

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ YÖNLÜ PERİYODİK MİNİMAL YÜZEYLER İLE OLUŞTURULAN BİR
TASARIM ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Reşat GÜNER

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Haziran 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ YÖNLÜ PERİYODİK MİNİMAL YÜZEYLER İLE OLUŞTURULAN BİR
TASARIM ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yusuf Reşat GÜNER
523131009**

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ

Haziran 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 523131009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yusuf Reşat GÜNER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÜÇ YÖNLÜ PERİYODİK MİNİMAL YÜZEYLER İLE OLUŞTURULAN BİR TASARIM ÖNERİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Leman Figen Gül**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Sevil Yazıcı
Özyeğin Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 9 Haziran 2016

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca ve tez aşamasında değerli vaktini, tavsiye ve anlayışını esirgemedi beni yönlendiren, bilgi ve birikimlerini aktaran, anlayışı ve hoşgörüsüyle bu çalışmayı gerçekleştirmemde büyük payı olan sevgili hocam, Sayın Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ'a;

Mimarlık mesleğini seçme sürecinde önümdeki en önemli örnekler olan, hayatım boyunca yaptığım her şeyde yanımda olan ve hiçbir şeyi benden esirgemeyen Annem'e ve Babam'a, ayrıca Ağabey'ime ve Ablam'a;

Yüksek lisans eğitimim için İstanbul'a geldiğimde, devamında ve aslında tüm hayatım boyunca beni kendi evlatları gibi gören ve destek olan teyzem Nebahat KORU'ya ve eşi Fehmi KORU'ya;

Ev arkadaşlarım ve kuzenlerim Ömer Faruk KORU'ya ve Ahmet Taha KORU'ya;

Fırsatını zor bulabileceğim işlerde birlikte zevkle çalıştığım, meslek görüşüme ve tecrübelerime hiçbir yerde bulup ulaşamayacağım katkıları yapan Salih KÜÇÜKTUNA'ya ve PIN | Project International Architecture ailesine;

İstanbul'da ve Taşkışla'da geçirdiğim güzel günlerin en önemli nedenleri olan bölüm arkadaşlarıma;

Tez sürecini birlikte atlattığım Süreli Yayınlar ekibi Ceren'e, Kerem'e, Saadet'e, Pelin'e ve Umut'a;

Değerli dostlarım Eren ŞEN'e, Gökhan YILDIRIM'a ve S. Zafer MASALCI'ya;

Hayatıma hep güzel şeyler katan Ayşe Pınar SERİN'e;

Sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2016

Yusuf Reşat GÜNER
Mimar

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi.....	3
2. MİMARİ TASARIM VE GEOMETRİ	5
2.1 Mimarlık ve Geometri İlişkisi	6
2.1.1 Ölçeklendirme ve temsil aracı olarak geometri	8
2.1.2 Oran - Orantı aracı olarak geometri	8
2.1.3 Analiz ve değerlendirme aracı olarak geometri	12
2.1.4 Form üretim aracı olarak geometri.....	13
2.2 Geometri Yöntemleri.....	13
2.2.1 Öklidyen geometri.....	13
2.2.2 Öklidyen olmayan geometri.....	14
2.2.3 Düzlemsel geometri ve uzaysal geometri	15
3. HESAPLAMALI GEOMETRİ VE HESAPLAMALI MİMARLIK.....	17
3.1 Mimari Form Üretiminde Geometri Türleri.....	19
3.1.1 Topolojik geometri.....	20
3.1.2 Cebirsel geometri	22
3.1.3 Fraktal geometri	24
3.1.4 Diferansiyel Geometri.....	26
3.2 Mimarlık Eğitiminde Geometri	27
4. MİNİMAL YÜZEYLER	33
4.1 Sabun Baloncukları ve Minimal Yüzeyler	33
4.2 Minimal Yüzeylerin Matematiksel Tanımı	37
4.3 Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler	39
4.3.1 ÜYPMY’de deneysel bulgular.....	40
4.3.2 ÜYPMY hesaplamalı bulgular.....	41
4.3.2.1 Schoen’in araştırmaları	41
4.3.2.2 Brakke’nin araştırmaları.....	42
4.4 ÜYPMY’in Hesaplamalı Geometri Yardımıyla Hesaplamalı Mimaride Kullanımı.....	44
4.4.1 ÜYPMY’lerin tekil olarak kullanıldığı mimari örnekler	46
4.4.1.1 “The Gyroid Climber” projesi.....	46
4.4.1.2 “Minimal Complexity” projesi.....	47

4.4.1.3 “Hypar Infinity” projesi	49
4.4.1.4 “Minimal Surface High-rise Structures” projesi	50
4.4.2 ÜYPMY’ler ile yüzey oluşturulan mimari örnekler	52
4.4.2.1 “Biodigital Processes in Architecture – New Library in Florence” projesi	52
4.4.2.2 “TetraMIN” projesi	54
4.4.2.3 “Active Phytoremediation Wall System” projesi	55
4.4.2.4 “Continuous Shells Triple Periodic Minimal Surfaces” projesi.....	56
4.4.3 ÜYPMY’ler ile mekan oluşturulan mimari örnekler	57
4.4.3.1 Taichung Metropolitan Opera Toyo Ito	57
4.4.3.2 “Minimal Surface Manipulation - RTV Headquarters” Projesi	59
4.4.3.3 Kowloon Wholesale Fruit market in Hong Kong	61
4.4.3.4 Wooden Orchids.....	62
5. ÜÇ YÖNLÜ PERİYODİK MİNİMAL YÜZEYLER İLE OLUŞTURULAN BİR TASARIM ÖNERİSİ	65
5.1 Tasarımda Kullanılacak Çokgen Alanın Dörtgen Alt-bölümlerinin Oluşturulma Yöntemi	65
5.2 ÜYPMY’lerin Deformasyonu	69
5.3 ÜYPMY ile Mekan Tasarımı Modeli	71
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ	95

KISALTMALAR

ÜYPMY : Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler
IGL : Interactive Geometry Lab

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Çalışma kapsamında incelenen örnek projeler	64
Çizelge 5.1 : Bazı ÜYPMY'ler ve yaklaşık cebirsel formülleri	73
Çizelge 5.2 : Sınır şekle yapılan deformasyonların düğüm noktlarındaki X, Y, Z değişimleri	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tezin problem tanımı	2
Şekil 2.1 : Altın oran ve altın dikdörtgen $AB:BC=AC:BC= 1:1.618$ (URL-4)	9
Şekil 2.2 : Alberti'nin oran seti oluşturma yöntemi (Essley, 2012)	10
Şekil 2.3 : “Ölçüler ve insanın yerel ihtiyaçları” (Neufert, 2000)	11
Şekil 2.4 : Le Corbusier'in Modulor yöntemi (Le Corbusier, 1961)	12
Şekil 2.5 : Geometri çeşitleri (URL-7)	16
Şekil 3.1 : Matematik ve Mimarlık arasındaki etkileşim diyagramı (Burry, 2011) ..	18
Şekil 3.2 : Torus geometrisi ile kupanın sürekli deformasyonu (URL-10)	20
Şekil 3.3 : Mobius Şeridi ve Mobius Evi'nin işlev grafiği (URL-11)	21
Şekil 3.4 : Klein Şişesi matematiksel konsept modeli ve Klein Bottle House'un maketi (Tepavčević ve Stojaković, 2014)	21
Şekil 3.5 : BTU Cottbus'da Nicolas Oevermann'ın cebirsel yüzeyler ile tasarladığı bir yapı (Barczik, 2010)	23
Şekil 3.6 : Dört tekrarlı Koch kar tanesi (URL-13)	24
Şekil 3.7 : Tarlabası bölgesi için yapılan çalıştayda yapılan kentsel boşlukta fraktal boyut hesabına dayalı kitle üretimi (Çağdaş ve diğ., 2015)	25
Şekil 3.8 : “Fin'd Out Hou S” projesi (Schmitt ve Chen, 1991).	25
Şekil 3.9 : İki boyutlu bir manifold olarak küçük ölçekte Öklid düzlemi olan Dünya (URL-14).	26
Şekil 3.10 : Abbott'un (1998) okuyucunun Düzülke'yi hayal edebilmesi için yaptığı bir tasvir	30
Şekil 4.1 : Plateau'nun 3. (a) ve 4. (b) kuralı (Emmer, 2009)	34
Şekil 4.2 : Riemann Minimal Yüzeyi (URL-16)	35
Şekil 4.3 : Frei Otto'nun sabun köpükleri ile keşfettiği formlar (URL-17)	36
Şekil 4.4 : Frei Otto tarafından 1972 Yaz Olimpiyatları için tasarlanan Münih Olimpik Parkı'ndaki spor tesisleri çatısı (URL-18)	36
Şekil 4.5 : Snøhetta Architects tarafından tasarlanan Tubaloon pavyonu (URL-19)	37
Şekil 4.6 : Bir yüzeyin temel eğrileri (URL-20)	37
Şekil 4.7 : Yüzey üzerindeki bir noktadan geçen ana eğriler (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2013)	38
Şekil 4.8 : Tek yönlü, iki yönlü ve üç yönlü periyodik minimal yüzeylere örnekler (Meeks III, 2005)	39
Şekil 4.9 : 5 inçlik bronz heykel (Séquin, 2003)	40
Şekil 4.10 : Schwarz's P(a) ve Schwarz's D(b) yüzeyleri (URL-23)	41
Şekil 4.11 : Schoen'in bulduğu bazı ÜYPMY'ler (I-WP, F-RD, CWP) (URL-24) ..	42
Şekil 4.12 : Peter Pearce'in düz çerçeveli çokyüzlülerde ürettiği Saddle Polyhedron'lar (URL-25)	42
Şekil 4.13 : Yer çekimi ve yüzey kesisim enerjilerine bağlı olarak bir düzleme damlacık bırakılması (URL-26)	43
Şekil 4.14 : Bir kübün 1/48'lik ve 1/24'lük kaleydoskop hücreleri (URL-24)	43

Şekil 4.15 : 1/48’lik hücresinin Schoen’s P yüzeyini oluşturması (URL-24)	44
Şekil 4.16 : Gyroid Tırmanma Yüzeyi (URL-28).....	46
Şekil 4.17 : 27 eş parçadan oluşturulan Gyroid prototipi (Dancu ve Hido, 2010)	47
Şekil 4.18 : Houston Üniversitesi’nde kurulan 2368 adet lazer kesim alüminyum parçadan oluşan 4mt’lik model (Tenu, 2011a).....	48
Şekil 4.19 : Kağıt model prototip (Tenu, 2011b).....	49
Şekil 4.20 : 3D baskı hızlı prototip (Tenu, 2011b)	49
Şekil 4.21 : Hypar Infinity (URL-29)	50
Şekil 4.22 : Çalışma kapsamında üretilen üç öneri (HENN-StudioB, 2012)	51
Şekil 4.23 : Çalışma kapsamında yapılan analizler (HENN-StudioB, 2012)	52
Şekil 4.24 : Projenin foto-gerçekçi görünümü (URL-30).....	52
Şekil 4.25 : Yapının ışıma analizleri ve kategorilenmesi (URL-30)	53
Şekil 4.26 : Yapının ışıma analizleri ve kategorilerine göre oluşturulan ÜYPMY’ler (URL-30).....	53
Şekil 4.27 : tetraMIN (URL-31)	54
Şekil 4.28 : Periyodik minimal yüzeyler ve geliştirilen birleşim yöntemi (URL-31).....	55
Şekil 4.29 : The Active Phytoremediation Wall System (URL-32)	55
Şekil 4.30 : Schoen’in IWP modülleri ile tasarlanan modül saksılar ve sistemin hava akış diyagramı (URL-32)	56
Şekil 4.31 : Continuous Shells Triple Periodic Minimal Surfaces (URL-33)	57
Şekil 4.32 : Tasarımın hızlı prototip modeli (URL-34).....	58
Şekil 4.33 : Tasarımda oluşturulan mekansal süreklilik ve ilişkiler (URL-34)	58
Şekil 4.34 : Yapının inşaat halinden bir fotoğraf (URL-35).....	59
Şekil 4.35 : Yapının bitmiş halinden bir görüntü (URL-36).....	59
Şekil 4.36 : Tasarımın fonksiyon şeması ve bölümler arası geometrik süreklilik ilişkileri (URL-37).....	60
Şekil 4.37 : Dibrova’nın tasarımda kullandığı ÜYPMY bileşenleri (URL-37).....	60
Şekil 4.38 : Dibrova’nın tasarımda kullandığı ÜYPMY bileşenleri (URL-37).....	60
Şekil 4.39 : Tasarım analizleri doğrultusunda oluşturulan sınır şekiller (URL-38)	61
Şekil 4.40 : Kowloon (URL-38)	62
Şekil 4.41 : <i>Petal</i> hücresi ve bir adet <i>Orchid Box</i> (URL-39).....	62
Şekil 4.42 : Wooden Orchids (URL-39).....	63
Şekil 5.1 : Araştırmada ÜYPMY’lerin ele alınma öngörüsü.....	65
Şekil 5.2 : COOP HIMMELB(L)AU tarafından tasarlanan 2007 yılında açılan BMW Welt binası (URL-40).....	66
Şekil 5.3 : Zaha Hadid Architects tarafından tasarlanan 2012 yılında açılan Heydar Aliyev Center (URL-41)	67
Şekil 5.4 : Takayama ve diğ. (2014a) tarafından geliştirilen $2 \leq N \leq 6$ kenarlı parçaların örüntüye bağlı olarak dörtgenlenmesi	68
Şekil 5.5 : Çalışmanın probleminin tanımı (Takayama ve diğ, 2014b).....	68
Şekil 5.6 : Marcias ve diğ. (2015) tarafından önerilen bilgi tabanlı dörtgenleme yöntemi	69
Şekil 5.7 : Bölümlerin numaralandırılması ve aralarındaki bağlantıların topolojik ifadelendirilmesi (Marcias ve diğ, 2015)	69
Şekil 5.8 : Katenoid’ten Helikoid’e deformasyonun tam orta anındaki minimal yüzey (URL-44).....	70
Şekil 5.9 : Sınır şeklinin yüksekliği değiştirilmiş bir ÜYPMY (Krivoshapko ve Ivanov, 2015).....	70
Şekil 5.10 : Model akış diyagramı	71

Şekil 5.11 : Rhino Grasshopper ve Milipede programları ile yaklaşık cebirsel formüller ile ÜYPMY oluşturulması.....	72
Şekil 5.12 : Grasshopper ile oluşturulan ÜYPMY'ler: (a) Diamond; (b) Gyroid; (c) Neovius; (d) PW Hybrid	74
Şekil 5.13 : Grasshopper ile oluşturulan ÜYPMY'ler: (e) Primitive; (f) Shercks' 1; (g) Sherck's 2; (h) Sherck's 3	74
Şekil 5.14 : Dört kenarlı bir alanda 10 girişli 2 ana sergili bir mekanın alt-bölümleri	75
Şekil 5.15 : Altı kenarlı ve üç kenarlı alanlarda alt-bölümlendirme örnekleri	75
Şekil 5.16 : Düğüm noktalarına yükseklik verme formülü.....	76
Şekil 5.17 : Yükseklik verme algoritmasının bir uygulama örneği	76
Şekil 5.18 : Alan altbiriminden türetilmiş sınır şekle göre Gyrid yüzeyinin(a) deformasyonu(b)	76
Şekil 5.19 : Düğüm noktalarına yükseklik verme algoritması	77
Şekil 5.20 : Orijinal ve yükseklik kazandırılmış düğüm noktaları ile <i>Twisted Box</i> oluşturulması ve ÜYPMY'lerin deformasyonu	77
Şekil 5.21 : Önerilen modelle dört kenarlı (4-5-6-7) parametrelili bir alanda Primitive yüzeyin uygulanması.....	78
Şekil 5.22 : Önerilen modelle altı kenarlı (1-2-2-7-4-8) parametrelili bir alanda Primitive yüzeyin uygulanması.....	78
Şekil 5.23 : Şekil 5.13'te tanımlanan alandaki alt-bölümlere ÜYPYM uygulanması.....	78
Şekil 5.24 : Şekil 5.20'de oluşturulan modelin içinden bir görünüş	78
Şekil 5.25 : Çizelge 5.2'de verilen deformasyonda ayırıt noktalarındaki ortalama eğrilik değerlerine göre parçaların renklendirilmiş analizi	79
Şekil 5.26 : Schwarz P yüzeyinin deformasyonu ile yapılmış bir üç boyutlu prototip	80
Şekil 5.27 : RhinoPhyton kodlama dili ile geliştirilen ayrık üçgen modelde ortalama eğrilik hesaplama yöntemi	81
Şekil 6.1: Séquin'in (2003) geliştirdiği farklı minimal yüzey modüllerinden oluşabilen Volution geometrileri.....	84

ÜÇ YÖNLÜ PERİYODİK MİNİMAL YÜZEYLER İLE OLUŞTURULAN BİR TASARIM ÖNERİSİ

ÖZET

İnsanlar birlikte veya başkası için yaptıkları işleri karşı tarafa anlatabilmek için çeşitli iletişim yöntemleri geliştirmişlerdir. Başlarda birbirleriyle anlaşabilmek için resim yapan, konuşmayı ve yazmayı geliştiren insanlar, ilerleyen çağlarda profesyonel disiplinleri için de matematik, fizik, kimya gibi bilimleri ortaya çıkarmışlardır. Doğada var olan objeleri ve bu objelerin ilişkilerini algılayabilmek adına geliştirdikleri geometri bu disiplinler arasında mimarlar adına belki de en önemli olanı olmuştur. Çünkü mimarlar yaptıkları çalışmaları aktarabilmek için hem temsil hem üretim boyutunda geometriyi kullanmışlardır. Geometri mimarlığın düşünce yapısını oluşturan temel öğelerden biri haline gelmiştir.

Geometrinin en önemli bilim adamlarından olan Euclid'in oluşturduğu düzlemsel geometri kuralları yüzyıllar boyunca insanların ve mimarların bir çok şeyi temsil etmesinde ve üretmesinde kullanılmıştır. Günümüzde ise hem Öklid dışı anlayış ile ortaya çıkan yeni geometriler hem de gelişen hesaplamalı tasarım yöntemleri mimarlığı farklı bir boyuta sürüklemektedir. Topolojik geometri, cebirsel geometri, fraktal geometri, diferansiyel geometri gibi uzmanlık gerektiren geometri çalışmaları hesaplamalı tasarım araçları sayesinde mimarların tasarım yaparken kullanabilecekleri yöntemler olmuştur. Mimarlar hem bu yöntemleri kullanmakta, hem de bu geometri yöntemlerinin gelişmesi için yeni problemler tanımlamaktadır.

Diferansiyel geometrinin uğraş alanlarından biri olan minimal yüzeyler barındırdıkları fiziksel bir çok avantajın yanında oluşturdukları kompleks şekilleri ile mimarların ilgisini çeken bir konu olmuştur. İlk önceleri minimal yüzeyleri çalışan bilim adamları ve mimarlar sabun yüzeyleri gibi fiziksel girdilerle yaptıkları deneyler sonucu bu yüzeylerin şekillerini ve geometrik açıklamalarını oluşturmuşlardır. Minimal yüzeylerin en temel prensibi yüzeyin bütün noktalarındaki ana eğriliklerin ortalamasının hesaplanması ve bu ortalamalarının toplamının sıfır olmasıdır. Gelişen

hesaplamalı teknolojiler ile bu basit mantığa dayanan hesaplamaların çözümleri kompleks yeni minimal yüzeyler elde edilmeye başlanmıştır. Minimal yüzeylerin süreklilik prensibini kullanan periyodik minimal yüzeyler ise geometri haricinde bir çok alanda araştırmaları ve uygulamaları yapılan bir konu olmuştur. Mimaride de özellikle Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler ile yapılan tasarımlar ve çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler geometrik tanımlarında oldukları gibi sabit bir sınır şeklin içinde değil, bu sınır şeklin deformasyonu ve türetimleri ile bir mekan tasarımında kullanılacaktır. Bu doğrultuda yapılacak Rhino-Grasshopper modeli ile sınırları belirli çokgen alanda, kullanım verilerine göre belirlenen kenar bölümlenme parametrelerine bağlı olarak oluşturulacak sınır şekiller içerisinde Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler türetilerek bu tarz geometrilere mimari bir yorum katılarak bir tasarım önerisi sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık ve geometri, hesaplamalı geometri ve hesaplamalı mimarlık, minimal yüzeyler

A DESIGN PROPOSAL WITH TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACES

SUMMARY

People have developed different types of communication methods in order to explain their works to another who is either collaborator or customer. In the first ages people were using drawings and then common language and writing. Then people started to theorize some professions like maths, physics, chemistry and so on. Geometry which is evolved in order to understand objects in nature and their relations, is probably the most influential branch of knowledge for architecture. Because architects used geometry for representing and building of their works. Geometry became one of the fundamental elements which shape architectural thought.

Scientists like Euclid, Pythagoras, Archimedes, Leonardo Da Vinci and Descartes keep continuously develop geometrical principles which is used in architecture often. Planar geometry which is developed by one of the most important geometrician Euclid, used for a long by people architects in order to symbolise things. Today with the impact of geometries that is not fitting Euclid's fifth postulate, also called non-Euclidean geometries, and computational design methods put architecture into another dimensions. Topics that need specialists to implement like topological geometry, algebraic geometry, fractal geometry, differential geometry become doable in architectural design thanks to tools of computational design. While architects are using these geometry topics, they also create new problems that can be subject in geometric researches.

Geometry also plays a major role in architectural education. It can be said that students can produce what they do understand. As all of the people we are taught geometry that is Euclidean from their childhood. So our geometrical thinking is shaped by Euclid's way of thinking. It can be said that architects and architecture students mostly design in Euclid's way. In last few decades there are lots of discussions about what can be done with other geometries and what are the pros&cons of designs that is formed by these geometrical thoughts.

Minimal surfaces are one of the common subject of differential geometry. With their lots of physical advantages like using minimum material, the complex shapes they form is an interesting point for architects from the beginning. At first, scientists and architects do physical experiments like shaping soap-bubble in order to set up rules of their shapes and geometrical explanations. The basic principle of minimal surfaces is the mean curvature of every point of this surface must be equal to zero, and also sum of the mean curvature values is equal to zero. With the aim of the computational technologies, people solved more complex problems that is fitting this simple principle and bring out more complex examples of minimal surfaces. Frei Otto was the most important architecture who used physical experiments as an inspiration in his designs. He designed some of his well-noted projects like Roof of Munich Olympic Stadium following to his experiments with soap bubbles.

Periodic minimal surfaces that is based on continuum of minimality principle of these surfaces is a subject for not only geometry but also biology, chemistry etc. These surfaces were studied first at the last years of 19. century. After almost nine decades periodic minimal surfaces appealed to geometers and space scientists. With the power of computer technologies scientists find out lots of new periodic minimal surfaces.

These surfaces also has lots of inspirations in sculptural works. Some artists like Erwin Hauer, Carlos Séquin produced lots of pieces that is derived from periodic minimal surfaces. And also they contributed the geometrical basis of these minimal surfaces. In architecture, there are some designs and works especially made with Triply Periodic Minimal Surfaces. In this work these some examples are given according to what they form utmost. Some of these works used minimal surfaces because of their natural equilibrium, some of them used because they find their sculptural shape interesting and some of them used them trying to generate a systematic design with repetitions of periodic minimal surfaces.

After research of geometrical basis and architectural use of Triply Periodic Minimal Surfaces this work tries to use Triply Periodic Minimal Surfaces not stickly to they are formed with their boundary shapes in geometrical definitions, but they deformed and derived in an architectural use for designing a space. The model developed in Rhino-Grasshopper with this logic, crates boundary shapes that is calculated as a subdivisions of a given polygonal area and derives Triply Periodic Minimal Surfaces that is

deformed according to these boundary shapes. After designing this space out of periodic minimal surfaces, a mean curvature analysis of these individual surfaces are examined in order to check if deformation breaks the geometrical concept of minimal surfaces or not. And also this study produces a physical model of this very last design by 3D printing the periodic surfaces.

Keywords: architecture and geometry, computational architecture and computational geometry, minimal surfaces

1. GİRİŞ

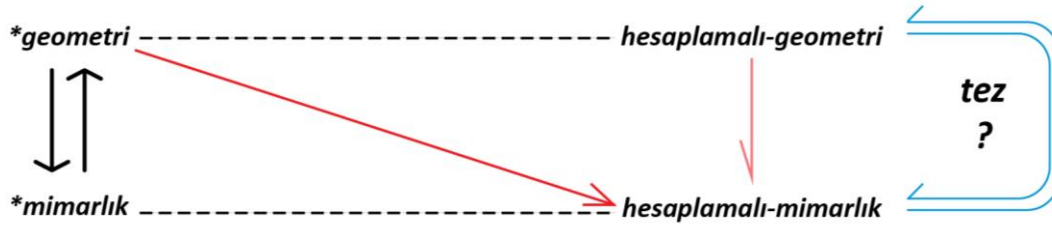
Geometri, insanoğlunun salt entelektüel süreçlerle fiziksel dünyanın, gözlemlere dayalı tahminlerini yapmasını sağlayan bilimsel araştırmalarının belki de en temelidir (Coxeter, 1961). Geometri, tarih boyunca önemli bilim adamlarının üzerinde çalıştığı ve yeni teoriler geliştirdiği bir disiplin olmuştur. İnsanlar fiziksel gözlemlerinin yanısıra elde ettikleri bilgilerin sentezleri ile yeni bilgiler ortaya çıkartmıştır. Plateau, Euclid, Pythagoras, Archimedes, Leonardo Da Vinci ve Descartes gibi bilim adamları devamlı bir şekilde mimarların da kullanmış olduğu geometri bilgilerini geliştirmişlerdir. Somut olan bütün durumlar ve olaylar, tamamen kavramsal bir bilgi olan bu geometri bilgileriyle açıklanmaya çalışılmıştır. Mimarlık ürünlerinin de somut birer obje olduklarını düşünürsek, geometri mimarlığın temel yapı taşlarından biri olmuştur. Bu yüzden insanların geometri bilgisi ile mimarlık arasında doğrudan bir ilişki olduğunu söylemek mümkündür.

Tasarım aşamasında tamamen mimarın düşüncelerinde hayali bir form ve yapı olan mimari ürünler, üretim aşamasına geçildiğinde bir çok insanın üzerinde çalıştığı ve anlayabildiği projeler olmak zorundadır. Bu yüzden mimarlar tasarladıkları projeleri iki veya üç boyutlu temsillerle başkalarına aktarabilmek için geometri bilgilerini ve temsillerini kullanmışlardır. Bu yüzden mimarlar çoğunlukla geometri ile temsil edebildiklerini tasarlayabilmişlerdir. Yani bir bakıma geometri mimari üretimde sınırları belirleyen bir unsur olmuştur.

İnsanların düşünce ve üretim kapasiteleri yeni araçlar ve yeni bilgilerle genişler. Matematik ve dolayısıyla geometride gelişen yeni yöntemler de insanların mimari tasarım ve üretim kapasitelerini arttırmaktadır. Yeni geometri bilgileri ve bu bilgileri kullanmak için üretilen yeni araçlar, geometriyi yalnızca mimarlığın temsil aracı olmaktan çıkartmış, formlarının şekillenmesinde temel olan girdileri oluşturmuşlardır. İlk başlarda Ökliden geometri bilgisi dahilinde doğadan da esinlenerek oran orantı gibi matematiksel yöntemler kullanarak yapılan tasarımlar, hesaplamalı tasarım araçlarının da etkisiyle beraber farklı geometri bilgilerini kullanan üretimler olmuşlardır. Tasarım yazılımları ve numerik fabrikasyon yöntemleri geometrinin mimarlıkla olan

geleneksel rolünü yeniden biçimlendirmiş; topoloji, parametrik yüzey tasarımı ve diğer matematik alanları sayesinde eşsiz fırsatlar ortaya çıkarmıştır. Günümüzde mimarlık teorileri ve konuşmaları tekrar mimarlık ve geometri ilişkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Sayısız olanaklarla tekrardan güçlenen bu ikili çalışma, artık pahalı olmayan ama yine de güçlü olan evrensel hesaplamalı tasarım araçları sayesinde tüm tasarımcıların üretimine verilmiştir (Ceccato, 2010).

Mimarlık disiplini geometri alanındaki bilgilerle bu kadar ilişkili iken, mimarlıkta ortaya çıkan geometrik problemler de geometri bilgisini etkileyen ve geliştiren çalışmalar olmuştur. Tez kapsamında ele alınacak üç yönlü periyodik minimal yüzeyler, geometri disiplininde sınırları belli (küp vb.) şekiller üzerinden geliştirilmiş bir diferansiyel geometri konusudur. Çalışmada mimari tasarımların hiyerarşik ilişkilerinden doğan farklılıklar ile üç yönlü periyodik minimal yüzeylerin bu tekdüzeliği arasındaki farklılık bir problem olarak ele alınıp tartışılacaktır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Tezin problem tanımı

1.1 Çalışmanın Amacı

Tezin genel amacı, mimarlık ve geometri ilişkisini, hesaplamalı tasarım yöntemlerinin yardımıyla matematiğin, aksiyom ve teorileri boyutlarının da tasarım süreçlerine dahil olması ile irdelemektir. Modern matematik ve geometrinin önemli konularından biri olan diferansiyel geometri ve topolojik geometriler günümüz mimarlığında da araştırma konuları arasına girmektedir. Minimal yüzeyler teoremlerinin tarihi 18. YY.'a kadar dayanmakla birlikte, Belçikalı fizikçi Joseph Plateau'nun 19. YY'da sabun yüzeyleri ile ilgili oluşturduğu Plateau kuralları ve problemi, bu konunun bir çok matematikçi tarafından ele alınmasını sağlamıştır. Bu konunun alt araştırmalarından biri olan, 3 yönde periyodik bir şekilde eklemlenebilen minimal yüzeyler(üç yönlü periyodik minimal yüzeyler) de hesaplama yöntemlerinin gelişmesiyle beraber teoremlerinin ve örneklerinin gitgide arttığı bir araştırma alanıdır. Tezin temel amacı hesaplamalı yöntemlerle gelişen geometrik teorilerin bir örneği

olarak ÜYPMY'lerin periyodik özellikleri kullanılarak bu yüzeylerin deforme edilip ortogonal olmayan bir düzende birleşimlerden meydana gelen bir sistem oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda çok kenarlı bir alanın tüm kenarları çevre verilerine bağlı olarak (örneğin giriş-çıkış sayısı) parçalandırıldığında oluşan alt-bölümlenmelere göre (dörtgen) matematiksel teorileri var olan ÜYPMY örnekleri deforme edilip yerleştirilerek bölümler arasındaki iç ve dış mekanların kesintisiz olarak devam ettiği bir mekansal kurgu oluşturulacaktır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Tez kapsamında irdelenecek konular:

- Mimarlık ve matematik ilişkisi;
- Hesaplamalı matematik ile hesaplamalı tasarım arasındaki ilişkisi;
- Sabun yüzeyleri ile minimal yüzeylerle ilgili yapılan araştırmalar ve oluşturulan örnekler;
- Üç yönlü periyodik minimal yüzeyler;
- Belli sınırlara sahip çok kenarlı bir alanda, her kenarın verilecek parametrelere göre parçalanmalarıyla bu alanın alt-bölümlendirilmesi (dörtgenleme) ve bu bölümlendirmede oluşan ortogonal olmayan dörtgenlerin belirleyeceği deformasyonlara göre bu alt-bölümlerde ÜPMY'lerin kullanılması.

Bu tez çalışmasında minimal yüzeylerin mimari olarak yorumlanabilmesi için hem matematikten, hem de özellikle heykel olmak üzere çeşitli sanat dallarından ve mimarlık alanından çeşitli akademik araştırmalar yapılacaktır. Mimarlıkla ilgilenen matematikçiler ve matematikle ilgilenen mimarların kaynaklarından yapılacak taramalarla, minimal yüzeyler ve varsa üç yönlü periyodik minimal yüzeylerin bu ilişki içinde nasıl sorgulandığı araştırılacaktır. Bu çalışmalarda bulunan mimari örnekler tezin içine dahil edilip, bu örneklerdeki mimarlık ve matematik ilişkisi incelenecektir. Tezin son bölümünde ise, Rhino-Grasshopper programı içerisinde çok kenarlı bir alanda kenarlara ait parametrelere bağlı olarak alt-bölümlendirmelerin oluşturulduğu ve bu dörtgen alt-bölümlendirmelere göre deforme edilen ÜPMY'lerden oluşan bir sistem oluşturulup sunulacaktır.

2. MİMARİ TASARIM VE GEOMETRİ

İnsanlık tarihinin en eski mesleklerinden biri olarak kabul edilen mimarlık, temelinde dünya üzerinde bir yapı oluşturma işidir. İnsanlık tarihinin en başından itibaren insanlar, en temel ihtiyaçlarından biri olan barınma ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli mekanlar oluşturmuşlardır. İnsanlar ilk olarak bu ihtiyaçlarını karşılamak için, içgüdüsel olarak davranarak mağara gibi doğal yaşam alanlarını değerlendirip kurgulamışlardır. İnsanlık tarihinin gelişime paralel olarak, ihtiyaçlar ve mekanlar da farklılaşarak kendine özgü disiplinleri ve uzmanlık alanlarını ortaya çıkarmışlardır. İnsanlar bu doğrultuda gerçekleştirdikleri eylemlere yardımcı olabilecek araçları icat etmişler ve böylelikle tüm ihtiyaçları için doğayı ve doğal olanı kullanmak yerine, bir şeyler üretebilecek hale gelmişlerdir. İnsanlar doğayı gözlemleyip, anlamaya ve algılamaya çalışmışlar, en nihayetinde de kendilerince değerlendirerek doğadan ilham alan üretimler yapmaya başlamışlardır.

Mekan tasarlama ve üretme işi olarak mimarlığın kelime kökeni Grekçe şef veya baş (*chief*) anlamındaki “*archi*” ve marangoz, inşa eden anlamlarındaki “*tehton*” kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Aynı zamanda eski İngilizcede bu disiplini tanımlamak için yetkin zanaatkar anlamındaki “*heahcraeftiga*” sözcüğü kullanılmıştır (URL-1). Yani mimarlık kelimesinde üretme her zaman için önemli bir eylem olmuştur.

Geometri ise matematik biliminin bir alanı olarak insanların tamamen soyut kavramlarla dünyadaki bir çok şeyi algılayabilmek için geliştirdikleri bir disiplindir. İnsanlar doğayı anlamaya başlayınca, doğada olan olayların birer kurallar bütününe göre gerçekleştiklerini görmüş ve bu kuralları temsil eden kendi tanımlamalarını geliştirmişlerdir. Matematik soyutlama ve mantığı kullanarak fiziksel objelerin biçimlerini ve hareketlerini saymayı, hesaplamayı ve ölçmeyi mümkün kılar ve böylece gelişir. Tasarımın da soyut dili geometri üzerine kuruludur. Matematiksel yapılar gerçek fenomenleri iyi modelize ettiklerinde matematiksel düşünce doğa hakkında tahmin yürütmemizi ve onun iç yüzünü anlamamızı sağlayabilir (URL-2). Galileo’ya göre *kainat dediğimiz kitap, yazıldığı dil ve harfler öğrenilmedikçe*

anlaşılabilir. O, matematik dilinde yazılmış; harfleri üçgen, daire ve diğer geometrik şekillerdir. Bu dil ve harfler olmaksızın kitabın bir tek sözcüğünü anlamaya olanak yoktur. Bunlar olmaksızın yapılan karanlık bir labirentte amaçsızca dolaşmaktır (URL-3). Colding ve Minicozzi'ye (2006) göre ise “ne” ve “neden” sorularını cevaplandırmak insanların içinde yaşadıkları dünyayı anlamalarına yardım eder. Doğal objelerin biçimlerini anlayabilmek için sorulacak herhangi bir soru ise matematik içermek zorundadır.

Bu bölümde mimarlık ve geometri ilişkisinin tarihsel süreç boyunca nasıl ele alındığı ve birbirlerini nasıl etkiledikleri değerlendirilecektir.

2.1 Mimarlık ve Geometri İlişkisi

Geometri, bir mimari yapının formunu oluşturan ve dikkat çeken ilk özelliğidir. Mimari tasarım sürecinde genellikle yöntem olarak başlangıçta formdan yola çıkılmakta, sonra mevcut konstrüksiyona adım adım ulaşılmaktadır (Pottmann, Kilian, ve diğ, 2008)

Ostwald ve Williams (2015b) mimarlığı bir yapı yapma veya inşa edilmiş mimari bir obje yapma pratiği olarak tanımlarlarken, matematiği ise numaralar, şekiller veya formlar gibi tamamen kuramsal objelerle ilişkili olan soyut veya uygulamalı bilgi taşıyıcısı olarak değerlendirmektedirler. Uygulamalı matematik çevremizdeki doğal olayları modelleme ve bu modellerin özelliklerini incelemekle ilgilenirken, soyut matematik aksiyomlar ile belirlenmiş kümeler üzerindeki işlemleri incelemekle ilgilenir (Şiap, 2011). Soyut matematikle uygulamalı matematiği ayıran belirgin bir çizgi yoktur. Soyut matematikteki keşifler sıklıkla pratik matematik uygulamalarının başlatıcısı olurlar (URL-2).

Ostwald ve Williams'ın (2015a) mimarlık ve matematik ilişkisinin kökenlerini araştırdıkları yazılarında, 13. YY.'dan *Bible Moralisee* tablosunu örnek göstererek, bu tablodaki tanrı figürünün aynı zamanda mimar ve geometri uzmanı olarak tanımlanmasını önemli bir veri olarak görmektedirler. Bu bağlamda sadece tanrının gücü ve bilgeliği değil aynı zamanda mimarın kabul edilmiş rolü ve yeteneklerinin de okunmaya değer şeyler olduğunu söylemektedirler. Tanrı figürü, primat bir dünya betimlemesinin üzerine eklenerek elinde bulunan pergelle bu dünyanın ölçülerini ve sınırlarını tanımlaması anlatımıyla, “*Dünyanın mimarı Tanrı*” olarak betimlenmiştir.

Bu başyapıt kültürel olarak kabul edilmiş olan mimarlık ve matematiğin bağlantısının temsidir. Ceccato (2010) ise mimarlık ve geometrinin binlerce yıldır iç içe geçmiş iki olgu olduğundan bahseder. Ona göre bu süreç boyunca mimar ve geometri uzmanı hep aynı kişiler olmuşlardır.

Mimarlık matematik, bilim ve teknoloji, tarih, sanat, felsefe, sosyoloji, siyaset gibi disiplinlerle işbirliği yapan disiplinler arası bir alandır. Bu yüzden mimarlık diğer disiplinlerde olan gelişmelere bağlı kalmış ve tanımı, araçları ve hatta mekanın algısı dahi sürekli olarak yeniden tanımlanmıştır. Sorguç'a (2015) göre bu alanlardaki gelişmelerden mimarlığı en çok etkileyeni, mimarların bir araç olarak kullandığı matematik alanındaki gelişmelerdir.

Tamamen kavramsal gerçeklikte olan matematik ile tamamen var olan bir gerçekliğe sahip mimarlık arasında nasıl bir ilişki olabileceğini sorgulayan Salvadori (2015) mimarlar ve matematikçiler arasında belirli farklar olduğunu söylemektedir. Salvadori'ye (2015) göre mimarlar geometrik anlamda bir üçgenin şekli ile ilgilenirken, matematikçileri heyecanlandıran şey üçgenin iç açılarının toplamının 180° olup olmamasıdır. Fakat bu ayrıma rağmen Salvadori matematiğin ve geometrinin mimarlığın temeli olduğunu ve matematikçiler matematiği icat etmemiş olsalardı mimarların kendi kendilerine icat edeceklerini öne sürmüştür.

Mimarlık ve geometri pratikte, temsilde ve değerlendirmede uzun süreli ve kompleks bir bütün oluşturmuşlardır. Pratik düzeydeki tasarım ve inşa etme süreçlerinde matematik; ölçeklendirmede, süreç oluşturmada, hesaplamalarda kullanılmıştır. Başka bir taraftan mimarlar sayıları ve şekilleri, sosyal ve kültürel olarak kayda değer olan çeşitli temalarda sembolik, metaforik ve semiyotik olarak temsil etme aracı olarak kullanmışlardır (Ostwald ve Williams, 2015b). Paralel bir anlayışta ise mimarlık, geometri ve matematiğin diğer dallarını tasarımcının anlayışını analiz etmek (Stiny, 1980), mekansal hiyerarşileri araştırmak (Hillier, 2007) veya görsel ve fenomenel özellikleri ölçmek için (Benedikt, 1979) kullanmışlardır. Tüm bu örnekler mimarlık ve matematik arasındaki bağlantıların çeşitli türlerini içermektedirler. Bunun gibi tarihsel süreç boyunca mimarlık ve matematiğin dominant ilişkisi tarafından karakterize edilmiş çeşitli periyodlar olmuştur (Ostwald ve Williams, 2015b).

Verner ve Maor (2003) ise matematik ve mimarlık ilişkisini üç farklı yönden ele almışlardır: mimari formların ve objelerin ölçüden bağımsız geometrik analizleri;

mimari tasarım ve sembollerin formal tanımlamaları ve yorumlamaları; tasarım ile yapımda bilimi ve teknolojiyi önemseyen matematiksel arkaplan.

Mimarlar geometriyi genel anlamda ve birbirlerine paralel olan dört farklı biçimde kullanmışlardır. Bunlar:

- Ölçeklendirme ve temsil aracı olarak geometri;
- Oran orantı aracı olarak geometri;
- Analiz ve değerlendirme aracı olarak geometri;
- Form üretim aracı olarak geometri.

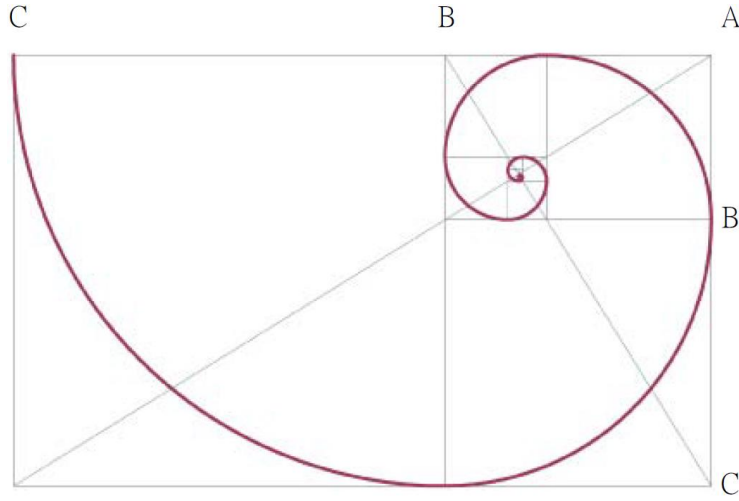
2.1.1 Ölçeklendirme ve temsil aracı olarak geometri

İnsanlar evrimleriyle beraber kendi araçlarını ve sistemlerini oluşturarak kendi ihtiyaçlarına yönelik yeni üretimler yapmışlardır. Fiziksel olarak inşa edilecek bir mimari ürünü uygulamak için de insanlar geometriyi hem üretecekleri ürünün ölçeklendirilmesi amacıyla, hem de o ürünü üretim için temsil etmek amacıyla kullanmışlardır. İngiliz mimar ve teorisyen Robin Evans (1995) kitabında mimari üretimin o günkü temsil teknikleriyle nasıl bağlantılı olduğunu açıklamaktadır. İnsanlar kavramsal olarak ortaya attıkları sayılar ve ölçü birimleri aracılığıyla kendi oluşturdukları bu yeni yöntemleri kullanmış ve birbirleriyle iletişime geçmişlerdir. İlk çağlarda her ne kadar bu ölçeklendirme ve temsiller bireyden bireye göreceli olan karış, ayak, parmak gibi insan uzuvlarından elde edilen temsillerle yapılmış olsa da; yine de burada insanların global ölçekte olmayan bir geometri dili kullandığını söyleyebilmek mümkündür. Ölçeklendirme günümüz mimarlığında da pratik önemini devam ettiriyor olsa da, artık antik dünyadaki gibi kritik bir öneme sahip değildir (Ostwald ve Williams, 2015b).

2.1.2 Oran - Orantı aracı olarak geometri

Bütüncül bir mimari tasarımda, bir çok alt birimi hiyerarşik ilişkilere ve insan ölçeğine göre tasarlayan mimarlar için belki de en önemli tasarlama konularından biri oran, orantı ve kompozisyon olmuştur. Mimari tasarımda kompozisyon, sanatın diğer dallarında olduğu gibi estetik açıdan da önemli bir girdidir. Bu yüzden mimarlar ve sanatçılar, tasarımların ihtiyaçlarına ve estetik anlayışlarına göre geometrik kurallarla tanımladıkları kompozisyon teknikleri geliştirmişlerdir.

Tarihten günümüze neredeyse bütün çağlarda oran-orantı belirli amaçlar doğrultusunda geliştirilmiş ve kılavuz olarak kullanılmıştır. Antik Yunan’da altın oran veya altın dikdörtgen mimari planlamalarda birincil kılavuz olarak kullanılmıştır (Şekil 2.1). İslam mimarlığında ise $1: \pi$ oranı kullanılarak kesitlerde ve planlarda yapıların organizasyonları yapılmıştır. Hindistan ve Mısır’da ise evrensel harmoniyi anlamak üzere yıldızların ve gezegenlerin hareketlerini bir sisteme dökmek için komplike matematik modelleri kullanılmıştır. Rönesans mimarlığında simetri, projeksiyon ve perspektif gibi daha gelişmiş yöntemler kullanılmıştır. Modern mimari zamanlarında ise LeCorbusier, Vitruvius, Leonardo Da Vinci ve Alberti gibi bilim adamlarının orantı çalışmalarını geliştirerek insan ölçülerini temel aldığı *Le Modulor* tekniğini geliştirmiştir.



Şekil 2.1 : Altın oran ve altın dikdörtgen $AB:BC=AC:BC= 1:1.618$ (URL-4)

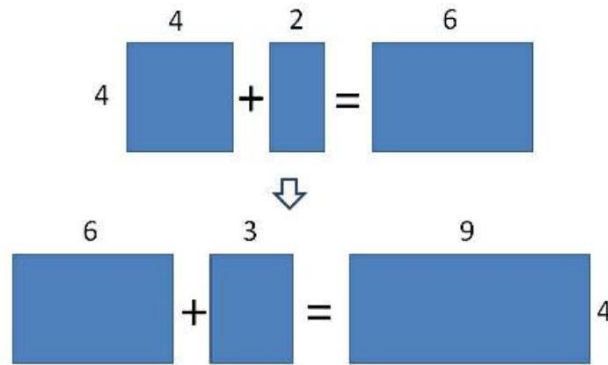
Antik Yunan ve Roma çağlarında mimarlar, şekillerin ve numaraların kombinasyonlarını tekrarlı şekilde kullanarak ruhsal ve kozmik temaları anımsatmaya çalışmışlardır. İnsan bedeninin belirli geometrik oranlar gösterdiğini söyleyen Vitruvius’a göre, bu oranları kullanarak üretilen bir mimari yapı, ilahi evrenin bir mikrokozmosunu temsil edecektir (Ostwald ve Williams, 2015b).

Eğitimli bir mimarın aritmetik ve geometri bilmesinin zorunlu olduğunu belirten Vitruvius “*Mimarlık Üzerine On Kitap*” eserinde simetrinin ve oranların öneminden bahsetmektedir. Onun oluşturduğu bu mimari dilde simetri tasarımın harmonisini oluştururken, oranlar yapıdaki farklı bölümlerin ilişkilerini düzenler. Vitruvius’a göre doğa ve insan bedeninin oranları mükemmel binaların kaynağıdır. Doğa ve insan bedeni genellemeleri doğrultusunda mimarlık nesnesi orantı, simetri gibi sayısal nitelikleri üzerinde taşıyan matematiksel bir biçim olarak varolur (Vitruvius, 1990).

Vitruvius'un mükemmel bina tanımı ile Platon'un 'kozmosun harmonisi, sanatın harmonisini oluşturur, sanatın form güzelliği de orantıdan gelir' anlayışı birbirine paraleldir. Doğa, insan vücudunun organlarını çerçevenin tümüne oranlanacak şekilde yarattığından mükemmel binalar da bu düzen içinde olmalıdır. Kozmos düzeni, insan bedeni ve doğa üzerinden sayılarla, matematiksel ve geometrik olarak belirlenir (Ersal, 2013).

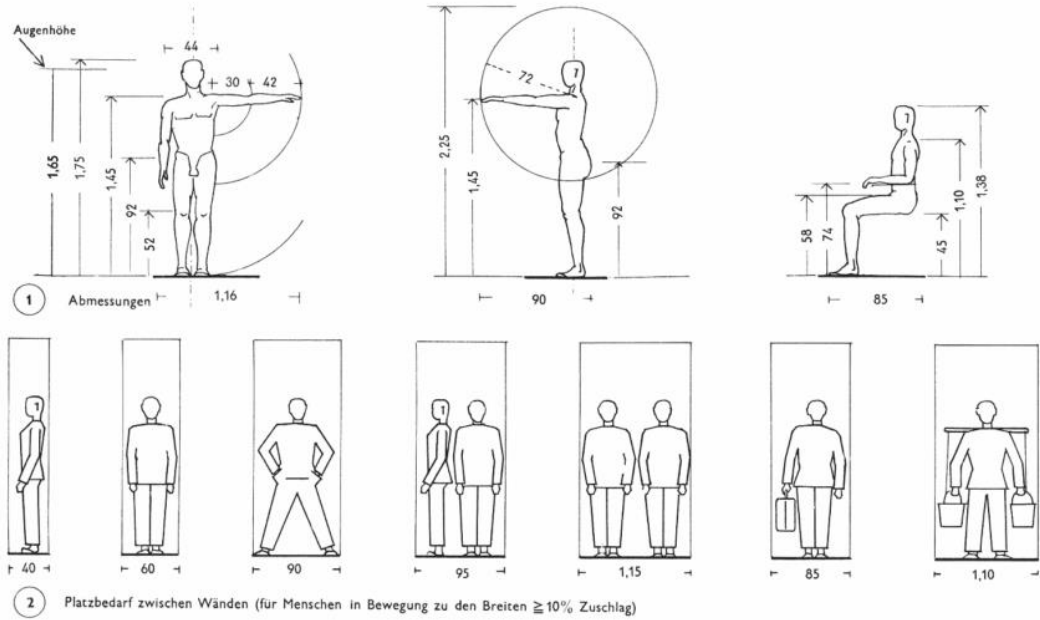
Rönesans döneminde altın oran, insan vücudu oranları ve müzik oranları üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar mimarlık ve resim gibi sanat dallarında rehber olarak kullanılmıştır. Vitruvius tarafından tanımlanan ideal oranlar, orantıya dayalı sistemler, Rönesans dönemi sanat çalışmaları için etkili olmuştur. Rönesans sanatçılarından Leonardo da Vinci, Vitruvius'un yolundan giderek ideal Vitruvius insanı çizimini yapmıştır. İdeal insan bedeninden yola çıkarak ideal oran ilişkileri ve ideal formlar üzerine çalışmıştır. Ayrıca bu dönemde Vinci ile çalışan matematikçi Luca Pacioli'nin de çalışmalarının önemli kısmı altın oran üzerine olmuştur.

Vitruvius'un çalışmalarından etkilenen ve üzerinde çalışan Alberti geliştirdiği oran ve orantıya dayalı yeni formüllerle, bu konuyu daha ileri boyutlara taşıyarak, mimariyi oran ve orantı üzerine kurulmuş bir matematik bilimi olarak tanımlamıştır. Ayrıca Alberti müzikteki oranların mimarlar için basit tasarım oranları olarak kullanılabileceğini belirtmiştir (Frings, 2002). Alberti müzik harmonisinde var olan 1:2, 2:3 ve 3:4 gibi oranları daha da geliştirerek oluşturduğu yöntemi mimarlığa uyarlamıştır. Bu birincil oranlardan ikincil oran setleri elde etmek için Alberti kendi manüplasyonlarını oluşturmuştur. Mesela bir kareyi alarak, bir kenarı bu karenin kenar uzunluğunun yarısına diğer kenarı tamamına eşit bir dikdörtgeni karenin yanına ekleyerek 2:3 oranlı bir dikdörtgen elde eder. Aynı yöntemi elde ettiği bu dikdörtgene de yaptığı zaman 4:9 oranında başka bir dikdörtgen elde eder (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 : Alberti'nin oran seti oluşturma yöntemi (Essley, 2012)

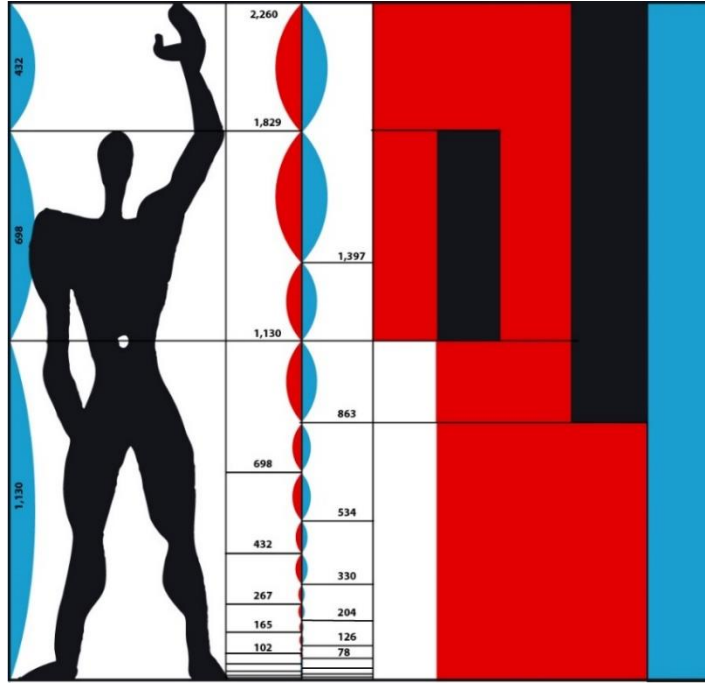
Modern mimarlık zamanlarına geldiğimizde ise Ernst Neufert ve Le Corbusier, altın orandan etkilenecek tasarımda oran-orantı ile ilgili farklı düşünceler geliştirmişlerdir. Altın oranı mimarlıkta oranların temeli olarak alan Neufert, altın oran ile birlikte kendi oluşturduğu ölçü normlarla Antik, Gotik, Rönesans ve Klasisizm ruhuyla mimarlığın kendi içindeki kurallardan oluşacak yeni bir tasarım yöntemi oluşturmuştur (Frings, 2002). Neufert oluşturduğu bu yöntemde ölçüleri, oran ve orantıları pragmatik bir şekilde mimari yapının içine bakarak oluşturmuştur. Neufert'in bu çalışmasının en önemli özelliklerinden biri altın oran dışındaki farklı oransal sistemlerin mimarlıkta kullanılması olmuştur (Şekil 2.3). Neufert her ne kadar estetik kaygıları kendi normlarına göre oluşturmaya çalışmış olsa da, bunun zıttı bir duruma neden olarak fonksiyona ve üretim tekniklerine göre ölçülerin ve oranların kullanıldığı bir tasarlama sistemi ortaya çıkartmıştır (Frings, 2002).



Şekil 2.3 : “Ölçüler ve insanın yerel ihtiyaçları” (Neufert, 2000)

Modulor Le Corbusier tarafından altın oran ve insan ölçüleri kullanılarak geliştirilmiştir. Le Corbusier daha önce Yunan matematikçiler tarafından kullanılan altın oranı, matematik serilere adapte etmek ve bir binanın tasarımında farklı ölçüleri tanımlamak için geliştirmiştir. Bu sistemde ortalama insan boyu 183 cm olarak kabul edilmiş ve bu ölçü Fibonacci dizisinde başlangıç ölçülerden biri olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada insan boyu olarak kabul edilen ve 183 cm'den başlayan ölçü sistemine "Kırmızı Seri (Rouge)" ve kolunu kaldırmış insan boyutu olan 226 cm'den başlayan ölçü sistemine "Mavi Seri (Bleu)" ismi verilmiştir. Le Corbusier Modulor'u “insan

ölçeğine uyumlu, evrensel bir ölçüm” olma iddiasıyla ortaya koymuştur. Modulator, metrik standartların ve inç(foot) sisteminin yerini almak gibi son derece büyük bir iddia üzerine kuruludur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Le Corbusier'in Modulator yöntemi (Le Corbusier, 1961)

2.1.3 Analiz ve değerlendirme aracı olarak geometri

Mimarlar hem tasarım aşamasında hem de sonuç ürünün üretilmesinde bir çok analiz ve değerlendirme yapmaktadır. Tasarım aşamasında, özellikle artan algoritmik tasarım yöntemleriyle birlikte, yapılan matematiksel ve geometrik analizler bilgisayar tarafından değerlendirilerek mimara karar destek sistemi olarak kullanımına olanak sağlayan önemli bir tasarım girdisi haline gelmiştir.

Sonuç ürünlerde ise her ne kadar mimarlık özellikle analiz süreçleri açısından disiplinlere ayrılmış olsa da (Kolarevic 2003), mimarların yaptıkları tasarımları çeşitli etmenlere (strüktür, güneş, rüzgar vb.) göre analiz etmeye devam ettikleri görülmektedir.

Mimari tasarıma parametre oluşturabilecek strüktür temelli yeni olanakların keşfedilmesiyle, matematik mimarlıkta oran ya da form yaratmak dışında, disiplinler arası bilgilerin mühendis ve mimarın birlikte anlayabileceği, düşünebileceği bilgisayar simülasyonları vasıtasıyla birçok verinin tasarım parametresi olarak işlenebildiği tasarım süreçlerine ve bu süreçlerin işaret ettiği yapılara dönüşür. (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2013)

2.1.4 Form üretim aracı olarak geometri

Mimarlıkta bulunan estetik kaygı ve düşünce mimariyi her zaman formlar olarak araştırmaya ve üretmeye zorlamıştır. İnsanlar ilk başlarda sadece inşa edebildikleri formları üretirken, zamanla çeşitli mimari süreçlerle değişik formlar üretmeyi denemişlerdir. Özellikle Öklid geometrisi etkisinde mimari ürünler çoğunlukla düzlemsel geometri ile üretilmiş formlardan türetilmişlerdir. Fakat gelişen yöntemler ve hasaplamalı tasarım anlayışıyla birlikte matematik araştırmaları olan topolojik geometri, diferansiyel geometri, cebirsel geometri, fraktal geometri gibi farklı geometrik anlayışların mimariyi etkilemesi sonucunda düzlemsel geometri üretiminden daha farklı formlar ile tasarımlar yapılmaya başlanmıştır.

Öklidyen geometri ile üretilen formlarda mimarlar matematiği kompozisyon amaçlı kullanmışlardır. Oysa geometri biliminin kuramsal biçimleri de mimari formlar açısından değerlendirilebilir. Fransız Aydınlanması zamanlarında mimarlar tasarımlarını daha bilimsel ve felsefi bir bağlama oturtmak için küre, koni ve küplerden oluşan heykelsi geometrik cisimlerle tasarlamışlardır. 20. yy. başlangıcından itibaren Dekonstrüktivist harekete katkıda bulunan mimarlar, Öklidyen olmayan geometriyi kullanarak geometri biliminin kuramsal biçimlerini ilham alarak formlar üretmişlerdir. Hem mimari formun biçiminde geometrinin kullanılması hem de kompozisyon amaçlı kullanımlar (oran, orantı, simetri) matematik ve geometrinin mimarlık tarihinde önemli bir rolü olduğunu göstermektedir (Sorguç, 2015).

2.2 Geometri Yöntemleri

Öklidyen geometri uzun yıllar boyunca geometride kesinliği tartışılmayan bir geometri yöntemi olmuştur. Öklidyen geometrinin bu önemine karşılık Öklidyen olmayan geometriler ise özellikle bilgisayar teknolojisi ile birlikte gelişen ve bir çok bilgisayar yazılımının temelini oluşturan geometri sistemleri olmuştur.

2.2.1 Öklidyen geometri

Öklidyen geometri, Öklid tarafından MÖ. 300 yılında hazırlanan Elementler çalışmasında düzlemsel geometrinin aksiyomlarını belirtmesiyle ortaya çıkmıştır. Öklidyen geometri düzlemsel bir uzay geometrisidir. Öklid'in çalışmalarının 2 özelliği vardır:

- Öklid, uzayı sezgi ve fiziksel olayların formu olarak tanımlamıştır.
- Öklid, mantığı soyutlayarak mantık konusundaki ilk büyük çalışmayı yapmıştır.

Tarih boyunca Öklid'in Elementleri geometrinin temel kılavuzlarından biri olmuş ve hatta tüm bilim alanlarında çalışmak için temel seviyede Öklid bilgisi gerekmiştir (Hartshorne, 2000).

Öklidyen geometrinin varsayımları ise şu şekildedir:

- Herhangi iki nokta arasına, bir doğru çizilebilir.
- Doğru, doğrusal olarak sonsuza kadar uzatılabilir.
- Bir noktaya eşit uzaklıkta bulunan noktaların geometrik yeri çemberdir.
- Bütün dik açılar birbirine eşittir.
- Bir doğruya dışındaki bir noktadan yalnızca tek bir paralel çizilebilir.

Öklidyen geometrinin kurallarından, Pisagor Teoremi gibi bir çok ünlü teorem ile tirigonometrideki kosinüs kuralı gibi bir çok teorem bulunarak, Öklid geometri temsili geliştirilmiştir.

2.2.2 Öklidyen olmayan geometri

Düzlemsel bir uzay yerine silindir veya küre bir uzay düşündüğümüzde Öklid'in teoremleri ile farklılıklar elde etmekteyiz. Mesele bir silindir yüzeyi uzayımız olarak ele alırsak, bu yüzey üzerindeki iki nokta arasındaki en kısa yol artık doğrusal bir çizgi olamayacaktır. Bir lastiği bu iki nokta arasında ve bu düzlem üzerinde gererse, lastiğin son hali bu iki nokta arasındaki en kısa mesafeli eğri olacaktır. Böyle eğrilere minimal jeodezik denmektedir (URL-5).

Öklid'in aksiyomları ve kurduğu geometri 17. Ve 18. YY.'a kadar kesin hakimiyetini sürdürmüş ve bu yıllarda R. Descartes, Monge, Pascal ve Poncelet'in oluşturduğu cebirsel, analitik, tasarı ve izdüşümsel geometriler de Öklitçi temellere dayanmıştır. Öklid'in *“bir doğruya dışındaki bir noktadan yalnızca tek bir paralel çizilebilir.”* dediği beşinci aksiyomu 19.YY. başlarında matematikçiler arasında büyük tartışma kaynağı olmuş ve yeni geometrilerin kurulmasına ilham vermiştir (URL-6). Öklid'in beşinci aksiyomu sağlamayan ama diğer aksiyomları sağlayan geometrilere Öklidyen olmayan geometriler denir.

Öklid'in beşinci aksiyomu üzerine olan tartışmalarla birlikte bazı bilim adamları bu aksiyomun yanlış olduğunu varsayarak yerine başka aksiyom veya aksiyomlar yerleştirerek ilginç özellikleri olan yeni geometriler kurmaya başlamışlardır. Rus matematikçi Nikolai Lobachevsky (1793-1856) ve Macar matematikçi János Bolyai (1802-1860) birbirlerinden bağımsız olarak Hiperbolik Geometriyi buldular. Hiperbolik geometride bir *doğrunun* düz olması gerekmez ve paralel doğrular kesişmemelerine rağmen asimptot oldukları için birbirlerinden eşit uzaklıkta kalmaz (URL-6). Ayrıca bu dönemde Carl Friedrich Gauss'da Lobachevsky ve Bolyai gibi Öklid'in 5. aksiyomunu bir başkası ile değiştirerek Öklidyen olmayan geometri çalışmalarına önemli katkılar yapmıştır.

1854'te Alman matematikçi G.F. Bernhard Riemann 5. aksiyomun tersini kabul etmiş ve “*Bir noktadan dışındaki bir doğruya hiç bir paralel doğru çizilemez*” ve “*bir doğru sınırsızdır ama sonsuz değildir*” şeklindeki yeni aksiyomlarıyla küresel ya da Eliptik Geometriyi kurdu. Eliptik geometride tüm doğrular iki noktada kesişen büyük çemberlerdir. Bu yüzden hiç bir doğru paralel değildir. Riemann'ın kurduğu bu eliptik geometri geliştirdiği n-boyutlu eğri uzay kavramı ve bulduğu “*iki nokta arasındaki uzaklığı tanımlamanın bir geometri kurmak için yeterli olduğu*” gerçeği ile geometride yeni bir dönüm noktası olmuştur.

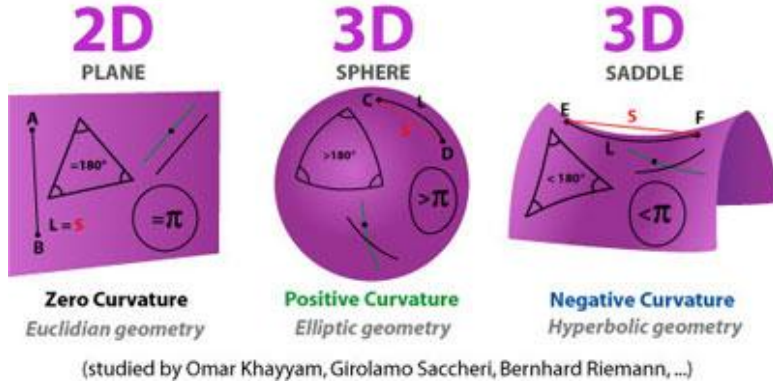
2.2.3 Düzlemsel geometri ve uzaysal geometri

Geometri ile ilgili ismi en çok anılan bilim adamlarından biri olan Öklid'in öne sürdüğü aksiyomlar her ne kadar doğada olan şeyleri anlamlandırmak ve bir sistem altında yorumlamaya yaradıysa da Öklid'in ortaya attığı geometri aksiyomları içinde bulunduğumuz uzayın kuralları açısından görece geçerli değildir.

Salvadori (2015) Öklid'in bahsettiği sonsuz doğrunun gerçek dünyada var olmadığını ve dünya üzerinde bir çizgi çizmeye başladığımızda bir çember tanımlayacağımızı söylemektedir. Öklid'in tanımladıkları ise aslında tamamen soyut matematik ve geometrinin ürünleri olmuşlardır. Benzer şekilde bir Öklidyen tanımıyla bir üçgenin iç açıları toplamı 180° 'dir. Fakat uzay geometrisinde bir gezegen üzerinde çizilecek bir üçgenin iç açıları toplamı 180° 'den büyük olabilir (Şekil 2.5).

Modern geometrinin gelişimini sağlayan Öklidyen olmayan geometriler, uzaysal mekanın eğrisel ve çok boyutlu oluşları ana fikirleri üzerinde gelişen geometrilerdir (Kolarevic, 2003).

DIFFERENT TYPE OF GEOMETRIES



Şekil 2.5 : Geometri çeşitleri (URL-7)

Uzay geometrisinin en önemli bilim adamlarından olan Riemann'ın oluşturduğu geometri temsili, Einstein'ın da ilgisini çekmiş ve Einstein kendi teoremlerinde kullandığı geometriyi anlatmaya yakın bir temsil olarak görmüştür. Salvadori'ye (2015) göre Riemann geometrisi olmasaydı Einstein'ın Genel Görelilik Teorisi'de geliştirilemezdi; çünkü Einstein "daha gerçek" gibi gözüken Öklid geometrisinin ispatlayamayacağı gizemleri Riemann geometrisi ile ispatlamıştır. Ayrıca Riemann geometrisi ile Genel Görelilik kuramı arasındaki uyum, başlangıçta yararsız bulunan Öklidyen olmayan geometrilerin önemsenmesinin ilk adımını oluşturur. Daha sonra Hilbert'in sonsuz boyutlu metrik geometrisinin, atom kuramının matematiksel yapısını açıklayabileceğinin ortaya çıkmasıyla Öklidyen olmayan geometrilerin önemi daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır (URL-6).

Dünyaya yakın konumlarda evren 3 boyutlu bir uzay olarak tanımlanabilirken, büyük yıldızlar ve kara delikler seviyesinde uzay kıvrımlı ve bükülmüştür (URL-5). Aralarında çok sayıda minimal jeodezik olan bir çok çift nokta vardır. Hubble Teleskobu aralarında birden fazla minimal jeodezik olan noktalar ile bu noktalara göre teleskobun kendisinin nerede konumlandığını bulan bir icattır. Uzayın ne kadar kıvrıldığı Riemann Geometrisindeki teoremler ve astronomların yaptığı ölçülerle tahmin edilebilmektedir. Fizikçiler uzayın bu kıvrımının, Einstein denklemi olarak adlandırılan diferansiyel denkleme göre hesaplanabilen yıldızlar etrafında oluşan yerçekim alanına bağlı olduğunu düşünmektedirler.

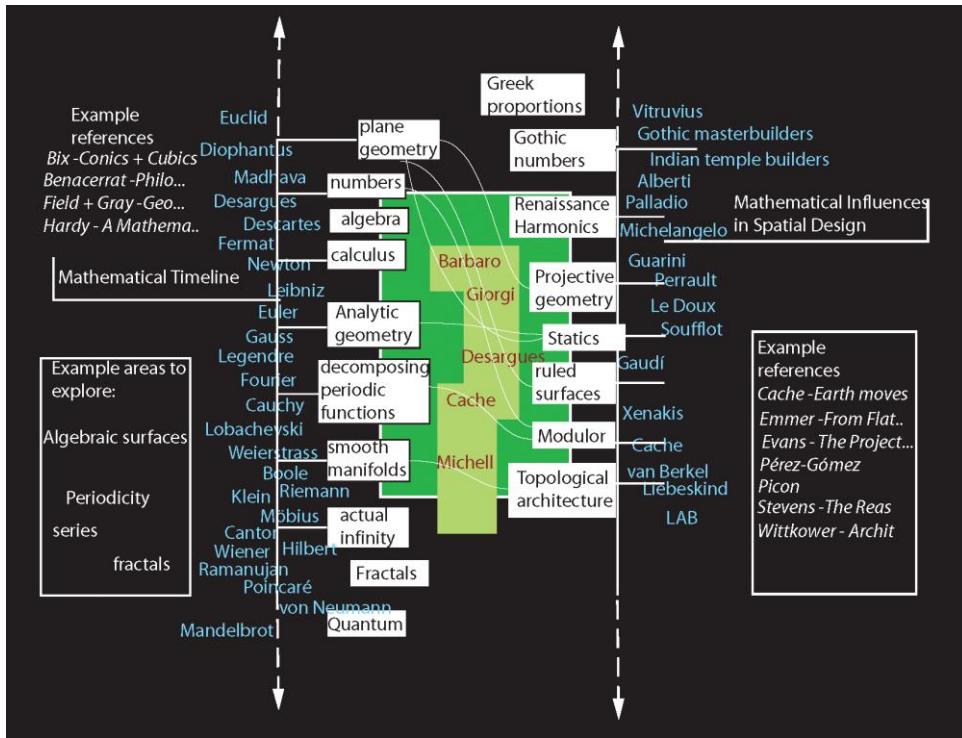
3. HESAPLAMALI GEOMETRİ VE HESAPLAMALI MİMARLIK

Hesaplamalı araştırmalar günümüzde en temel bilimlerden en özel konulara kadar bütün çalışma alanlarına girmiş ve bu alanlarda yeni bulguların ortaya çıkmasını ve araştırmaların hızlanmasını sağlamıştır. Çalışma konularının ve çözümlerinin merkezinde hesaplama olan matematik ve geometri bilimleri ise belki de bu durumdan en çok etkilenen araştırma alanlarıdır. Çizimlerle ve sayılarla çözülmeye çalışılarak geliştirilen geometri, hem hesaplama hızının artması hem de bilgisayar grafikleri sayesinde artık hesaplamalı araştırma yöntemleriyle araştırılan ve geliştirilen bir dal olmuştur.

Bilgisayar bilimlerinin bir dalı olarak kabul edilen hesaplamalı geometri, geometri terimleriyle açıklanan algoritmaların çalışılmasına ve çözümlenmesine adanmış bir çalışma alanıdır. Günümüzde saf geometrik problemlerin bazıları hesaplamalı geometri algoritmalarındaki çalışmalardan doğmuştur (URL-8). Hesaplamalı geometri başta bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar grafikleri, robotik gibi bir çok çalışma alanında çalışılan bir konu haline gelmiştir (Preparata ve Shamos, 1985). Hesaplamalı mimarlık alanındaki araştırmalar da hesaplamalı geometri yöntemleri ile iç içe geçen ve onun üzerine gelişen bir mimari araştırma alanı olmuştur.

Öklid döneminde mimarlık ve matematiğin tuhaf bir çift olduğunu belirten Hırvat matematikçi ve tarihçi Nagy (2001), bilgisayar destekli mimari tasarımın bu ikili ilişkide yeni bir dönem açtığını söylemektedir. Mimarların hem ihtiyaç duydukları yazılımları geliştirebiliyor olması hem de bunları kullanmak için gereken matematik bilgisinin artması ile bu ilişki anlam kazanmaktadır. Bilgisayarın yaptığı işler bu kadar önem kazanmaya başlamışken, akla ilk gelen sorulardan biri bilgisayarın mimarların ve matematikçilerin yaptıkları işlerin yerine geçip geçmeyeceğidir. Nagy (2001) bu soruya değindiği çalışmasında, bilgisayarın alternatif üretmede ve bir fonksiyonun integralini hesaplamada hızlı olduklarını; yine de yeni algoritmalar ve metodolojiler geliştiren kişilerle, bunları yaratıcı bir şekilde kullanan ve aynı zamanda yeni uğraşlar çıkarabilecek kişilere ihtiyaç duyulduğunu söylemektedir. Bu yüzden matematikçiler ve mimarlar arasında iki yönlü yeni bir ortaklık kurulmalıdır.

Formun kendisinin bir geçmiş ve bellek olduğunu ve dolayısıyla formun mimarlık pratiğinin tarihsel sürecinin temellerinden biri olduğunu belirten Leyton (2006) geometride ortaya çıkan yeni buluşların, aynı şekilde mimarlıkta da yeni buluşlar anlamına geldiğini söylemektedir. Pottmann ve diğ. (2007) ise bu düşünceye paralel şekilde, mimarlıktan elde edilmiş geometrik problemler geometri işlemede, bilgisayar destekli geometrik tasarımda ve ayrık diferansiyel geometride ilginç araştırmalara öncülük edebilir nitelikte olduğunu belirtmektedirler. Yani geometri ve mimarlık iki taraflı bir şekilde birbirlerinden beslenen, birbirlerini besleyen iki çalışma alanıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Matematik ve Mimarlık arasındaki etkileşim diyagramı (Burry, 2011)

Hesaplama teknolojilerinin mimarlığa getirdiği katkılardan bir diğeri de mimari tasarımları temsil edebilme gücünü arttırmış olmasıdır. Mimarlık eğitiminde temsil aracı olarak geometri ile bilgisayar teknolojisi arasındaki ilişkinin mimarlık eğitimindeki yansımalarının değerlendirildiği tartışmada (Tafteberg Jakobsen ve Matthiasen, 2014), Federico Fallavollita mimari projelerin temsilinde bilgisayarın cetvel ve pergeli gibi bir araç olduğunu, fakat 1980'lere kadar sadece cetvel ve pergeli gibi araçların kullanıldığını dikkat çekerek, bilgisayar ile yapılacakların nelere önderlik edeceğinin belirli olmadığından bahseder. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler mimarlığın temsilinde, eğitiminde ve bilgisinde yeni gelişmeler yaratacaktır.

3.1 Mimari Form Üretiminde Geometri Türleri

Mimari ürünleri en belirgin kılan özelliklerinden biri formdur. Bu yüzden mimarlık tarihi boyunca mimari araştırmaların önemli bir bölümünü form üretimleri oluşturmuştur. Geometri bir mimari projenin tasarlanmasında ve gerçekleştirilmesinde anahtar rol oynamıştır. Yapıları üretebilmek ve tasarlamak için geometrinin form bilgisine ve temsil gücüne ihtiyaç duyulmuştur.

Hesaplamalı teknolojiler ile mimarlar farklı geometri bilgilerini kullanabilir olmaya ve bu bilgiler doğrultusunda tasarımlar yapabilmeye başlamışlardır. Mekânın üç boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde kurgulanmış Öklidyen bir boşluk olduğu fikri modernizmde egemen bir kavramdır. Modernizm sonrası bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinin gelişmesi mekanların sadece Öklidyen geometrisine ait bilgilerle şekillenen tasarımlar olduğu düşüncesini değiştirmeye başlamıştır. Mimarlar artık düzlemsel geometriler dışında topolojik geometri, cebirsel geometri, fraktal geometri, difreansiyel geometri gibi bilgilerle farklı geometrileri de tasarımlarında kullanmaya başlamıştır. Saunders'a (2009) göre eğri yüzeylerin hesaplanması gibi teknik gelişmeler ile bu tarz geometrilerin modellemelerini oluşturan arayüzlerin ulaşılabilirliği mimarları iki boyutlu ortagonal mantıktan kurtarmıştır.

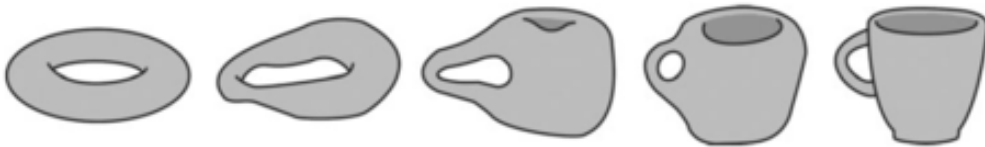
Ceccato (2010) mimarlık firmalarının kompleks geometrilere olan ilgilerinin artmasını, daha önceleri karşılanması mümkün olmayan ve zahmetli estetik ve performans kriterlerinin bu tarz geometrilerle ulaşılabilir hale gelmesinden olduğunu söylemektedir. Mimarlar çağın şartları doğrultusunda modernizmin belirlediği formların sınırları ve gelenekselleşmiş endüstriyel üretim metodlarının sınırlarını zorlamalıdır. Bunu sağlamak için de mimarlar, gelişmiş dijital tasarım araçlarını kullanarak geometrik formların sınırlarını araştırıp geliştirmeye çalışmaktadırlar. Foster and Partners'taki "*Specialist Modeling Group*" ya da Zaha Hadid Architects'teki "*CODE*" gibi çalışma grupları mimarlık ofislerinin kendi bünyesinde geometriye hakim, hesaplamalı tasarım bilgisine sahip mimarlardan oluşan uzman gruplar bu nedenlerle ortaya çıkmaya ve çalışmalarını ortaya koymaya başlamışlardır.

Barczik ve diğ. (2009) bilgisayarlı tasarımların heykelsi olanakları dolayısıyla bizi daha eğlenceli ve şaşırtıcı şekillere ulaştırabileceğinden bahsederken, bu yüzeylerin sadece estetik problemler değil, aynı zamanda geometri, mühendislik ve üretim problemleri üreteceğini belirtmektedir. Ceccato bu problemlerin çözülmesi için

ARUP'taki *Advanced Geometry Unit* ve Viyana'daki *Evolute* takımı gibi geometrik ve matematiksel danışmanlıklar veren firmalar ortaya çıktığını söylemektedir. Bu firmalar ile mimarlık ofislerinin uygun şartlar altında yaptıkları iş birlikleri çarpıcı sonuçlar ortaya çıkartmıştır. Akademik araştırmalar da uygulamacılarla akademisyenler (özellikle bilgisayar bilimcileri ve matematikçiler) arasındaki gerekli diyalogu kurarak bu alanın gelişmesinde eşit derecede katkı sağlamışlardır (Ceccato, 2010).

3.1.1 Topolojik geometri

Geometriyi kesin sayılar ve kesin şekillerle değil, ilişkilerle tanımlayan topolojik geometri form üretiminde giderek önem kazanan geometri sistemlerinden biri olmuştur. Öklid geometrisinde bir objeyi herhangi bir doğrultuda hareket ettirebilir, döndürebilir ya da ters çevirebilirsiniz; fakat bu objeleri uzatıp bükemezsiniz. Buna geometride kongürans ya da tıpatıplık denir (URL-9). Rönesans döneminde geliştirilen Tasarı Geometride ise iki geometri çizimi eğer aynı cismin farklı görünüşleri ise aynı olarak kabul edilmiştir. Mesela masanın üzerinde duran bir tabağa masaya dik bir konumda tepeden baktığımızda bu tabağı tam bir çember olarak görüyorken, masaya açılı bir konumda baktığımızda tabak eliptik bir form olarak gözükmetedir. Çember ile elips tasarı geometri bakımından eşittir. Topolojik geometride ise peşi sıra geri alınabilen devamlı değişiklikler, objenin ilk hali ile son hali arasındaki eşitliği bozmaz. Yani bir çemberde köşe oluşturmak için çemberin parçaları çekiştirilip, kenarları düzleştirilerek bir kareye veya bir üçgene dönüştürülebilir. Topolojik geometrinin en basit örneklerinden biri de bir kupa ile torus geometrisinin eşitliğidir (Şekil 3.2). Topolojik yapılanmalar genelde “karmaşık” ya da “eğrisel” olarak tanımlanmakta, topoloji eğrisel yüzeylerle eşanlamlı olarak düşünülmektedir. Oysaki bu doğru değildir. Ayrıca topolojik yapılanmaların Öklid-dışı geometrilerle üretildiği yönünde bir yanlış anlayış da vardır (Kolarevic, 2003).



Şekil 3.2 : Torus geometrisi ile kupanın sürekli deformasyonu (URL-10)

Kavurmacioğlu ve Arıdağ'ın (2013) da belirttiği gibi kompleks sistemlerin uzaysal ilişkilerini geometrik olarak tarif etmek bilginin kesinliği yerine göreceliği içinde

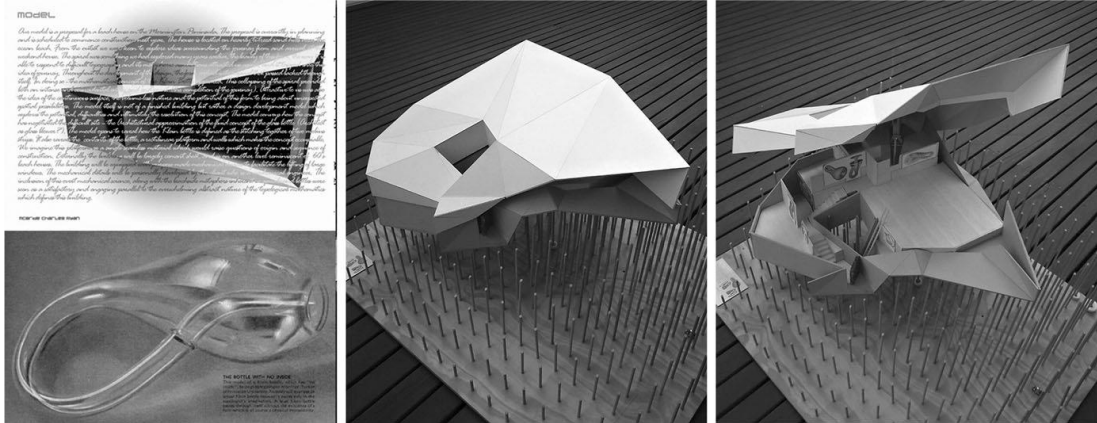
tanımlanmasını, yani topolojiyi gerekli kılar. Topolojik geometride objenin kenar, köşe ve nokta sayısı gibi değerlerine bağlı olarak ilişkisel strüktürler tanımlanmaktadır. Topolojiye dayalı tasarımlarda, biçimsel konfigürasyonlara ait biçimler arasındaki ilişkisel mantığı kurmak esastır. Mantık kurulduktan sonra çeşitli dönüşümlere açık, aynı ilişkisel sistem üzerine kurulu birçok biçimsel alternatifin üretilebilmesi dinamik bir tasarımı mümkün kılmaktadır (Kolarevic, 2003).

Topolojik geometri ilkeleri hesaplamalı tasarım anlayışıyla birlikte mimari tasarımın birden çok alternatifini üretebilmek için önemlidir. Fakat diğer bir yandan topolojik geometride elde edilen matematiksel modeller de mimari tasarımları etkileyebilecek ilham kaynakları olabilir. Topolojik geometrinin en önemli bilim adamlarından olan gökbilimci ve matematikçi August Ferdinand Möbius'un bulduğu Mobius Şeridi, UN Studio'nun tasarladığı "*Mobius House*" projesinde çıkış noktası olarak kullanılmıştır (Şekil 3.3).

Topolojik geometride önemli bir diğer örnek olan Klein Şişesi modelini de McBride Charles Ryan Architects, "*Klein Bottle House*" projesini tasarlarken kullanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 : Mobius Şeridi ve Mobius Evi'nin işlev grafiği (URL-11)



Şekil 3.4 : Klein Şişesi matematiksel konsept modeli ve Klein Bottle House'un maketi (Tepavčević ve Stojaković, 2014)

3.1.2 Cebirsel geometri

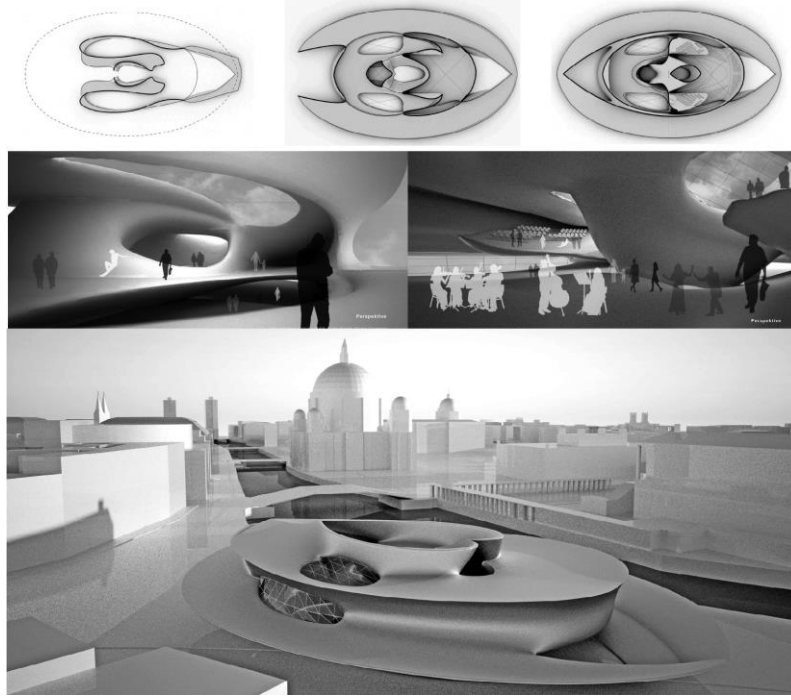
Cebirsel geometri, cebirsel nesneler ile geometrik yaklaşımı biraraya getiren bir matematik dalıdır. Cebirsel geometrinin nesneleri, cebirsel denklemler tarafından belirlenir. Cebirsel geometri ile oluşturulan yüzey geometrileri, farklı derecelerden belirli cebirleri temsil etmektedir. Bu fonksiyonel özellikleri yüzünden cebirsel geometriler oldukça strüktürel, mantıklı, ahenkli ve aynı zamanda geometrik ve topolojik olarak komplekslerdir.

Bir d derecesinde cebirsel yüzey $V(f)$ R^3 üç boyutlu uzayında verli f derecesindeki belirli cebirsel denklemi sağlayan x, y, z bilinmeyenlerinin oluşturduğu bütün noktaların kümesidir:

$$V(f) = \{(x, y, z) \in R^3 \mid f(x, y, z) = 0\}$$

Cebirsel yüzeyler yaklaşık 2 yüzyıldır matematikçiler tarafından çalışılan bir konudur ve aynı zamanlarda modern sanatı ve mimarlığı etkilemiştir. Mimarlar ve sanatçılar matematikçiler tarafından üretilen bu modelleri, matematikçilerle işbirliği yaparak kendi çalışmalarına adapte ederek veya bire bir kopyalayarak tasarımlar yapmışlardır. Matematik ve sanat arasındaki bu fikrîsel bağlantı, cebirsel yüzeylerin iki veya üç boyutlu temsillerinin üretiminde ortaya çıkan teknik zorluklar ve kavramsal engellerden dolayı kısa ömürlü olmuştur. Mimarlar ve sanatçılar matematikçilerin geliştirdiği bu formları anlaşılıp, türetilebilecek değil, özenli bir şekilde tekrar üretiminin yapılabileceği “*cennetten bir yardım*” olarak kabul etmiştir (Barczik, 2010). Ancak bu durum günümüzde var olan araçların bu yüzeyleri görselleştirebilmesi ve standart modelleme araçlarına aktarılacak üç boyutlu modellerini üretebilmeleri sayesinde son bulmuştur. Artık mimarlar ve sanatçılar yeni yazılımlar ve donanımlar aracılığıyla bu yüzeyleri tasarımlarında kullanabilir, heykelsi ve mekansal özelliklerini inceleyebilirler.

Barczik ve diğ. (2009) özgün yazılım araçları sayesinde cebirsel yüzeylerin tasarımda kullanılabildiğini öngörerek, cebirsel geometri ile bulunan özgün formları mimari olarak pavilyon tasarımlarına geliştirecek bir öğrenci çalıştayını düzenlemişlerdir (Şekil-3.5). Çalışmada yazılımlarla cebirsel yüzeyleri görselleştirebilmek ve kullanabilmek yeni bir araç olarak görülmektedir. Bu yüzeylerin doğası ve potansiyelleri çalışılmamış durmaktadır. Grup bu yüzeylerdeki eğrilerin arkitektonik gelişimin başlangıcını oluşturmada uygulanabilir olduğunu düşünmektedir.



Şekil 3.5 : BTU Cottbus’da Nicolas Oevermann’ın cebirsel yüzeyler ile tasarladığı bir yapı (Barczik, 2010)

Bu tarz formların en önemli özelliklerinden biri düzlemsel yüzeyleri olmayışıdır. Eskiden yatay olma durumunun, mimarın kalitesini ve başarısını belirleyen bir özellik olarak düşünüldüğünü belirten Barczik (2012), insanların doğal olan şeylerle insan yapımı olan şeyler arasında bir zıtlık oluşturmaya çalıştığını belirtmiştir. Bu anlayışın temel nedeninin ise, seri üretim çağında düzlemsel geometrilerin oluşturduğu tekdüzelik anlayışının, düzlemsel olmayanların oluşturacağı kaotik duruma yeğlenmesi olduğunu belirtmektedirler. Düzlemsel yüzeylerle oluşturulan duvar ve döşemelerin arasındaki mekanlar, yine seri üretimle üretilen tefrişlerle rahatça donatılabilir. Fakat artık gelişen üretim çeşitleri ve farklılaşma anlayışı ile mimarlar düzlemsel geometriyi kullanmak zorunda değildir. Artık yapı sadece duvarlar ve döşemeler değil; sürekli bir biçimde mekan ayırıcılarından, oturma tefrişlerine, duvarlardan, oyun alanlarına dönüşen bir geometriye sahiptir (Barczik, 2012)

Matematiksel yüzeylerin mantıksal yapısı, bu yüzeylerin statik olarak sağlamlığını arttırmaktadır. Barczik ve diğ.’ne (2009) göre bir bina ne kadar geometrik ise, mesela daha kubik bir görüntüye sahip ise, binanın üretiminde daha fazla geometri bilgisine ihtiyaç duyulacaktır. Tasarımları genelde idiosinkratik bir tasarım dili olarak yanlış algılanan Antoni Gaudi, matematiğe ve özellikle geometriye düşkün bir öğrenciydi. Gaudi stüdyosunda çoğunluğu ikinci dereceden cebirsel yüzeyler kullanılarak üretilmiş bir çok matematik modeli bulundurmıştır.

3.1.3 Fraktal geometri

Fraktal, matematikte çoğunlukla kendine benzeme özelliği gösteren karmaşık geometrik şekillerin ortak adıdır. Fraktal geometrisi 1970’li yıllarda Mandelbrot’un doğadan esinlenerek geliştirdiği ve evrendeki her şeyin Öklidyen geometriyle açıklanamayacağını savunmasıyla birlikte önerdiği üretken bir geometrik düzendir. Mandelbrot önerdiği bu geometrik düzenle bilgisayar destekli tasarım alanındaki birçok çalışmanın temelini hazırlamıştır (Bovill, 2013). Matematiksel etkileri ve tasarım yöntemlerinde değerlendirilmesinin dışında fraktaller fiziksel kimya, fizyoloji ve akışkanlar mekaniği gibi değişik alanlar üzerinde önemli etkiler yaratmıştır (URL-12).

Fraktaller, tüm ölçeklerde kendi içinde tekrar eden örüntüler sergileyen, geometrik kurgulardır. Fraktallere sahip bir yapının kitlesinden iç mekândaki en küçük elamanına kadar yaklaşıldığında “kendine benzer” birçok ayrıntıya ulaşılmaktadır. Fraktal geometriyle, üretilen basit bir biçim tekrar eden algoritmik bir yapıyla sonuçta karmaşık bir yapıya dönüşmektedir (Şekil 3.6). Bu algoritma bir başlangıç durumu ve bu başlangıç durumuna uygulanan bir üretim kuralı ile kendi kendine benzeyen biçimleri üretmektedir (Çağdaş, 1994).

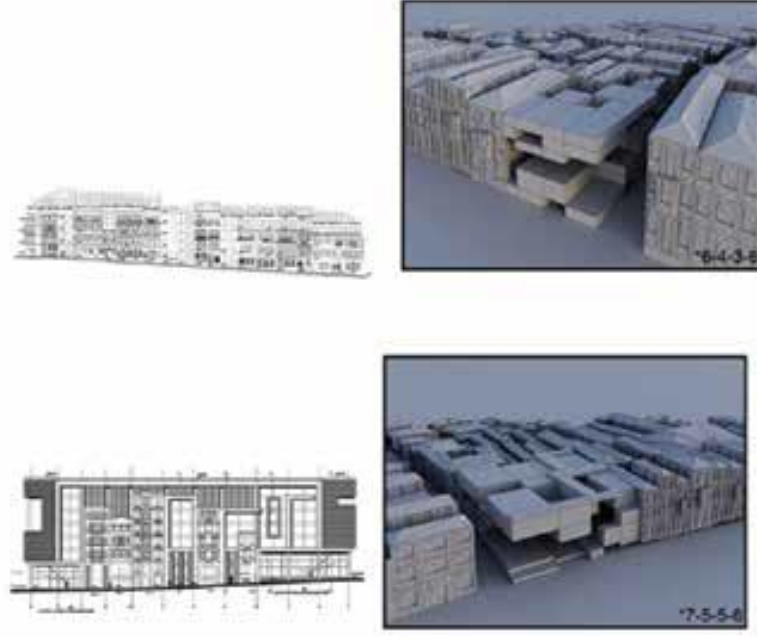


Şekil 3.6 : Dört tekrarlı Koch kar tanesi (URL-13)

Fraktal geometri üretken mimari tasarımda yeni bir yaklaşımı destekleyici yönde kullanılmaya başlanmıştır. Fraktal geometriye dayalı kurgular bilgisayar ortamında çevrimli algoritmalarla temsil edilebilirler ve yüzeylerin ve strüktürlerin oluşturulmasında kullanılırlar (Ediz ve Çağdaş, 2005).

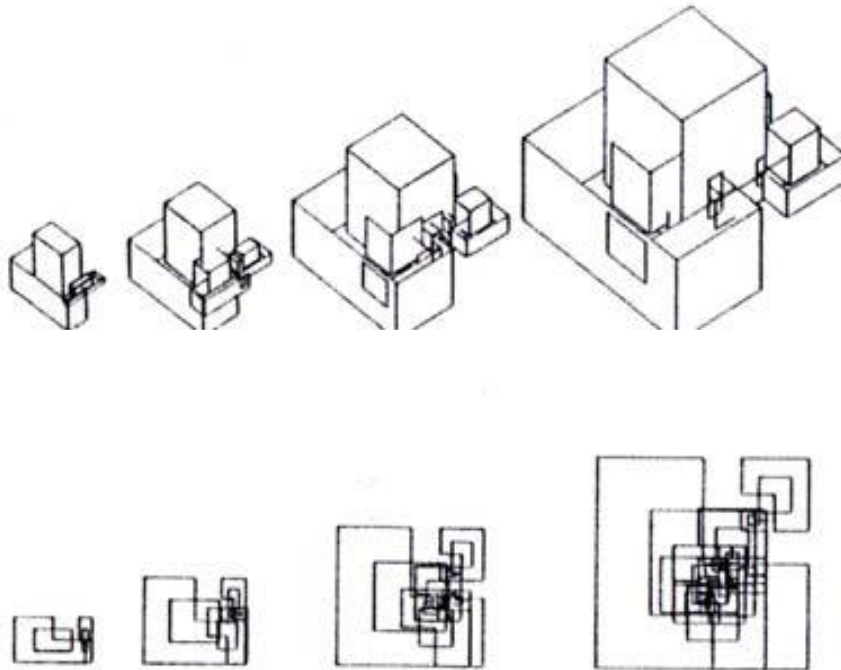
Fraktal geometri kullanılarak elde edilen üretken mimari tasarım yaklaşımları, kentsel ölçekte ve tarihi bağlamı da dikkate alınarak çeşitli çalışma ve araştırmalara konu olmaktadır. Yapılan çalışmalar hem kentsel bağlamın dikkate alınması hem de mekansal sürdürülebilirlik özelliği göstermesi açısından önemlidir. Ediz ve Çağdaş (2007) tarafından, Mardin, Gaziantep, İstanbul: Tarlabası, Kariye ve Beşiktaş gibi farklı yöresel mimari özellikler barındıran alanlara yönelik gerçekleştirilen

Çalışmalarda fraktal geometriye dayalı farklı kitle alternatifleri üretilmeye çalışılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Tarlabası bölgesi için yapılan çalıştayda yapılan kentsel boşlukta fraktal boyut hesabına dayalı kitle üretimi (ağdaş ve diğ., 2015)

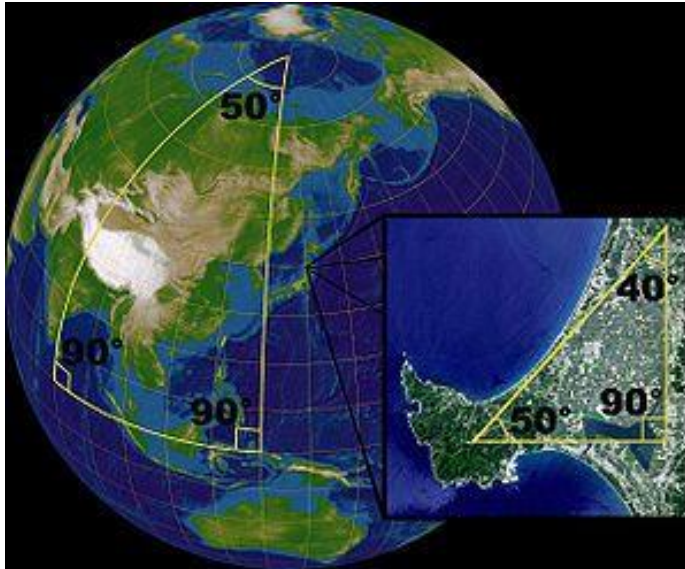
Fraktal geometri mimarlık alanında günümüzde de kullanılmaktadır. Peter Eisenman'ın tasarladığı “Fin d’Out Hou S” konut projesi birbirine benzer geometrik formların üretilmesiyle tasarlanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : “Fin’d Out Hou S” projesi (Schmitt ve Chen, 1991).

3.1.4 Diferansiyel Geometri

Diferansiyel geometri, geometrik problemleri çözmek için diferansiyel ve integral hesabını kullanan bir matematik dalıdır. Üç boyutlu Öklid uzayında düzlem, uzay eğrileri ve yüzeyler teorisi 18. ve 19. yüzyıllarda konunun temellerini oluşturmuştur. 19. yüzyılın sonlarında diferansiyel geometri daha çok diferansiyellenebilir manifoldlar üzerindeki geometrik yapılarla ilgilenmiştir. Manifold ya da katlı genişletilmiş çokluklar, küçük bir ölçekte Öklid uzayına benzeyen matematiksel bir uzaydır (Şekil 3.9). Öklid uzayının boyutu manifoldun da boyutudur. Mesela doğru ve çember bir boyutlu manifoldlar, düzlem ve top yüzeyi iki boyutlu manifoldlardır. Daha teknik bir ifadeyle n boyutlu bir manifoldun her noktasının n boyutlu Öklid uzayına homeomorfik bir komşuluğu vardır (URL-14).



Şekil 3.9 : İki boyutlu bir manifold olarak küçük ölçekte Öklid düzlemi olan Dünya (URL-14).

Diferansiyel geometri bugün özellikle uzay biliminde, uzaklık ölçümleri, çekimsel mercek ve kara deliklerle ilgili çalışmalarının açıklanması gibi konuların hesaplarında kullanılmaktadır. Ayrıca diferansiyel geometri ekonomide ekonometri hesapları, mühendislikte sayısal işaret işleme, kontrol teorisinde doğrusal olmayan kontrol mekanizmalarının analizi, geometrik modelleme ve bilgisayar destekli tasarımda uzay geometrisinin kullanımı gibi özel kullanımlara sahiptir (URL-15). Diferansiyel geometri daha genel olarak dinamik sistemlerin değişimlerinin ölçümünde kullanılır. Mimarlıkta ise diferansiyel geometri hem serbest formlu yüzeylerin tasarlanması ve üretiminde, hem de kinematik mimaride kullanılan bir geometri disiplini olmuştur (Pottmann, Schiftner ve diğ, 2008; Bobenko ve diğ, 2008).

Mimarlık firmalarına özellikle geometri ve üretim konusunda danışmanlık desteği veren Viyana'lı *Evolute* çalışma grubu yaptıkları çalışmalarla mimarlık ve matematiği üretim aşamasında içiçe geçiren bir ekiptir. Ekibe göre kompleks serbest formlu yüzeylerin mimari boyutta üretimi uçak ve araba tasarımı gibi boyuttaki üretimlere göre daha zor bir görevdir. Çünkü mimarlıktaki estetik anlayış, statiklik, ölçek ve üretim teknolojileri bu probleme başka bir boyut kazandırmaktadır. Metale biçim vermek araba gövdesi oluşturmada makul bir sonuç üretebilirken, bir mimari tasarımda karmaşık bir geometrinin nasıl üretileceği daha belirsiz bir durumdur. Bu yüzden bu üretimi yapabilmek için birilerinin bu formu *panel* olarak adlandırdıkları daha küçük parçalara ayırması gerekmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar geometri ve hesaplamalı matematiğin kullanılması, serbest formlu mimarinin gelişmesinde önemli bir potansiyeli karşıladığını göstermektedir. Bu yüzden diferansiyel geometri, hesaplamalı matematik ve mimari tasarım/mühendislik alanlarının arakesitinde *Mimari Geometri* diye bir çalışma alanı doğmaktadır. Serbest formu üretmek için gereken düzlemsel dörtgen paneller ve destek kirişlerin düzeninin optimizasyonu *ayrık diferansiyel geometrideki* metodlarla elde edilebilir (Pottmann, Schiftner, ve diğ, 2008).

Ayrık diferansiyel geometri ve kinematik mimari üzerinde araştırmalar yapan Bobenko ve diğ. (2008) mimaride cam ve metal panellerle iki boyutlu strüktürlerin fabrikasyonunun yapılmasının genel bir kullanıma sahip olduğunu söylemektedir. Oysa hareket edebilen strüktürlerin inşası modern mimarlıkta önemli bir eğilim oluşturmaktadır. Bobenko ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada mimari tasarımlarda gerçek uygulamalarında kullanımı amacıyla çokyüzlülerde sonlu deformasyon teorilerini geliştirmeye çalışmışlardır. Ekip bilhassa düzlemsel dörtgen panellerden oluşan çokyüzlülerin deformasyonunu analiz ederek, modern mimarlığın strüktürel, ekonomik ve estetik kaygılarını karşılamaya çalışmaktadır.

3.2 Mimarlık Eğitiminde Geometri

Mimarinin form yaratma ve yaratılan formlara fonksiyon ve kullanıma bağlı olarak farklı mekansallıklar kazandırma özelliği, mimariyi formun üretildiği matematiksel alan olarak geometriye yakınlaştırmaktadır. Mimarlık eğitimi de mimari formlar oluşturma sürecinde geometri bilgisini kullanmaktadır. Mimarlar ve mimarlık eğitimi alanlar çevresel farkındalıklarını ne kadar arttırır, kendi geometri bilgilerini ne kadar

geliştirirlerse tasarım yeteneklerini de o oranda arttırırlar. Mimarlık eğitimi ve pratiğinde geometriye dayalı formların üretimleri, dönemin teknolojik araçlarıyla sürdürülmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin mimarlık disiplini ve bilgisi dahilinde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte bilgisayar destekli yazılım ve programlar, mimari geometri ve formları bilgisayar ortamında üretebilir hale gelmiştir.

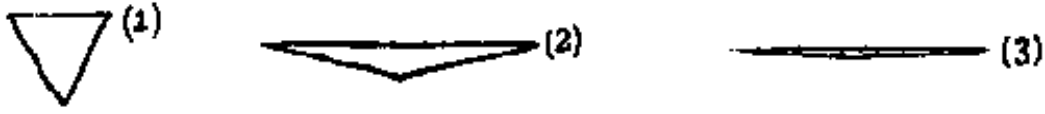
Bilgisayar destekli tasarım araçları formel sistemlerdir ve formel dil kullanırlar. Bilgi, formel dil yardımı ile bilgisayara aktarılır ve kullanılabilir hale getirilir. Bu sistemler, tasarımcıyı soyutlanmış ve kullanılabilir hale getirilmiş bilgi bütünlüğü ile çalışmaya yönlendirdikleri için “geometrik farkındalık” niteliğinin ve algoritmik düşünce yapısının gelişmesine katkıda bulunurlar. Günümüzde tasarımcının bu yeni tasarım diline hakim olabilmesi için bu dili oluşturan analitik geometri, algoritma ve kompozisyon kurallarını kavraması gerekmektedir (Çolakoğlu ve Yazar, 2007). Matematik ve geometrinin tasarımdaki etkili rolü asırlardır mimarlar tarafından bilinmekte ve değerlendirilmektedir. Fakat yine de özellikle öğrenciler olmak üzere mimarlar matematik konusunda kendilerini tedirgin hissetmektedirler. Bu durum ilerde hesaplamalı teknolojilere ait konseptler ile mimari tasarımları sorgulamada mimarlara ussal engeller oluşturacaktır.

Oswald ve Williams’a (2015b) göre mimarların aldığı matematik bilgisi ve matematiği kullanma becereleri ile aynı zamanda matematikçilerin mimari tasarım ve üretim sürecindeki rolleri tarihin hiçbir çağında bu kadar az seviyede olmamıştır. Mimarlık ve geometri tarih boyunca bu kadar iç içe geçmiş iki disiplin olmalarına rağmen, özellikle son zamanlarda bu ilişki gitgide zayıflamakta ve birlikteliğini kaybetmektedir. Bu ilişkinin bu duruma gelmesinin nedenlerinden biri mimarların aldıkları eğitimde matematiğin oldukça temel seviyede olmasıdır. Matematik ile doğrudan ilişkili olan bilgi işleme yöntemleri, hesaplama teknolojileri ve ortaya çıkan yeni tasarım medyaları mimarların, matematiğin rolünü tekrar sorgulamalarına neden olmuştur (Sorguç, 2015). Hesaplamalı teknolojilerle birlikte, hesaplamalı tasarımdaki gelişmeler genç mimarların parmak uçlarına matematik tekniklerini koymuş ve daha önce elde edilemeyecek kompleks geometrilerin elde edebilir hale gelmesini sağlamıştır (Szalabaj, 2005). Sorguç’a (2015) göre ayrıca matematik, salt formu, düzeni, harmoniyi vb. anlamaya değil; beynimizi geleneksel düşünme yöntemlerinden, günümüz çok boyutlu tasarım problemlerinin üstesinden gelebileceğimiz “algoritmik” düşünce sistemine evriltmeye yardım etmektedir.

Bilgisayarlı tasarım araçları genç mimarlar için ileri geometri yöntemlerini ulaşılabilir kılıyor olsa da, bu araçların kullanımının mimar adaylarının üç boyut algısını düşürdüğü kanısı da vardır. Sorguç'a göre SketchUp gibi tasarım araçlarıyla ilkokul seviyesinden tanışık olan öğrencilerin uzay-mekan algısı ve geometriyi anlayabilme yetileri kısıtlanmaktadır. Mimarlık öğrencilerinin bilgisayar ekranı üzerindeki sanal bir uzayda direk tasarımlar yapabiliyor olması düşünce ve anlama yeteneği olarak geometriyi ve algıları, dolayısıyla da yaratıcılığı kısıtlamaktadır. Mimar adayları bu sanal uzayda ürettikleri ürünlerin geometrik altyapısını ve gerçek dünyadaki karşılıklarını bilmeden tasarımlar yaptıkları için temel geometri bilgisi özümsemeden üretim yapılmış olacaktır. Aslında geometri tasarımın temel elemanlarından biridir ve geometriyi düzgün bir şekilde anlamamak, sonuç tasarımı kısıtlar (Aish, 2005). Walliser (2009) de benzer bir düşünce ile, 90'ların ortasında dijital mimarlığın ilk dalgasının global bir etki yaparak mimarlıkta dijital bir evrim ortaya çıkardığını söylemektedir. Fakat bu ilk dalgada algılara, yerçekimine, hislere ve çoğu kısıtlara önem verilmemiştir. Bu yüzden mimarlar, dijital vizyoner tasarımcılar ile inşa eden gerçek mimarlar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Walliser'e göre bugünkü ikinci dalga ile birlikte dijital çalışma yöntemleri mimarların hem konseptini oluşturmalarına hem de tamamen farklı bir şekilde üretim yapmalarına olanak sağlamaktadır. Bilgisayarlar mimarları ayıran inşa etme eyleminin olanaklarını kendi yöntemleri ile sağlamaya başlamıştır. Bu ikinci dalga ile birlikte anlaşılmıştır ki, geometriyi anlamak yeni digital teknikleri uygulamak için temel bir gereksinimdir.

Ceccato 'ya (2010) göre hesaplamalı olarak elde edilecek gelişmiş formların arkasında ne yattığını anlayabilmek ve onları kontrol edebilmek için, mimar adaylarının geometrinin temel konularında uzmanlaşmış olması gerekmektedir. Burada üzerinde durulması gereken önemli bir nokta ise insanların geometriyi nasıl öğrendiğidir. Barczik (2012) hiç bir insanoğlunun Öklidyen geometri ve bu doğrultudaki şekil bilgisiyle doğmadığını, cebirsel yüzeyler gibi farklı yaklaşımlarla eğitilecek çocukların yeni şekilleri öğrenip, onlara aşına olacağından bahseder. Viktorya dönemi İngiltere'sinde yaşayan matematik öğretmeni Abbott'un (1998) Düzülke romanı bu konudaki en çarpıcı literatürlerden biridir. Abbott'un 1884 yılında yazdığı bu roman matematiksel bilimkurgunun en önemli yapıtlarından biri olarak kabul edilmektedir (Törün, 2008). Roman sonsuz Öklit düzleminde, yani iki boyutlu bir dünyada kurgulanmıştır ve ana karakter bir karedir. Abbott ilk önce okuyucuyu bu iki boyutlu

dünyanın içine sokmak için çeşitli tasvirler ve çizimler yapar (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Abbott'un (1998) okuyucunun Düzülke'yi hayal edebilmesi için yaptığı bir tasvir

Abbott kitabın ilk bölümde Düzülke'nin ikliminden, evlerine, Düzülkelilerin birbirlerini tanıma yöntemlerine kadar birçok konuyu iki boyut üzerinde kurgulayarak açıklar. Kitabın ikinci bölümündeyse Bay Kare boyutlar arası bir yolculuğa çıkar. Törün'e göre Abbott'un bu bölümdeki asıl amacı dördüncü boyut kavramını ortaya koymak, bu konudaki giz perdesini aralamaya çalışmaktır. Kare ilk önce Noktaülke'yi ve Çizgiülke'yi ve daha sonra üç boyutlu uzayı ziyaret ederek farklı boyuttan bireylerin diğer boyutları algılamakta çektikleri zorlanmaları tasvir eder. Kitabın üçüncü bölümünde ise üç boyutun dışında da boyutların olup olmadığının sorgulandığı konuşmalar ve maceralar vardır. Ali Törün (2008) kitabın boyutlar arasındaki hikayesini şöyle özetler:

“Abbott, boyutlar arasındaki benzeşimi Öklit geometrisinin bazı basit kavramlarının ve nitelikli bir edebiyatın eşlik ettiği metinlerle kaleme alır. Düzülke'de yaşayanların üst boyutu hayal etmelerindeki çaresizliklerini anlatır. Okurun kendini bir Düzülke'linin yerine koymasını amaçlar. Böylelikle okur iki boyutlu dünyadan üçüncü boyutu algılamamanın güçlüğünü yaşayarak, dördüncü boyut hakkında bir bilgisinin olmadığını ayırımına varır. Bizleri, bir alt boyutu inceleyerek bir üst boyutu anlamaya çağırır.”

Romanın bugün klasikler arasında yer almasının nedeni ise Abbott'un Düzülke'yi üçboyut dışındaki boyutların var olduğu fikrinin çok az konuşulduğu ve üzerinde bilimsel çalışmaların olmadığı bir dönemde kaleme almış olmasıdır. Düzülke'nin yayımlanmasından yaklaşık elli yıl sonra, Alman matematikçi Minkowski özel görelilik kuramını, ardından da Einstein genel görelilik kuramını formüle ettiler ve dördüncü boyutun bilimsel açıklaması yapılabilirdi. Einstein'ın “evrenin geometrisi” dediği, Öklidyen olmayan Riemann Geometrisi'nin ise Abbott'un yaşadığı dönemde hiç bir uygulaması yoktu. Roman da bu bilimsel gelişmelerle birlikte edebiyat dünyasındaki klasiklerden olmayı başarmıştır.

Abbott'un romanının bize gösterdiği, insanların edindiği bilgiler paralelinde kendi dünyasını algıladığı ve çalışmalar yaptığıdır. Yepyeni bilgiler insanın ufkunu açacak ve yapabileceklerini genişletecektir. Bu yüzden mimarlık eğitiminde de salt Öklidyen geometriler değil, diğer geometri temsilleri de irdelenmeli ve üretimler yapılmalıdır.

Uzay ve mekan kavramı mimari teorilerin en önemli parçalarından biridir. Mimarlıkta uzay ve mekanla ilgili matematiksel ve felsefi düşünceler de dahil olmak üzere bir çok teori geliştirilmektedir. Matematiksel anlamda teorilerin çoğunluğu, üç boyutlu Öklidyen geometri ile uğraşmaktadır. Fakat güncel mimarideki gelişmeler diğer uzay konseptleri ile belirlenmektedir. Öklid'in üç boyutlu uzayı dışındaki uzay kuramları 20.yy. başlarından itibaren mimariyi etkilemeye başlamıştır. Öklidyen geometrinin yalnızca özel bir çalışma konusu olduğu modern geometrideki yeni buluşlar, uzay ve mekan algısındaki sınırları genişleterek mimari formlardaki problemlerde yeni yaklaşımlar başlatmıştır (Tepavčević ve Stojaković, 2014). Mimarlar da güncel geometri bilgilerini öğrenmek ve kendilerine göre yorumlamak zorundadır. Mimarların geometriyi anlamaları gerektiği kadar matematikçiler ve geometricilerle işbirliği yapıp, onların estetik kaygıları ve mimari üretimin zorunluluklarını anlamaları da gerekmektedir. Mimarideki geometrinin soyut olmaması, aksine gerçek ve dokunulabilir olması, materyal performansı, fabrikasyon ve birleşim metodları ile matematiksel bilgi olarak saf ve mükemmel alanlara bulanıklık getiren geometrik toleranslar bu işbirliğinin iki taraf için de eşit öneme sahip olduğunu göstermektedir (Ceccato, 2010).

4. MİNİMAL YÜZEYLER

Minimal yüzeyler, yüzeyin en küçük parçasında kendisini sınırlandıran çerçeve için en küçük alanlı yüzeyi oluşturan yüzeylerdir. Minimal yüzeylerin en klasik örneklerinden biri sabun yüzeyleridir. Minimal yüzeylerin en belirgin özelliklerinden biri de toplam yüzey eğrilığının, yüzeyin her noktasında sıfıra eşit olmasıdır.

Miminal yüzeylerin bir çok çeşidi mevcuttur. Bunların başlıcaları; periyodik olmayan sınırları ile belirlenmiş minimal yüzeyler, tek yönlü, iki yönlü ve üç yönlü olmak üzere periyodik minimal yüzeyler gibi çeşitlerdir. Periyodik olmayan ve sınırlarıyla belirli minimal yüzeyler mimarlıkta özellikle membran geometrisinde prensip olarak oldukça fazla kullanılmıştır.

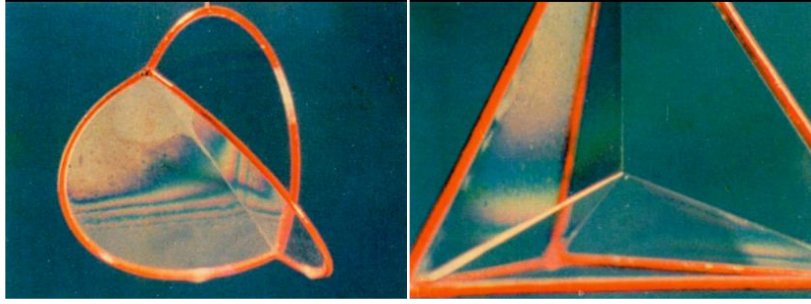
4.1 Sabun Baloncukları ve Minimal Yüzeyler

19. yy. sonlarına doğru İskoçyalı fizikçi Lord Kelvin'in ortaya attığı “*Üç boyutlu bir alanı eşit hacimli birkaç eşit hücreye bölmeye çalışırsak, ayırıcı yüzeylerin minimum alanlı olduğu ne tarz şekiller oluşur?*” sorusu hem teorik bir egzersiz sorusu olarak hem de bu tarz yüzeylerin doğada sık görülmesinden dolayı oldukça ilginç bir problem olmuştur (Emmer, 2013).

Sabun yüzeyleri üzerinde çalışmak Kelvin'in sorusu için önemli bir başlangıç noktasıdır. Bilimsel kariyerine astronomi alanında başlayan Antoine Ferdinand Plateau 1843 yılından sonra tamamen kör kalmış ve sonrasında metal tellerin sabunlu suya batırılmasından sonra oluşan sabun yüzeylerini anlamak için moleküler akışkanlardaki kuvvetlerin doğasını incelemeye başlamıştır. 1873 yılına geldiğinde bu konuda yapmış olduğu on beş senelik araştırmaları “*Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires*” adıyla iki ciltlik bir çalışmada toplamıştır. Bu çalışmalarında Plateau deneysel olarak bir kaç kural ortaya çıkarmıştır (Özsöylev, 1998):

1. Bir sabun zarı (sabun köpüğünden elde edilen zar) düzgün parçacıklar topluluğundan oluşur.

2. Her bir düzgün parçanın ortalama eğriliği (yani yüzeylerinin ortalama eğimi) sabittir
3. Üç sabun baloncunun yüzeyleri, birleştikleri yerde düzgün bir eğri meydana getirir ve 120° 'lik bir açıyla her bir yüzeyi böler (Şekil 4.1a).
4. Ortaya çıkan altı eğri birbirlerine yaklaştıkları yerde bir nokta oluştururlar ve bu noktada her çift eğri arasındaki açı eşittir (yaklaşık 109.28°) (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1 : Plateau'nun 3. (a) ve 4. (b) kuralı (Emmer, 2009)

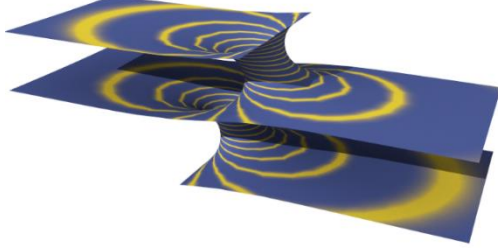
Sabun baloncukları ile ilgili araştırmalar matematik alanında deneysel matematik diye adlandırılan yeni çalışma disiplini ortaya çıkartmıştır. Bu araştırmalarla birlikte matematikçiler de deney tüplerinin arasına girmiştir. Scientific American yazarlarından John Horgan “İspatın Ölümü” adlı makalesinde, baloncuklarla uğraşan Jean Taylor’dan deneysel matematikçi diye bahsetmiştir (Özsöylev, 1998).

Plateau kanunları aslında tek bir prensibin sonucunda doğmuştur: Verilen bir hacim için en küçük yüzey alanı veren şekiller, sabun baloncuklarına benzer. Yani sabun zarlarını model alan matematiksel yüzeyler minimal yüzeylerdir. Minimal yüzeylerin iç ve dış yüzeylerindeki basınç eşit olduğu için doğal bir kararlılık halindedirler.

Eğrilerin ve yüzeylerin analizlerini yapabilmek üzere geliştirilen diferansiyel geometride de minimal yüzeyler başlıca araştırma konularından olmuştur. Riemann, Lagrange, Weierstrass gibi önemli geometriciler de minimal yüzeylerle ilgili bir çok araştırma yapmış, teoriler geliştirmiş ve hatta örnekler sunmuşlardır (Şekil 4.2)

Minimal yüzeylerin mimarlıkta kullanılması ise özellikle Alman mimar Frei Otto’nun deneysel mimarlık çalışmalarıyla araştırdığı ve tasarladığı yapılarla birlikte önem kazanmıştır. Babası ve büyük babası heykeltıraş olan Otto, tasarımlarının çıkış noktası olarak yaptığı deneyleri çok önemli görmektedir. Juan María Songel’in 2004 yılında Otto ile yaptığı söyleşi, Otto’nun “gerçekleştirilecek sınırsız keşifler” düşüncesi ile başlamaktadır. Otto’ya göre “İnşa etme yetisi için mimari ve yapı formlarının ve bu

formların gelişiminin bilgisi gereklidir. İnşa etmek bu süreci ilerletmek, araştırmak ve yapmak demektir. Yapı geliştirmeleri on bin yıl önce başlamış ve oldukça yüksek sınırlara ulaşmıştır, fakat yine de bitmiş bir süreç değildir. Hala önümüzde gerçekleştirilmeyi bekleyen sınırsız sayıda açık olasılıklar ve sınırsız keşifler vardır. (Otto ve Songel, 2010).

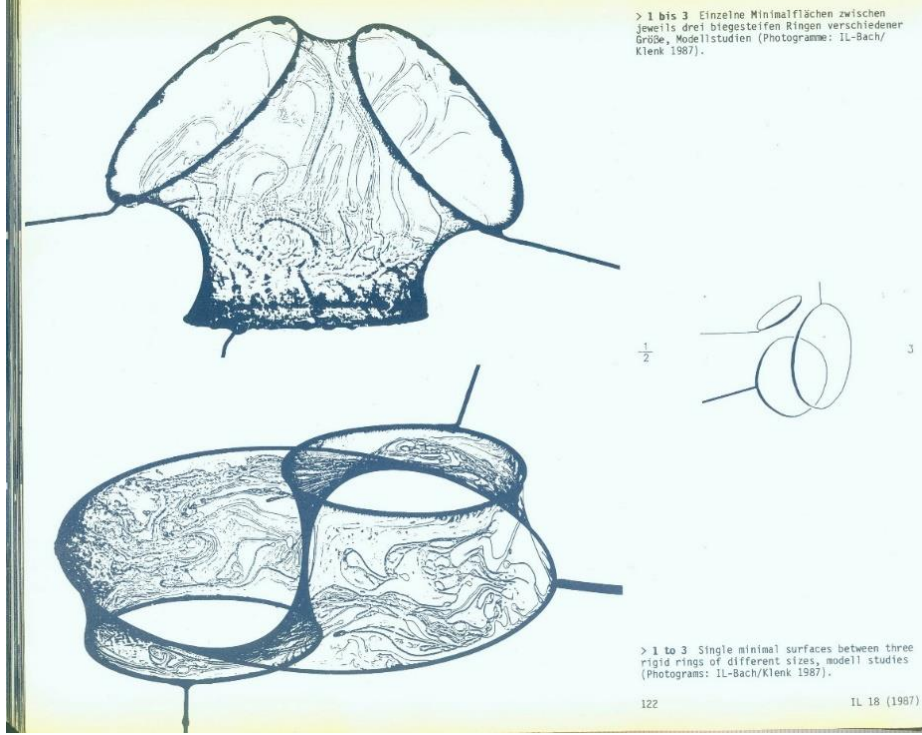


Şekil 4.2 : Riemann Minimal Yüzeyi (URL-16)

Otto'nun yapıtlarının başarısının temellerinde bu keşiflerle elde ettiği özgünlükler vardır. Minimal yüzeylerin matematik dünyasında oluşturduğu yeni deneysel matematik anlayışıyla, Frei Otto'nun deneysel mimari anlayışı da ortak konuları paylaşan ve ortak söylemleri olan konular olmuşlardır. Frei Otto örümcek ağlarından sabun köpüklerine varıncaya kadar doğadan ilham alarak, az enerji ve az malzemeyle tasarımlar yapmaya çalışmıştır. Frei Otto'nun model ve maketlerle yaptığı deneyler, onun işlerinin ve mimari anlayışının temelini oluşturmaktadır. Otto, 1961 yılında sabun köpükleri ile bir dizi deney yapmaya başladı. Deneylerinde teller ile oluşturduğu dikdörtgen çerçeveyi, sabunlu suya daldırıp çıkartarak bu çerçeve ile sınırlandırılmış ince bir film halinde sabun köpüğü tabakası oluşturdu (Şekil 4.3). Frei Otto'nun bu deneylerinde elde ettiği minimal yüzeylerle oluşan formlar onun bir çok tasarımına ilham kaynağı olmuştur (Şekil 4.4).

1965 yılından itibaren yaptığı bütün tasarım ve yapıların bilgisayarlarla hesaplandığını ve bunun sorgulanmaması gereken doğal bir günlük pratik olduğunu söyleyen Otto yine de bilgisayarlar için yeni form bulmakta faydalı olmayacağını düşünmektedir¹. Otto'ya göre bilgisayar zaten içinde var olan kavramları tasarlamaya yarar; bilgisayar ile sadece aradığınızı bulabilirsiniz. Ancak deney ile aradığınız şeyin ötesini de keşfedebilirsiniz (Otto ve Songel, 2010).

¹ Frei Ottı'nun bu söylemine ragmen günümüzde yapılan hesaplamalı tasarım çalışmalar ile özgün formlar türetilbildiği görülmüştür. Çalışmada ele alınan ve Otto'nun da deney yaptığı minimal yüzeyler konusunda hesaplamalı bulgular Bölüm 4.3.2'de bahsedilmektedir.

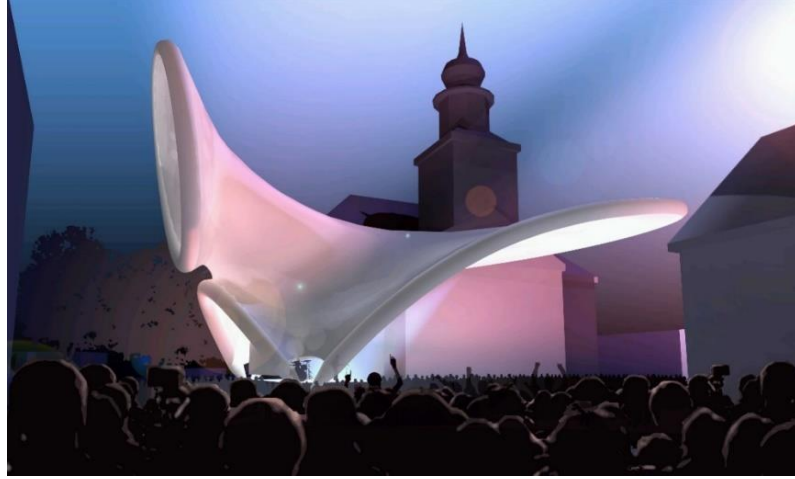


Şekil 4.3 : Frei Otto'nun sabun köpükleri ile keşfettiği formlar (URL-17)



Şekil 4.4 : Frei Otto tarafından 1972 Yaz Olimpiyatları için tasarlanan Münih Olimpik Parkı'ndaki spor tesisleri çatısı (URL-18)

Ayrıca Toyo Ito'nun Taichung Metropolitan Opera House yapısı ve Snøhetta Architects'in Tubaloon pavyonu (Şekil 4.5) tasarımları da minimal yüzeylerin form tasarımında kullanıldığı başlıca örneklerdendir (Barczik ve diğ, 2009).

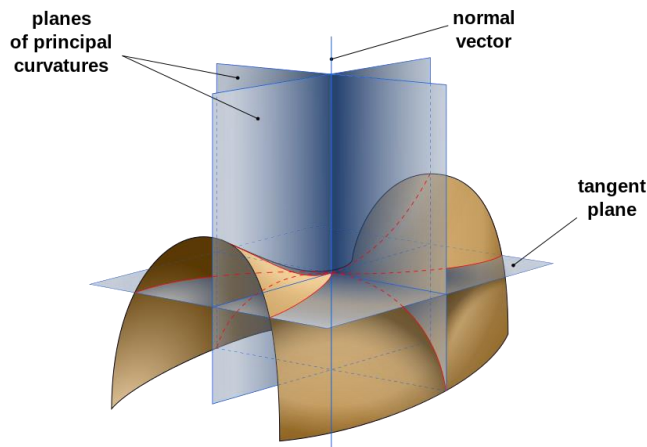


Şekil 4.5 : Snøhetta Architects tarafından tasarlanan Tubaloon pavyonu (URL-19)

4.2 Minimal Yüzeylerin Matematiksel Tanımı

Her ne kadar sabun baloncukları daha çok deneysel matematik diye tariflense de teorik matematikte de bir çok araştırmaya konu olmuşlardır. Minimal yüzeyler Plateau'nun 1873 yılında yaptığı fiziksel deneyler ve bu deneylerin çıkarımlarından ortaya çıkan sonuçlarından sonra, bir çok matematikçinin ispatı ile uğraştığı bir çalışma alanı olmuştur. İlk başlarda Plateau'nun sabun köpükleri strüktürü kurallarının ispatı için yapılan çalışmalar, daha sonraları bu köpük yüzeylerinin sadece birleşimlerini değil yüzeylerin kendilerini de araştırma konularına dahil etmiştir. Geniş çaplı minimal yüzey teorisi özellikle son 30 yılda bir çok ilgi çekici araştırmalar ortaya çıkarmıştır (Fujimori, 2015).

Minimal yüzeylerin en temel özellikleri, bu yüzeylerin her bir noktasında, bu noktadan geçen ana eğrilik değerlerinin (Şekil 4.6) ortalamasının yani toplam yüzey eğriliğinin sıfır olmasıdır.



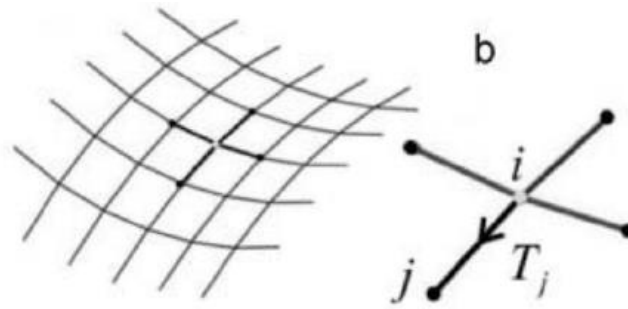
Şekil 4.6 : Bir yüzeyin temel eğrileri (URL-20)

Şekil 4.6’da kırmızı çizgilerle temsil edilen o noktadaki ana eğrilere K_1 ve K_2 eğrileri dersek ortalama eğrilik (H):

$$H = \frac{1}{2}(K_1 + K_2)$$

olur (URL-21). Minimal yüzeylerde ise ortalama eğrilik değeri daima sıfıra eşittir.

Ortalama eğrilik değerinin sıfır olması sayesinde minimal yüzeylerde çukur oluşmamaktadır ve bundan dolayı da yüzeyde su birikmez (Şekil 4.7) (Pan ve Xu, 2010).



Şekil 4.7 : Yüzey üzerindeki bir noktadan geçen ana eğriler (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2013)

Temel tanım oldukça basit olan minimal yüzeylerin yenilerinin keşfedilmesi için ya da bir yüzeyin minimal bir yüzey olup olmadığını anlamak için daha basit formüller geliştirilmeye çalışılmıştır. Minimal yüzeyler bu anlamda matematikte başta diferansiyel geometri olmak üzere kompleks analizler, kısmi diferansiyel denklemler ve varyasyonel kalkülüs gibi araştırma dallarına konu olmuştur. Minimal yüzeylerin bulunması genel olarak Plateau’nun problemi olarak adlandırılrsa da bu konudaki matematiksel tanımların temelini Joseph Louis Lagrange başlatmıştır. Günümüzde Lagrange denklemi veya minimal yüzey denklemi olarak bilinen denklem kullanılarak verilen yüzeyin minimal bir yüzey olup olmadığı çözümlenmektedir (URL-22). Verilen yüzey $x=(u,v,h(u,v))$ şeklinde parametrelerle ifade edilirse

$$(1 + h_v^2)h_{yy} - 2h_u h_v h_{uv} + (1 + h_u^2)h_{vv} = 0$$

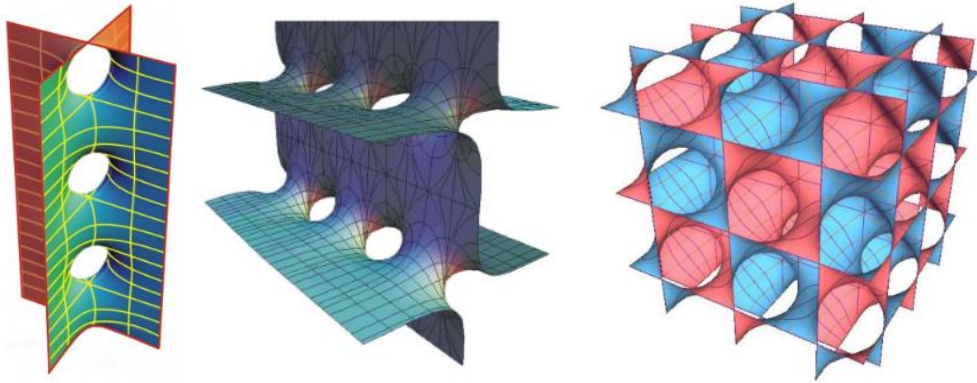
denklemini sağlayan yüzeyler minimal yüzeylerdir.

19. Y.Y.’ın ikinci yarısında Karl Weierstrass, Alfred Enneper, Hermann Schwarz, Bernhard Riemann gibi döneminin önemli matematikçilerinin yaptığı araştırmalarla

minimal yüzeyler ile kompleks analizleri arasında önemli bir bağ bulunmuştur. Minimal yüzey teorisindeki en önemli araçlardan biri bugün Weierstrass temsili olarak adlandırılan takip eden temsili formulüdür. Bu formül sayesinde ikinci derece diferansiyel denklem olan minimal yüzey denklemini çözmek yerine, kompleks analitik fonksiyonların çizgi integralini alarak aynı sonuca ulaşabiliriz. Bu formül sayesinde bir çok minimal yüzey örneği bulunmuştur. Formül hala minimal yüzey teorisindeki en önemli araçlardan biridir (Fujimori, 2015).

4.3 Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler

Minimal yüzeyler tekil geometri olarak araştırıldığı gibi, özellikle moleküler bilimlerdeki çalışmalarda periyodiklik özellikleri üzerinde çok sayıda araştırma yapılan bir konu olmuştur. Schwarz'ın yansıma kanunları ile birlikte bu periyodik özellikleri minimal yüzeylerde sonsuzda türeyen bir geometri sistemi haline getirmiştir. Minimal yüzeylerin bu periyodiklikleri genellikle bir küp çerçeve içerisinde bulunan minimal yüzeylerin tek yönde, iki yönde veya üç yönde kendilerini tekrar ederek, bütün yüzeyin her noktasında minimal yüzey özelliklerini korumaları ile sağlanmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Tek yönlü, iki yönlü ve üç yönlü periyodik minimal yüzeylere örnekler (Meeks III, 2005)

Üç yönlü periyodik minimal yüzey (ÜYPMY) çalışmaları farklı bir çok disiplinden araştırmacıların ilgisini çekmiştir. ÜYPMY geometrilerinin ekinoderm iskeletlerindeki mikrostrüktürlerden, zeolitler gibi bazı minerallerin moleküler strüktürlerine ve bir çok biyolojik zarlarda bulunduğu gözlemlenmiştir (Hyde ve diğ, 1996). Krivoshapko ve Ivanov (2015) atomların oluşturduğu mekansal strüktürler ve kristal latislerindeki birleşimlerini incelemek için ÜYPMY'lerin kristalografi ve

kimyada da ilgi gören bir araştırma olduğunu belirtmektedir. Ayrıca ÜYPMY'ler heykeltçilik, mimarlık gibi tasarım alanlarında da değerlendirilmiştir (Şekil 4.9)



Şekil 4.9 : 5 inçli bronz heykel (Séquin, 2003)

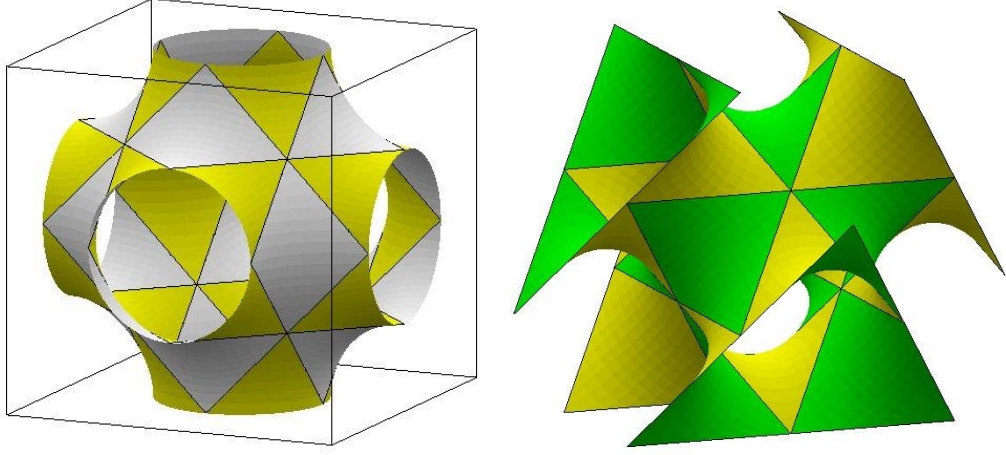
4.3.1 ÜYPMY’de deneysel bulgular

ÜYPMY’in ilk örnekleri Alman matematikçi Hermann Schwarz tarafından 1865 yılında bulunmuştur. Schwarz bir dört yüzlünün altı kenarının dört tanesi ile oluşturduğu dört kenarlı bir çerçevede oluşturduğu sabun zarı yüzeylerinin, parçaları kenar kenara birleştirerek düzgün bir devamlılık sağlayacağını farketmiştir. Burada yüzeylerin birleştikleri kenarlar sonuçta oluşan sınırsız objenin iki taraflı simetri akslarını oluşturur. Schwarz bu deneyleri ile ilk iki ÜYPMY’ler olan Schwarz’ın D(Diamond) ve Schwarz’ın P(Primitive) yüzeylerini bulmuştur. Ayrıca Schwarz’ın yansıma prensipleri diye adlandırılan kuralları ortaya çıkarmıştır (Sierra ve Rodriguez, 2014):

1. M adındaki minimal yüzeyin sınırlarının bir parçası bir doğrusal çizgiyle belirlirse, M yüzeyinin bu doğruya göre aynalanmış imajı yani M^* da bir minimal yüzey olacaktır. Ayrıca $M + M^*$ da minimal yüzeydir.
2. Eğer M adındaki minimal yüzey doğru bir açıyla bir düzlemle kesişirse, simetrik yansımayla elde edilen M^* yüzeyi bir minimal yüzey olacaktır. M ve M^* birlikte düzgün bir minimal yüzey oluşturur.

ÜYPMY örneklerine Schwarz’ın ortaya koyduğu P yüzeyi (Şekil 4.10a) ve D (Şekil 4.10b) yüzeylerinden sonra Schwarz’ın öğrencisi Edvard Rudolf Neovius

tamamlayıcı yüzey olarak adlandırdığı $C(P)$ yüzeyini eklemiştir. ÜYPMY ile ilgili sonraki büyük gelişmeler ise 1960'lı yıllarda NASA'da bu konularla ilgili araştırma yapan Amerikan matematikçi Alan H. Schoen tarafından yapılmıştır.



Şekil 4.10 : Schwarz's P(a) ve Schwarz's D(b) yüzeyleri (URL-23)

4.3.2 ÜYPMY hesaplamalı bulgular

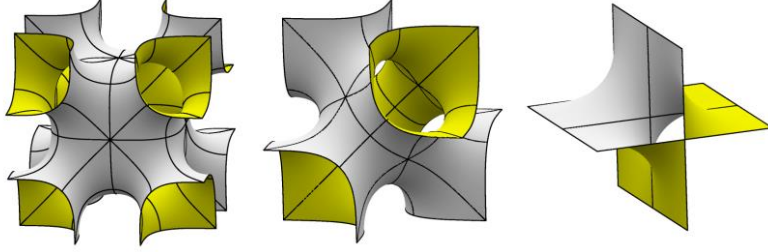
Schwarz ve Neouvius'un bulgularının dışında ÜYPMY'lerin var olup olmadığı ispatlanmamış olmasına rağmen, Schwarz bu konuda orta koyduğu kurallar ve öngörülerle başka minimal yüzeylerin var olup olmadığı ile ilgili ilk tartışmaları başlatmıştır. Fakat aradan neredeyse bir asır geçmesine rağmen yeni bir ÜYPMY örneği bulunamamıştır. Buna neden olan en büyük etkenlerden biri bu yüzeylerin fiziksel deneylerle bulunup incelenmesidir.

Schwarz'ın yeni minimal yüzeylerin türeyebilmesi için önerdiği algoritmalar, bilgisayar teknolojisinin devreye girmesi ile beraber ÜYPMY tekrar matematikçilerin ilgi alanına girmişlerdir. Hesaplamalı yöntemlerin gelişmesiyle birlikte matematikte en çok ilerleme sağlayan konulardan biri minimal yüzeyler olmuştur (Piker, 2009). Bilgisayarlarla bulunun bu yüzeyleri görselleştirebilme yetisi bir çok yeni örneğin keşfedilmesini sağlamıştır. Piker'e göre bu örneklerin oluşması, doluluk/boşluk ikiliğinde yeni etkileyici hislere sebep olabilir.

4.3.2.1 Schoen'in araştırmaları

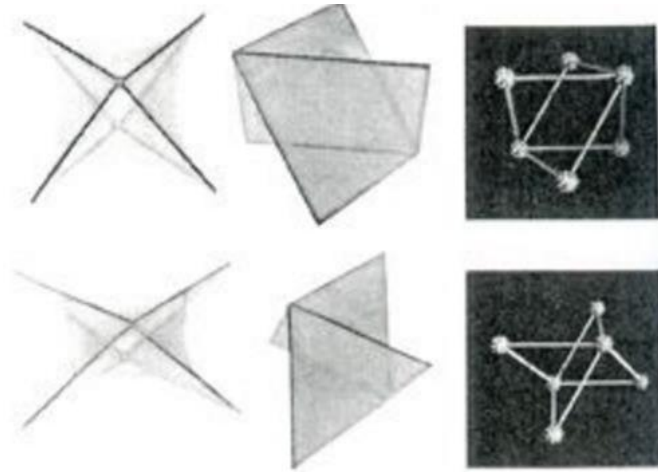
1960lı yıllarda yaptığı çalışmaları bir raporda toplayan Schoen (1970) Bonnet'in çalışmalarında yaptığı transformasyon algoritmaları ile Kummer ve Schwarz'ın örnek üzerindeki çalışmalarını da kullanarak deneysel ve hesaplamalı çalışmalar yapmıştır. Schoen, yazdığı bu rapor ve kod ile birlikte 12 adet yeni ÜYPMY örneğini hem sanal

hem de fiziksel ortamda üreterek sunmuştur. 1988 yılında ise Schoen bu araştırmalarına ek olarak Schwarz'ın yansıma prensiplerine bağlı olarak 8 adet daha ÜYPMY örneği bulmuştur (Şekil 4.11) (Krivoshapko ve Ivanov, 2015).



Şekil 4.11 : Schoen'in bulduğu bazı ÜYPMY'ler (I-WP, F-RD, CWP) (URL-24)

Schoen (1970) bu araştırmalarına başlarken mimar Peter Pearce'in *saddle polyhedron* konseptini Pearce'in kendisinden öğrenmiş ve kendi çalışmasında onun konseptinin öneminden bahsetmiştir. Saddle Polyhedron'lar düzgün çerçevelerle sınırlandırılmış sonlu sayıdaki eğrisel polygonların oluşturduğu kapalı geometrilerdir (Şekil 4.12). Pearce'in çok yüzlülerinin türeme avantajları ile Schwarz'ın yansıma kanunları Schoen'e oldukça verimli altyapılar oluşturmuşlardır. Yani Pottmann ve diğerlerinin (2007) de dediği gibi mimarlık pratiğinde geliştirilen geometrik problemler, temel geometri araştırmalarını etkilemiştir.



Şekil 4.12 : Peter Pearce'in düz çerçeveli çokyüzlülerde ürettiği Saddle Polyhedron'lar (URL-25)

4.3.2.2 Brakke'nin araştırmaları

Schoen'in bulduğu yüzeylerden sonra Werner Fisch ve Elke Koch gibi çok sayıda bilim adamı yeni ÜYPMY örnekleri ortaya çıkarmışlardır. Schoen'in araştırmalarından sonra yeni ÜYPMY örnekleri bulmak için özelleşmiş yazılımlar geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu programlardan en yaygın olarak kullanılanı Ken

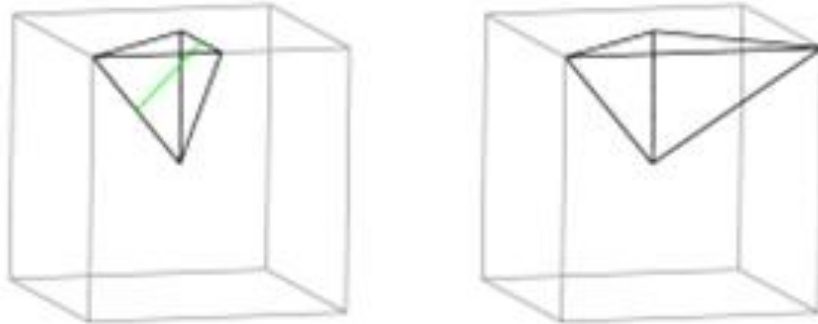
Brakke'nin geliştirdiği *Surface Evolver* programı olmuştur (Sierra ve Rodriguez, 2014)

Brakke'nin (1992) *Experimental Mathematics* dergisinde yayımladığı yazı ile birlikte sunduğu *Surface Evolver* programı, verilen bir yzeye ve kısıtlara dayalı olarak o yzeyin enerjisini en aza indirmeye çalışan bir programdır (şekil 4.13). *Surface Evolver* yzey gerilimleri ve diğer enerjilere gre yzeylerin şekillendirildiği interaktif bir programdır. Kullanıcı bir başlangıç yzeyi, bu yzeyin evrimler sonrasında karşılamaya çalışacağı bir kısıt ve yzeye bağlı olan bir enerji fonksiyonu tanımlayarak programı kullanır. Daha sonrasında *Evolver*, yzeyi verilen kısıtlara ve enerjiyi en aza indirmeye bağlı olarak modifiye eder. Kullanıcı yzeyin evrimi sırasında yzeyin özelliklerini değiştirmek veya evrimsel amaçlara yönelik belirli operasyonlar uygulamak gibi müdahalelerde bulunabilir.

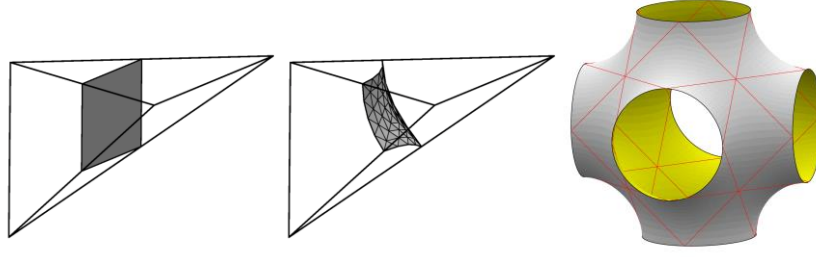


şekil 4.13 : Yer ekimi ve yzey kesim enerjilerine bağlı olarak bir düzleme damlacık bırakılması (URL-26)

Brakke'nin araştırmaları sabun zarları araştırmaları ile paralel bir araştırma olduğu için Brakke 1999 yılından itibaren Schoen ile çalışmaya başlayarak *Surface Evolver* programı ile YPMY üzerinde araştırmalara başlamıştır. Brakke bir kübün bölünmüş parçaları olarak Coxeter'in kaleydoskop hücrelerinde (şekil 4.14) bir minimal yzey oluşturup, daha sonra Schwarz'ın yansıma prensipleri ile bu hücreleri tam bir kbe türeterek YPMY'leri üretmeyi başarmış ve hem var olan örnekleri tekrar üretmiş hem de kendisi yeni örnekler ortaya çıkarmıştır (şekil 4.15).



şekil 4.14 : Bir kübün 1/48'lik ve 1/24'lk kaleydoskop hücreleri (URL-24)



Şekil 4.15 : 1/48'lik hücresinin Schoen's P yüzeyini oluşturması (URL-24)

4.4 ÜYPMY'in Hesaplamalı Geometri Yardımıyla Hesaplamalı Mimaride Kullanımı

ÜYPMY'ler hem tekil olarak geometrileri ile hem de sistematik olarak türeyebilme avantajları dolayısıyla heykeltaşlar ve mimarların ilgisini çeken şekiller olmuşlardır. Mimarlar ÜYPMY'leri 1970'li yıllardan itibaren yapı tasarımında kullanmaya çalışmışlardır (Piker, 2009). Barczik ve diğ. (2009) bu tarz matematiksel yüzeylerin özgün şekillerinin henüz tam olarak araştırılmadığından bahseder. Mesleklerinin temelinde geometri ve yaratıcılık olan heykeltaşlar ve mimarlar için ise bu özgün olma durumu oldukça heyecan verici bir durum olmuştur. Özellikle düzlemsel geometrinin sadece mekan sınırları oluşturan mimari öğeleri ile kıyasla, böyle tek yüzeylerin bir yerde duvar, bir yerde döşeme ve hatta başka yerlerde oturma yeri gibi mekan tefrişlerine dönüşüyor olması, bu tarz kompleks yüzeylere mimarların ilgisinin artmasını sağlamıştır (Barczik, 2012).

ÜYPMY'lerin birleşimleriyle elde edilen çift labirentler (iç ve dış labirent) mimari açıdan bu geometrilerin ilgi çekici bir diğer özelliği olmuştur. Sierra ve Rodriguez (2014) ÜYPMY'lerin bu özelliklerinin ışık difüzyonu, ses emilimi, akustik kontrolü ve ısı kontrolü gibi amaçlarla bir mimari öge tasarlanmasında oldukça faydalı olacağını belirtmektedir. Ayrıca minimal bir yüzey tarafından ayrılan bu iç ve dış bölgelerin sürekliliklerinin olması da mekansal açıdan zenginlik olarak nitelendirilmektedir. Böylece iç bölgede oluşturulan mekanların akışkanlığı mimari açıdan zengin mekansal ilişkiler kurulmasına olanak sağlayacaktır.

ÜYPMY'lerin kısıtlara bağlı olarak en az alanı kaplayan yüzey olmaları mimari açıdan bir diğer avantajlı durumu oluşturur. Velimirovic ve diğ. (2008) minimal alanlı bu yüzeylerin ağırlık ve kullanılan malzemeyi minimuma indirmesinden dolayı mimaride uygulanması için çok uygun geometriler olduklarını düşünmektedirler.

ÜYPMY'lerin doğal yapısından kaynaklanan kararlılık durumu, bu yüzeylerde ve bütün geometride strüktürel açıdan avantajlı bir durum oluşturmaktadır. Ayrıca minimal yüzeylerin kendi başlarına oldukça stabil fiziksel objeler olması, çeşitli strüktürler açısından avantaj sağlamaktadır.

Piker (2009) ise ÜYPMY'lerin mimaride kullanılmasının bazı nedenlerden dolayı kendini geliştiremediğini söylemektedir. Bu nedenlerden biri geliştirilen matematiğin göz korkutuculuğudur. Parametrik modellemenin artan popüleritesi ile mimarlar artık x , y ve z 'yi, u ve v olarak veren basit fonksiyonlarla oluşturulan yüzeylere alışmış olmalarına rağmen, minimal yüzeylerin matematiğinde kullanılan Weierstrass eliptik fonksiyonlar gibi ileri seviye fonksiyonlarla pek karşılaşmamaktadırlar. Bir başka neden ise ÜYPMY'lerin tıpatıp olarak kullanılmasıdır. Bilinen minimal yüzeylerin çoğu, ya yalnız bozulamaz girdilerden ya da sonsuza kadar tekrar eden tıpatıp birimlerden oluşmaktadır. Mimaride kullanılması için ise bir geometrik sistemin esneklik seviyesine ve farklı girdilere uyum sağlama yeteneğine sahip olması gerekmektedir (Piker, 2009).

Saunders (2009) hesaplamadaki hızlanmalar, temsildeki kolaylıklar ve bilgisayar destekli üretim yöntemlerin, geleneksel kompleks yüzeylere ulaşabilmek ve tamamen yeni yüzeyleri türetebilmek gibi radikal gelişmelere olanak sağladığını söylemektedir. Sabun yüzeyleri gibi doğadan minimal yüzeylerin var olmasına rağmen, topolojiciler bu yöntemler sayesinde yeni minimal yüzeylerin mühendisliğini yaparak, moleküler ve malzeme tasarımında kullanmayı amaçlamaktadır. Hesaplamalı tasarım araştırmacısı mimarlar da ellerindeki güçlü tasarım araçları ve yöntemleri ile Piker'in bahsettiği ikinci sorun ve kendi amaçları doğrultusunda benzer araştırmalar yapabilir.

Piker'e göre uygulanabilecek bir yaklaşım matematiksel saflığı bir kenara bırakıp bazı teknikleri ele alıp, bu teknikleri serbest-biçim üslubunda eğri yüzeyler üretmek üzere kullanmaktır. Ama eğer bir mimar kullandığı araçlar üzerinde gerçek bir kontrole sahip değilse, çalışması bir kolaja veya imitasyona dönüşebilir; ayrıca bu çalışmanın matematiksel işbirliğini bir kenara bırakması, tasarımı strüktürel performans ve inşa edilebilme gibi zor sulara sürükler.

ÜYPMY'lerin mimari tasarımda kullanımları ise bu çalışma kapsamında üç kategori altında incelenecektir.

4.4.1 ÜYPMY'lerin tekil olarak kullanıldığı mimari örnekler

ÜYPMY'lerin en önemli özelliklerinden biri sınırsız olarak birbirlerine eklenilebilmeleri olmasına rağmen, bu tarz yüzeylerin özgün geometriler oluşturması mimarların tek başlarına dahi bu yüzeyleri mimari çalışmalarda değerlendirmelerine neden olmuştur. Bu tarz çalışmalarda daha çok matematik biliminde araştırmaları yapılmış ÜYPMY'ler kullanılarak hem bu geometrilerin oluşturduğu kullanıcı deneyimleri hem de üretim yöntemleri araştırılmıştır.

4.4.1.1 “The Gyroid Climber” projesi

San Francisco, Kaliforniya’da bulunan halka açık öğrenme laboratuvarı Exploratorium, ziyaretçilerine dünyayı bilim, sanat ve insan algısı bütünlüğünde deneyimletmeyi amaçlayan bir çalışmadır (Şekil 4.16). Sergi alanının hemen dışında bulunan ve Geometrik Oyun Alanları Sergisi kapsamında tasarlanan Gyroid Tırmanma Yüzeyi buranın sembol projelerinden biri olmuştur. Gyroid, ziyaretçilerine bedenlerini keşfetmeleri ve geometrinin estetik değerini anlamaların fırsatlarını sunmuştur (Dancu ve Hido, 2010). Exploratorium’daki diğer projelerde de olduğu gibi deneysel olarak eğitmeyi amaçlayan Gyroid’de katılımcılar, *“Bu delikten girip, yanındaki duvarın diğer tarafından çıkabilir misin?”*, *“Bir arkadaşınla birlikte bu duvarın iki tarafından tırmanmaya başlayın”*, *“Yukarıya ulaşmak için kaç farklı yol bulabilirsin?”* gibi yönlendirmeler ve sorularla bu geometrinin özelliklerini keşfetmeleri amaçlanmıştır. Katılımcı çocuklar hevesli bir biçimde bu geometrideki boşlukları ve ilişkileri yani topolojileri deneyimleyip incelemişlerdir (URL-27).



Şekil 4.16 : Gyroid Tırmanma Yüzeyi (URL-28)

Gyroid'in ilk protopi, tamamı düzgün bir şekilde döndürölüp birbirleriyle bağlandığında yaklaşık 3 metrelik (10 feet) sonuç geometrisini oluşturun 27 parça CNC plakadan ve bu birleşimlerin geometrik devamlılığını sağlaması için tasarlanan vida ve somunlardan oluşmaktadır (şekil 4.17).

Exploratorium sergisinin dış mekanına kurulan son modelde ise Gyroid ağşap malzeme ile üretilmiştir. Bu üretim için Gyroid'in katman kesitleri alınarak lazer kesim ile ağşap katmanları oluşturulmuş ve üst üste birleştirilerek sonuç ürün ortaya çıkartılmıştır.



şekil 4.17 : 27 eş parçadan oluşturulan Gyroid prototipi (Dancu ve Hido, 2010)

4.4.1.2 “Minimal Complexity” projesi

Tasarım süreçlerinde bilimin, teknolojinin ve hesaplamanın birlikteliği üzerinde çalışan ve dijital fabrikasyon araştırmaları yapan Vlad Tenu'nun Bartlett School of Architecture, UCL'de yüksek lisans tezi için yaptığı araştırma olan Minimal Complexity'de sanal üç boyutlu alanlarda yapılan tasarımların, fabrikasyon açısından sorunlarına çözümler arayarak nasıl yapısal bir ürüne dönüşebileceğini incelemiştir. Tenu'nun araştırmasındaki hedefi bir hesaplmalı tasarım taslağı oluşturup, çeşitli ebatlarda ve karmaşıklıktaki minimal yüzey geometrilerinin fabrikasyonu ve bu fabrikasyonun bir veya birkaç ebattaki modüler bileşenden oluşmasını kontrol edecek bir metod geliştirmektir.

Tenu'nun bu çalışma taslağındaki ana fikir, iki aşamalı tekrarlayan bir algoritma kullanarak bir simülasyon yaratmaktır. Bu aşamalardan ilki bir genetik algoritma ile minimal eğrilikli bir geometri oluşturmak, ikincisi ise fabrikasyon üretimine el verecek optimal modüler konfigürasyonu oluşturacak bir alt-bölüm (subdivision) tekniği kullanmaktır. Algoritmanın kendini tekrarlamasıyla parçacıklar öz-örgütlenme ile yerel alan eğriliğinin minimumlaştığı bir yüzey tanımlarken, bu parçacıkların arasında oluşturulan Delaunay üçgenlemeleri ile tek veya birkaç boyutlu doğrusal elemanlardan oluşan etken bir topolojik üçgenleme sistemi oluşturulmaktadır.

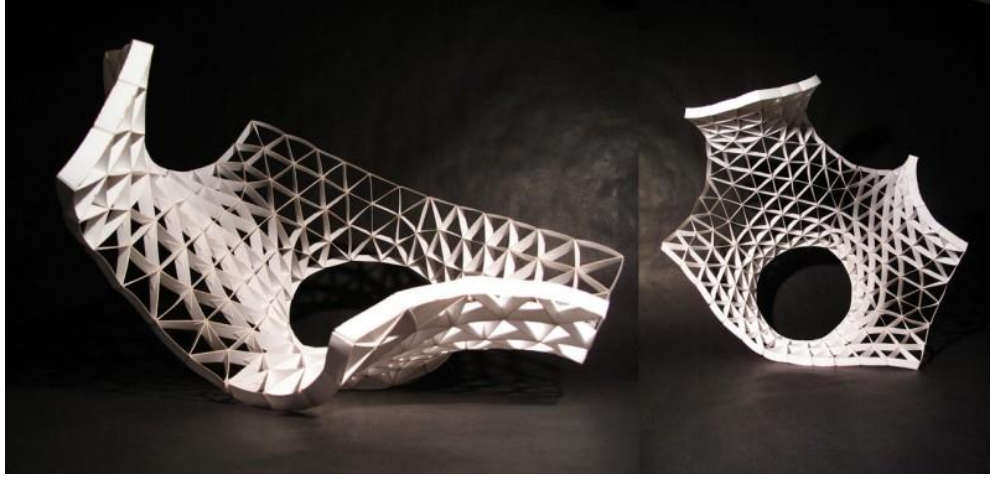
Tenu bu çalışmasında, minimal yüzeylerin oluşturulmasında numerik metodların diferansiyel algoritmalarla çözümlemelerine alternatif olarak, var olan bir topoloji ile başlamadan tekrarlı algoritmalarla, geometrik kısıtlamalara göre oluşan bir yüzey oluşturmaktadır. Bu kısıtlamalara göre oluşan parçacık-bağlantı (spring) ağı, bağlantı elemanlarını elastik özelliği sayesinde minimal yüzeyler gibi davranacağı öngörülmektedir.

Tenu'nun bu çalışmasında üç yönlü periyodik yüzeyler, yüksek komplekslikleri yüzünden, üretim tekniği açısından oluşturulan bu sistemi test edip değerlendiren birer geometri olarak kullanılmıştır. Tenu bu çalışmalarında test ettiği Schwarz P-Yüzeyi'nin bir çok fiziksel modelini, çeşitli malzemeler ve ilişkilerle üretmiş ve sergilemiştir. Tenu çeşitli malzemeler kullandığı CNC kesim modellerin (Şekil 4.18) yanı sıra farklı üretim metodları ile de modeller oluşturmuştur.



Şekil 4.18 : Houston Üniversitesi'nde kurulan 2368 adet lazer kesim alüminyum parçadan oluşan 4mt'lik model (Tenu, 2011a)

Tenu geliştidiği algoritma ile oluşturduğu sonuç topolojisindeki kenarları yüzeyde bulundukları konuma göre dik olarak kalınlaştırarak bu elemanları üç boyutlu strüktür elemanlarına çevirmiştir. Sonuç olarak oluşan bu düzlemsel elemanlar birer kiriş gibi davranarak büyük ebat üretimlerdeki strüktürü sağlayacak elemanlar olmuştur. Tenu bu çalışmasının küçük boyuttaki bir örneğini bütün geometriyi oluşturan 16 çeşit üçgen bölümlenmeleri tanımlamak üzere kağıt şeritlerini katlayarak ve bu üçgenleri birleştirerek üretmiştir (şekil 4.19).



şekil 4.19 : Kağıt model prototip (Tenu, 2011b)

Tenu ayrıca oluşturduğu sanal modellerin üç boyutlu baskılarını da alarak hızlı prototiplerini üretmiştir (şekil 4.20).



şekil 4.20 : 3D baskı hızlı prototip (Tenu, 2011b)

4.4.1.3 “Hypar Infinity” projesi

Westminster University School of Architecture and the Built Environment’da diploma stüdyosu kapsamında tasarlanan Hypar Infinity,  yönlü periyodik minimal yüzeyleri bir ilham noktası olarak görmektedir. Stüdyo kapsamında yapılan tasarımların üretim

yönü de değerli bulunduğundan, bu tasarımların aynı zamanda Burning Man adlı bir festival için üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan Hypar Infinity de bu amaçla “plywood” paneller ile üretilebilecek bileşen bazlı bir tasarım olarak önerilmiştir. Bu öneride tasarımcılar ilk önce üç yönlü periyodik minimal yüzeylere odaklanarak araştırmalar yapmış ve bu araştırmalar ile birlikte grup hiperbolik paraboloidlere ve “hypar”lara yönelmişlerdir. Hypar’ların minimal yüzey gibi davranmaları ve sonsuz tekrar edebilen bir yapıya sahip olmalarını değerlendirerek yıldız benzeyen bir geometri üreterek altı tanesini birleştirip bir modül ortaya çıkarmışlardır. Pavilyon ile bir sosyal alan oluşturup ziyaretçilerin geometriyi kendileri araştırmaları ve sosyal etkileşime girmeleri amaçlanmıştır. Sonuç ürün 240 adet lazer kesim parçanın menteşelerle birleştirilmesinden elde edilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 : Hypar Infinity (URL-29)

4.4.1.4 “Minimal Surface High-rise Structures” projesi

Prof. Dr. Gunter Henn (TU Dresden, HENN), Dr. Toni Kotnik (ETH Zurich), Prof. Dr. Konrad Polthier (FU Berlin), Prof. Dr. Patrick Teuffel ve sekiz DRX araştırmacısının 2012 yılında Berlin’de HENN StudioB de yaptığı bir araştırma olan Minimal Surfaces High-rise Structures, mimari tipoloji bakımından farklı girdilerin önemli etkenler olduğu yüksek yapılarla ilgili bir araştırmadır. Bu tarz yapılarda disiplinler arası işbirliği işin en başından itibaren önemli bir yer tutmaktadır. DRX2012 grubu bu durumun yenilikçi tasarım çözümlerine bir çağrışım yaptığını düşünmektedir.

Minimal yüzeylerle ilgili yapılan araştırmalarla çeşitli çatılar, kabuklar ve mimari ürünler üretilmiş olmasına rağmen, DRX grubu minimal yüzeylerin yüksek yapılarda kullanımının öncül araştırmalarını yapmışlardır (Şekil 4.22). DRX grubu minimal yüzeylerin strüktürel verimliliklerinin, toplam alanı en aza indirmelerinin ve verimli malzeme kullanımının yüksek yapı tasarımında büyük ve ilgi çekici bir potansiyel oluşturduğunu öne sürmektedir.



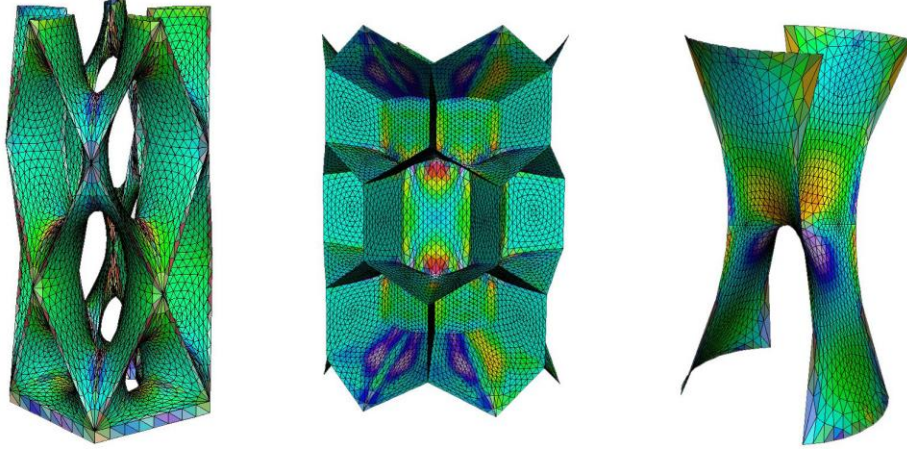
Şekil 4.22 : Çalışma kapsamında üretilen üç öneri (HENN-StudioB, 2012)

DRX 2012’de araştırmacılar aşağıdaki sorular doğrultusunda araştırmalarını yapmışlardır:

- Hangi minimal yüzeyler basınç etkin strüktür elemanı olarak potansiyele sahiptir?
- Hangi ölçekte minimal yüzeyler birer strüktür bileşeni olarak çalışacaktır?
- Yüzey aktif sistemler ile kuvvet aktif sistemler entegre edilebilir mi?
- Minimal yüzeyler yapılaştırılmış mimari elemanlara nasıl dönüştürülebilir?

DRX’12 de tasarlanan üç prototip kulede araştırmacılar minimal yüzeyler teorilerini çeşitli şekillerde araştırmışlardır. Bu prototiplerde önerilen tasarımlardaki ortak amaç strüktürel bir çekirdek barındırmadan iç mekanda daha özgür alanlar oluşturan bir yüksek yapı tasarlamak olmuştur. Birinci prototipte belli bir sınır içerisinde minimum yüzeyi oluşturan sabun zarlarına benzer modüller kullanılmış ve sonraki aşamalarda bu modüllerin sınırları, mekansal değerleri ve yapısal biçimlenmeleri değerlendirilmiştir. İkinci prototipte de benzer bir şekilde tek yönlü bir periyodik yüzeyin çeşitli varyasyonları üretilip tek yönde türeyen bir prototipi üretilmiştir.

Üçüncü prototipte ise minimal yüzeylerin temelleri olan Plateau'nun kuralları olan sabun yüzeylerinin şekil bulma mantıkları kullanılmıştır. Verilen sınırlar içinde bu kurallara göre oluşan birleşim kenarları yapının ana taşıyıcı sistemi olarak değerlendirilmiş ve yapı önerisine çevrilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 : Çalışma kapsamında yapılan analizler (HENN-StudioB, 2012)

4.4.2 ÜYPMY'ler ile yüzey oluşturulan mimari örnekler

4.4.2.1 “Biodigital Processes in Architecture – New Library in Florence” projesi

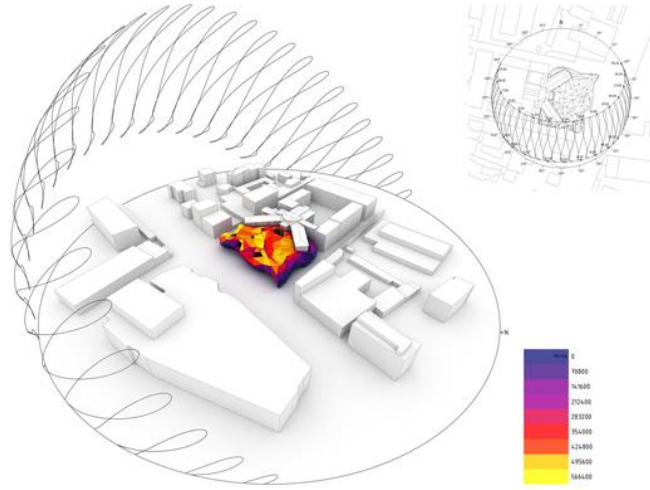
Tommaso Casucci'nin 2010'da Floransa Üniversitesinde yüksek lisans araştırmaları kapsamında araştırdığı biyodijital yöntemlerin mimaride kullanılması araştırmasında, ÜYPMY geometrileri Floransa'da mimarlık okulunun kütüphanesini oluşturan bileşenler olarak ele alınmıştır (Şekil 4.24).



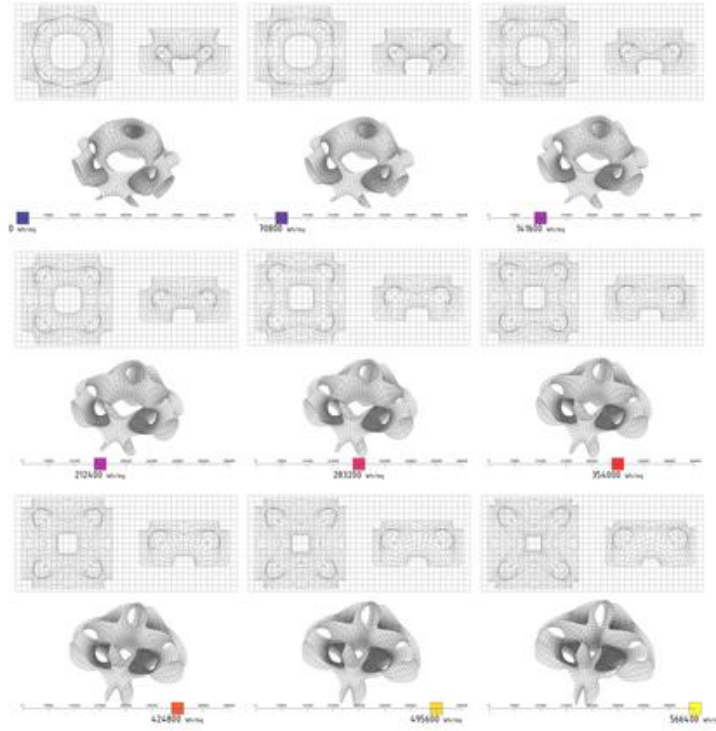
Şekil 4.24 : Projenin foto-gerçekçi görünümü (URL-30)

Casucci genel ölçekte çevre analizlerine dayalı isosurface'lar ile edimsel strüktürler ve çok sayıda farklılaşmış alanlar oluşturmaya çalışmıştır (Şekil 4.25). Daha küçük

ölçekte ise, kütüphane mekana gelen ışıma değerlerine bağlı olarak yüzeylerdeki boşluklar ÜYPMY aracılığı ile sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 4.26). Casucci ürettiği bir ÜYPMY geometrisinin merkezi kısımlarını bu ışıma değerlerine göre farklılaştırmış ve çeşitli büyüklükte boşluklara sahip modüller elde etmiş, daha sonra yapı kabuğunda oluşturduğu isosurface'lara bu geometrileri deforme ederek yerleştirmiştir. Casucci araştırmasında ÜYPMY'lerin daha çok türeyebilme potansiyelleri üzerinde çalışıp, bu modülleri iki yönlü olarak türetmiştir.



Şekil 4.25 : Yapının ışıma analizleri ve kategorilenmesi (URL-30)



Şekil 4.26 : Yapının ışıma analizleri ve kategorilerine göre oluşturulan ÜYPMY'ler (URL-30)

4.4.2.2 “TetraMIN” projesi

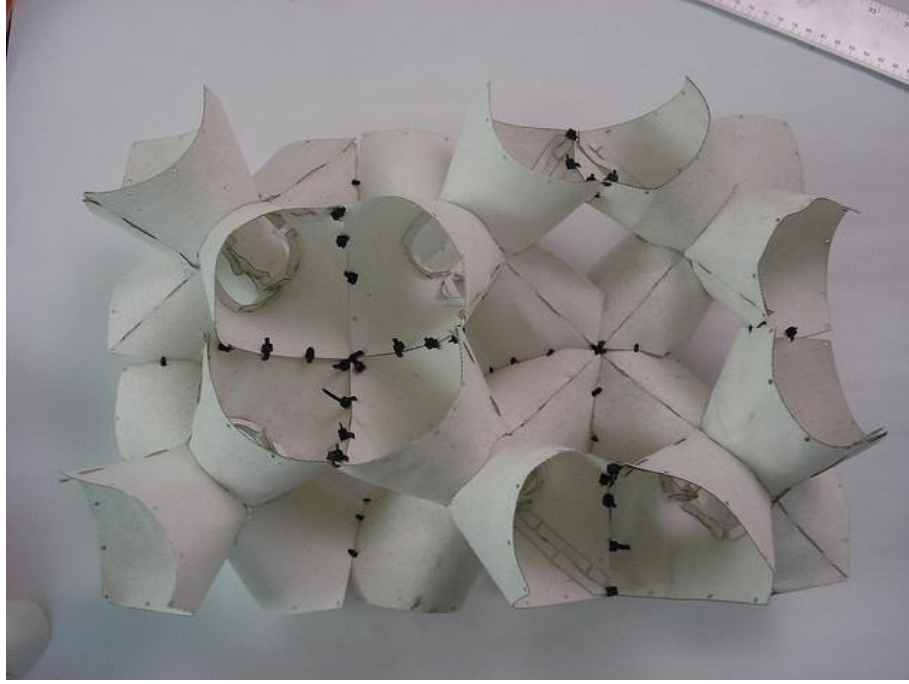
Ball State University’nde çalışmalarının merkezine malzeme ve fabrikasyon süreçlerini koyan bir mimari çalışma grubu olan i.M.A.D.E, bu doğrultuda çalıştaylar ve projeler yapmaktadır. 2008 yılında üniversitenin mimarlık bölümünden dokuz mimarlık öğrencisi ile birlikte prototip oluşturmak ve fabrikasyonunu yapmak için *Research in Materials and Manufacturability for Extreme Affordability Workshop* adlı bir çalıştay düzenleyen grup bir haftalık bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın sonuç ürünü olan tetraMIN, bir araya toplanmış asılı bir bölücü olarak tasarlanmış bir çalışmadır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 : tetraMIN (URL-31)

Tetrahedron geometrilerin bir araya gelmesini Rhino programının Grasshopper eklentisi ile yapan tetraMIN’de, her bir parça bir periyodik minimal yüzey oluşturmaktadır. 2008 yılında yıkılan RCA Dome stadının pünomatik çatı malzemesi olarak kullanılmış ve hurdaları stüdyoya bağışlanmış politetrafloroetilen (PTFE) malzemesinin lazer kesimleriyle oluşturulan bu minimal yüzey parçacıklar, bütün bölücü geometrisini oluşturmak için çalışma grubu tarafından geliştirilen ve imal edilen (crafted) birleşim çözümleriyle sonuç ürünü oluşturmaktadır (Şekil 4.28).

Prototipleme haricinde 108 saatlik bir çalışmayla elde edilen son model hem çalıştayın sergisinde hem de Üniversitenin Mimarlık bölümünde sergilenmiştir.



Şekil 4.28 : Periyodik minimal yüzeyler ve geliştirilen birleşim yöntemi (URL-31)

4.4.2.3 “Active Phytoremediation Wall System” projesi

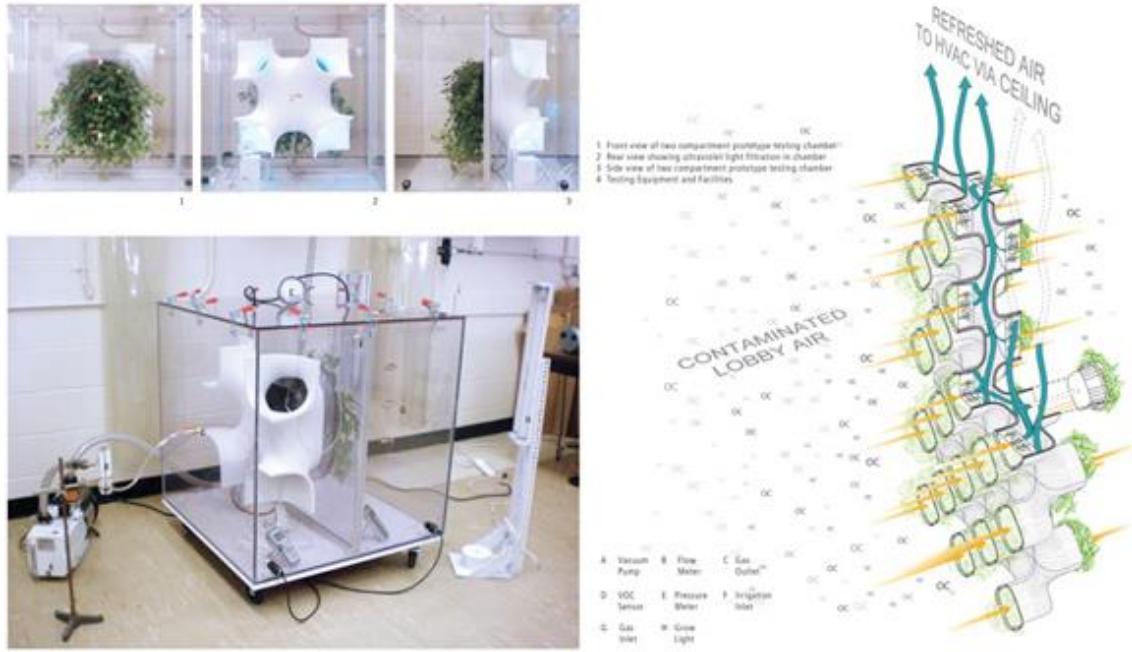
Rensselaer Polytechnic Institute ve *Skidmore, Owings & Merrill Architecture*’un ortak çalışmasının sonucu olan The Active Phytoremediation Wall System, topraksız tarım bitkilerinin konduğu saksıların modüler bir sistemdir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 : The Active Phytoremediation Wall System (URL-32)

The Active Phytoremediation Wall System’de temel amaç, bu tarz tarım yöntemlerinin hava temizleyici özelliklerini kullanarak mekanda hava akışını sağlayıp kaliteli bir yaşantı oluşturmaktır. Bitkilerin köklerinin toprağa gömülmesi yerine açıkta

bırakılması, bitkilerin haca temizleme kapasitesini yüzde 200 ile 300 arasında artırmaktadır. Oluşturduğu bu biyomedikal hibrid sistem sayesinde bina içerisinde ürettiği taze hava, böylece enerji tüketimini de azaltmaya yardım etmektedir. Saksıların her biri, kullanılan plastik malzeme minimumda tutulurken, bitki kökenlerine ulaşan hava miktarının olmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.30). Bu sistem ayrıca bitkiler için de uygun bir yatak oluşturmuştur. Tasarımcılar bu ürünün küçük ve büyük tüm ölçeklerde aynı verimde çalışacağını ve bir çok iç mekanda değerlendirilebileceğini öngörmektedirler.



Şekil 4.30 : Schoen'in IWP modülleri ile tasarlanan modül saksılar ve sistemin hava akış diyagramı (URL-32)

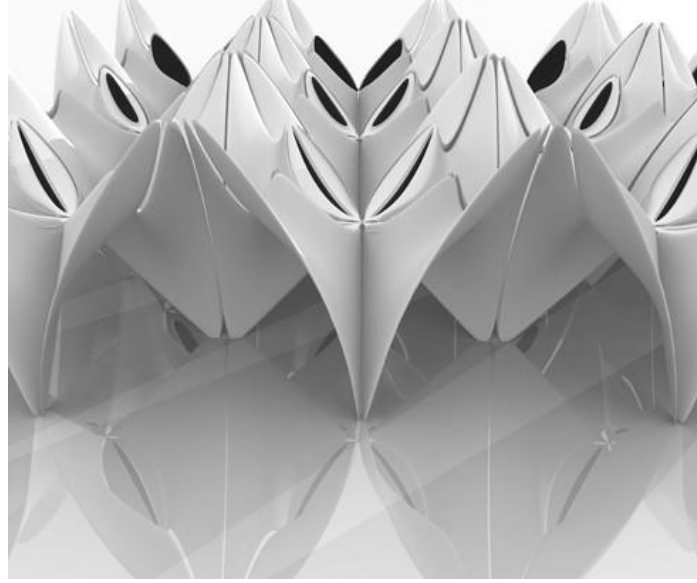
4.4.2.4 “Continuous Shells Triple Periodic Minimal Surfaces” projesi

University of Applied Arts Vienna’da Zaha Hadid tarafından yönetilen tasarım stüdyosunda Diana Quintero de Saul tarafından tasarlanan bu kabuk tasarımında, ÜYPMY’lerin kabuk strüktüründe uygulamaları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan hem önceden tanımlı yüzeylerin parametrik bir sisteme uyarlanması ile, hem de kaleydoskop hücreleri olarak Quadri-rectangular Tetrahedron’ları kullanan minimal yüzeylerin hesaplamalı bir algoritmaya dahil edilmesiyle farklı sonuçlar veren çıktılar elde edilmiştir.

Araştırmanın ilk aşamasında, yapılagelmiş üç ÜYPMY araştırması incelenmiştir: Schoen’in kendi kendine kesişmeyen ÜYPYM analizleri; üç boyutlu uzayı Rheomatic yüzeylere ayıran Daniel Piker’in çalışmaları ve Betting Kelvin’in yaptığı araştırmaları

kaleideskop hücrelerinde kullanarak ÜYPYM'lerin Batwing ailesi örneklerini üreten Ken Brakke'nin çalışmaları.

Çalışmanın ikinci aşamasında, farklı kabuk morfolojileri bir parametrik sistemde test edilmiş ve uygun strüktür seçilmiştir. Bu parametrik algoritmanın kullanımı ve ilgili metodlarla, Batwing ÜYPYM'lerinden oluşan ve program, çevre ve semiyotik koşullarına bağlı olarak beş adet kabuk tasarımı ortaya çıkmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 : Continuous Shells Triple Periodic Minimal Surfaces (URL-33)

Tasarımcılara göre çıkan alternatif tasarımlar strüktürel, estetik ve mekansal olarak farklı kalitede ürünler olsa da nihai olarak hepsi eşdeğerdir. Burada bir farklılık yakalayabilmek adına kentsel boyutta yapılabilecek bir çalışma ilerisi için öngörülmüştür.

4.4.3 ÜYPMY'ler ile mekan oluşturulan mimari örnekler

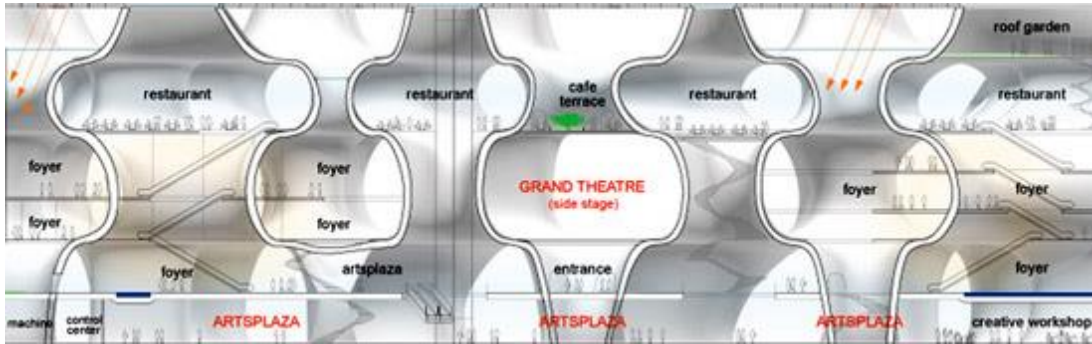
4.4.3.1 Taichung Metropolitan Opera | Toyo Ito

2006 yılında Tayvan'da yapılan yarışma için önerilen bu tasarım, ÜYPMY ile yapılmış tasarımların uygulanan ilk örneğidir. Toyo Ito'ya göre mimarlar toplumun çeşitliliğini takip etmek zorundadır ve kabul etmelidir ki, basit bir kare veya küp bu çeşitliliği kapsayamaz. Merdivenlerin yalnızca merdiven olduğu, strüktürün mekandan ve formdan bağımsız olabildiği, yapının içiyle dışının tamamen farklı olduğu parçalardan oluşan Kartezyen şekillenmeler mimarlığın otonomlarını oluşturmuştur. Toplum kartezyen düşüncenin güncel olduğu zamanlardan yüzyıllar ilerisine gelmiştir. Bu bina da bu doğrultuda ilerleyen bir yapıdır (Şekil 4.32) (URL-34).



Şekil 4.32 : Tasarımın hızlı prototip modeli (URL-34)

Toyo Ito'nun Öklidyen olmayan geometrilerin devamlılığından ve bütünlüğünden etkilenecek yaptığı tasarımda mekandaki bütün mimari elemanları (duvarlar, döşemeler, stüktür, çatı...) tek bir yüzey ile elde etmeye çalışmıştır (Şekil 4.33). Bir opera yapısı olarak bu geometri ayrıca akustik açıdan da verimli bir tasarıma olanak sağlamıştır.



Şekil 4.33 : Tasarımda oluşturulan mekansal süreklilik ve ilişkiler (URL-34)

Yapının kompleks formu, üretim aşamasında da özgün yöntemler kullanılmasına neden olmuştur (Şekil 4.34). Yapının uygulaması için püskürme beton yöntemi en uygun yöntem olarak değerlendirilmiştir. Formda bulunan çift eğrilikli kısımların sahada üretimi zor ve pahalı olacağı için, inşaat alanında ilk önce bir çelik çerçeve sistemi kurulmuş ve metal 'mesh'lerle sabitlenmiştir. Bu 'mesh'ler çerçeve sistem içerisinde bağlantılar kurarak, püskürtme beton malzememin yapışabileceği yerler oluşturmuştur. Üretim sisteminde hedeflenen duvar kalınlığı en üst katta 200mm, en altta 350mm olmuştur. En sonda yüzeylere parçacıksız beton katmanı püskürtülerek

pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir (Şekil 4.35).



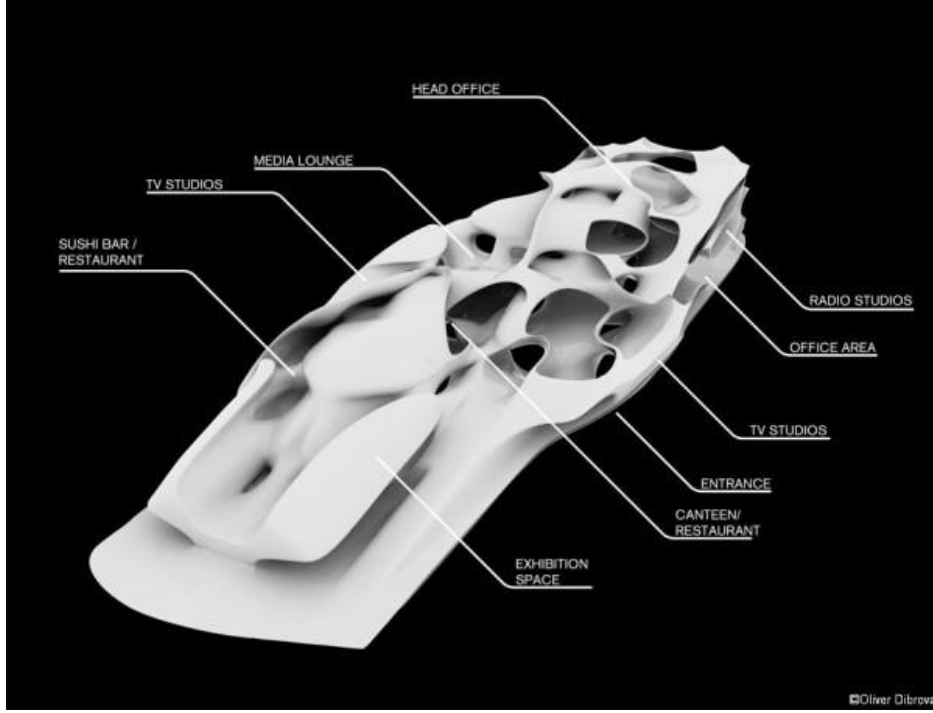
Şekil 4.34 : Yapının inşaat halinden bir fotoğraf (URL-35)



Şekil 4.35 : Yapının bitmiş halinden bir görüntü (URL-36)

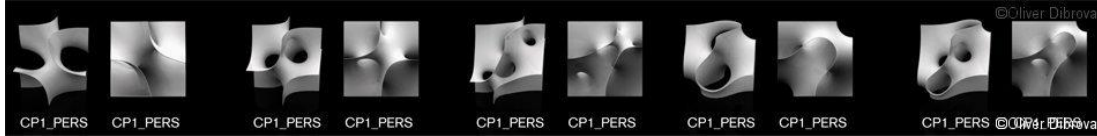
4.4.3.2 “Minimal Surface Manipulation - RTV Headquarters” Projesi

Oliver Dibrova’nın 2010 yılında ETH Zurich’te önerdiği bu tasarım minimal yüzeylerdeki gözenekli geçirgen yapılar araştırma konusu olmuştur. Dibrova bu projede minimal yüzeyleri mekansal elemanlar olarak kullanıp onlar aracılığıyla yönetim mekanları, TV stüdyoları, radyo stüdyoları, açık alan, çalışma alanları ve ofislerin mekansal olarak içiçe geçmelerini ve birlikte kullanımlarını sağlamaya çalışmıştır (Şekil 4.36).

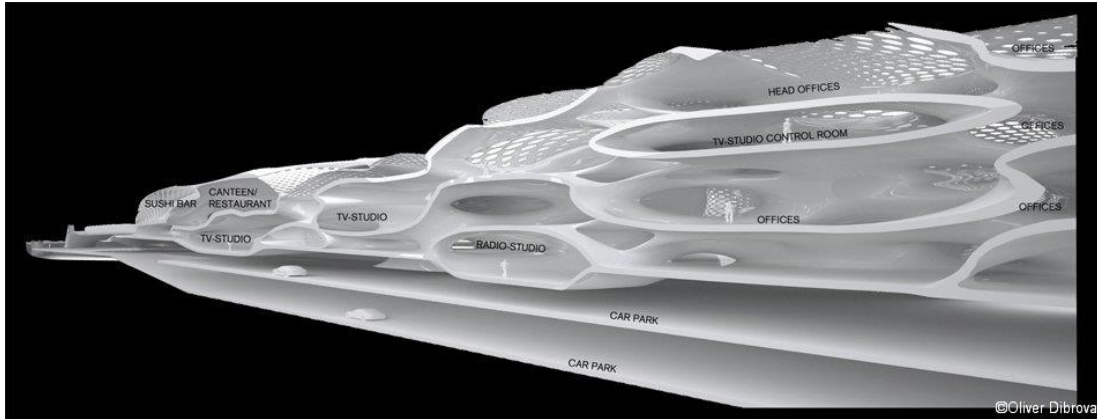


Şekil 4.36 : Tasarımın fonksiyon şeması ve bölümler arası geometrik süreklilik ilişkileri (URL-37)

Sıvı sabun yüzeyleri ve minimal yüzeylerin durumları ile ilgili yaptığı araştırmaların ardından Dibrova çeşitli bileşenler türetmiştir (Şekil 4.37). Bütün bileşenlerin mekansal olarak farklı tarzda kalitelere sahip olması genelde bir hibrid program üretilmesini ve bu program mekanları arasında çok-katlı geometrilerle elde edilen maksimum iletişimi ve etkileşimi sağlamıştır (Şekil 4.38).



Şekil 4.37 : Dibrova'nın tasarımda kullandığı ÜYPMY bileşenleri (URL-37)



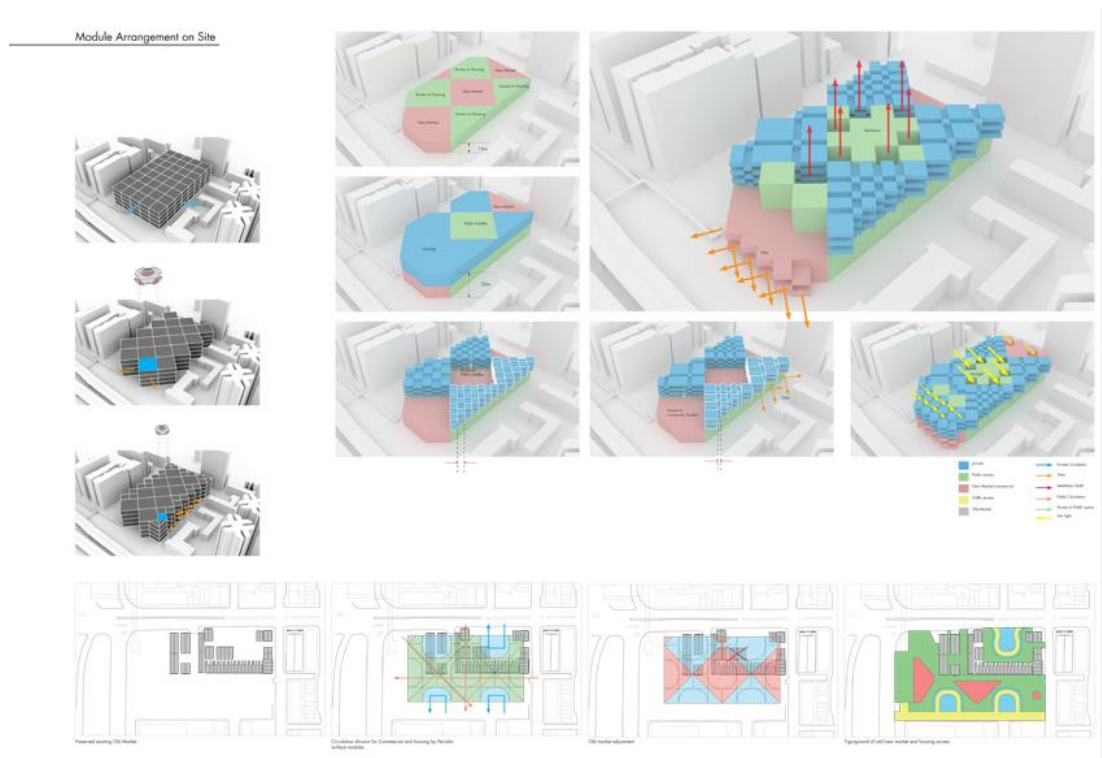
Şekil 4.38 : Dibrova'nın tasarımda kullandığı ÜYPMY bileşenleri (URL-37)

4.4.3.3 Kowloon Wholesale Fruit market in Hong Kong

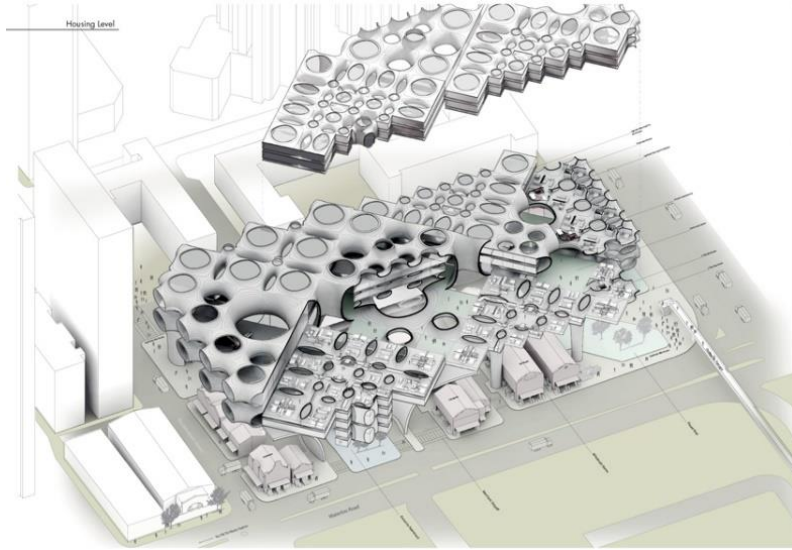
Jeroen van Ameijde, Oliver Ottevaere 2011 yılında Architectural Association School of Architecture'da tasarım stüdyolarında kentsel konut araştırmaları yapmışlardır. Bu stüdyo araştırmaları kapsamında ilk önce araştırmacılar var olan fabrikasyon yöntemleriyle yapı üretimine yönelik araştırmalar yapmışlardır. Stüdyonun ikinci kısmında ise bu yaptıkları araştırmalardan çıkardıkları konseptleri Hong Kong içerisinde yoğunluktaki bir alana uygulayarak test etmişlerdir.

Jinyun Heo ise bu stüdyo çalışmasında minimal yüzeyli beton strüktürleri Kowloon Pazar alanındaki farklı kullanım amaçlarını tekrar ele alan, boşluklu yapısı sayesinde de sirkülasyonu, doğal havalandırmayı ve ışıklandırmayı çözümleyen bir bakış açısıyla yapının modülleri olarak kullanmıştır.

Yaptığı analiz çalışmalarıyla mekan programlarına göre prim yerleştiren ve boyutlandıran (Şekil 4.39). Heo, Schoen's P Surface geometrisini bu prizmalara göre uyarlayarak apartman blokları, bahçeler ve marketlerin birlikte bulunduğu bir tasarım ortaya koymuştur. Heo'nun bu çalışmasında üç yönlü periyodik yüzeylerin diğer örneklerden farklı olarak periyodik özelliğinin yorumlanması ilgi çekici bulunmuştur.



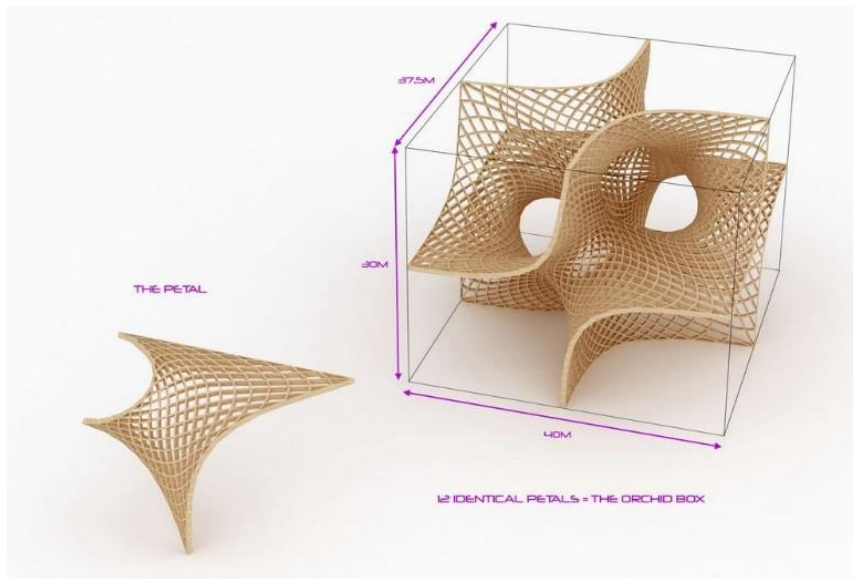
Şekil 4.39 : Tasarım analizleri doğrultusunda oluşturulan sınır şekiller (URL-38)



Şekil 4.40 : Kowloon (URL-38)

4.4.3.4 Wooden Orchids

Tasarımlarında sürdürülebilirliği ön planda tutan Belçikalı mimar Vincent Callebaut'un Çin'de tasarladığı alışveriş merkezi Wooden Orchids, orkidelerden esinlenilen güneş ve rüzgar enerjisi, jeotermal ısıtma, yağmur suyunun tekrar kullanımı gibi çeşitli ekolojik tasarım unsurlarını karşılayan bir konsept projesidir. Yapının formu altın oran ve biyomimetik tasarım ilkelerinden türemiştir. Tasarımcının *petal* olarak adlandırdığı kaleydeshop hücrelerinin 16 tanesi birleşerek bir *orchid box*'ı oluşturmaktadır. Prefabrike ahşap strüktürler ile üretilebilecek bu birimlerin 6 tanesinden türetilen son tasarımda 12 hücre oluşturulmuş ve bu hücreler yaya köprüleriyle birbirilerine bağlanmıştır (Şekil 4.41).



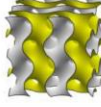
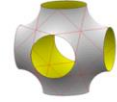
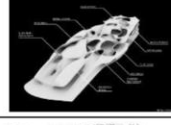
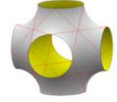
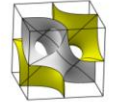
Şekil 4.41 : *Petal* hücresi ve bir adet *Orchid Box* (URL-39)

Hücrelerin her biri işlevlerine göre tekrar ele alınmış ve işlenmiştir. ÜYPMY'lerin iki labirent oluşturma özelliği bu tasarımda kapalı mekanlar ile saydam mekanlar arasındaki ayrımı oluşturmuştur. Sinema, kütüphane, spor salonu ve yemek bölümleri yapının katı cephesindeki kısımlara yerleştirilmişken, market ve pazar kısımları yapının açık kısımlarına yerleştirilerek doğal ışıktan faydanılan kamusal mekanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 : Wooden Orchids (URL-39)

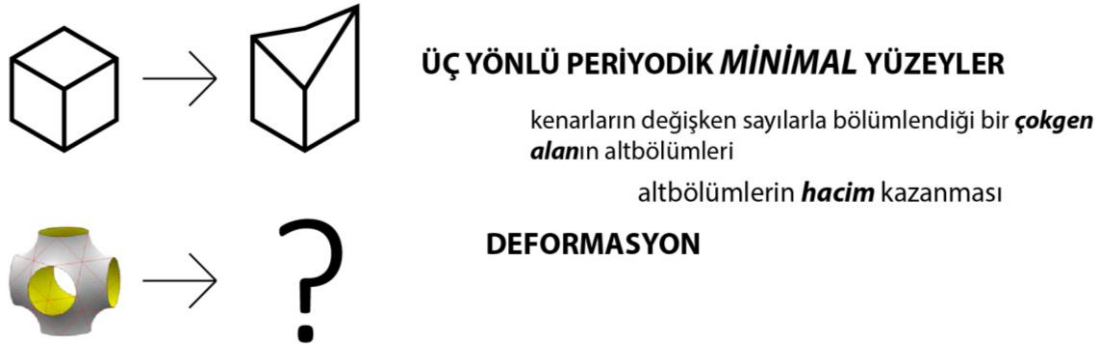
Çizelge 4.1 : Çalışma kapsamında incelenen örnek projeler

Proje İsmi	Yıl	Periyodiklik	Periyodik Yüzey	Üretim	Malzeme / Öneri Malzeme	Proje Görseli
The Gyroid Climber	2010			✓	Ahşap Plastik	
Minimal Complexity	2009		Farklı ÜYPMY'ler	✓	Alüminyum Pleksi PLA Baskı Kağıt	
Hypar Infinity	2015	✓		✓	Plywood	
Minimal Surfaces High-Rise Structures	2012		Özel			
New Library In Florence	2010	✓				
TetraMIN	2011	✓		✓	PTFE	
Active Phytoremediation Wall System	2009	✓			Plastik	
Continuous Shells Triple Periodic Minimal Surfaces	2012	✓				
Taichung Metropolitan Opera	2005	✓		✓	Püskürtme Beton	
RTV Headquarters	2010		Farklı ÜYPMY'ler			
Kowloon Wholesale Fruit market	2011	✓				
Wooden Orchids	2014	✓			Ahşap	

5. ÜÇ YÖNLÜ PERİYODİK MİNİMAL YÜZEYLER İLE OLUŞTURULAN BİR TASARIM ÖNERİSİ

Araştırmanın bu bölümünde önceki bölümlerde matematiksel ve geometrik anlamda anlatılan diferansiyel geometri örneklerinden ÜYPMY'ler, tasarım parametresi olarak kenarların değişken sayılarla bölümlendiği bir çokgen alanın alt-bölümlerinde kullanılarak bir tasarım önerisi sunulacaktır. Bu tasarım yöntemi ile ÜYPMY'lerin çift labirent özelliği ve bu labirentlerin devamlılığı baz alınarak sürekli mekanlar oluşturan bir sergi alanı oluşturulabileceği öngörülmektedir.

Çalışmanın bu kapsamında ele alınan ÜYPMY'ler matematiksel olarak bir küp dahilinde üretilmiş ve periyodikliği sağlanmış yüzeylerdir. Bu yüzden önerilen yöntemin geliştirilebilmesi için, verilen alanda dörtgen alt-bölümlerin oluşturulması ve ÜYPMY'lerin deformasyonu konularında literatür taraması yapılmıştır. Araştırmada ortaya konulmaya çalışılan; bu iki konu bilgisi, matematiksel altyapı ve elimizdeki hesaplamalı tasarım yöntemleri ile mimarların ÜYPMY'leri tasarımda sadece geometri modellerindeki halleriyle değil sınır-şekilleri deforme ederek de kullanabileceğidir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Araştırmada ÜYPMY'lerin ele alınma öngörüsü

5.1 Tasarımda Kullanılacak Çokgen Alanın Dörtgen Alt-bölümlerinin Oluşturulma Yöntemi

Bir yüzeyin alt-bölümlerine ayrılması sorunu, özellikle oyunlar ve bilgisayar animasyonları gibi dinamik modellerin kullanıldığı grafik dallarında ön plana çıkan

bir sorundur. Çünkü bir yüzeyi altparçalarına ayırmak, o yüzey üzerinde yapılacak deformasyonların daha yumuşak geçişli olmasını sağlamaktadır. Özellikle bilgisayar teknolojisinin üçgenlenmiş ‘mesh’ler ile hızlı çalışabiliyor olması bu konuda bir çok araştırma yapılmasına neden olmuştur. Mimarlıkta ise gelişen bilgisayar destekli tasarım araçlarıyla birlikte düzlemsel geometrilerden farklı olarak kompleks yüzeylerin sayısal olarak tasarlanması, bu yüzeylerin üretiminde yeni bir çok problemin oluşmasına neden olmuştur. Bunların belki de en önemlileri malzeme boyutlandırmalarındaki kısıtlar ve üretimin düzlemsel geometri metodlarıyla üretilecek olmasından dolayı yüzeyi düzlemsel alt-bölmelere ayırma ihtiyacıdır. Çalışma kapsamında ise alt-bölmelere ayırma işlemi, tasarımın son halinin üretimine yardımcı olması amacıyla değil, tasarımın başında bir hesaplamalı tasarım aracı olarak kullanıcı parametrelerini değerlendirmek üzere kullanılacaktır.

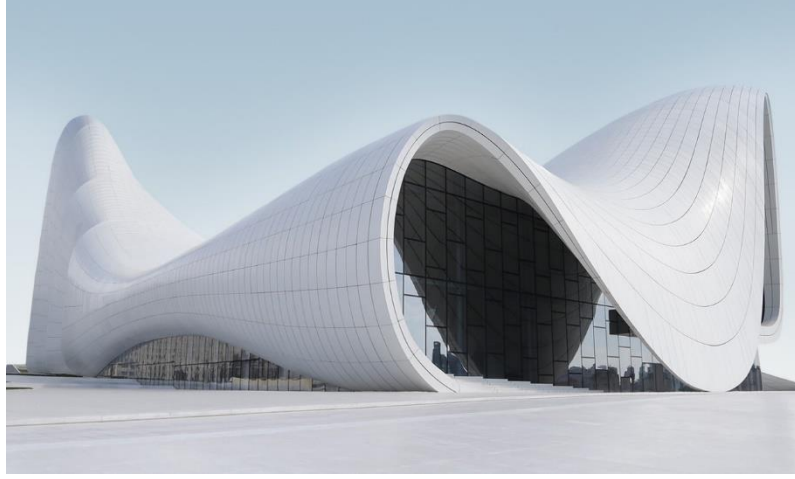
Verilen bir yüzeyin alt-bölmelere ayrılması bir çok şekilde olabilir. Bu alt-bölmelendirmelerin en bilineni ve en kullanılanı üçgenleme metodlarıdır. Üçgen yüzeyler doğal olarak bir çok avantaja sahiptir, fakat belki de en önemlisi bütün üçgenlerin düzlemsel olmasıdır. Seri üretim yöntemleri ve üretimlerde düzlemsel geometri teknikleri kullanılması dolayısıyla üçgenleme yöntemleri bir tasarımın fiziksel üretimini gerçekleştirirken oldukça önem kazanmaktadır. Mimaride bir çok tasarım üçgenlenmiş alt-bölmelerine ayrılarak üretimleri yapılmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : COOP HIMMELB(L)AU tarafından tasarlanan 2007 yılında açılan BMW Welt binası (URL-40)

Dörtgenleme yöntemleri ise animasyon ve oyun teknolojilerinde daha çok modelleme aşamasında sağladığı kolaylıklar yüzünden tercih edilen yöntemler olmuştur. Mimarlıkta da dörtgen alt-bölmelendirmeler üçgen alt-bölmelendirmeler kadar kullanılan bir

yöntemdir (Şekil 5.3). Pottmann, Schiftner ve diğ. (2008)'e göre serbest formlu bir şeklin dörtkenarlı panellerle şekillendirilmesi üçgenlenmiş meshlere göre daha avantajlıdır. Diferansiyel geometri hesaplamalarıyla elde edilen düzlemsel dörtgenler, üçgenlere göre bir kaç önemli avantaja sahiptir: daha az sayıda ayrıta sahiptirler; daha az ayrıta daha az destek giriş sistemine ihtiyaç duyar; daha az kullanılan malzeme daha ucuz üretimi sağlar. Ayrıca dörtgen 'mesh'ler düğüm noktalarında daha az kompleks olduklarından üretim için önemli bir avantaj oluşturmaktadır.



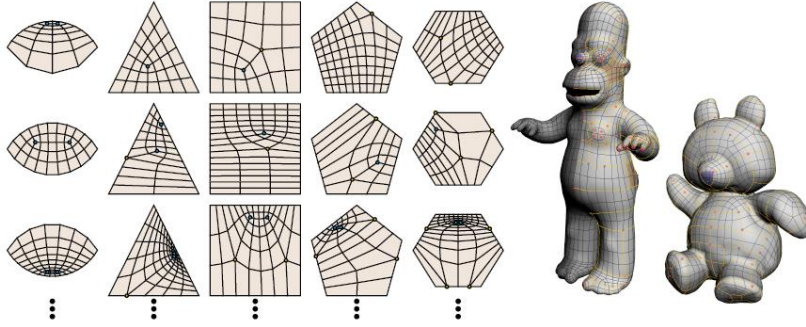
Şekil 5.3 : Zaha Hadid Architects tarafından tasarlanan 2012 yılında açılan Heydar Aliyev Center (URL-41)

Çalışma kapsamında kullanılan ÜYPMY'ler dört kenarlı sınırlara sahip olduğu için, yöntemin ilk aşaması, sınırlarıyla belirli çokgen bir alanın dörtgen alt-bölümlerini oluşturmaktır. Bu alanın kenarlarının parçalanma sayısı parametrelere bağlanarak parametrik bir tasarım yöntemi oluşturulacaktır. Bu parametrelerin, tasarımı yapılan yapıya farklı doğrultulardan gelen insan yoğunluğu gibi girdilerin karşılığı olarak temsil edilebileceği öngörülmektedir.

Yapılan literatür araştırmasında ETH Zurich'teki Interactive Geometry Lab(IGL)'ın yaptığı çalışmalar, dörtgenlenmiş alt-bölümlerin oluşturulması için araştırmaya dahil edilerek uyarlanmıştır. IGL ekibi 2014 yılında algoritmik bir yaklaşım ile, 2015 yılında ise bilgi tabanlı bir yaklaşım ile iki farklı dörtgenleme metodu sunmuşlardır. Ekibin iki çalışmada da amacı, üçgenlenmiş mesh olarak ele alınan modellerin geometrik ilişkileri tekrar kurularak (retopology), kullanımı ve düzenlemesi daha kolay olan dörtgenlenmiş 'mesh'lere dönüştürmektir.

Ekibin 2014 yılında sundukları ilk çalışmada Takayama ve diğ. (2014a) sınırları parçalanmış çok kenarlı bir 'mesh' parçasını dörtgenlemek için bir algoritma

geliştirmiştir (Şekil 5.4). Ekibin geliştirdikleri algorithmada amaç, alt-bölümler oluşturulduğunda elde edilen düğüm noktalarının düzensiz olanlarının (*irregular vertex*) sayısının minimum olmasıdır. Ekibin oluşturduğu program C++ dilinde yazılmıştır ve web sayfalarından indirilebilmektedir (URL-42).

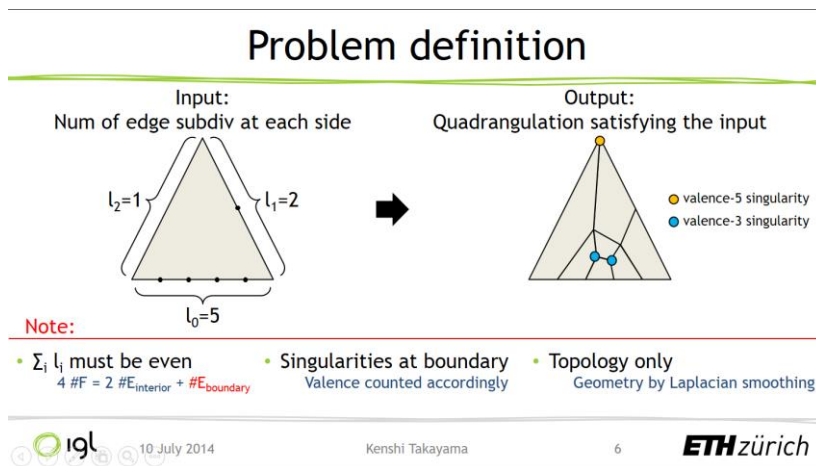


Şekil 5.4 : Takayama ve diğ. (2014a) tarafından geliştirilen $2 \leq N \leq 6$ kenarlı parçaların örüntüye bağlı olarak dörtgenlenmesi

Takayama ve diğ. (2014) sundukları algoritma ile kenar sayısı en az 2 en fazla 6 olan ‘mesh’ parçalarının verilen kenar bölümlenme sayılarına göre alt-bölümlenmeleri yapılabilmektedir (Şekil). Sunulan yöntemdeki tek kısıt kullanıcı parametresi olarak bırakılmış olan kenarların parçalanma sayılarının toplamının çift sayı olmasıdır. Bunun nedeni ‘mesh’ parçasında oluşturulacak dörtgen alt-bölüm yüzeyleri (F), sınır ayrıtları E_b , ve içerde oluşan ayrıtlar E_i ile temsil edildiğinde, her bir yüzeyin 4 ayrıtı ve içerdeki ayrıtların iki yüzeye komşu olacağı için

$$4F = E_b + 2E_i$$

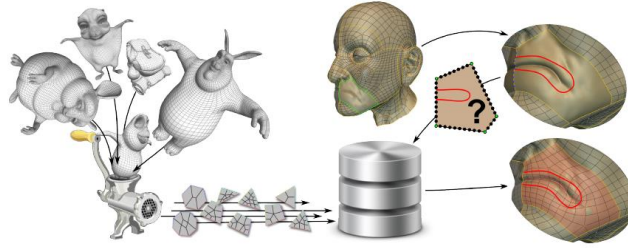
olmalıdır. Bu durumda da E_b çift sayı olmalıdır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Çalışmanın probleminin tanımı (Takayama ve diğ, 2014b)

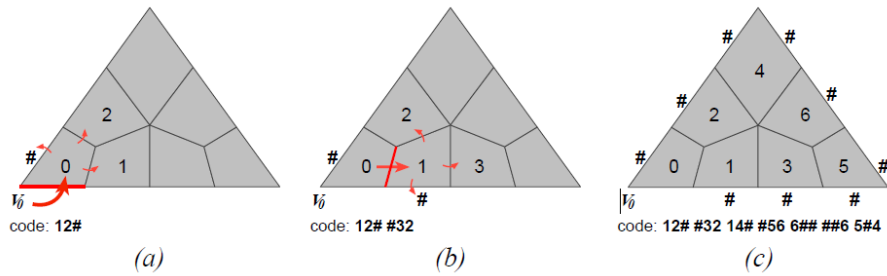
Ekibin diğer bir çalışmasında ise (Marcias ve diğ, 2015), aynı problem tanımlaması

için bilgi tabanlı bir model önerilmiştir (Şekil 5.6). Burada ekibin geliştirdiği arayüz (URL-43) ile yine üçgenlenmiş ‘mesh’ olarak ele alınan modelin geometrik ilişkileri yeniden kurularak dörtgenlenmesi yapılmaktadır. Önceki çalışmalarına göre farklı olan nokta, dörtgenleme işlemi daha önce el ile modellenmiş dörtgenleme modellerinin oluşturduğu bir veritabanından uygun olan dörtgenleme çözümünün çekilmesidir.



Şekil 5.6 : Marcias ve diğ. (2015) tarafından önerilen bilgi tabanlı dörtgenleme yöntemi

Ekibin oluşturduğu arayüz ile girilen problem veritabanı üzerinden topolojik ilişkilerle okunmakta ve sonuç geometri Laplas yumuşatmaları ile elde edilmektedir (Şekil 5.7)



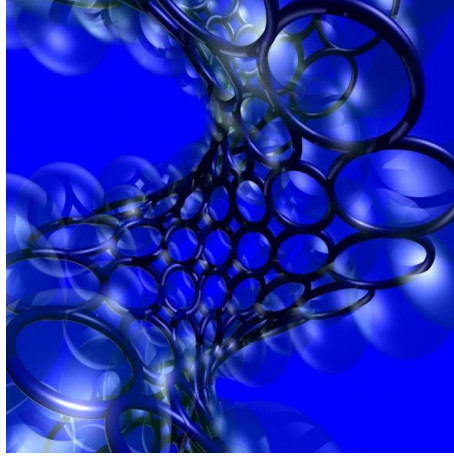
Şekil 5.7 : Bölümlerin numaralandırılması ve aralarındaki bağlantıların topolojik ifadelendirilmesi (Marcias ve diğ, 2015)

5.2 ÜYPMY’lerin Deformasyonu

Matematik araştırmalarında periyodik minimal yüzeyler genellikle çokgenler, kaleydoskoplar ve küp gibi düzlemsel yüzeylere sahip üç boyutlu geometriler (sınır şekiller) dahilinde üretilmeye çalışılmıştır. Geometriyi anlayabiliyor olmanın yeni dijital tekniklerin kullanılmasında önemli bir rol oynadığını söyleyen Wallisser (2009) bu durumda önemli olanın matematiksel formülasyonu tamamıyla anlamak değil, konseptleri mimari modellere aktarmak olduğunu söylemektedir. Wallisser’e göre geometrik prensiplerin kendileri mimari tasarımlara ilham kaynağı olabilir; fakat parametrik modelleme ve tasarımlarda önemli olan geometrik ilişkileri daha iyi

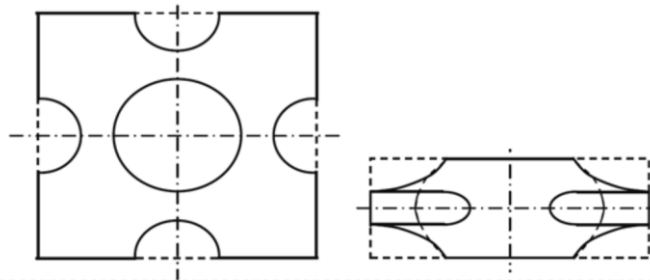
anlayabilmek ve yorumlamaktır.

Minimal yüzeylerin özelliklerinden biri de bunların bir aile olarak var olmasıdır. Bunun anlamı şudur: bir minimal yüzey, minimallik özelliğini kaybetmeden deforme edilebilir ve böylece aynı aileden birçok yüzey elde edilebilir (URL-44). Helikoid ve Katenoid aynı aileye aittirler. Sonuç olarak bu iki yüzey birbirine dönüştürülebilir ve üstelik dönüşüm sırasındaki bütün yüzeyler de minimaldir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : Katenoid'ten Helikoid'e deformasyonun tam orta anındaki minimal yüzey (URL-44)

ÜYPMY'lerin sınır şekilleri üzerinde yapılacak basit deformasyonlar ile de yüzeylerin minimallik özellikleri değişmemektedir. Burada en önemli soru deformasyona uğratılan sınır şeklinin (küp) oranları değiştiğinde yüzeyin kendisinin toplam eğrilik değerlerinin ve minimal yüzey olma özelliğinin değişip değişmemesidir. Şekil 5.10'da Schoen'in bir küboid içinde 16 eşit yüzey parçası ile oluşturduğu ÜYPMY hücresi görülmektedir. Bu küboidin yüksekliğini değiştirerek minimal yüzeylerin bir parametrik ailesini geliştirmek mümkündür (Krivoshapko ve Ivanov, 2015). Yani verilen sınır şekli (küp) deformasyona uğratıldığında başlangıç yüzeyi ÜYPMY olarak geometrik özelliklerini devam ettirecektir.

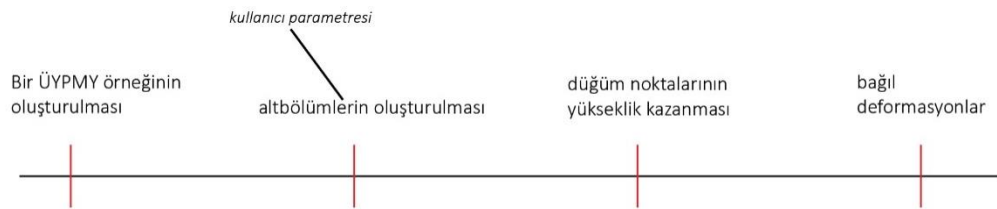


Şekil 5.9 : Sınır şeklinin yüksekliği değiştirilmiş bir ÜYPMY (Krivoshapko ve Ivanov, 2015)

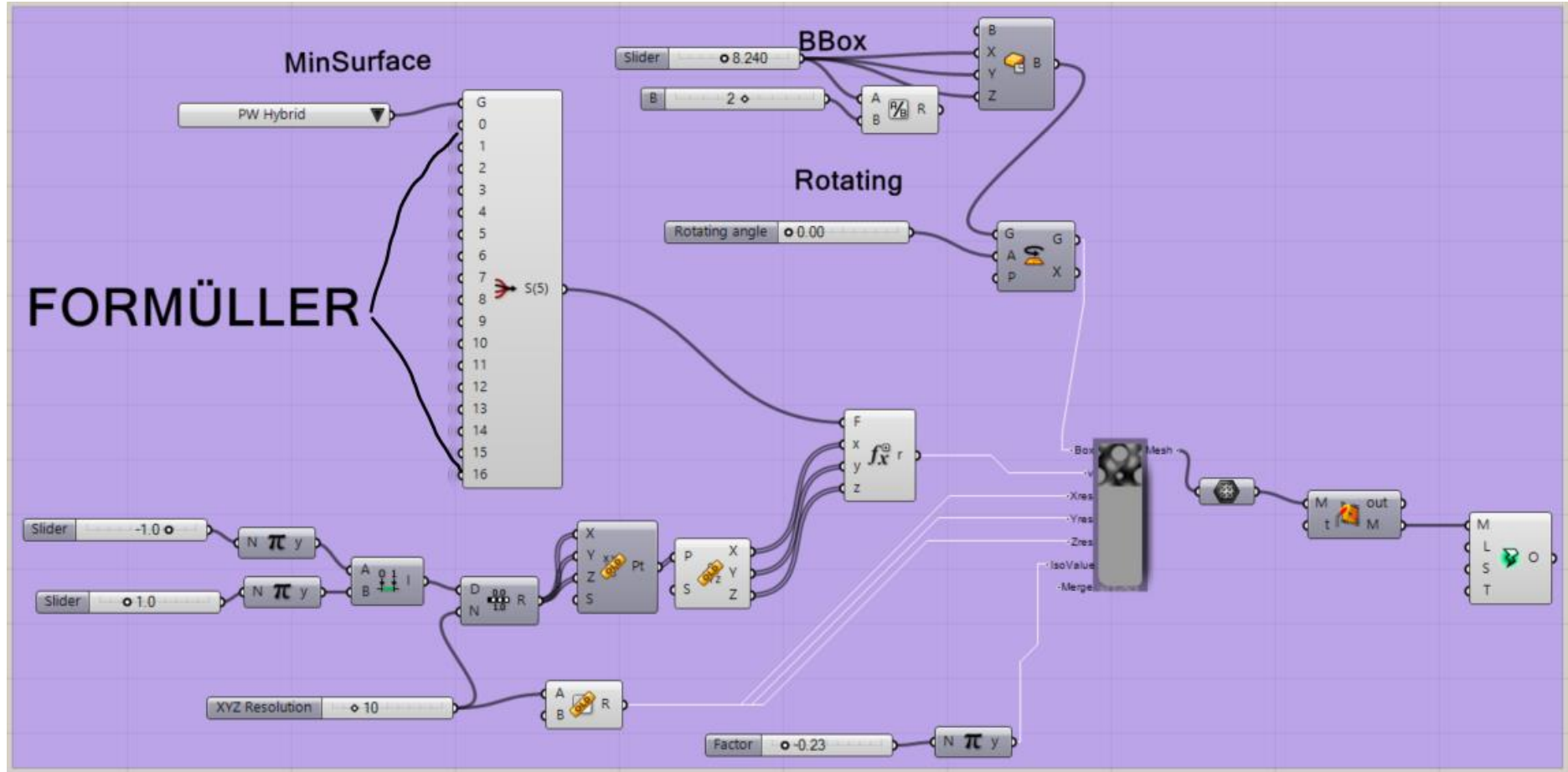
5.3 ÜYPMY ile Mekan Tasarımı Modeli

Sınır şekilleri deforme edilmemiş olan ÜYPMY'ler ile üretken bir mimari tasarım yöntemi oluşturmak bir araştırma konusu olabilir. Fakat çalışma kapsamında mimari tasarımların bütünüyle eş parçalardan oluşmayacağı öngörüldüğü için, önerilen modelde ÜYPMY'lerin sınır şekilleri olan küpler deforme edilerek farklılaşmış birimlere sahip bir tasarım yöntemi sunulmuştur. Çalışma kapsamında önerilen ÜYPMY'ler mekanı oluşturan hacimsel modüller olarak değerlendirilecektir. Birden fazla ÜYPMY ile oluşturulacak tasarımda tüm modüller arası sürekli ve akışkan bir mekan oluşturmak istenilmiştir.

ÜYPMY'lerin bir tanesinin elde edilmesi tasarım probleminin ilk girdisi olmuştur. ÜYPMY'leri iki şekilde elde etmek mümkündür: ilki Ken Brakke'nin yöntemiyle enerjiyi minimize edip yansımalar ve döndürmelerle küp içerisini doldurmak; diğeri ise yaklaşık cebirsel temsilleri kullanmak. Rhino-Grasshopper programı ile iki yöntemin uygulanmasını da yapabilmek mümkündür. Brakke'nin yöntemi için kaleydeskop hücreleri ile üretilecek minimal yüzeye göre verilecek kısıtlar Kangaroo eklentisi aracılığıyla minimum alanlı ve minimum enerjili yüzeylere çevrilerek bu kaleydeskop hücresinin türetilmesi ile ÜYPMY elde edilebilir. Cebirsel tanımı ile istenilen ÜYPMY'lerin yaklaşık cebirsel formüllerinin Milipede eklentisinin Isosurface bileşeninde değerler olarak kullanılmasıyla model elde etmek mümkündür (Şekil). Ayrıca bölüm 4.3.2.2'de bahsedilen *Surface Evolver* programı ile matematiksel modelleri görselleştiren ve manipüle edilmesini sağlayan *k3dsurf* gibi programlarla oluşturulacak modeller de Rhino programı içerisine alınabilir.



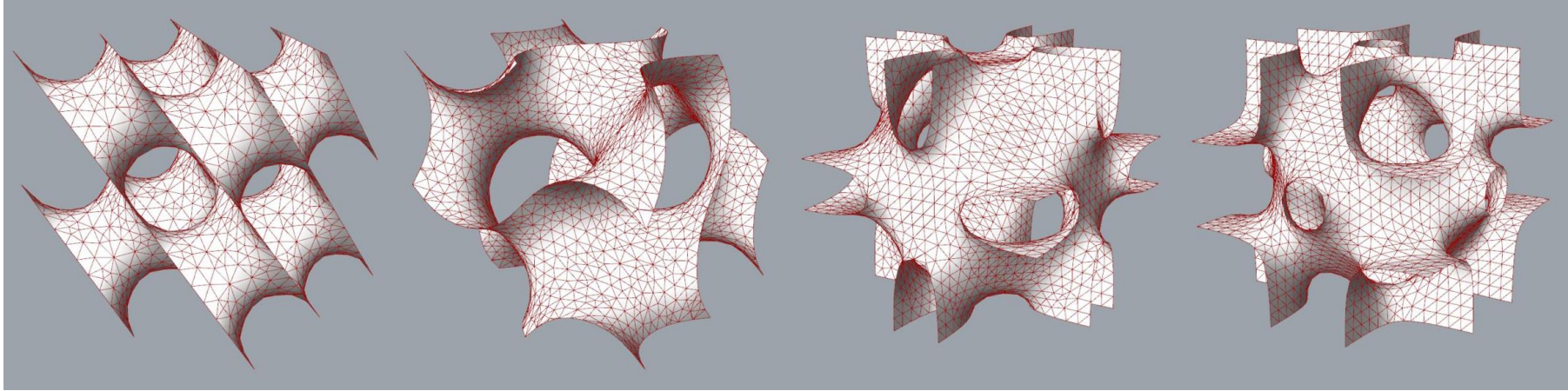
Şekil 5.10 : Model akış diyagramı



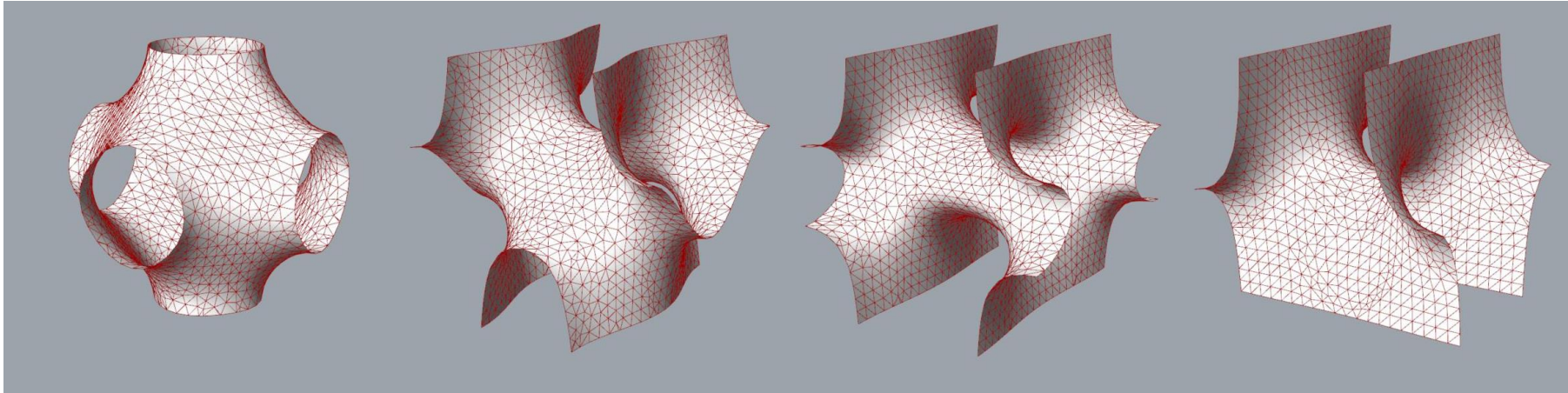
Şekil 5.11 : Rhino Grasshopper ve Milipede programları ile yaklaşık cebirsel formüller ile ÜYPMY oluşturulması

Çizelge 5.1 : Bazı ÜYPMY'ler ve yaklaşık cebirsel formülleri

Diamond	$\sin(x) * \sin(y) * \sin(z) + \sin(x) * \cos(y) * \cos(z) + \cos(x) * \sin(y) * \cos(z) + \cos(x) * \cos(y) * \sin(z)$
Gyroid	$\cos(x)*\sin(y)+\cos(y)*\sin(z)+\cos(z)*\sin(x)$
Neovious	$3*(\cos(x) + \cos(y) + \cos(z)) + 4*\cos(x) * \cos(y) * \cos(z)$
P W Hybrid	$(4*(\cos(x) * \cos(y) + \cos(y) * \cos(z) + \cos(z) * \cos(x)) - 3*\cos(x) * \cos(y) * \cos(z))/2.4$
Schwarz P	$\cos(x) + \cos(z) + \cos(y)$
Scherk's Surface 1	$\exp(z)*\cos(x)-\cos(y)$
Scherk's Surface 2	$z*\cos(x)-\cos(y)$
Scherk's Surface 3	$z*z*\cos(x)-\cos(y)$
Lidinoïd Surface	$0.5*(\sin(2*x)*\cos(y) * \sin(z) + \sin(2*y)*\cos(z) * \sin(x) + \sin(2*z)*\cos(x) * \sin(y)) - 0.5*(\cos(2*x)*\cos(2*y) + \cos(2*y)*\cos(2*z) + \cos(2*z)*\cos(2*x)) + 0.15$
Split P Surface	$1.1*(\sin(2*x)*\cos(y)*\sin(z) + \sin(2*y)*\cos(z)*\sin(x) + \sin(2*z)*\cos(x)*\sin(y)) - 0.2*(\cos(2*x)*\cos(2*y) + \cos(2*y)*\cos(2*z) + \cos(2*z)*\cos(2*x)) - 0.4*(\cos(2*y) + \cos(2*z) + \cos(2*x))$
Double Gyroid	$0.49*(\cos(2*x + y + z - \pi) + \cos(2*x - y + z - \pi) + \cos(-2*x + y - z - \pi) + \cos(-2*x - y - z - \pi) + \cos(x + 2*y + z - \pi) + \cos(x + 2*y - z - \pi) + \cos(-x - 2*y + z - \pi) + \cos(-x - 2*y - z - \pi) + \cos(x + y + 2*z - \pi) + \cos(-x + y + 2*z - \pi) + \cos(x - y - 2*z - \pi) + \cos(-x - y - 2*z - \pi) + \cos(-2*x + y + z) + \cos(2*x + y - z) + \cos(-2*x - y + z) + \cos(2*x - y - z) + \cos(-x + 2*y + z) + \cos(x - 2*y + z) + \cos(-x + 2*y - z) + \cos(x - 2*y - z) + \cos(x - y + 2*z) + \cos(x + y - 2*z) + \cos(-x - y + 2*z) + \cos(-x + y - 2*z)) + 0.27*(\cos(-2*x + 2*y - \pi) + \cos(2*x - 2*y - \pi) + \cos(2*x + 2*y - \pi) + \cos(-2*x - 2*y - \pi) + \cos(-2*y + 2*z - \pi) + \cos(2*y - 2*z - \pi) + \cos(2*y + 2*z - \pi) + \cos(-2*y - 2*z - \pi) + \cos(-2*z + 2*x - \pi) + \cos(2*z - 2*x - \pi) + \cos(2*z + 2*x - \pi) + \cos(-2*z - 2*x - \pi)) - 0.69$



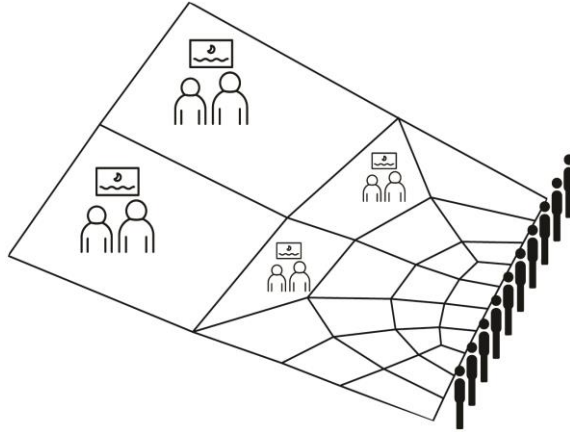
Şekil 5.12 : Grasshopper ile oluşturulan ÜYPMY'ler: (a) Diamond; (b) Gyroid; (c) Neovius; (d) PW Hybrid



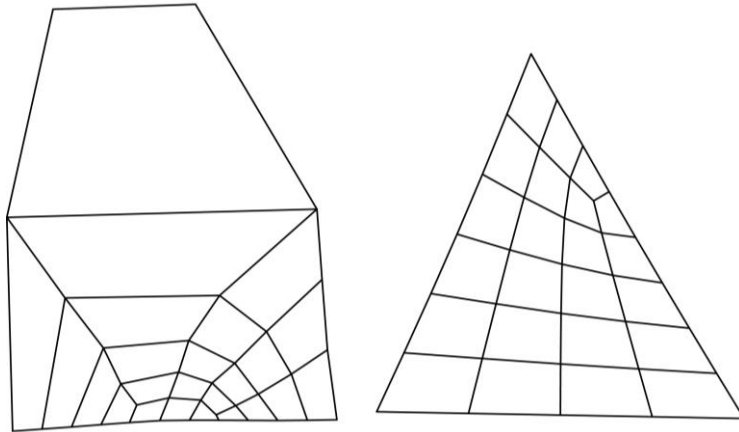
Şekil 5.13 : Grasshopper ile oluşturulan ÜYPMY'ler: (e) Primitive; (f) Shercks' 1; (g) Sherck's 2; (h) Sherck's 3

Çalışmanın ikinci etabında sınırları verilmiş alan için alt-bölümlendirme yapılmakta ve bu alt-bölümlerin boyutlarına göre üç boyutlu deformasyonları belirlenmektedir. Çalışma kapsamın iki boyutlu alanın alt-bölümlerine ayrılması için örnek bir çok durum Marcias ve diğ.'nin (2015) yaptıkları programda oluşturulup Rhino ortamına aktarılacaktır. Tezde önerilen modelin tek bir arayüz ile çalışması için Rhino-Grasshopper ortamında Takayama ve diğ.nin (2014) geliştirdiği algoritma kodlanabilir veya Marcias ve diğ. (2015)'nin sisteminde olduğu gibi hazır bir bilgi tabanını okuyan bir Grasshopper bileşeni hazırlanabilir.

Kenarların alt-bölümlere ayrılması bir parametreye göre belirlenebilir. Tasarım konusu olarak sergi mekanı kurulduğunda bir kenarı giriş kısmı olarak değerlendirilip çok sayıda parçalanmayla, diğer kenarlar büyük sergi mekanları olarak değerlendirilip az sayıda parçalanmalar yapıldığında tüm alanın alt-bölümlenmesi bu parametrelere bağlı olarak oluşturulur (Şekil 5.14) ve böylece bütün ÜYPMY'ler arasında akışkanlık sağlanır.

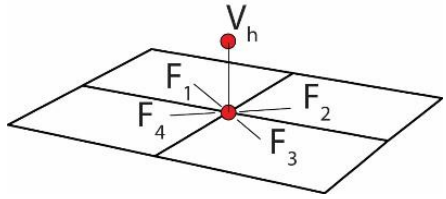


Şekil 5.14 : Dört kenarlı bir alanda 10 girişli 2 ana sergili bir mekanın alt-bölümleri



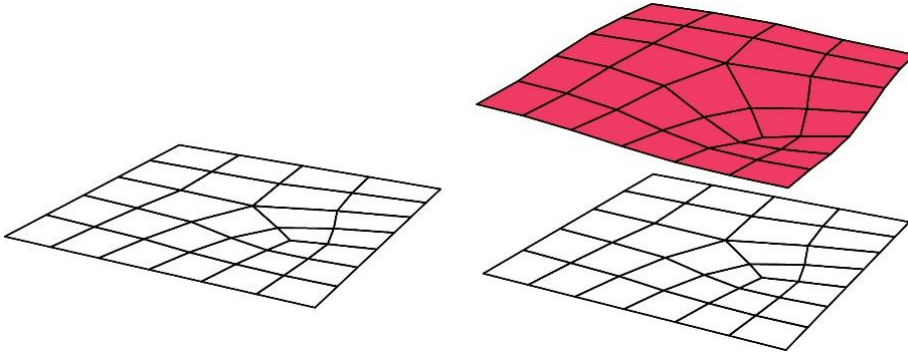
Şekil 5.15 : Altı kenarlı ve üç kenarlı alanlarda alt-bölümlendirme örnekleri

Alanın alt-bölümlenmeleri yapılırca plan düzleminde konumları belirlenen ÜYMPY'lerin sınır şekillerinin üçüncü boyuttaki şekillenmelerinin yapılması gerekmektedir. Rhino-Grasshopper ortamında geliştirilen algoritma ile alanın alt-bölümlenmelerinden elde edilen düğüm noktaları ilişkili oldukları alt-bölümlerin alanlarının büyüklüklerine göre yükseklik (V_h) kazanmaktadır (Şekil 5.16). Çalışma kapsamında küplerin çok oransız biçimde deforme edilmesi tercih edilmediği için, düğüm noktalar bağlantılı olduğu dört alt-bölümde ($F_{1...4}$) küp oluşturabilecek yükseklik değerlerinin ortaması olarak hesaplanıp uygulanmıştır (Şekil 5.17).



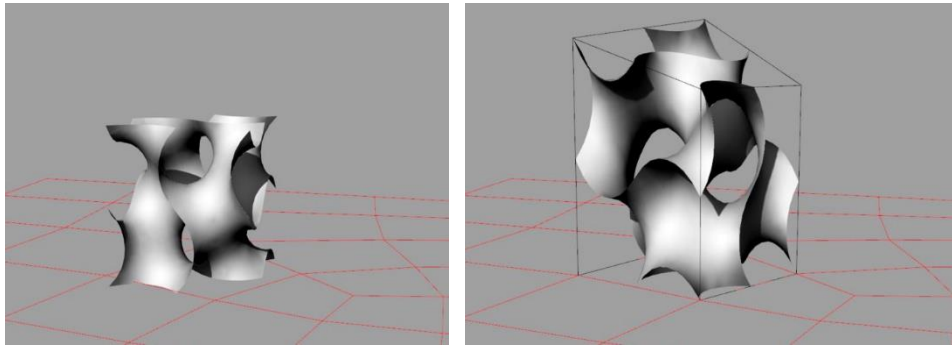
$$V_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \text{Alan}(F_i)}{4}}$$

Şekil 5.16 : Düğüm noktalarına yükseklik verme formülü



Şekil 5.17 : Yükseklik verme algoritmasının bir uygulama örneği

Sınır şekillerin ayrıtları belli edildikten sonra, sınır şekil küp bu ayrıtlardan oluşan prizmaya deforme edilerek, içerdeki ÜYPMY'in deforme başka bir versiyonu elde edilir (Şekil 5.18). Bu yüzey deformasyonlara karşılık minimallik özelliklerini kaybetmemektedir.



Şekil 5.18 : Alan altbiriminden türetilmiş sınır şekle göre Gyroid yüzeyinin(a) deformasyonu(b)

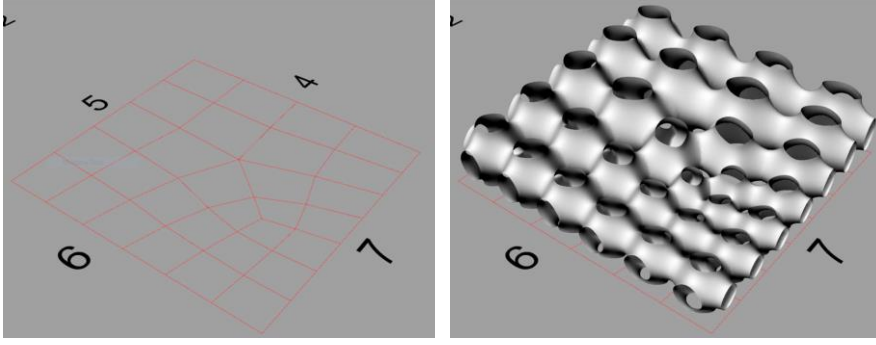
HEIGHT



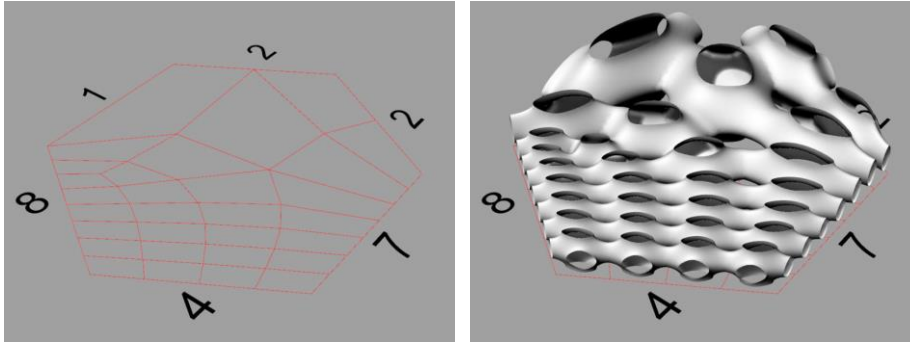
HEIGHT



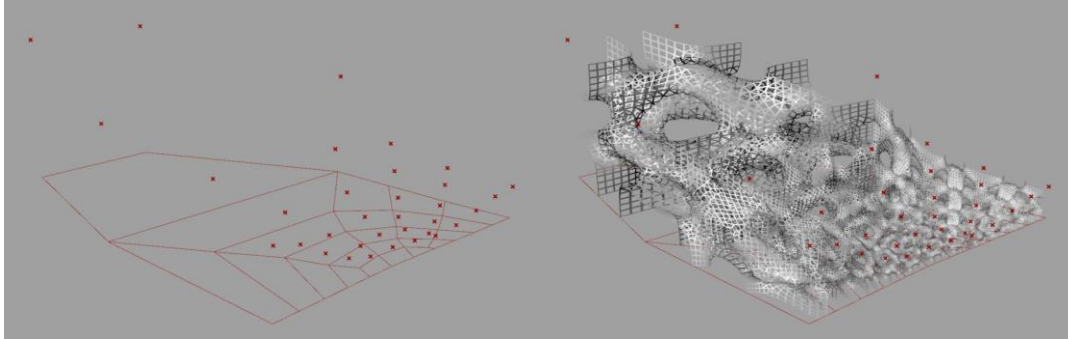
HEIGHT



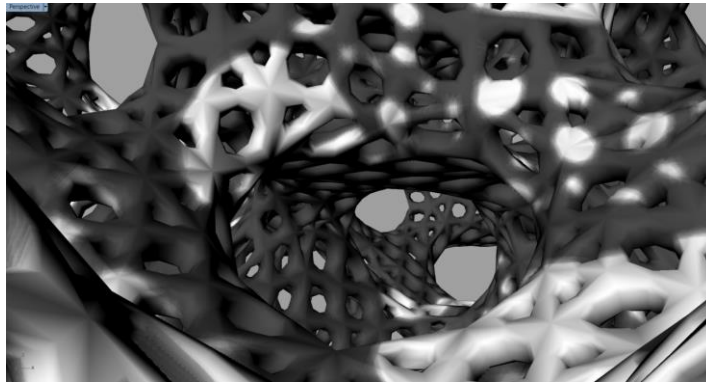
Şekil 5.21 : Önerilen modelle dört kenarlı (4-5-6-7) parametrel bir alanda Primitive yüzeyin uygulanması



Şekil 5.22 : Önerilen modelle altı kenarlı (1-2-2-7-4-8) parametrel bir alanda Primitive yüzeyin uygulanması



Şekil 5.23 : Şekil 5.13'te tanımlanan alandaki alt-bölmelere ÜYPYM uygulanması

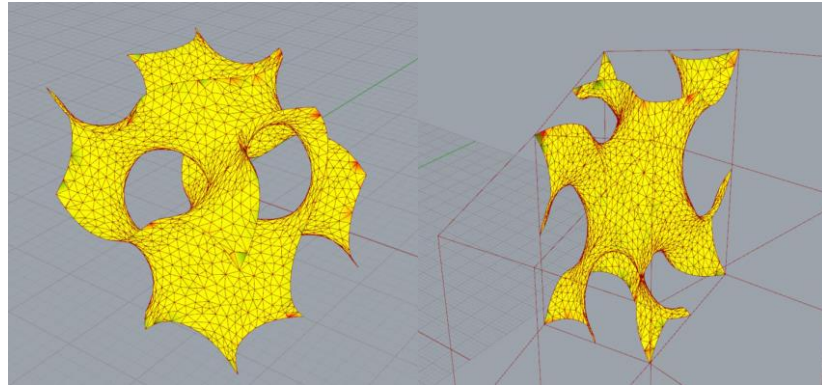


Şekil 5.24 : Şekil 5.20'de oluşturulan modelin içinden bir görünüş

Çalışmanın sonraki aşamasında ilk başta ÜYPMY'e en yakın geometri olarak verilen cebirsel modelin ortalama eğrilik analizlileri ile deformasyon sonrası oluşan ortalama eğrilik analizleri karşılaştırılmıştır. Cebirsel modelin ayırık parçalardan oluşan ve minimal yüzeye en yakın model olmasından dolayı ortalama eğrilik değeri sıfıra eşit değildir. Yapılan analizde (Şekil 5.25) yaklaşık 8.5mt'lik bir küp sınır şeklinde üretilen Schwarz Primitive yüzeyinde, oluşturulan düğüm noktalarındaki ortalama eğrilik değerlerinin ortalaması alındığında 0.002745 (yaklaşık 2mm) gibi çok küçük bir değer çıktığı gözlemlenmiştir. Üretilen modellerdeki deforme edilmiş bir sınır şekil üzerindeki Schwarz Primitive yüzeyindeki ortalama eğriliklerin ortalaması 0.001475'e kadar düşmüştür. Burada belirtmelidir ki eğer elimizdeki model bir mesh modeli değil de yüzey modeli olsaydı iki değer de sıfır çıkacaktı.

Çizelge 5.2 : Sınır şekle yapılan deformasyonların düğüm noktalarındaki X, Y, Z değişimleri

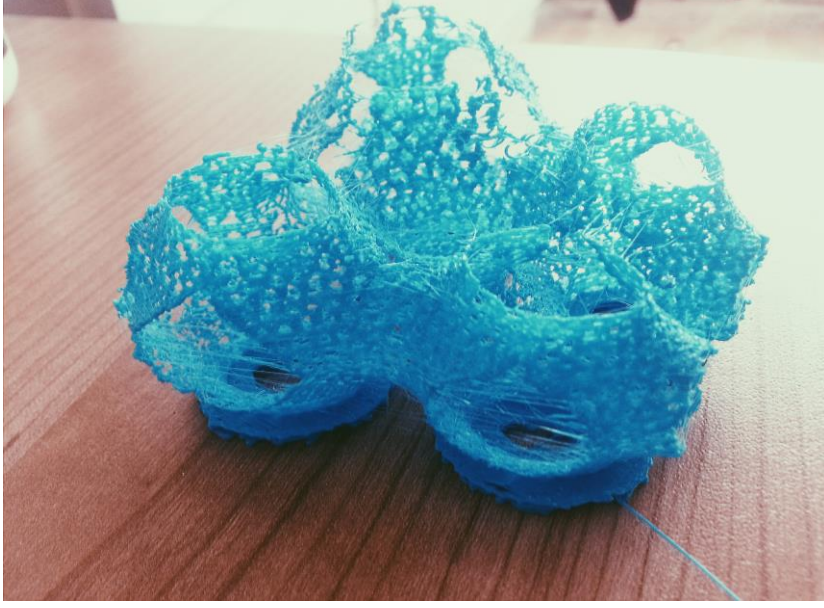
1. Düğüm Noktası	0.0	0.0	0.0
2. Düğüm Noktası	+15.196117	+2.26258	0.0
3. Düğüm Noktası	+19.721276	-48.954674	0.0
4. Düğüm Noktası	+12.067092	-51.971447	0.0
5. Düğüm Noktası	+31.676114	+2.262581	+34.789196
6. Düğüm Noktası	-16.479999	+1.3813e-7	+28.280929
7. Düğüm Noktası	-4.41291	-51.971447,25	+25.089603
8. Düğüm Noktası	36.201276	-48.954674	+29.621902



Şekil 5.25 : Çizelge 5.2'de verilen deformasyonda ayırık noktalarındaki ortalama eğrilik değerlerine göre parçaların renklendirilmiş analizi

Çalışmanın son aşamasında Rhino-Grasshopper ortamında tasarlanan sayısal modelin, sayısal üretim yöntemleriyle fiziksel bir modeli üretilmiştir (Şekil 5.26). Minimal yüzeyin gerilmeleri en aza indirmeye özelliği, 3B baskıda bile üretiminin zor olacağı öngörülebilecek kısımları, destek malzemesi konulmadan basılmasına olanak

vermiştir. Fakat ana eğriliklerin sıfıra yakınsadığı (düzlemselliğe yakın) yatay kısımlar oluştuğunda destek malzemesine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 5.26 : Schwarz P yüzeyinin deformasyonu ile yapılmış bir üç boyutlu prototip

```

import math
import random
import rhinoscriptsyntax as rs
import Rhino
import Rhino.Geometry as rg

obj = Mesh

commonMesh = rg.Mesh()
commonMesh = obj
minRad = []
maxRad = []
mean = []
gaussian = []

vertices = commonMesh.Vertices
normals = Normals

for i in range(vertices.Count):

    neighbours = vertices.GetConnectedVertices(i)
    conCount = neighbours.Count
    minC = 10000.0
    maxC = -10000.0

    for j in range(neighbours.Count):

        vVec3d = rg.Vector3d(rg.Point3f.Subtract(vertices[i],vertices[neighbours[j]]))
        edgeLength = vVec3d.Length
        vVec3d.Unitize
        vNor3d = rg.Vector3d(normals[i])
        vAngle = rg.Vector3d.VectorAngle(vVec3d,vNor3d)
        vAngle = vAngle - math.pi * 0.5

        if edgeLength > 0.0:

            if not Rhino.RhinoMath.IsValidDouble(vAngle):
                vAngle = 0.0
                curvature = 0.0

            if vAngle < x and vAngle > (-1.0) * x:
                curvature = 0.0
            else:
                curveRad = edgeLength / math.sin(vAngle)
                curvInv = 1/curveRad

                if curvInv< -1.0:
                    curvInv = -1.0

                if curvInv < minC:
                    minC = curvInv
                if curvInv > maxC:
                    maxC = curvInv

            minRad.append(maxC)
            maxRad.append(minC)
            mean.append((minC+maxC)*0.5)
            gaussian.append(minC*maxC)
    |
averageMean = sum(mean)/len(mean)

```

Şekil 5.27 : RhinoPhyton kodlama dili ile geliştirilen ayırık üçgen modelde ortalama eğrilik hesaplama yöntemi

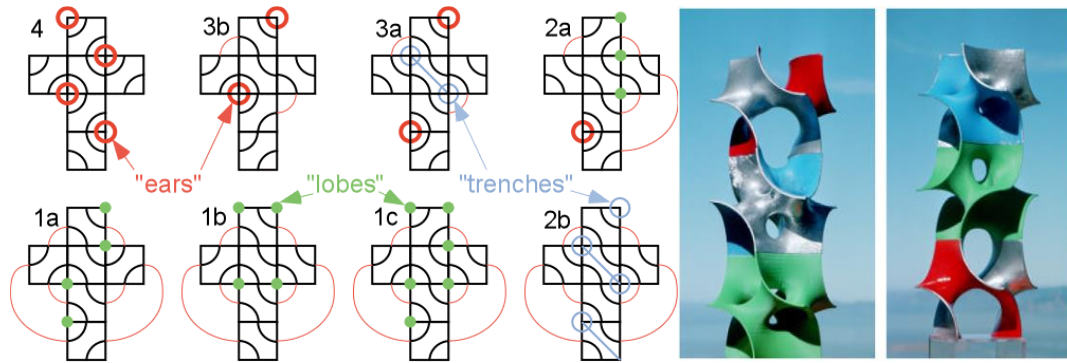
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar ve tartışmalar göstermiştir ki geometri ve mimarlık arasındaki etkileşim tarih boyunca mimari çalışmalarda önemli bir yer tutmuştur. Fakat son yıllara kadar mimarlık, özellikle geometrideki önemli gelişmeleri kendi alanına uyarlayamamış ve uygulayamamıştır. Son yıllarda ise bilgisayar teknolojisi yardımıyla mimarların, kompleks geometri ve matematiğin derin hesaplarıyla uğraşmadan bu tarz geometrilerin sonuç ürünlerine ulaşabilmesi oldukça kolaylaşmıştır. Burada belirtmelidir ki mimarlık her zaman geometri bilimini takip etmek ondan sonra ilerlemek zorunda değildir. Mimari projelerde ortaya çıkan sorunlar geometri alanı için araştırma konusu olmaya yatkın problemler olabilmektedir. Değişen eğitim modelleri, gelişen hesaplamalı tasarım yöntemleri ve öğrenilen yeni geometri bilgileriyle birlikte mimarlar artık sadece Öklidyen geometriyle değil; diferansiyel geometri, cebirsel geometri, topolojik geometri, fraktal geometri gibi farklı geometrilerle tasarımlar yapabilecektir. Hesaplamalı tasarım araçları ve bu tarz geometrilerin kullanımının kolaylaşması, yaratıcı tasarımlar yapmaya çalışan mimarların geometride yeni durumlar ve buluşlar ortaya çıkartmasını sağlayabilir. Mimarların geometrinin formüllerinden çok mantığıyla ilgili yapacağı deneysel tasarımlar, geometride yeni araştırmalara neden olabilir. Bu yüzden hesaplamalı tasarım yöntemlerini kullanan mimarlar, hem temel geometri bilgilerini geliştirmeli hem de geometricilerle beraber çalışabilen ve ortak dili konuşabilen uzmanlar olmalıdır. Ayrıca mimarlık eğitiminde öğretilen geometri sistemlerinin, sonuç tasarımlara ne gibi etkiler yaptığının deneysel bir araştırması çalışmanın ilerleyen adımlarında yapılıp, tartışılacak önemli bir problem olarak durmaktadır.

Çalışmada özel konu olarak incelenen ÜYPMY'ler özgün geometrileri ve türeyebilme avantajları açısından hesaplamalı tasarım araştırmalarında önemli potansiyele sahip bir konudur. Yapılabilecek araştırmalarda ÜYPMY'ler teorik olarak bulunduğu gibi kullanılabileceği gibi, hesaplamalı tasarım araçlarıyla oluşturulma mantıkları yorumlanarak yeni ÜYPMY'ler de üretilebilir. Kaleydeskop hücresi ve içerisinde minimal bir yüzey oluşturmayla başlayarak, mimarlar Schwarz'ın yansıma kurallarını

da kullanarak bugünkü hesaplamalı tasarım araçlarıyla yeni geometriler oluşturabilirler. Ayrıca Peter Pearce'in temellerini atmış olduğu *saddle polyhedron* ile sonsuzda türeyebilen farklı çok yüzlülerin sınır şekillerinden oluşacak minimal yüzeyler konusuyla ilgili bir araştırma yapılabilir. Böylelikle tasarımda kullanılacak minimal yüzeyler tek bir sınır şekilden türemeyip, farklı çokyüzlüler ile türetilip zengin alternatifler oluşturabilir. Ayrıca çalışma kapsamında iki yönde türeyen sınır şekillerin üç boyutta türeme yöntemleri de araştırılarak çok katlı ÜYPMY tasarımları yapılabilir.

Heykeltraş Séquin'in (2003) geliştirdiği *Volution* geometrileri ise ÜYPMY'lerle ilgili yapılabilecek araştırmalara farklı bir bakış açısı oluşturmaktadır. Séquin'in bir kübün açılımı ile başlayıp oluşturduğu ÜYPMY'ler, birbirlerinin aynısı olmak zorunda olmayan fakat birleştikleri noktada minimallik yüzeyini kaybetmeyen modüller oldukları için parametrik olarak daha farklı girdilerin de olabileceği bir araştırmaya olanak sağlayabilir. Séquin'in sunduğu modeldeki tek kısıt, her bir küp yüzeyinin iki köşesinde karşılıklı iki çember bulunmasıdır (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 : Séquin'in (2003) geliştirdiği farklı minimal yüzey modüllerinden oluşabilen *Volution* geometrileri

Çalışma kapsamında tasarım parametresi olarak kullanılan alt-bölmelere ayırma işlemi ise hali hazırda üretimle ilgili bir çok mimari araştırmaya konu olmaktadır. Serbest formların düzgün üretimlerinin yapılabilmesi için ayırık diferansiyel geometri bilgileriyle bu yüzeyler alt-bölmelere ayrılarak ve olabildiğince düz, tek eğrili paneller oluşturularak üretimler yapılmaya çalışılmaktadır. Bu konu bu haliyle bile geometri ve mimarlıkla ilgilenen araştırmacılar için öneme sahiptir. Takayama ve diğ. (2014) ile Marcias ve diğ. (2015) geliştirdiği arayüzler, alt-bölmelere ayırma işlemi esnasında tasarımcının istediği müdahaleleri yapabiliyor olması nedeniyle potansiyel kullanımları olan hesaplamalı tasarım araçları olarak görülmüştür. Programların var

olan modellerin geometrik ilişkilerini tekrar kurması, geometrisi oluşturulan tasarımların üretiminde problemleri çözmekte kullanılabilir. Tasarımın yapıldığı Rhino-Grasshopper ortamı gibi bir programa bu araştırmaların entegre edilmesi ile yapılacak çalışmalarda bu araştırmaların mimari tasarım potansiyellerinin ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

Çalışmada sunulan algoritmik modelle oluşturulan tasarım ve yapılan analizler göstermiştir ki; mimarlar ÜYPMY'ler gibi uzmanlık gerektiren geometri konularını, hesaplamalı tasarım araçlarıyla kendi tasarımlarına dahil edebilirler ve hatta bu geometri teorilerini yorumlayarak yeni araştırma konuları ortaya çıkarabilirler. Verilen analiz örneğinden de anlaşılacağı gibi sınır şekli deforme edilen bir ÜYPMY, ilk halinden son haline minimal yüzey özelliklerini taşımaya devam etmektedir. Bu model ile yapılabilecek araştırmaların en başında bu tasarımların hem düzlemsel geometrinin üretim yöntemlerini hem de düzlemsel olmayan geometrinin üretim yöntemlerini kullanarak, büyük boyutta üretimlerin nasıl yapılacağıdır. Ayrıca Séquin'in yaptığı çalışmalarda olduğu gibi bütün modüllerin aynı olmadığı ama birleştiklerinde yine minimal yüzey özelliklerini devam ettirebilen farklılaşmış birimlerin deformasyonları ile bir tasarım yöntemi de üretilebilir.

KAYNAKLAR

- Abbott, E. A.** (1998). *Açıklamalı Düzülke: Çok boyutlu bir macera*. (B. Bıçakçı, Çev.). İstanbul: Ayrıntı Yayınları.
- Aish, R.** (2005). From Intuition to Precision. *Digital Design: the Quest for New Paradigms: 23rd eCAADe Conference Proceedings*, 10–14. Erişim adresi http://cuminad.scix.net/cgi-bin/works/Show?2005_010Alındığı tarih:
- Barczik, G.** (2010). Uneasy Coincidence ? Massive Urbanization and New Exotic Geometries with Algebraic Geometry as an Extreme Example. *İçinde New Design Concepts and Strategies - eCAADe 28* (ss. 217–226).
- Barczik, G.** (2012). Leaving Flatland behind Algebraic surfaces and the chimaera of pure horizontality in architecture. *İçinde eCAADe 30* (C. 1, ss. 433–442).
- Barczik, G., Labs, O., ve Lordick, D.** (2009). Algebraic Geometry in Architectural Design. *İçinde Proceedings of the 27th eCAADe Conference* (ss. 455–463).
- Benedikt, M. L.** (1979). To Take Hold of Space: Isovists and Isovist View Fields. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6(1), 47–65.
- Bobenko, A. I., Sullivan, J. M., Schröder, P., ve Ziegler, G. M.** (2008). *Discrete differential geometry*. Springer.
- Bovill, C.** (2013). *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Birkhäuser Boston.
- Brakke, K. A.** (1992). The Surface Evolver. *Experimental Mathematics*, 1(2), 141–165. <http://doi.org/10.1080/10586458.1992.10504253>
- Burry, J.** (2011). *Logic and intuition in architectural modelling: Philosophy of mathematics for computational design* (Doktora Tezi). RMIT, Melbourne.
- Çağdaş, G.** (1994). Fraktal geometri ve bilgisayar destekli mimari tasarımdaki rolü. *CAD+ Bilgisayar Destekli Tasarım ve Ötesi*, 23, 28–31.
- Çağdaş, G., Bacınoğlu, Z., ve Çavuşoğlu, Ö. H.** (2015). Mimarlıkta Hesaplamalı Yaklaşımlar. *dosya35 Mimarlıkta Sayısal Fırsatlar*, 33–42.
- Ceccato, C.** (2010). The Master-Builder-Geometer. *İçinde Advances in Architectural Geometry* (ss. 9–14).
- Çolakoğlu, B., ve Yazar, T.** (2007). Mimarlık Eğitiminde Algoritma : Stüdyo Uygulamaları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 379–385.
- Colding, T. H., ve Minicozzi, W. P.** (2006). Shapes of embedded minimal surfaces. *İçinde Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*

States of America (C. 103, ss. 11106–11111).
<http://doi.org/10.1073/pnas.0510379103>

- Coxeter, H.** (1961). *Introduction to geometry*. New York: Wiley.
- Dancu, T., ve Hido, N.** (2010). *Gyroid Climber – Challenge Activities Formative Evaluation*.
- Ediz, Ö., ve Çağdaş, G.** (2005). Mimari tasarımda fraktal kurguya dayalı üretken bir yaklaşım. *İTÜ Dergisi/a*, 4(1), 71–83.
- Ediz, Ö., ve Çağdaş, G.** (2007). A computational architectural design model based on fractals. *Open House International*, 32(2), 36–45.
- Emmer, M.** (2009). Soap films and soap bubbles : from Plateau to the olympic swimming pool in Beijing. İçinde M. Emmer (Ed.), *Mathknow: Mathematics, Applied Sciences and Real Life* (ss. 119–129).
- Emmer, M.** (2013). Minimal Surfaces and Architecture: New Forms. *Nexus Network Journal*, 15(2), 227–239. <http://doi.org/10.1007/s00004-013-0147-7>
- Ersal, L. Ö.** (2013). *Mimari Mekânın Biçimlendirilmesi Ve Anlam Boyutu: Ontolojik Yaklaşım* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Essley, J.** (2012). Musical Proportions in Architecture. Erişim adresi <http://www.house-design-coffee.com/proportions.html>Alındığı tarih: 22.05.2016.
- Evans, R.** (1995). *The Projective Cast: Architecture and Its Three Geometries*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Frings, M.** (2002). The Golden Section in Architecture Theory. *Nexus network journal*, 4, 9–32. <http://doi.org/10.1007/s00004-001-0002-0>
- Fujimori, S.** (2015). Computer Graphics in Minimal Surface Theory. *Image Synthesis II, Mathematics for Industry* 18, 4, 3–8. <http://doi.org/10.1007/978-4-431-55007-5>
- Hartshorne, R.** (2000). Teaching geometry according to Euclid. *Notices of the AMS*, 47(4), 460–465.
- HENN-StudioB.** (2012). *Minimal Surfaces High-Rise Structures - Design Research Exchange 2012 Report*. Berlin.
- Hillier, B.** (2007). *Space is the machine - a configurational theory of architecture*. Space Syntax - UCL. [http://doi.org/10.1016/S0142-694X\(97\)89854-7](http://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)89854-7)
- Hyde, S., Blum, Z., Landh, T., Lidin, S., Ninham, B. W., Andersson, S., ve Larsson, K.** (1996). *The Language of Shape: The Role of Curvature in Condensed Matter: Physics, Chemistry and Biology*. Elsevier Science. Erişim adresi <https://books.google.com.tr/books?id=1LZlSZ7ORrQCA>Alındığı tarih:
- Kavurmacioğlu, Ö., ve Arıdağ, L.** (2013). Strüktür Tasarımında Geometri Ve Matematiksel Model İlişkisi. *Beykent Üniversitesi – Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 59–76.
- Kolarevic, B.** (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. <http://doi.org/10.1007/s00004-004-0025-4>

- Krivoshapko, S., ve Ivanov, V. N.** (2015). *Encyclopedia of Analytical Surfaces*. Springer International Publishing. Erişim adresi <https://books.google.com.tr/books?id=cXTdBgAAQBAJ>Alındığı tarih:
- Le Corbusier.** (1961). *The modulator : a harmonious measure to the human scale universally applicable to architecture and mechanics*. Faber & Faber.
- Leyton, M.** (2006). *Shape as Memory. A Geometric Theory of Architecture*. Book.
- Marcias, G., Takayama, K., Pietroni, N., Panozzo, D., Sorkine-Hornung, O., Puppo, E., ve Cignoni, P.** (2015). Data-driven interactive quadrangulation. *ACM Transactions on Graphics*, 34(4), 65:1–65:10. <http://doi.org/10.1145/2766964>
- Meeks III, W. H.** (2005). Classical examples of minimal surfaces. [PowerPoint sunumu]. Erişim adresi <http://people.math.umass.edu/~bill/papers/>Alındığı tarih: 08.05.2016.
- Nagy, D.** (2001). Architecture and Mathematics : From an Odd Couple to a New Partnership. *Nexus Network Journal*, II, 11–12.
- Neufert, E.** (2000). *Yapı tasarım bilgisi*. (Ç. Özasan, Çev.). İstanbul: Beta Basım Yayın.
- Ostwald, M. J., ve Williams, K.** (2015a). Mathematics in, of and for Architecture: A Framework of Types. İçinde *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future. : Volume I: Antiquity to the 1500s* (ss. 31–57).
- Ostwald, M. J., ve Williams, K.** (2015b). Relationships Between Architecture and Mathematics. İçinde *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future. : Volume I: Antiquity to the 1500s* (ss. 1–21).
- Otto, F., ve Songel, J. M.** (2010). *Conversation with Frei Otto*. New York, US: Princeton Architectural Press. Erişim adresi <http://site.ebrary.com/lib/istanbulteknik/docDetail.action?docID=10477995>Alındığı tarih:
- Özsöylev, H. N.** (1998). Sabun Baloncuklarıyla Deneysel Matematik. *Bilim ve Teknik*, (06), 44–48.
- Pan, Q., ve Xu, G.** (2010). Construction of Minimal Catmull-Clark's Subdivision Surfaces with Given Boundaries. İçinde B. Mourrain, S. Schaefer, & G. Xu (Ed.), *Advances in Geometric Modeling and Processing: 6th International Conference* (ss. 206–218). Castro Urdiales, Spain: Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-642-13411-1_14
- Piker, D.** (2009). Rheotomic Surfaces. [Web blog]. Erişim adresi <https://spacesymmetrystructure.wordpress.com/rheotomic-surfaces/>Alındığı tarih: 08.05.2016.
- Pottmann, H., Brell-Cokcan, S., ve Wallner, J.** (2007). Discrete Surfaces for Architectural Design. *Design*, 213–234.
- Pottmann, H., Kilian, A., ve Hofer, M.** (2008). *Advances in Architectural Geometry 2008*. Vienna, Austria.

- Pottmann, H., Schiffner, A., ve Wallner, J.** (2008). Geometry of Architectural Freeform Structures. *Int. Math. Nachr.*, 209(209), 15–28. <http://doi.org/10.1145/1364901.1364903>
- Preparata, F. P., ve Shamos, M. I.** (1985). *Computational Geometry*. New York: Springer.
- Salvadori, M.** (2015). Can There Be Any Relationships Between Mathematics and Architecture? İçinde *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future. : Volume I: Antiquity to the 1500s* (ss. 25–29).
- Saunders, A.** (2009). Surface Logic. *The Mathematica Journal*, 11(3), 404–429.
- Schmitt, G. N., ve Chen, C. C.** (1991). Classes of design - classes of methods - classes of tools. *Design Studies*, 12(4), 246–251. [http://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90040-4](http://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90040-4)
- Schoen, A. H.** (1970). *Infinite periodic minimal surfaces without self-intersections*. Nasa. Erişim adresi <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19700020472>Alındığı tarih:
- Séquin, C. H.** (2003). Volution ' s Evolution. İçinde *The International Society of the Arts, Mathematics, and Architecture*. University of Granada, Spain.
- Şiap, İ.** (2011). Bilim Ve Teknolojideki Gelişmişliğin Matematiksel Temeli.
- Sierra, F., ve Rodriguez, C. M.** (2014). Architectural Envelope Systems Based on Triply Periodic Minimal Surfaces. *International Journal of Space Structures*, 29(4), 161–170.
- Sorguç, A. G.** (2015). The Role of Mathematics in the Design Process Under the Influence of Computational and Information Technologies. İçinde *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future. : Volume II: The 1500s to the Future*. (ss. 609–617). <http://doi.org/10.1007/978-3-319-00143-2>
- Stiny, G.** (1980). Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7(3), 343–351. <http://doi.org/10.1068/b070343>
- Szalapaj, P.** (2005). *Contemporary architecture and the digital design process*. *Contemporary Architecture and the Digital Design Process*. <http://doi.org/10.4324/9781315042879>
- Tafteberg Jakobsen, I., ve Matthiasen, J.** (2014). Descriptive Geometry and / or Computer Technology? What Mathematics is Required for Doing and Understanding Architecture? *Nexus Network Journal*, 16(2), 505–516. <http://doi.org/10.1007/s00004-014-0199-3>
- Takayama, K., Panozzo, D., ve Sorkine-Hornung, O.** (2014a). Pattern-Based Quadrangulation for N-Sided Patches. İçinde *Eurographics Symposium on Geometry Processing*. Cardiff, UK.
- Takayama, K., Panozzo, D., ve Sorkine-Hornung, O.** (2014b). Pattern-Based Quadrangulation for N-sided Patches. [PowerPoint sunumu], Symposium on Geometry Processing 2014.
- Tenu, V.** (2011a). Minimal Complexity Houston 2011. [Web blog]. Erişim adresi <http://www.vladtenu.com/2011/hello-world/>Alındığı tarih: 06.05.2016.

- Tenu, V.** (2011b). Minimal Surfaces As Architectural Prototypes. [Web blog]. Erişim adresi <http://www.vladtenu.com/2011/minimal-surfaces-as-architectural-prototypes/> Alındığı tarih: 06.05.2016.
- Tepavčević, B., ve Stojaković, V.** (2014). Representation of Non-Metric Concepts of Space in Architectural Design Theories. *Nexus Network Journal*, 16(2), 285–297. <http://doi.org/10.1007/s00004-014-0194-8>
- Törün, A.** (2008). Çok boyutlu bir kitap: Açıklamalı Düzülke. *Matematik Dünyası*, 1, 105–108.
- Velimirovic, L., Radivojevic, G., Stankovic, M., ve Kostic, D.** (2008). Minimal surfaces for architectural constructions. *Architecture and Civil Engineering*, 6(1), 89–96. <http://doi.org/10.2298/FUACE0801089V>
- Verner, I. M., ve Maor, S.** (2003). The Effect of Integrating Design Problems on Learning Mathematics in an Architecture College. *Nexus Network Journal*, 5(2), 103–115. <http://doi.org/10.1007/s00004-003-0019-7>
- Vitruvius, M.** (1990). *Mimarlık üzerine on kitap*. (S. Güven, Çev.). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yay.
- Wallisser, T.** (2009). Other geometries in architecture: bubbles, knots and minimal surfaces. İçinde *Mathknow: Mathematics, Applied Sciences and Real Life* (ss. 91–111).
- URL-1** <<http://www.etymonline.com/index.php?search=architect>>, Alındığı tarih: 17.04.2016.
- URL-2** <<http://web.iku.edu.tr/~eguzel/is.edu.tr-1/Matematik%20Felsefesi.htm>>, Alındığı tarih: 17.04.2016.
- URL-3** <http://web.deu.edu.tr/mate-matik/m9_b2.html>, Alındığı tarih: 17.04.2016.
- URL-4** <<http://minisite.proj.hkedcity.net/hkiakit/getResources.html?id=3853>>, Alındığı tarih: 21.05.2016.
- URL-5** <<http://comet.lehman.cuny.edu/sormani/research/riemgeom.html>>, Alındığı tarih: 17.04.2016.
- URL-6** <http://www.matematikciyiz.biz/Arast%C4%B1rmalardan_Secmeler/oklit_disi_geometrilere.htm>, Alındığı tarih: 25.04.2016.
- URL-7** <http://askanastronomer.org/bhc/2015/12/19/finite_unbounded_universe/>, Alındığı tarih: 17.04.2016.
- URL-8** <https://theverymany.com/2007/05/19/070519_computational_geometry/>, Alındığı tarih: 08.05.2016.
- URL-9** <<http://www.math.wayne.edu/~rrb/topology.html>>, Alındığı tarih: 26.04.2016.
- URL-10** <<http://functionspace.com/topic/3593/Examples-of-topologically-equivalent-surfaces-figures>>, Alındığı tarih: 26.04.2016.
- URL-11** <<http://www.unstudio.com/projects/mobius-house>>, Alındığı tarih: 20.05.2016.
- URL-12** <<http://www.fractal.org/Bewustzijns-Besturings-Model/Fractals-Useful-Beauty.htm>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.

- URL-13** <<http://mathworld.wolfram.com/KochSnowflake.html>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.
- URL-14** <<https://fatihsultan.wordpress.com/2009/06/10/diferensiyel-geometri/>>, Alındığı tarih: 15.05.2016.
- URL-15** <https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Differential_geometry>, Alındığı tarih: 15.05.2016.
- URL-16** <http://www.digplanet.com/wiki/Riemann's_minimal_surface_surface>, Alındığı tarih: 30.04.2016.
- URL-17** <<https://iam.tugraz.at/workshop14s/2014/03/25/soap-bubbles-and-minimal-surfaces/>>, Alındığı tarih: 12.05.2016.
- URL-18** <<http://www.pritzkerprize.com/laureates/2015>>, Alındığı tarih: 12.05.2016.
- URL-19** <<http://www.tensinet.com/database/viewProject/4334.html>>, Alındığı tarih: 17.05.2016.
- URL-20** <<http://physics.stackexchange.com/questions/54988/material-strain-from-spacetime-curvature>>, Alındığı tarih: 21.04.2016.
- URL-21** <<http://mathworld.wolfram.com/MeanCurvature.html>>, Alındığı tarih: 21.04.2016.
- URL-22** <<http://mathworld.wolfram.com/MinimalSurface.html>>, Alındığı tarih: 21.04.2016.
- URL-23** <<http://met.iisc.ernet.in/~lord/webfiles/tpms.html>>, Alındığı tarih: 24.04.2016.
- URL-24** <<http://facstaff.susqu.edu/brakke/evolver/examples/periodic/periodic.html>>, Alındığı tarih: 21.04.2016.
- URL-25** <<http://www.p-a-t-t-e-r-n-s.net/saddle-polyhedra/>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.
- URL-26** <<http://facstaff.susqu.edu/brakke/evolver/examples/examples.htm>>, Alındığı tarih: 01.05.2016.
- URL-27** <<http://www.exploratorium.edu/exhibit/gyroid>>, Alındığı tarih: 27.04.2016.
- URL-28** <<https://www.youtube.com/watch?v=0p4QS6sGSZ8>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.
- URL-29** <<https://wewanttorearn.wordpress.com/2015/02/04/hypar-infinity/>>, Alındığı tarih: 06.05.2016.
- URL-30** <<http://www.evolo.us/architecture/biodigital-processes-in-architecture-new-library-in-florence/>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.
- URL-31** <<http://i-m-a-d-e.org/?p=2698>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.
- URL-32** <<http://www.arch2o.com/active-phytoremediation-wall-system-som-reysselaer-polytechnic-institute/>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.
- URL-33** <http://studio-sejima-vienna.com/entry/1269-Continuous+Shells_Triple+Periodic++Minimal+Surfaces>, Alındığı tarih: 11.07.2016.

- URL-34** <<http://www.arch2o.com/taichung-metropolitan-opera-toyo-ito/>>, Alındığı tarih: 30.05.2016.
- URL-35** <<http://www.designboom.com/architecture/tai-chung-metropolitan-opera-house-by-toyo-ito-under-construction/>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.
- URL-36** <<http://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-taichung-metropolitan-opera-house-taiwan-21-08-2014/>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.
- URL-37** <<http://www.oliverdibrova.com/blg/?p=118#more-118>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.
- URL-38** <<http://projectsreview2011.aaschool.ac.uk/students/jihyun-heo>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.
- URL-39** <<http://vincent.callebaut.org/page1-img-woodenorchids.html>>, Alındığı tarih: 02.06.2016.
- URL-40** <<http://www.xxlglass.net/references/bmw-welt>>, Alındığı tarih: 23.05.2016.
- URL-41** <<http://www.heydaraliyevcenter.az/#main>>, Alındığı tarih: 23.05.2016.
- URL-42** <<http://igl.ethz.ch/projects/patch-quad/>>, Alındığı tarih: 23.05.2016.
- URL-43** <<http://igl.ethz.ch/projects/ddq/>>, Alındığı tarih: 24.05.2016.
- URL-44** <<https://imaginary.org/tr/gallery/ulrich-pinkall-nicholas-schmitt-charles-gunn-ve-tim-hoffmann>>, Alındığı tarih: 22.05.2016.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Yusuf Reşat GÜNER
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.06.1990 - Konak
E-posta : yrguner@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008 - 2013, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2013 - , İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011 - 2013 Avis Grafik / Nev Mimarlık – Mimar
- 2014 - 2015 PIN Mimarlık – Mimar
- 2015 - Haliç Üniversitesi Mimarlık Fakültesi – Araştırma Görevlisi