

tekstil ve betonun biraradallığı üzerine deneysel sorgulamalar

Serenay Elmas, Sema Alaçam | Bilişim ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler diğer pek çok alanda olduğu gibi mimarlık alanındaki bilginin tanımını, içeriğini, işlenişini değiştirmekte ve dönüştürmekte. Dijital araçların 1990'lardan itibaren artan bir ivmeyle yaygınlaşması ile birlikte mimarlıkta tasarlama ve yapma biçimleri bir dizi kırılmaya maruz kalmıştır. Antoine Picon, günümüzde yaşanan dijital dönüşümü kavramak için mekanik dönemin dinamiklerinin incelenmesinin gerekliliğinden söz eder.¹ Mario Carpo² ise mimarlığın yapma ve temsil biçimindeki değişimleri elle üretim yapılan birinci, mekanik model ve kalıplardan üretim yapılan ikinci ve dijital dalga olmak üzere üç temel dönemde ele almaktadır. Carpo bu değerlendirmede Leon Battista Alberti dönemi ni kırılma noktası olarak alarak dijital kırılmayı rönesans dönemi ile karşılaştırır.³ Özellikle teknolojinin tetiklediği kırılma dönemlerinin belirsizlik içerdiği ve dijital teknolojilerin, tasarlama, düşünme ve yapma biçimlerini etkilediği ifade edilebilir. Bu belirsizlik alanı varolan araçlara, kavramlara ve süreçlere yeni bakış açılarıyla yaklaşmayı gerektirirken, aynı zamanda daha önce varolmayan yeni yöntem ve yaklaşımların ortaya çıkmasının koşullarını da destekleyerek, Kuhn'un ifadesiyle süreksizlikler içeren paradigma kaymasına yol açabilmektedir.

Abraham Moles⁴, kimi olguların özü itibarıyla belirsizlik içerdiğinden ve onları ifade etmek için kullanılacak kavramların olguları bir kesinliğe zorlayarak anlamlarının kaybolmasına neden olabileceğinden söz eder. Henüz keşfedilmemiş olana, daha esnek pencerelerden yaklaşmak gerekmektedir. Bu bağlamda, Hans-Jörg Rheinberger'in 1997'de yayınladığı "Toward A History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube" başlıklı makalesi, teori baskın bir dönemden deneysel bir döneme geçişin habercisi olarak kabul edilir.⁵ Rheinberger⁶, Bachelard'a referansla *phenomenotechnique* kavramını tartışmaya açar. Bu tartışmada teknoloji yalnızca bilimsel sorgulamanın sonucu

değil, aynı zamanda bilimin tetikleyicisidir, dolayısıyla "yeni" olan olgu/fenomen pasif olarak keşfedilen değil aynı zamanda icat edilendir.⁷ *Phenomenotechnique* yaklaşımında, bilimsel nesnelerin doğada kendiliğinden bulunmalarından ziyade, birleştirme, düzenleme ve tekrar içeren teknik süreçler aracılığıyla üretilmeleri söz konusudur. Rheinberger⁸, bu üretim ve icat sürecini döngü (*recursion*) olarak adlandırmaktadır. Bu icat sürecinde ise, yeni deneysel sistemlere ve enstrümanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Rheinberger⁹ döngüsel deney altyapısını, kimyasal süreçler, fiziksel yapılar ve biyolojik maddelerin enstrüman olarak düzenlendiği deneyler ağının kurulma oyunu olarak nitelendirmektedir.

Rheinberger'ın biyoloji alanındaki deneysellik ve malzemeye ilişkin vurgusunun, mimarlık dahil pek çok alanda yankı bulduğu görülmektedir. Dijital/sanal ile fiziksel/gerçek olan arasında temsil, üretim, analiz ve değerlendirme açısından gidiş-gelişler ve farklı ölçeklerde malzeme araştırmaları çeşitlenmektedir. Gramazio ve Kohler¹⁰, birbirinden tamamen bağımsız gibi görünen iki ayrı dünya olan "dijital ve malzemenin", "veri ve malzemenin", "programlama ve yapımın" biraradallığının mimarlıkta öngörülme (emergent) dönüşüm ve ifadelere yol açacağını öne sürer. Hemmerling ve Cocchiarella¹¹ ise, hesaplamalı düşüncenin (*computation*), mimarlığın yeni kara kutusu olduğunun altını çizer. Deneysel süreçlerin tasarımı, bilinen olgulara sistematik ve süreklilik içeren farklı tekniklerle yaklaşmak, malzeme davranışının incelenmesi ve geri dönüşlerin deney tasarımını döngüsel olarak beslemesi gibi yaklaşımlar ise, hesaplamalı tasarım düşüncesini zenginleştirecek arayışlardır. Bütün bu tartışmalar ışığında, bu yazının odağını biçim arayışında beton ve tekstilin biraradallığını sorgulayan bir dizi deney oluşturmaktadır.

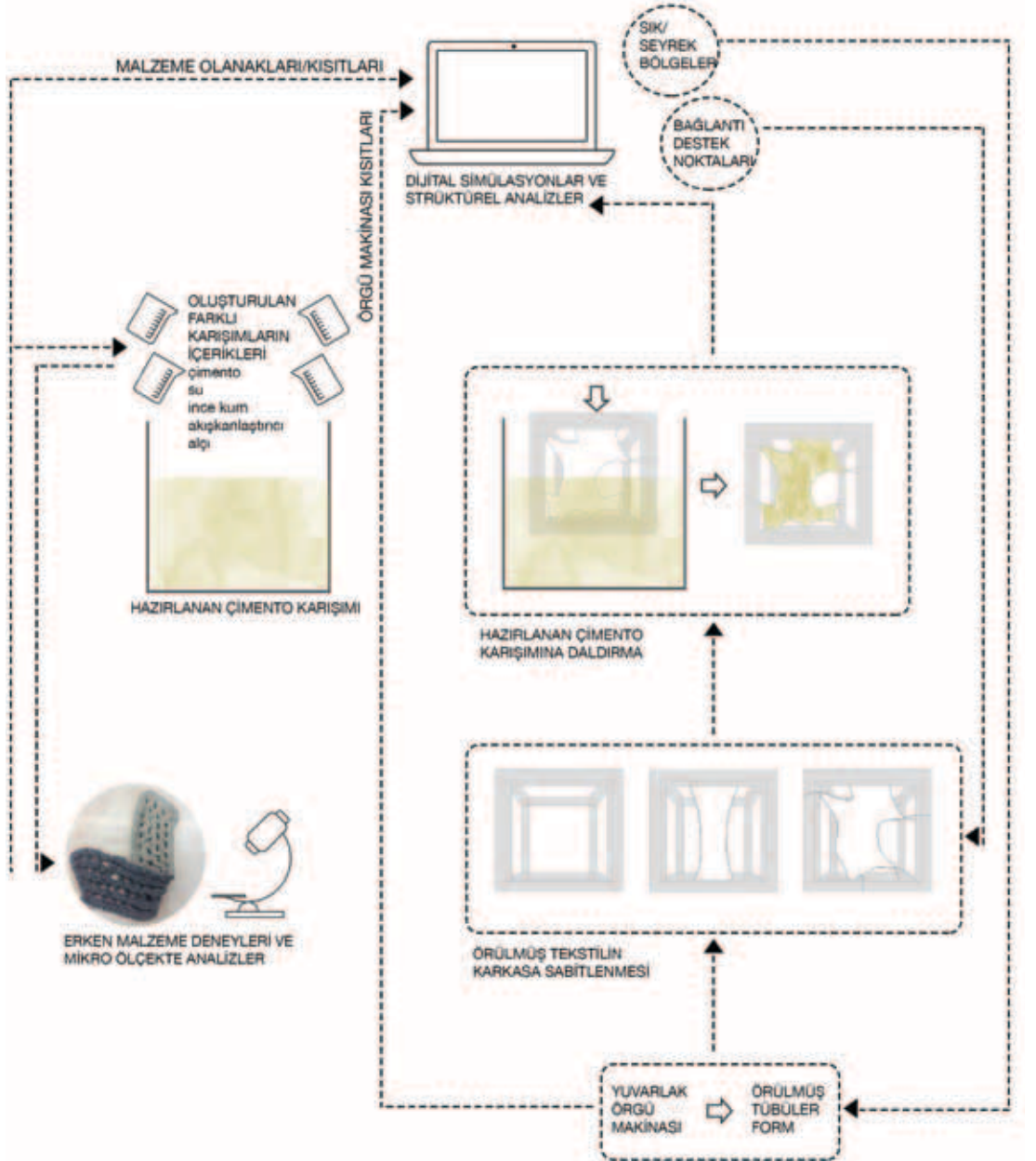
biçim bulmada beton ve tekstilin diyalogu

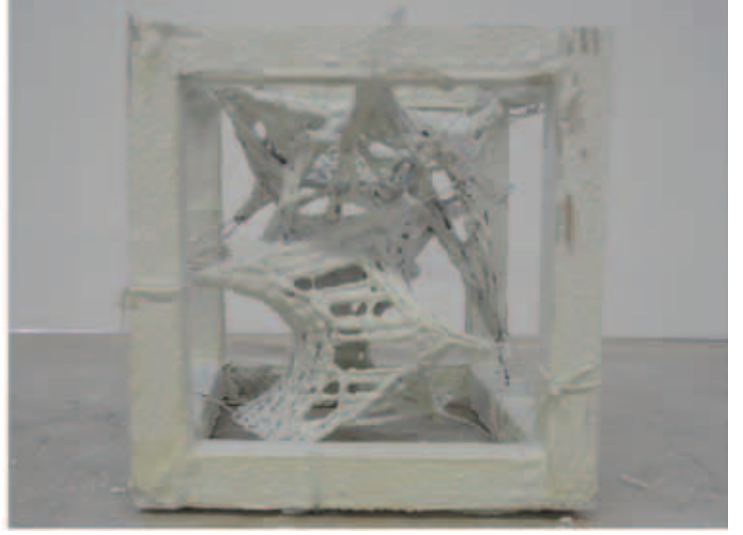
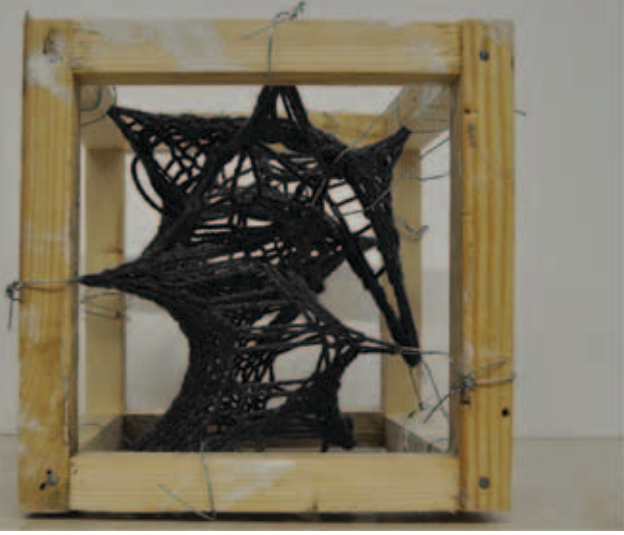
Basınca çalışan rijit ve statik bir malzeme olan beton ile çekmeye çalışan esnek ve dinamik

bir malzeme olan tekstilin birlikteliği, içerdiği gerilim açısından yaratıcı potansiyel taşıyan bir araştırma alanıdır. Tekstilin beton ile birlikte düşünülmesi aslında yeni bir bakış açısı değilken, yine kumaşın betona kalıp olarak kullanılması (*fabric formwork*) da bu ikilemin oluşturduğu dinamiğin ilk örneği değildir. Betonarme kabuk strüktürlerin erken dönem örneklerinde tekstil, analog bir simülasyon aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tanımlı geometrilerin ötesinde form bulma arayışında deneysel bir sürece geçişe işaret eden tekstil, beton kabuk strüktürlerin biçim arayışlarında bir eşik oluşturmaktadır. Beton kabuk strüktürlerin tasarımında, deneysel yaklaşımları benimseyen öncü araştırmacılarından biri olan Heinz Isler, betonun basınca olan mukavemeti ve çekmeye olan zayıflığını, tekstil malzemelerinin çekmeye olan direnci ve basınca karşı

zayıflığı üzerinden deneyimleyerek, 1900'lerin başında form arayışına ve uygulanabilirliğe yeni bir yaklaşım getirmiştir.¹²

Günümüzde ise tekstil ile betonun ilişkisi analog bir simülasyon aracı olmanın ötesinde, mikro ve makro ölçeklerde malzeme ve biçim araştırmalarının konusu hâline gelmekte, tekstilin kalıp ve donatı olarak üretim sürecinde kullanımı üzerine yapılan araştırmalar yaygınlaşmaktadır. Donmadan önce akışkan dolayısıyla da serbestçe biçim verilebilen bir malzeme olan betonun potansiyelleri, dijital ortamda giderek karmaşıklaşan geometrilerin fiziksel olarak üretilebilmesi ve inşa edilebilirlik problemlerine aranan cevaplar bağlamında dijital araçlar perspektifinden yeniden ele alınmaktadır. Bu noktada karmaşık biçimlerin üretilebilirliğinin, malzemenin tanıdığı olanaklar ka-





dar kullanılan kalıpların getirdiği kısıtlamalara da bağlı olduğunu vurgulamak gerekir. Dolayısıyla malzeme özelliklerinin iyileştirilmesinin yanısıra geleneksel kalıplara alternatif üretim yaklaşımlarının ve tasarım sürecinin doğrudan üretim süreci ile bütünleştiği yeni yaklaşımların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Beton kabuk strüktürlerin üretiminde tekrar kullanıma elverişli olmayan rijid kalıpların kullanımı, tasarımcıları kısıtlayan bir etken olmanın yanısıra üretim sürecine ciddi bir ek maliyet yükü getirmekte, üretimin süresini uzatabilmekte ve önemli oranda atık üretimine neden olabilmektedir. Bu duruma karşılık geleneksel kalıpların sorgulandığı standart olmayan ve projeye özgü üretim çözümlerine (*bespoke*) odaklanan çalışmaların çeşitlendiği görülmektedir. Bunlar arasında, küçük bir kalıbın robot kolu aracılığıyla beton katılaşıkça yukarı çekilerek yeniden kullanıldığı bir örnekten (*Smart dynamic casting*)¹³, betonun robot kolu aracılığıyla eklemeli üretim yöntemiyle basıldığı çalışmalardan¹⁴, çift eğrilikli beton cephe panelleri üreten pistonlar sayesinde panel tipine göre ayarlanabilen dinamik kalıp sisteminden¹⁵ söz etmek mümkündür.

Tekstilin kalıp olarak kullanımı bağlamında bir diğer araştırma ekseni, betonun akışkan hâlde tekstil içindeki davranışının gerçeğe en yakın olacak şekilde simüle edilmesi ve kontrolüdür. ETH Zürih Block Araştırma Grubu'nun tekstil kalıp ve entegre sistemler üzerine çalışmaları, dijital ortamda simülasyon modelleri üzerinden edinilen öngörülerin fiziksel karşılıklarının sınanması anlamında öncü çalışmalar arasındadır.¹⁶ Bu çalışmaları destekler nitelikte, fiziksel kısıtlamalar, malzemenin davranışı, tekstilin

betonla birlikte defleksiyonu gibi pek çok parametre tek bir platforma taşınarak, uzun vadede bütünlük bir tasarım aracı geliştirilmesi hedeflenmektedir. Dijital ortamda verilerin toplanması, malzeme davranışının sayısallaştırılması, verilerin ilişkilendirilmesi ve çözümlenmesi konusundaki ilerlemelere rağmen, Veenendaal ve Block¹⁷ biçimin oluşumunu tam anlamıyla kontrol edebilmek adına fiziksel deneylerle beslenmesinin gerekliliğine, dijital ve fizikselin birbirlerini tamamlar nitelikte kullanımına vurgu yapmıştır. Dolayısıyla, tekil, bitmiş ve katı biçim anlayışı, hesaplamalı tasarım olanaklarının deneysel çalışmalarla desteklenmesi sonucunda malzemeye birlikte zaman içinde biçimlenen yeni biçim arayışlarına evrilmektedir.

Yeni enstrümanlar, araçlar ve deneyler daha önce görülmeyen ilişkilerin fark edilmesi desteklerken, malzemeye birebir kurulan ilişkilerden oluşan hem makro hem mikro ölçekteki deneysel süreçlerin çıktıları ve bu çıktıların geri dönüşleri de tasarım sürecini doğrudan şekillendirip, besleyerek “yeni” olanın keşfedilmesine olanak sağlamaktadır. Yeni olmayandan yeni bir süreç tanımlama ve aynı zamanda bu süreç tarafından yeniden tanımlanma söz konusudur. Malzeme ve süreç, deney tasarımı ve tasarımcı arasında diyaloga dayalı döngüsel bir iletişim, tasarım sürecini bütünsel olarak besleme potansiyeli taşımaktadır. Bu süreçte çeşitlenen dijital modellerin yanısıra, malzeme ve formun strüktürel davranışına ilişkin içgörüler sağlayan fiziksel modellerin ve prototiplerin önemini hâlâ koruduğu görülmektedir. Bu bağlamda deneysel süreçlerin tasarımında, malzeme, araç ve süreç arasındaki ilişkinin; karşılıklı ve diyalektiğin ötesinde diyaloga dayalı olması önemlidir.

deneysel çalışmalar

Tekstil kalıp olarak kullanıldığı örneklerden farklı olarak, bu araştırma kapsamında örülmüş tekstilin serbest biçim arayışında hem donatı hem de kalıp olarak rol oynadığı bir dizi tasarım ve üretim deneyi kurgulandı. Bu deneyler, prototip düzeyinde biçim arayışlarını, dijital ortamda strüktürel analiz ve simülasyonlar ile mikro ölçekte organik fiber ipliklerin betonu oluşturan taneciklerle ilişkisinin incelenmesini içermektedir. Beton ve örülmüş tekstilin birlikte kullanımı sırasında elde edilen bulgu ve çıktıların bütünlük bir yaklaşımla tasarımın erken aşamalarına tekrar girdi sağlaması ile sürekli birbirini besleyen bir süreç tanımlanmıştır (Şekil 1).

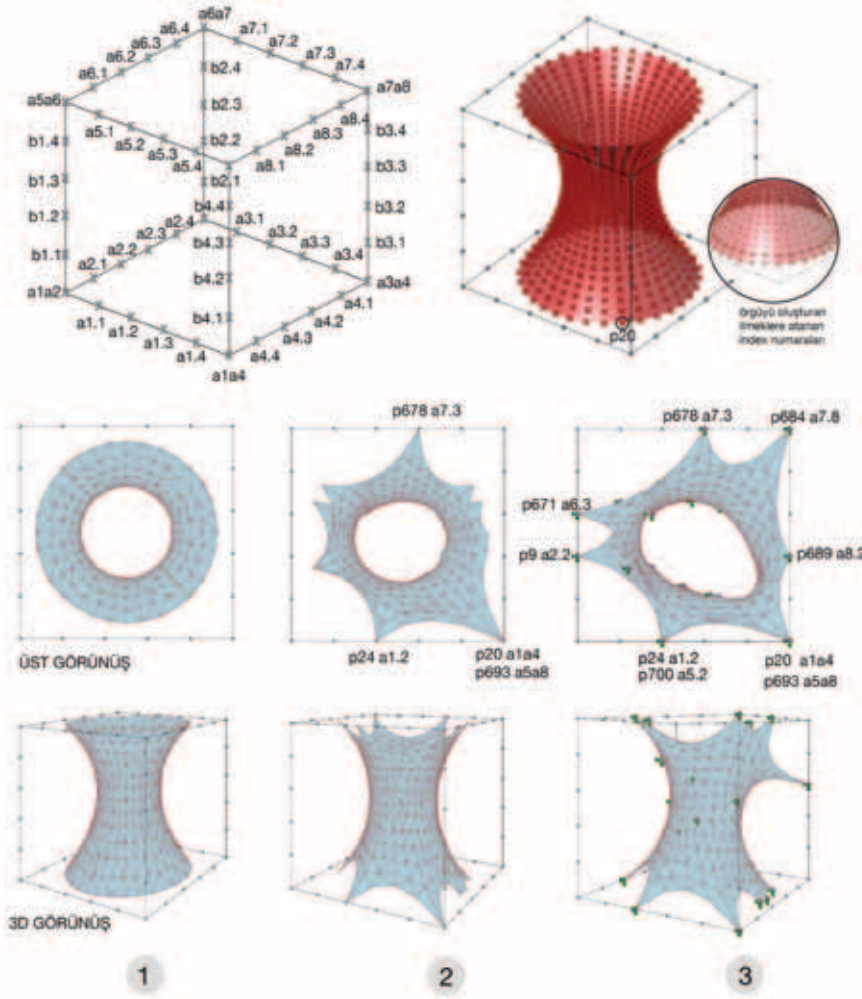
Çalışmada genel olarak karmaşık biçimlerdeki beton strüktürlerin anlaşılabilirliğine katkıda bulunmak, üretim maliyeti ve süreci minimize ederek aynı zamanda üretim kaynaklı atık miktarının sıfırlanması hedeflenmiştir. Fiziksel deney düzeneğinde bir kenarı 35 cm olan küp çerçeve içinde tanımlanan örülü ve tübüler formlar kullanılmıştır. Fiziksel prototiplerin üretiminde kullanılan örgü makinasının kısıtları ve malzemenin özellikleri de sürece birer girdi olarak dahil edilmiştir. Böylece başlangıçta esnek bir özellik taşıyan ve kolayca biçim verilebilen örülmüş iplerden, ayrıca bir kalıba gerek duyulmadan kendi kendini taşıyabilen ve üzerine gelen yüklere karşı strüktürel başarımlar gösterebilen fiziksel prototipler üretilmiştir. Yapılan deneyler kapsamında, örgü sıklığı ve bağlantı noktalarının farklılaşması değişken-

leriyle üç ayrı form varyasyonu oluşturulmuş ve incelenmiştir. Örülmüş tübüler form üst ve alt kesitlerinden karkasa sabitlenmiş, belirlenen ilmek noktalarından aşama aşama karkas üzerindeki noktalara çekilerek deforme edilmiş ve sonrasında beton karışımına daldırılmıştır (Şekil 2).

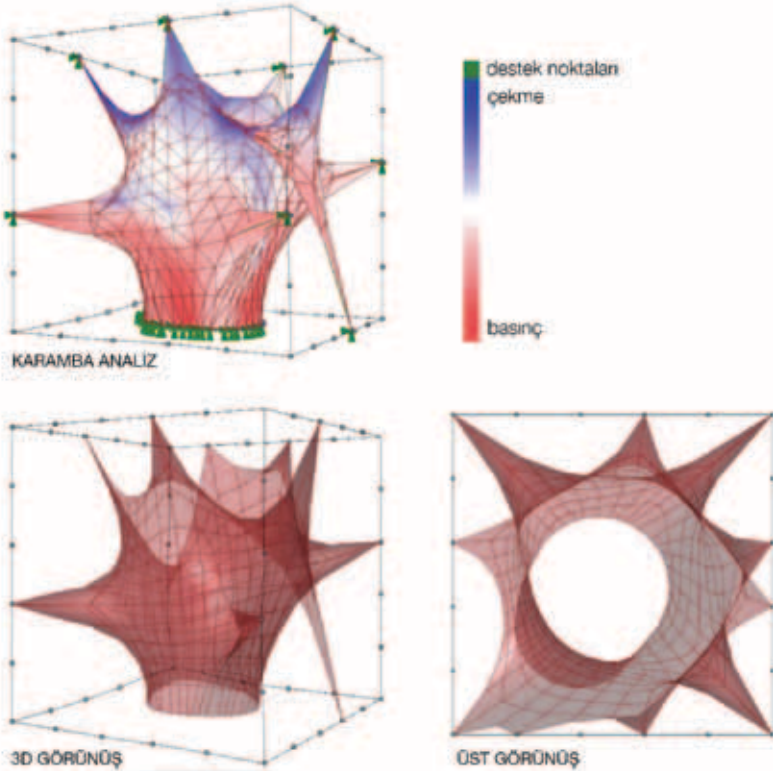
Gerilme etkisiyle formda meydana gelen değişimler dijital ortamda simüle edilirken, mikro ölçekte örgüyü oluşturan iplik tanecikleri ile beton karışımının birbirleriyle olan tutunma ilişkisi araştırılmıştır (Şekil 3). Mikro ölçekte yapılan malzeme araştırmalarında malzemenin mekanik davranışının iyileştirilmesi ile sistemin genel strüktürel davranışının/kapasitesinin iyileştirilmesi hedeflenirken, eş zamanlı olarak dijital ortamda oluşturulan parametrik model sayesinde biçim arayış sürecinin de hem malzemeden edinilen çıktılar hem de strüktürel simülasyonlar sonucu alınan geri bildirimlerle beslenmesi sağlanmıştır. Mikrostrüktür incelemelerine 150 ila 200 mikron arası yakınlaştırma sağlayan Stereo mikroskopu ile başlanmıştır. Yapılan ilk gözlemleri takiben beton karışımını oluşturan taneciklerle ipliklerin davranışı hakkında daha derin bir anlayış edinebilmek adına, oluşan minör çatlak noktaları statik elektron mikroskopu ile 1500-6000 kat büyütülerek incelenmiş ve kırılma eğilimindeki noktalardan elementer analiz yapılmıştır.

Dijital ortamda oluşturulan modelde, yüzeyin yatay ve düşey eksenlerdeki bölüntü sayısı





4



5

(U ve V noktaları) örgünün ilmek sayısı ile eşleştirilmiştir. Buna bağlı olarak yüzeyi oluşturan yatay ve düşey bölüntülerin kesiştiği her nokta, örgüyü oluşturan ilmeklerden biri olarak kabul edilmiştir. Belirlenen ilmek noktalarına birer gösterge sayısı atanarak form çalışmalarının daha kontrollü bir şekilde ilerlemesi amaçlanmıştır. Aynı şekilde ilmeklerin çekilerek karkas üzerine sabitlenebileceği noktalar da, gösterge sayıları ile belirtilerek form çalışmalarında yapılan müdahaleleri takiben birer kod oluşturulması sağlanmıştır. Dijital model destek noktalarını, oluşturulan yüzeyin U ve V noktalarını, ilmekler arasındaki mesafeyi, malzeme özelliklerini ve özgül ağırlığı, kesit özelliklerini, yer çekimini birer girdi/değişken olarak kabul edecek şekilde kurgulanmıştır (Şekil 4).

3 boyutlu modelleme ortamında oluşturulan dijital model, parametrelerin değiştirilmesi aracılığıyla kısa sürede biçimin farklı varyasyonlarının üretilmesine olanak sağlayan bir altlık işlevi görmüştür. Dijital ortamda form bulma sürecinde ise, yerçekiminin ve malzeme özelliklerinin dahil edildiği ve malzemenin fiziksel davranışını simüle eden Kangaroo isimli Rhino/Grasshopper eklentisinden yararlanılmıştır. Parametrik modelde yapılan müdahalelerin sistemin bütününde yol açabileceği değişiklikler, eş zamanlı olarak görüntülenmiştir. Dolayısıyla, denenen biçim alternatiflerinin fiziksel davranışları simüle edilerek tasarım-temsili-tasarımcı arasında gerçek zamanlı bir etkileşim oluşturulmuştur. Üretilen biçim varyasyonlarının strüktürel performansını değerlendirmek amacıyla, Karamba isimli eklenti kullanılmıştır (Şekil 5). Bu analizde, hem örgü ipliklerinin hem de betonun ağırlığı dikkate alınmış, dijital modelde betonun yüzeye homojen dağılmış olduğu varsayılmıştır. Oysa fiziksel prototipte betonun yüzeye dağılımında heterojen durumlar gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, fiziksel prototip ile dijital ortamda yapılan strüktürel analiz arasında farklılıklar oluşabilmekle beraber, ölçekli prototip düzeyinde bu farklılıklar gözardı edilmiştir. Ancak farklı ölçeklerde yapılacak deneylerde, fiziksel prototip ile dijital model arasındaki farklılıkların daha hassas düzeyde dikkate alınmasına gereksinim duyulabilir.

Araştırma kapsamında geliştirilen yaklaşım, betonarme kabuk strüktürlerin üretiminde ka-

lup kullanmaya gereksinimi ortadan kaldırarak üretim maliyetleri ile yapım sürelerini minimize etmeye olanak sağlarken, daha sürdürülebilir strüktürel üretim süreçleri vadetmektedir. Aynı zamanda, tasarımın erken aşamasından itibaren malzeme davranışına, biçimin dijital ortamdaki temsiline, basitten karmaşığa doğru biçimin varyasyonlarını oluşturulabilen ve değerlendirebilen dijital adımlara ilişkin bütünsel bir zemin sunmaktadır. Böylelikle her aşama birbirini sürekli besleyebilmekte, tasarımcının ileri programlama bilgisine ya da ileri analiz araçlarına ihtiyaç duymadan biçimin karmaşık davranışına ilişkin içgörüler ve çıkarımlar edinmesi olanaklı hâle gelmektedir. Her ne kadar deneyler kapsamında ölçekli maketler ve prototipler üzerinden çalışılmış olsa da kullanılan yöntem çeşitli malzemeler, araçlar ve örme teknikleri ile başka ölçekteki strüktür çalışmalarında kullanılmak üzere evrilebilir ve/veya üretilmiş olan prototipler daha büyük ölçekli bir kabuk sisteminin bileşenleri hâline getirilebilir. Ancak farklı ölçekte bir fiziksel çıktıya evrilmesi için örme teknikleri, kullanılan ip kalınlığı, çeşidi ve üretim araçları bağlamından yeniden ele alınmasına gereksinim duyulmaktadır.*

* Fiziksel prototip üretimindeki katkılarından ötürü Cemil Ceyhan Gönen'e ve Hacer Bozkurt'a çok teşekkür ediyoruz.

- 11 Hemmerling, M., Cocchiarella, L. Ed., *Informed Architecture: Computational Strategies in Architectural Design*. Springer, 2017.
- 12 Chilton, "Heinz Isler's Infinite Spectrum: Form-Finding in Design", *Architectural Design*, S. 80 (4), s. 64-71, 2010.
- 13 *Smart dynamic casting*, Bkz. gramaziokohler. arch.ethz.ch/web/e/forschung/223.html (Son Erişim: 28.05.2018).
- 14 Bhooshan ve diğerleri. Bkz. Bhooshan S., Van Mele T. ve Block P., "Equilibrium-aware shape design for concrete printing", *Humanizing Digital Reality - Proceedings of the Design Modelling Symposium*, s. 493-508, Springer, Paris, 2017.
Bkz. www.dezeen.com/2012/08/22/stone-spray-robot-by-anna-kulik-inder-shergill-and-petr-novikov/ (Son Erişim: 28.05.2018).
- 15 Adapa Adaptive Moduls, Bkz. adapa.dk (Son Erişim: 28.05.2018).
- 16 Bkz. block.arch.ethz.ch/brg/research/cable-net-and-fabric-formworks-for-concrete-shells (Son Erişim: 28.05.2018),
Bkz. block.arch.ethz.ch/brg/project/full-scale-construction-prototype-nest-hilo-shell-roof (Son Erişim: 28.05.2018).
- 17 Veenendaal, D., Block, P., "35 Computational form-finding of fabric formworks: an overview and discussion", *Proceedings of the 2nd International Conference on Flexible Formwork*, University of Bath, 2012.

1 Picon, A., *Digital culture in architecture*, Birkhäuser, Basel, 2010.

2 Carpo, M., *The alphabet and the algorithm*, MIT Press, 2011.

3 A.g.e.

4 Moles, A., *Belirsizin Bilimleri: İnsan Bilimleri İçin Yeni Bir Epistemoloji*, Çev. Nuri Bilgin, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 1993/2012.

5 Rheinberger, H. J., *An epistemology of the concrete: Twentieth-century histories of life*, Duke University Press, 2010.

6 A.g.e.

7 A.g.e.

8 A.g.e.

9 A.g.e.

10 Gramazio, F., Kohler, M., *Towards a digital materiality. Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*, s. 103-118, 2008.

| 1 Deney sürecinin şematik gösterimi

| 2 Karkasa gerilerek sabitlenen örülmüş formun betona daldırılmadan önce ve sonra fotoğrafı (Seyrek örülmüş prototip)

| 3 Örgüyü oluşturan iplerden birinin Stereo mikroskop ile kesit görüntüsü

| 4 Örgü strüktürün dijital modeli-form çalışmaları

| 5 Dijital ortamda strüktürel analiz
