kurgularının bir parçası haline getirmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda, çocukların oyun alanı içerisinde bireysel oyun üretmek yerine kolektif biçimde hareket etmeleri ve ortak oyun kurgulamaları amaçlanmıştır.

## 4. Yeni Bir Oyun Alanı Kurgusu

Proje kapsamında üretilen oyun alanı algoritması 8 - 12 yaş arası çocukların kullanımı için tasarlanmıştır. Çocukların birbirleriyle mesafeleri, aralarında fiziksel bir engel olmadığı sürece en az 120 cm olarak belirlenmiştir. Oyun alanına girişler zemin kotunun dört farklı noktasından sağlanmıştır. Oyun alanının mekansal kurgusu çocukların tırmanma, koşma, atlama, zıplama gibi fiziksel ve iletişim kurma, karar verme, akıl yürütme gibi bilişsel yeteneklerinin gelişimini destekleyici olacak şekilde planlanmıştır.

### 4.1. Izgara Sistemin Oluşturulması

Her bir hücresinin derinlik ve genişliği 120 cm, yüksekliği 180 cm olan ve üç kottan oluşan üç boyutlu bir ızgara sistem tasarlanmıştır. Giriş kotu 0 olmak üzere diğer kotlar yukarıya doğru 1 ve 2 olarak adlandırılmıştır. Kotlar arası geçişler, her kotta en az dört adet bulunacak şekilde rastlantısal olarak yerleştirilen tırmanma elemanları ile sağlanmıştır. Bu ızgara sistemin içerisine, boyutları 120x120x180 cm olan farklı hareket davranışları sergileyen dört adet içi boş blok yerleştirilmiştir. Bu bloklara tek seferde tek bir kullanıcı giriş yapabilmektedir ve kullanıcı blokları kontrol panelinden hareket ettirmektedir. 120 x 120 cm her bir hücre kendi içinde 60 x 60 cm alt hücrelere bölünmüştür. Blokların arasında erişimi sağlayan hareketli ve sabit geçişler 60 x 60 cm hücrelerin üzerine yerleştirilmiştir (**Şekil 2**).



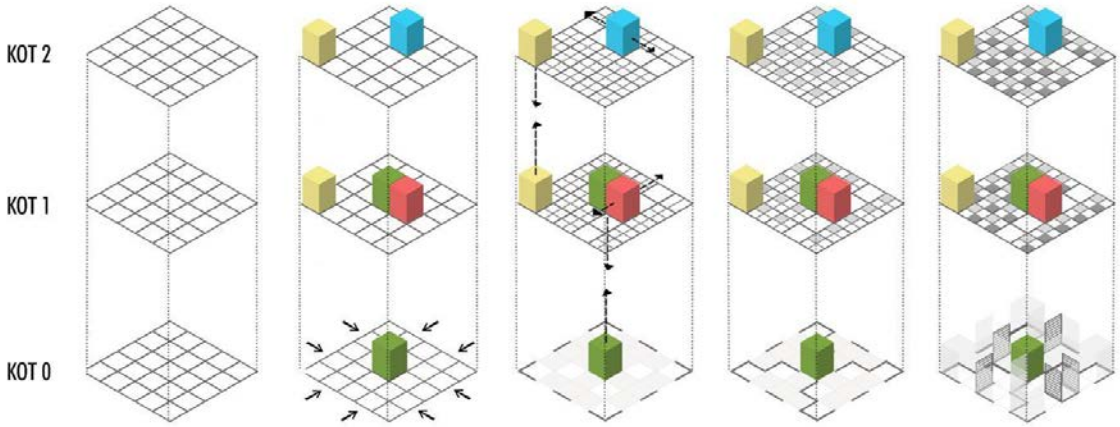

**Şekil 2:** Oyun alanı mekansal kurgusu

### 4.2. Blokların Kurgusu ve Etkileşimi

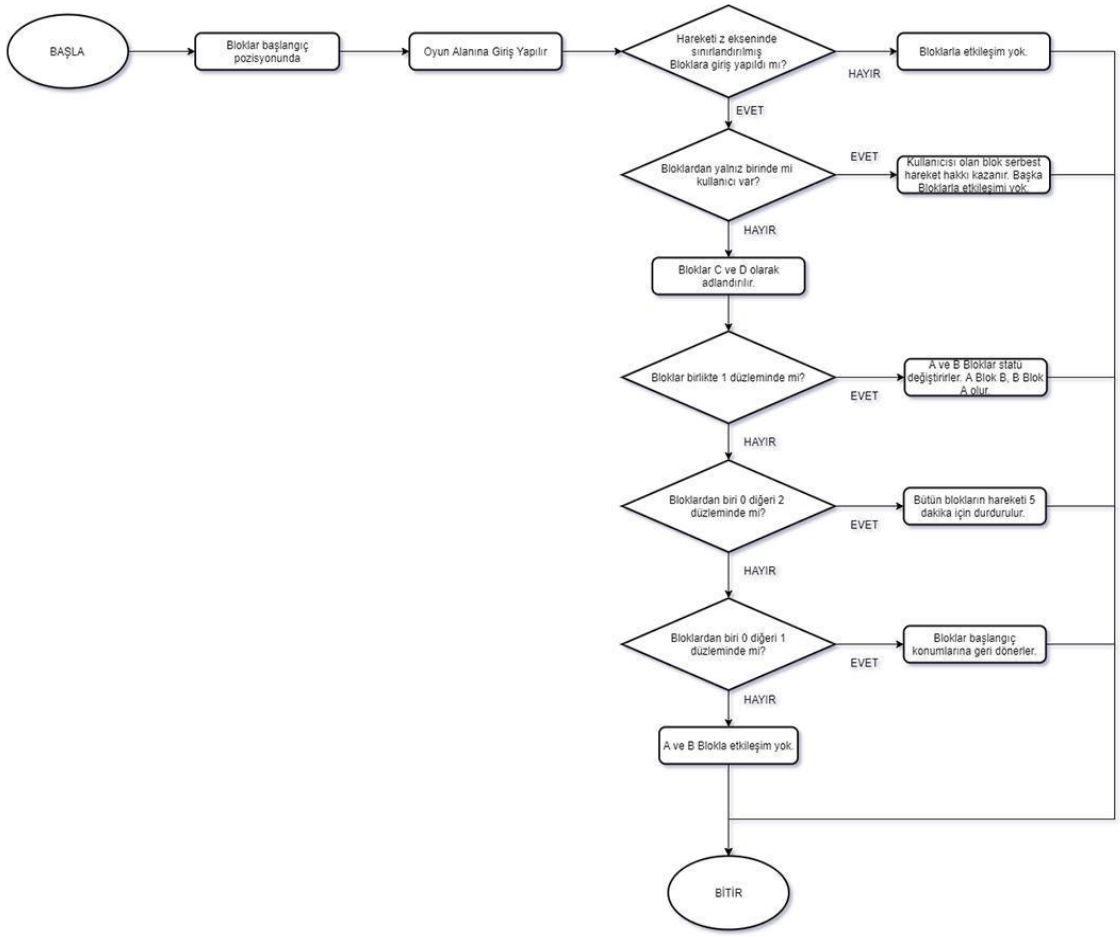
Bloklar, z ekseninde ve xy eksenlerinde hareketi sınırlandırılmış olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. İlk grup kontrolör, ikinci grup ise bağımlı olarak adlandırılmıştır. İlk grupta bloklardan biri sıfır ve bir numaralı kotlar arasında hareket ederken, ikinci blok bir ve iki numaralı kotlar arasında hareket etmektedir. İkinci grupta, bloklardan biri yalnızca x ekseninde diğeri ise yalnızca y ekseninde hareket edebilmektedir (**Şekil 3**). Blokların içerisinde kullanıcı bulunmuyor iken, önceden belirlenmiş bir başlangıç konumunda sabit durmaktadırlar. Bloklar içlerinde kullanıcı bulunması şartıyla

hareket edebilmektedirler. Ek olarak, kontrolör grubuna dahil bloklar kendi aralarında bağımsız hareket edebilirler ve bir yandan bağımlı grubuna dahil blokların bulundukları pozisyonun hareketini sınırlar (**Şekil 4**).

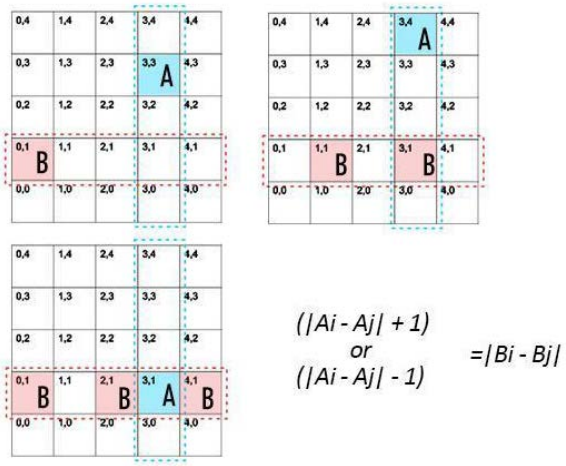
Bağımlı grubunda, ilk giriş yapılan blok A ikinci blok ise B olarak adlandırılır. A blok kendi ekseni üzerinde hareket özgürlüğüne sahip olmakla birlikte, B bloğunun konumunu da belirlemektedir. A bloğun bulunduğu matrisin I ve j indislerinin farkının bir fazlası veya eksiği B bloğunun matristeki konumunun I ve j indislerinin farkına eşittir. Kullanıcı A bloktan çıkış yaptığı durumda A ve B blokları karşılıklı statü değiştirir (**Şekil 5, 6, 7, 8**).



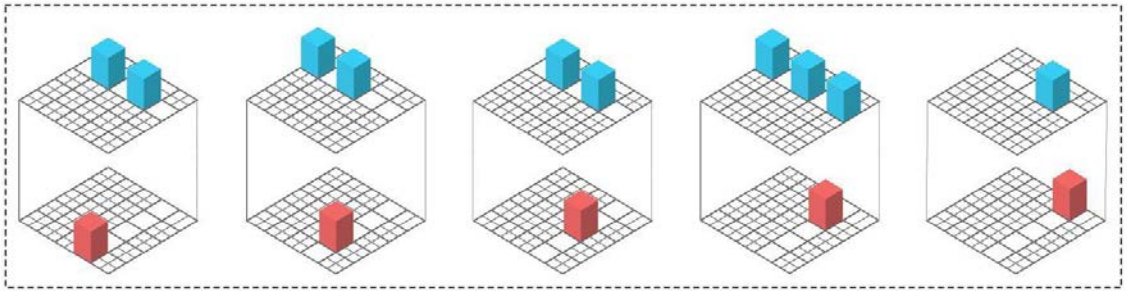

**Şekil 3:** Oyun alanı mekan oluşum kurgusu



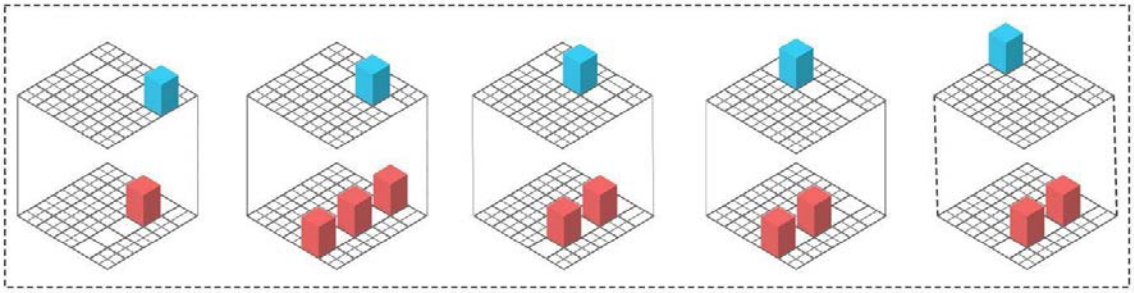

**Şekil 4:** Kontrolör grubunun hareket akış diyagramı



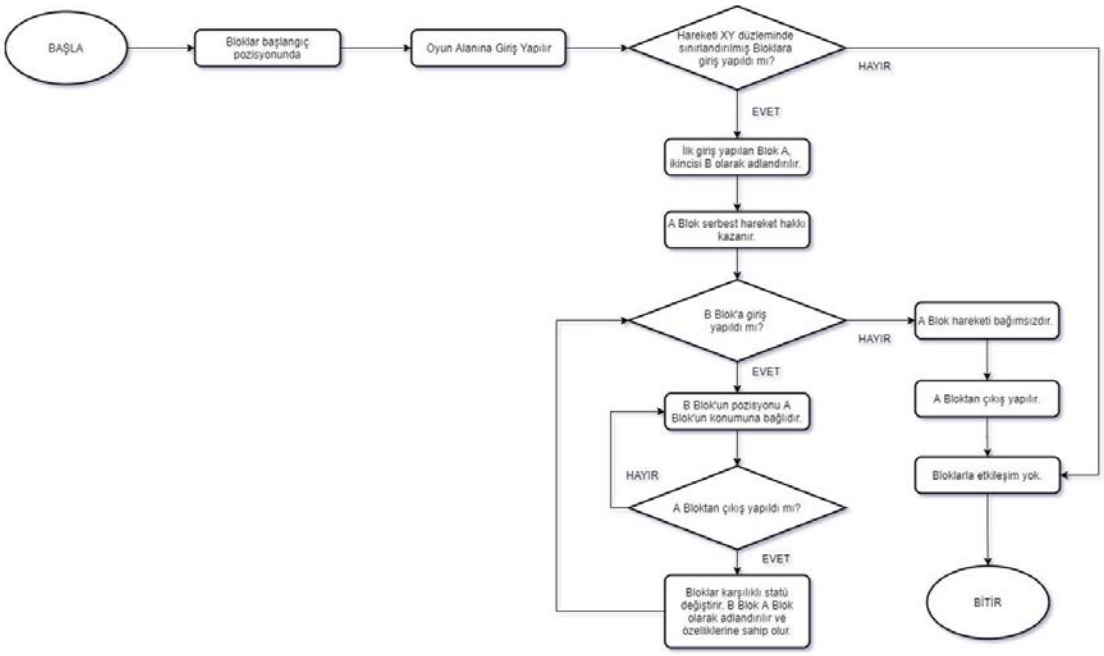

**Şekil 5:** : Bağımlı grubunun blokların hareket algoritması



**Şekil 6:** Kırmızı Blok A iken Mavi Blok'un olası pozisyonları



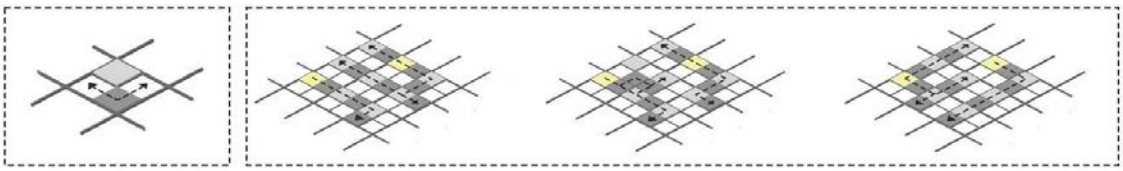
**Şekil 7:** Mavi Blok A iken Kırmızı Blok'un olası pozisyonları




**Şekil 8:** Bağımlı grubunun hareket akış diyagramı

### 4.3. Bloklar Arası Geçiş Alanlarının Kurgusu ve Etkileşimi

Bloklar arasındaki interaktif geçiş ve oyun alanı içerisindeki değişken sirkülasyon kurgusu çocuklar için merak uyandırmak, keşfetmesini sağlamak ve bununla birlikte teması engellemek amacıyla tasarlanmıştır. Her bir 120 x 120 cm'lik hücre kendi içinde 60 x 60 cm'lik alt hücrelere bölünmüştür. Bu alt hücrelerin üzerine sabit veya hareketli platformlar yerleştirilmiştir. Her 120 x 120 cm hücrenin içinde bir sabit bir de hareketli platform bulunmaktadır. Bu platformlar ağırlık sensörü ile donatılmıştır. Bu sayede, oyun alanı içerisindeki kullanıcıların konumları, birbirleriyle aralarındaki mesafeleri sistem içerisinde belirlenmektedir. Üzerinde kullanıcı bulunan platform, kendisine komşu olan diğer platformlara sensörler aracılığıyla bilgi verir. Hareketli platformlar bu bilgi dahilinde rassal biçimde konum değiştirerek farklı sirkülasyon kurguları oluştururlar. Eğer aynı kot üzerinde iki kullanıcı varsa, iki kullanıcının bulunduğu platformun komşu hücreleri birbirinden en az iki hücre uzak kalacak şekilde hareket ederler. Bu sayede, bu mekansal dolaşım kurgusu aracılığıyla çocukların hem özgürce hareket etmesi sağlanmış, hem de çocuklar kolektif biçimde oyun oynamaya teşvik edilmiştir (**Şekil 9**).



**Şekil 9:** Platformların ilişkisi ve hareket diyagramı

## 5. Sonuç

Proje kapsamında, çocuklar için etkileşimli ve sosyal mesafe kurallarına uygun bir oyun alanı algoritması geliştirilmiştir. Algoritma soyut kavramlar üzerinden tanımlanmış ve mekansal kısıtlar, algoritmanın parametrelerini oluşturmuştur. Blokların hareket kuralları, birbirleriyle etkileşim kuralları, geçiş elemanlarının özellikleri oyun kurgusunu zenginleştiren parametrelerdir. Mekan organizasyonu da bu parametreler çerçevesinde özelleşmektedir. Oyun algoritması, akış diyagramları ile geliştirilmiş sonrasında Rhino – Grasshopper' da modellenmiştir. Blokların hareket ilişkileri ve mekansal dolaşımı sağlayan hareketli / sabit platformlar Grasshopper'da tanımlanmıştır.

Bu algoritma prototip olarak dört kullanıcılı bir oyun alanı için geliştirilmiş olsa da, oyun alanının yerleştirileceği çevrenin ihtiyaçlarına göre ileriki aşamalarda değiştirilebilir. Benzer şekilde, oyun alanının fiziksel yapısı, kot sayıları, sabit ve hareketli birimlerinin ölçüleri ve adetleri, oyun alanının kapasitesi farklılaştırılaştırılabilir. Buna ek olarak, oyun algoritması içerisindeki bütün ilişkiler ortogonal olarak tanımlanmıştır. İleriki çalışmalarda, algoritma esnek plan tipleri ve mekansal ilişkiler için geliştirilebilir. Aynı zamanda oyun alanı algoritmasında kullanılan blok ve ızgara sistem gibi soyut kavramlar, oyun alanının bulunduğu çevreye göre yerel malzemeler ile tanımlanarak, çocukların çevre ile kurduğu ilişkiyi güçlendirmede katkı sağlayabilir.

**Teşekkür**
Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü programı 2020-2021 Güz Yarıyılı dersi olan MBL 511 kodlu Bilgi Tabanlı Mimari Tasarım dersi kapsamında geliştirilmiştir. Dersin yürütücüsü olan Prof. Dr. Gülen Çağdaş, dersin asistanları olan Araş. Gör. Begüm Hamzaoğlu ve Araş. Gör. Burak Delikanlı'ya proje süresince sundukları katkıları ve geri bildirimleri için teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

Back, J., Heeffer, C., Paget, S., Rau, A., Sallnäs Pysander, E. L., & Waern, A. (2016, June). Designing for Children's Outdoor Play. In *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems* (pp. 28-38).

Bell, S. (2002). Spatial cognition and scale: A child's perspective. *Journal of Environmental Psychology*, *22*(1-2), 9-27.

Bekker, T., Sturm, J., & Eggen, B. (2010). Designing playful interactions for social interaction and physical play. *Personal and Ubiquitous Computing*, *14*(5), 385-396.

Boon, B., Rozendaal, M., Van den Heuvel-Eibrink, M. M., van der Net, J., & Stappers, P. J. (2016, June). Playscapes: A design perspective on young children's physical play. In *Proceedings of the The 15th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 181-189).

Chakravarthi, S. (2009). *Preschool teachers' beliefs and practices of outdoor play and outdoor environments* (Doctoral dissertation, University of North Carolina at Greensboro).

Jansen, M., & Bekker, T. (2009). The influence of personal and shared interactive play objects on social behaviour. In *Proceedings 3rd international conference on intelligent technologies for interactive entertainment (Intetain'09), Amsterdam, The Netherlands* (pp. 90-101).

Keck, M., & Sakdapolrak, P. (2013). What is social resilience? Lessons learned and ways forward. *Erdkunde*, 5-19.

de Miranda, D. M., da Silva Athanasio, B., de Sena Oliveira, A. C., & Silva, A. C. S. (2020). How is COVID-19 *pandemic* impacting mental health of children and adolescents?. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101845.

Sturm, J., Bekker, T., Groenendaal, B., Wesselink, R., & Eggen, B. (2008, June). Key issues for the successful *design* of an intelligent, interactive playground. In *Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children* (pp. 258-265).

# Çalıştaylar

**NEO MEKANSAL TASARIM DENEYİMİ**

Pandemi ile uzaktan eğitim ve çalışma ortamına geçiş Arttırılmış Gerçeklik (AG), Sanal Gerçeklik (SG) ve Karma Gerçeklik (KG) araçlarına olan ilgiyi hızla arttırmıştır. Tasarım alanında da 3 boyutlu ve işbirlikli çalışma ortamarına olan ihtiyaç nedeniyle tüm bu Karma Gerçeklik teknolojilerinin yaklaşan dijital dönüşümün önemli parçaları olacağına işaret etmektedir. MSTAS 2021 kapsamında düzenlenecek olan çalıştayımızda hem bu yeni nesil iletişim ve etkileşim ortamının gelecekte tasarım alanındaki kullanımlarının ve etkilerinin tartışılması, hem de neo-mekansal tasarım ortamı olarak nitelediğimiz bir platformda tasarım etkinliği üzerinden deneyimlenebilmesi hedeflenmektedir.

**ATÖLYE YÜRÜTÜCÜLERİ**

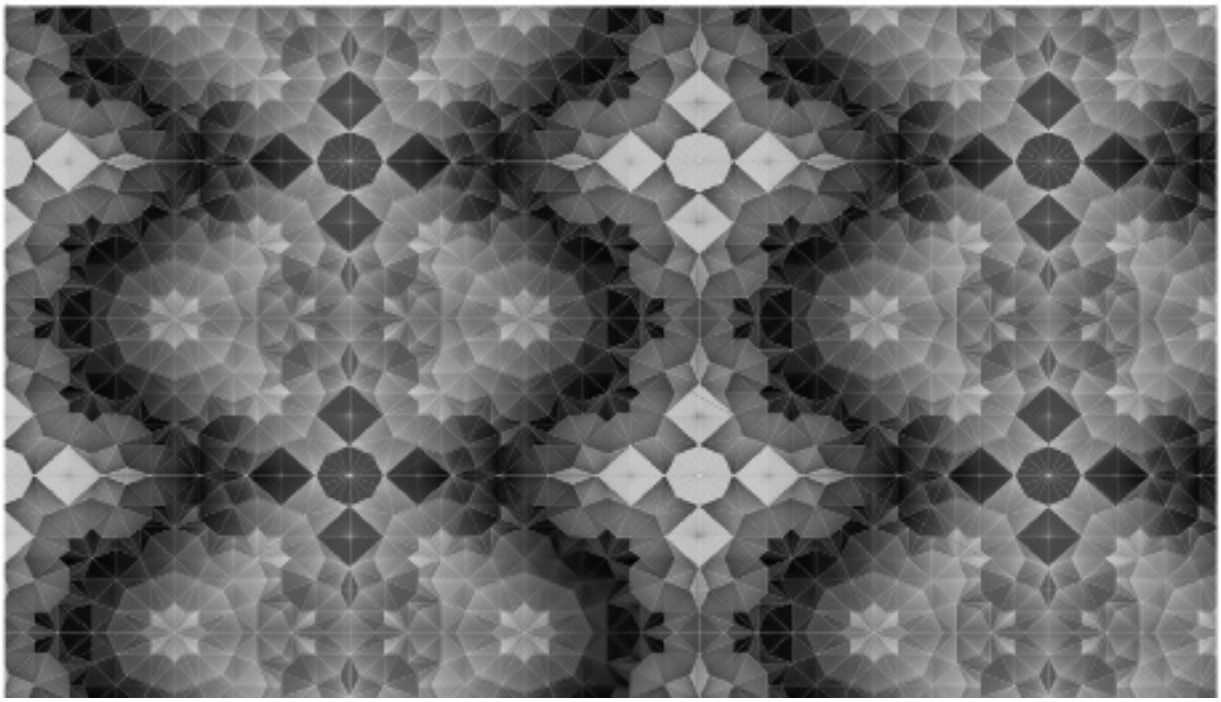
Neşe ÇAKICI ALP
Sema ALAÇAM
Süheyla Müge HALICI

## YAPI BİLGİ MODELLEMESİ YAZILIMLARIYLA ESNEK TASARIM YÖNTEMLERİNDEN BİR KESİT

Inşaat sektöründeki dijitalleşmnin büyük ölçüde Yapı Bilgi Modellemesiyle olmaktadır. YBM ile çizdiğimiz, modellediğimiz, hesapladığımız, analiz ettiğimiz mode aynı olabilmektedir. YBM yazılımları parametrik objeler oluşturarak, aynı koddan pek çok kütüphane elde edilebilmektedir. Bu çalışmada katılımcının tasarladığı iki boyutlu bir panel üçüncü boyuta aktarılarak, bir kapı kanadı olarak çalışması sağlanacaktır. Ayrıca BIG (Bjarke Ingels Group) tarafından spiral bir çatılı olarak tasarlanan “Le Maison des Fondateurs Müzesi” dışarıdan ana hatlarıyla modellenecektir.

## ATÖLYE YÜRÜTÜCÜLERİ

Nuray BENLİ YILDIZ
Evren AYDEMİR



**PARAMETRİK MUKARNAS**

Bir islami motif olan mukarnas bezemeleri, özellikle tarihsel yapıların taç kapıları, kubbeleri, söve ve kolon detalarında farklı kullanımlarına rastlamak mümkündür. Benzer geometrik parçaların katmanalar arasında tekrarlanmasıyla üretilen mukarnas, plan çizimleri üzerinden analiz edebilen ve iç devinimsel (reküsif) bir üretim sunmaktadır. Yapılan araştırmalar, mukarnas üretim kurallarının parçaların trigonometrik ilişkileri üzerinden incelenebileceğini saptamıştır. Çalıştay kapsamında Anadolu Selçuklu yapılarında bulunan mukarnas bezemelerinin hesaplamalı üretimleri ile ilgili tarihsel, teorik ve teknik bilgi aktarılacaktır.

Çalıştayın genel amacı mukarnasların üretken geometrik prensipleri üzerinden yeni tasarımlar üretebilecek hesaplamalı araçlar geliştirmektir. Katılımcılar ilk etapta çeşitli tarihi eserlerden seçilen farklı mukarnas tiplerinin geometrik parça ve örüntülerini Rhinoceros kullanarak inceleyecektir. İkinci aşamada yapısal varyasyonların üretimi için geliştirilecek jeneratif kurallar ve geometrik ilkeler Grasshopper/Python üzerinden kodlara aktarılacak ve yeni mukarnaslar üretilecektir. Çalıştay süresince öğrencilere hesaplamalı modelleme/analiz yöntemleri ve parametrik mukarnas modellemesinde kullanılacak kodlama üretimi aktarılacaktır.

**ATÖLYE YÜRÜTÜCÜLERİ**

Sabri GÖKMEN
Sema ALAÇAM
Altan BAŞIK
Yusuf AYKIN

## Yazar Dizini


Akman, Nurdan 14
Alaçam, Sema 2, 71, 147, 182, 194, 256, 363
Altun, Sevgi 205
Arman, Pelin Gül 48, 395
Atila, Didem Kübra 82
Aykın, Yusuf 182
Balcı, Ozan 48
Başık, Altan 182
Bor, Hakan Oğuz 159, 256
Çağdaş, Gülen 93, 291, 303
Çağlar, Barış 159
Çavuş, Özlem 125, 147
Cenani, Şehnaz 268
Delikanlı, Burak 93
Deveci, Fatih Süleyman 35,
Dinçer, Ahmet Emre 135
Duran, Ayça 224
Ediz, Özgür 214, 325
Efendioğlu, Gizem 268
Engin, Abdul Samet 135
Erkan, İlker 387
Eyce, Nihat 2,
Gökmen, Sabri 182
Göneç Sorguç, Arzu 125
Gül, Leman Figen 82, 363
Güneş, Mustafa Cem 48
Gürer, Ethem 14, 315
Gürsel Dino, İpek 224
Güzelci, Handan 71
Güzelci, Orkan Zeynel 71
Halıcı, Müge 363
Karadağ, İlker 246
Karakaya, Ahmet Fatih 375
Kırdar, Gülce 291
Kılıçkaya, Emre 114
Kısmet, Burcu 281
Körükcü, Berfin Aybike 25,
Küreli Gülpınar, Ece 114
Lionar, Mario L. 214
Oktan, Selin 105
Öner, Dilan 234
Oskay, Deniz 315
Özkar, Mine 205
Öztürk, Berkay 60
Parlak, Hazal 170
Şahin, Emre 375
Sancak, Necmettin 194
Şanlı, Nurseli 336
Şen Bayram, Asena Kumsal 25
Şen, Ender 325
Sipahioğlu, Nur 303
Sılaydın Aydın, Mediha Burcu 336
Şür, Efe 114
Tan, Efay İzel 48
Terzi, Şemsi Barış 71, 349
Tong, Hakan 35
Uğur, Maide 336
Ünlü, Aslıhan 234
Uzun, Fatih 170
Varinlioğlu, Güzden 114
Varol, Fatma Nur 336
Vural, Serbülent 105,159
Yazıcı, Hande 375
Yıldız, Kevser 349

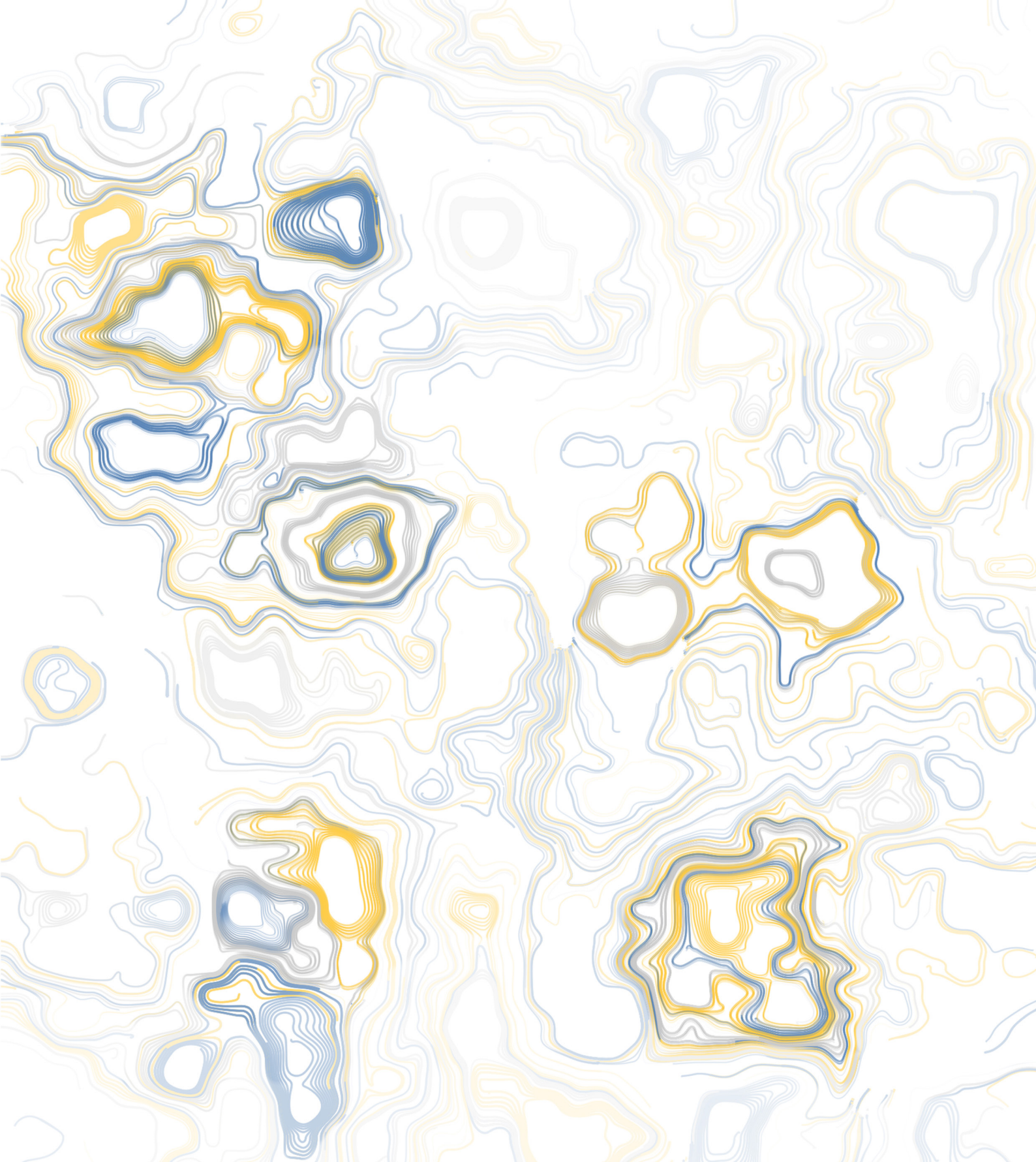
İTÜ

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ 1773

ISBN: 978-975-561-520-2

Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları "İTÜ Rektörlüğü'ne" aittir.
Bu kitabın tamamı yada herhangi bir bölümü yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka teknikle çoğaltılamaz, bilgisayarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm yazı ve görsellerin sorumluluğu yazar/yazarlara aittir.

All rights of this book are reserved and all publication rights belong to "ITU Rectorate".
All or any part of this book cannot be published, printed, filmed or used indirectly without the permission of the publisher. It cannot be reproduced by DUPLICATION, PHOTOCOPY or any other technique, and cannot be transferred to an environment that can be processed on computers or typesetting machines. The responsibility of all texts and visuals published in the book belongs to the author(s).



# dayanıklılık | dirençlilik | esneklik

İTÜ

ISBN: 978-975-561-520-2