

Cilt 1 Sayı 1

Vol 1 No 1

Eylül

September

2019

2019

J

journal of

CO

computational

DE

design

biçim bulma
form finding

J

journal of

CO

computational

DE

design

biçim bulma
form finding



Cilt 1 Sayı 1 | Eylül 2019

Vol 1 No 1 | September 2019

İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi E-Dergisi
Istanbul Technical University Faculty of Architecture E-Journal

Yılda iki kez yayınlanır. | Published two issues in one year.

Yayıncı | Publisher

İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü | Istanbul Technical University Rectorate

Editörler | Editors

Gülen Çağdaş

Ethem Gürer

Sema Alaçam

Editöryal Sekreteryası | Editorial Assistance

Begüm Hamzaoğlu

Bilimsel Danışma Kurulu | Scientific Advisory Board

Meltem Aksoy (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Yazgı Badem Aksoy (Medipol Üniversitesi)

Neşe Çakıcı Alp (Kocaeli Üniversitesi)

Fernando Garcia Amen (Universidad de la República, Uruguay)

Serdar Aydın (Mardin Artuklu Üniversitesi)

Güven Çatak (Bahçeşehir Üniversitesi)

Ahmet Emre Dinçer (Karabük Üniversitesi)

Özlem Atak Doğan (Erciyes Üniversitesi)

Şehnaz Cenani Durmazoğlu (Medipol Üniversitesi)

Özgür Ediz (Uludağ Üniversitesi)

Leman Figen Gül (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Gülay Öke Günel (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Benay Gürsoy Toykoç (Pennsylvania State University)

Elif Sezen Yağmur Kilimci (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Mine Özkar (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Muhammed Ali Örnek (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Mehmet Tahir Sandikkaya (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Hakan Tong (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Güzden Varinlioğlu (İzmir Ekonomi Üniversitesi)

Hakan Yaman (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Sevil Yazıcı (Özyeğin Üniversitesi)

Esra Gürbüz Yıldırım (Gaziantep Üniversitesi)

Dizgi | Typesetting

Begüm Hamzaoğlu

Nur Sipahioğlu

Logo | Logo

Melis Dağ

Kapak | Cover

İlke Yıldan

Varlık Yücel



ISSN 2687-4318

İletişim | Contact

JCoDe: Journal of Computational Design

Yayın Sekreterliği

İstanbul Teknik Üniversitesi

Mimarlık Fakültesi

Taşkışla, Taksim, 34437

İstanbul Türkiye

email: jcode@itu.edu.tr

web: jcode.itu.edu.tr

Biçim Bulma

Editörden

Bilgi ve iletişim teknolojileri, kendi evrimleşme süreçlerine koşut olarak, mimarlık alanında ve mimari tasarım eğitiminde farklı kullanım ortamlarının gündeme gelmesinde etken olmuştur. Bu evrimleşme süreci bilgisayar ortamında modellenebilen ürün temsili ve iletişim amaçlı kullanımdan, veri, enformasyon ve bilginin işlenmesine ve insan zihinsel süreçlerine özgü bir etkinlik olan yaratıcılığı ve karar vermeyi desteklemeye doğru gelişmektedir. Bu gelişmelerle, mimarlığın odağı yalnızca tasarım ürününe değil, aynı zamanda tasarım sürecine ve üretime doğru yönelmiştir.

Hesaplamalı tasarım matematik ve geometri, biliş bilimi, psikoloji, felsefe, biyoloji, bilgisayar ve malzeme bilimi gibi pek çok bilim dalı ile ilgili disiplinler arası bir alandır. Hesaplamalı yaklaşımlar tasarımın düşünsel, deneyimsel ve görsel yönlerini kapsayıcı bağlamda sezgisel, analitik veya eniyileme yöntemleri ile bütüncül bir yaklaşım içinde kurgulanan bir süreci tanımlar. Matematiksel, mantıksal ve ilişkisel süreçlere dayalı hesaplamalı (parametrik / üretken / genetik / etmen tabanlı / performansa dayalı...) tasarım paradigmaları, çok farklı yaklaşımlarla yaratıcı tasarım sürecine ve ürüne yansıtılmaktadır

Hesaplamalı tasarım yaklaşımları, mimari tasarımın sayısal ortamdaki temsilini geometrik 'semboller' yerine geometrik 'ilişkiler' olarak değiştirmektedir. Bu nedenle, mimari ürünün parametrelerle temsili, formunun geometrik (boyutsal, biçimsel) özelliklerini temsil etmenin ötesinde, formun oluşumunu (formasyon) ve davranışını, diğer bir deyişle zamansal karakteristiklerini ve performansını da temsil etmektedir. Buradaki performans kavramı tasarım ürününün malzeme ve eleman ölçeğinden mekana ve strüktüre, mekanın işlevsel ve çevresel performansından görsel performansına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.

İki ve üç boyutlu çizimler ile başlayarak görsel modelleme teknikleri ile gelişen uygulamalar, hesaplamalı yaklaşımlar ile geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bilgisayar grafikleri ve yazılımlarının gelişmesinin bir sonucu olarak temel geometrik formların ötesinde, 1990'ların ikinci yarısından itibaren karmaşık eğrisel formların tasarımı ve bilgisayar destekli üretimi gündeme gelmiştir. Tasarımın erken aşamalarında dijital ortamda modellenen geometrinin otomatik olarak fabrikasyonu için, modellenen geometri-biçim bilgisi ile ilişkili hesaplamaları içeren çeşitli mühendislik yazılımları mimarlığa uygulanmıştır.

Türkiye'de hesaplamalı tasarım alanındaki araştırmalar ve tez çalışmaları artmıştır; bu çalışmalarla ilgili çok sayıda ulusal ve uluslararası yayınlar ve sempozyum organizasyonları yapılmaktadır. Ancak, yapılan yüksek lisans tezlerinin her zaman bir yayına dönüşmesi mümkün olamamaktadır. Derginin amacı, bu çalışmaların yayınlanması ile öncelikle ulusal iletişimi güçlendirmektir.

JCoDe'un ilk sayısı, mimari tasarımın her zaman güncel konularından "Biçim Bulma"ya ayrılmıştır. Dijital çağda söylem, eylem ve kuram bağlamlarında mimarlıkta "biçim" in yeniden ele alınmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Öncül tanımlı, tekil ve ideal geometri tanımı biçimin temsili, dönüştürülmesi ve işlenmesi süreçlerinde ortaya çıkan yeni anlamları ve durumları karşılamakta yetersiz kalmıştır. Bunun yerine fiziksel çevrede çeşitli kuvvetlerin etkisi altında dönüşmeye devam eden "biçim-lenme" kavrayışı gündeme gelmiştir. Bu bakış açısının bilgisayar öncesi dönemde yansımalarına Frei Otto'nun analog hesaplama tekniklerinde, Gaudi'nin biçimi malzemeyle buluşturan asılı zincir modeli deneylerinde rastlamak mümkünken, dijital araç ve yöntemlerin yaygınlaşması biçim bulma odaklı araştırmalara ivme katmıştır. Pratik ile kuram; yapma ile tasarlama; fizik ile geometri arasındaki ilişkinin yeniden tanımlanmakta olduğu günümüzde ise biçim bulmaya odaklanan ilk sayımızın gelecekteki tektonik, bezeme, deney ve biçim tartışmalarına katkı sunmasını umuyoruz.

Miselyumun Yetiştirilmiş ve Esnek bir Malzeme Olarak Kullanımı Üzerine bir Araştırma	01
Binding Behavior Study of Mycelium in Flexible Formwork Gülay Elbasdı, Sema Alaçam	
Dans Hareketi Verilerinin Sayısal Ortamda Forma Dönüştürülmesi	11
Transformation Of Dance Motion Data To Form Through The Computational Environment Sinem Kırcan, Gülen Çağdaş	
Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyle Biçim Arama Yaklaşımı	35
A Form Finding Approach with Triply Periodic Minimal Surfaces Yusuf Reşat Güner, Gülen Çağdaş	
Beton Kabuk Strüktür Tasarımı Bağlamında Hesaplama ve Örme	55
Computing and Knitting in the Context of Concrete Shell Structures Serenay Elmas, Sema Alaçam	
Form Kurguları Tasniflerinde Düğüm Örüntüleri Yaklaşımı	65
A Node Pattern Approach in Categorizing General Form Typologies Anday Bodur, Ethem Gürer	
Diagrid Strüktür Sistemlerinin Serbest Biçimli Yüksek Tasarımlarda Hesaplanması	87
Computing Diagrid Structural Systems in Free-Form High-Rise Designs Çağlan Çelebi	

Binding Behavior Study of Mycelium in Flexible Formwork

Gülay ELBASDI¹, Sema ALAÇAM²

^{1,2} Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Latest studies in cultivated material design depict that the vegetative part of a fungus consisting of a network of rhizomatic and fibrous white filaments, the mycelium, could be an alternative for composites which composed of a ductile matrix and high-strength reinforcement. The goal of the present work is to discuss the potential of the usage of mycelium as a binding agent in free form geometry since mycelium acts as a natural self-assembling glue while following its metabolic cycle. Hence, shaping and re-shaping capabilities of mycelium-bond materials using fabric formwork is discussed. This study is the result of a series of experiments about mycelium-bond material that aims to investigate its re-shaping potentials by using an adjustable mold. We aim to make a comparison between initial and end shapes of cast material by implementing digital and analogue tools based on mycelium-based fabric formwork experiment. The formwork enables the designer to manipulate the boundary conditions of the fabric mold. The physical experiment setup consists of different initial geometry alternatives and the deformation is observed and measured numerically by time-based recording on top and section views. With the help of digital tools, experiments were documented as a process of formation. To analyze the mycelium-bond material, which refers to a material which can take form by growing mycelium under certain conditions, shaped by fabric formwork two different approaches were followed. The first approach is to keep the initial geometry defined by digital design tools of the fabric formwork fixed and to determine the resulting analogue shape from elastic deformation. The second approach is to keep the final analogue geometry fixed then to find the closest fit solution possible within a fabric formwork.

Keywords: cultivated materials, mycelium, form finding, fabric forming

Received: 14.12.2018

Accepted: 31.01.2019

Corresponding Author:
gulayelbasdi@gmail.com,

Elbasdi, G. & Alaçam, S. (2019). Binding Behavior Study of Mycelium in Flexible Formwork. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 01-10.

Miselyumun Yetiştirilmiş ve Esnek bir Malzeme Olarak Kullanımı Üzerine bir Araştırma

Gülay ELBASDI¹, Sema ALAÇAM²

^{1,2} İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Biyo-temelli malzeme tasarımında yapılan son çalışmalar, miselyumun -mantarların vejetatif kısmı- toprak altında büyümesi süresince oluşturduğu ince beyaz filamentler ağının sünek bir matris ve yüksek mukavemetli takviyeden oluşan kompozitler için bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Miselyum, doğal bir kendi kendini bağlayıcı olarak hareket ettiğinden, miselyumun serbest form geometrisinde bağlayıcı bir madde olarak kullanılma potansiyelini tartışmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, kumaş kalıp kullanılarak miselyum bazlı malzemelerin şekil alma ve yeniden şekillendirilme kabiliyetleri tartışılmıştır. Bu potansiyel, sınır koşulları ayarlanabilir bir kalıp üzerinde yeniden şekillendirmeyi araştıran bir dizi deney ile gözlenmiştir. Bu kapsamda, miselyum esaslı malzeme ve kumaş kalıp deneyine dayanan dijital ve analog araçların uygulanmasıyla dökümü yapılan malzemenin başlangıç ve bitiş şekilleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Hazırlanan deney düzeneği, tasarımcının kumaş kalıbının sınır koşullarını manipüle edebilmesini sağlar. Buna göre, farklı başlangıç geometri alternatifleri oluşturulmuş ve deformasyon, üst ve kesit görünüşlerde zamana dayalı olarak gözlemlenip ölçülmüştür. Dijital araçların yardımıyla deneyler bir oluşum süreci olarak belgelenmiştir. Belirli koşullar altında şekillenen malzemeyi ifade eden miselyum esaslı malzemenin kabiliyetini incelemek için iki farklı yaklaşım izlenmiştir. İlk yaklaşım, sabitlenen kumaş kalıbının dijital tasarım araçları ile tanımlanan başlangıç geometrisini korumak ve ortaya çıkan analog şekli elastik deformasyon yoluyla saptamaktır. İkinci yaklaşım, bir kumaş kalıbı içinde mümkün olan en yakın uyumluluk çözümünü bulmak üzere son analog geometriyi sabit tutmaktır.

Anahtar Kelimeler: biyo-temelli malzeme, miselyum, biçim bulma, kumaş kalıp

Teslim Tarihi: 14.12.2018

Kabul Tarihi: 31.01.2019

Sorumlu Yazar:

gulayelbasdi@gmail.com,

Elbasdı, G. & Alaçam, S. (2019). Miselyumun Yetiştirilmiş ve Esnek bir Malzeme Olarak Kullanımı Üzerine bir Araştırma. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 01-10).

1. GİRİŞ

Deneyisel araştırma yöntemleri tasarım disiplininde kullanılmaya başladıkça tasarımcının fiziksel çalışma ortamında değişimler gözlenmiştir. Tasarım stüdyoları ve laboratuvar ortamlarının bütünleştirilmesiyle tasarımcılar için yeni bir pratik alanı oluşmuş; bu da tasarımcılara materyal teknolojileri üzerine deneyisel araştırmalar yapma imkanı sağlamıştır. Bu bütünleşik çalışma alanları, tasarımcıların yaşayan organizmalarla deneyler yapmalarına olanak tanımış; bakteri, mantar ve alg gibi organizmalar da tasarım sürecine dahil edilmiştir.

Tasarımcılar, genellikle yeni çözümler bulmak için doğayı bir 'rol model' olarak ele almış, doğada gözlemlenen süreçleri ve davranışları manuel veya dijital yöntemleri kullanarak kendi tasarım süreçleriyle bütünleştirmişlerdir. Doğadan esinli tasarım çoğunlukla biçim bulma teknikleri ve doğayı davranışsal anlamda taklit etme (biyobenzetim) ile ilişkilendirilmiş, bu da biyolojik sistemi oluşturan parçaların önemini geri planda kalmasına neden olmuştur. Doğa ile işbirliği içerisinde çalışan tasarımcılar ise yeni ürünler elde etmek ve yeni üretim teknikleri bulmak için mikro-organizmalarla çalışmaktadırlar. Canlı bir yapının, bir malzeme içerisindeki davranışı, fonksiyonu ve mekanizmasının araştırılması biyomateryal üzerine çalışan biliminsanlarının alanı olsa da, bir tasarımcının da bu süreci deneyimleyebilmesi ile birlikte, tasarımcıların interdisipliner işbirliği kurarak materyal üretimi ve tasarımında pay sahibi olmaya başladıkları gözlenmektedir.

Çalışmanın genelinde, deneyisel araştırma süreci boyunca bilginin işleme akışının biyolojik bir sistemdeki büyüme akışı üzerinden nasıl modellendiğini kavramak, başka bir deyişle; biyo-sistemlerin yapı, görünüş, metabolizma, büyüme, tepki, adaptasyon, hareket ve reproduksiyon gibi özelliklerinin yeniden nasıl modellendiğini kavramak ve bu özelliklerin öz-örgütlenme, sürü hareketi, kolonisel gelişim ve belirme gibi yaklaşımlar üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında öncelikle, istridye mantarının (*Pleurotus ostreatus*) vejetatif kökleri (miselyum) mikro ve makro ölçekte incelenmiştir. Miselyum kullanılarak geliştirilen materyallerin yaratım sürecinde gerçekleştirilen esnek kalıp deneyleri biçim bulma teknikleri üzerinden açıklanmaktadır. Bununla birlikte, miselyum yardımıyla farklı fonksiyon ve estetik özelliklere sahip materyal yetiştirme olanakları tartışılmaktadır.

Bu olanaklar yazarlar tarafından gerçekleştirilen fiziksel deneyler ve gözlemler üzerinden aktarılmaktadır. Bu çalışmalar steril olmayan ortamlarda yapıldığından miselyum büyüme örüntüsü üzerinden kesin sonuçlar çıkarılamamış; ancak, bu örüntünün substrat olarak kullanılan malzemeyi zaman içerisinde sağlamlaştırdığı sonucuna varılmıştır. Öncelikle miselyum esaslı malzemenin nasıl üretileceğine dair bir tarifleme yapılmış, sonrasında ise miselyumun bu belirme özelliğini kullanabilmek için esnek kumaş kalıplar tasarlanmıştır. Bu kalıplar üzerinde miselyum esaslı malzeme x ve y akslarında sabit z aksında ise ayarlanabilir dinamik

kalıp yardımıyla belli zaman aralıklarında şekillendirilmiştir. Fiziksel form bulma, esnek kalıbın sınır koşullarının manuel yöntemlerle hareket ettirilerek değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan tüm kalıp deneylerinde miselyum esaslı malzemenin kısıtlarını gözlemleyebilmek için dinamik modeller tasarlanmış, böylece sertleşme süresi uzun olan miselyum esaslı malzemenin (MbM) yeniden şekil alabilme potansiyeli araştırılmıştır. Bu dinamik deneylerde formun alacağı şekil tahmin edilse de tam olarak bilinmemektedir. Bunun sebebi ise gelişmesi çevre ortamlarına bağlı olan miselyumun substrat üzerinde sağlıklı olarak gelişim hızının değişken olmasıdır.

Fiziksel deneylerde ise dinamik, sınır koşulları tasarımcı tarafından ayarlanabilir esnek bir kumaş kalıp üzerinde miselyum esaslı malzemenin ölü yükü ile aldığı form kesit düzleminden, deney süresince izlenen miselyumun büyüme örüntüsü de plan düzleminden fotoğraflanarak zamana bağlı olarak kayıt altına alınmıştır. Fiziksel deneyden elde edilen imajlar soyutlaştırılarak kesite aktarılmış ve malzemenin öngörülen davranışı üzerine yazar tarafından deney öncesi çıkarılan kesit ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu sayede miselyumun substrat üzerinde zaman içerisindeki büyüme potansiyeli ile ilgili olarak tahmin yürütülmüştür. Plan düzleminden elde edilen imajlar ile miselyumun hangi konumda daha iyi gelişme gösterdiği araştırılmıştır.

Yazarlar, miselyumun, belirme özelliği olarak kabul edilebilecek, üzerinde yetiştiği malzemeyi bağlayıcı niteliğini kullanarak serbest form üretme potansiyelini araştırmaktadır. Bu araştırmayı esnek kalıplar üzerinden gerçekleştirme sebebi de zaman içerisinde kalıp üzerinde sınır koşullarını değiştirebilme ve organik formlar elde edebilme olanağıdır. Bu potansiyeli araştırmak için oluşturulan deney düzeneklerinde hem esnek kalıbın hem de miselyum esaslı malzemenin elastik deformasyona uğraması istenmektedir. Ancak, esnek kalıpta yalnızca elastik deformasyon görülmesi beklenmekte; miselyum esaslı malzemede ise hem plastik hem de elastik deformasyon oluşması öngörülmektedir. Yazarlar da bu öngörü üzerinden hem tahminler üretmekte hem de deney düzeneğini tasarlamaktadırlar. Miselyum esaslı malzemenin kalıp üzerinde elastik deformasyondan ziyade plastik deformasyona uğraması olasılığı, deneyin başladığı zamandan itibaren düzensiz olarak artmaktadır. Bu düzensiz artışın sebebi, canlı olan miselyum hücrelerinin her substrat üzerinde ve her ortam şartında gelişme hızının farklı olmasıdır. Bu durum gerçekleştirilen deneylerin en önemli kısıtlarındandır. Bu sebeple, deneylerin ekipmanlı ve steril bir laboratuvarda yapılması, bunun yanında disiplinler arası işbirliği içerisinde çalışılması önerilmektedir.

Bu kısıtlar göz önüne alındığında, yapılan deneylerde malzemenin her seferinde farklı belirme davranışı göstermesi beklenmiştir. Çünkü malzemenin oluşması süresince gerekli şartlar farklılık göstermektedir. En başta yalnızca miselyum sporu ve substrat malzemedan oluşan bu karışım, zamanla miselyum esaslı malzemeyi oluşturur. Hazırlanan deneyler de tam bu süreç içerisinde gerçekleştirilir. Çünkü, substrat üzerinde gelişen miselyum, substratı beyaz hifleriyle tamamen kaplarsa malzeme

neredeysse rijit bir hale, bir başka deyişle, elastik deformasyona dayanıklı hale gelmektedir. Bu deneylerle elde edilmek istenen ise, malzemenin bu oluşum sürecinde tasarımcının biçime etkisini daha önce çalışılmamış miselyum esaslı malzeme ve esnek kalıp kombinasyonu ile araştırmaktır.

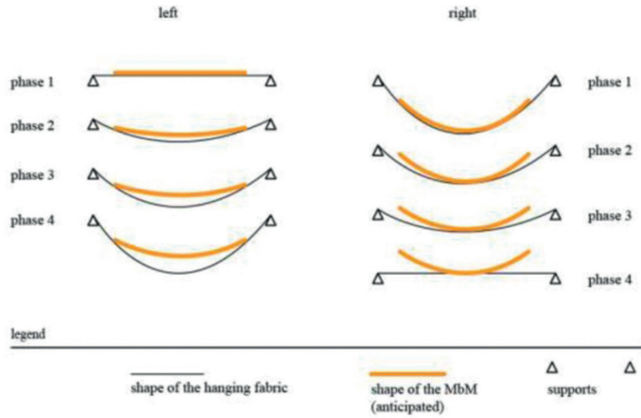
2. VAKA ÇALIŞMASI: FİZİKSEL FORM BULMA YOLUYLA MİSELYUM-BAZLI MALZEMENİN HESAPLANABİLİRLİĞİ

Deneylere iki farklı gerginlik koşuluna sahip bir set ile başlandı ve bir hafta boyunca miselyum büyümesini gözlemlendi. İlk deneyde malzeme özelliklerine ve davranışlarına dayanan form bulgusunun araştırılması amaçlandı. Kumaş kalıpta MbM'nin davranışını gözlemlemek için iki adet serbest asılı kumaştan oluşan ayarlanabilir, kumaşın sınır koşulları manipüle edilebilir, kumaşın hangi noktalarında desteklendiğine ve bu desteklerin hangi yönlere sabitlendiğine karar verilebilir bir kalıp tasarlandı. Bu sayede tasarımcı elastik deformasyondan nihai sonuçta oluşan şekli belirleyebilmektedir (Veenendaal ve Block, 2012). Yazarların destek yükseklikleri üzerindeki ayarlamalarından sonra beklenen form bulma durumları Şekil 1'de sunulmuştur.

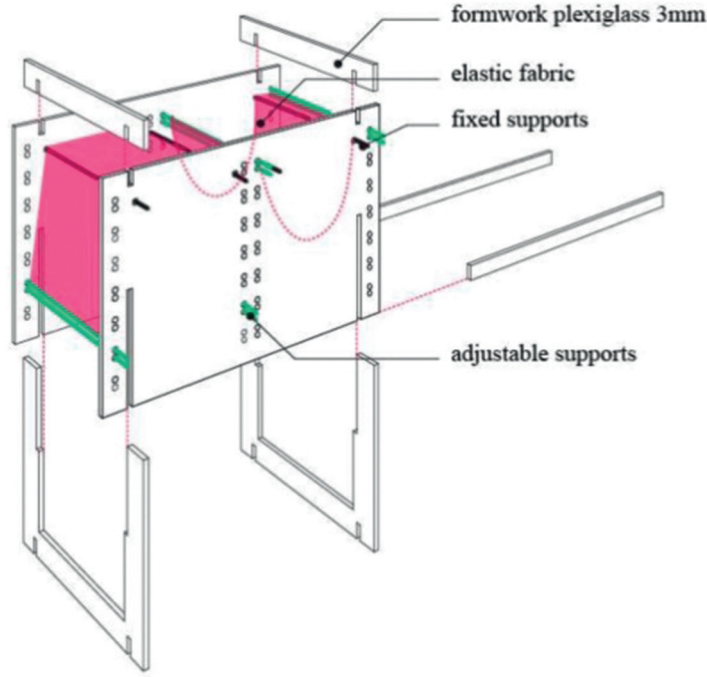
MbM'nin formunu keşfetmek için yürütülen Deney 1, iki karşıt tarafın statik ve baz yüzeyin elastik olduğu düzenektir. Fiziksel kurulum şekli formu X düzleminde sınırlar, Y düzleminde değişikliklere izin verir (Şekil 2).

İlk serbest asılı kumaş, sırasıyla yatay desteklerden gerilir ve desteklerden yavaş yavaş serbest bırakılır (Şekil 3). İkinci serbest asılı kumaş ilk önce yatay desteklerden örülür ve buradan yavaşça serbest bırakılır. Her iki durumda da, miselyum karışımı tek bir kumaş tabakası üzerine yerleştirilir ve buna uygun olarak kumaş malzemenin ölü yükü ile deforme olur. İlk 24 saat içerisinde, optimal koşullarda, miselyum büyümeye ve ağını genişletmeye başlar. Miselyum daha fazla büyüdükçe, malzemenin farklı bir şekli alması güçleşir. Miselyumun bu belirme davranışı, alçının dehidrasyonla katılaşması süreci ile benzerdir.

İlk denemede materyal davranışı gözlemlenerek, MbM'nin içeriğindeki canlı madde miselyum sayesinde yeniden şekillendirilebilir bir materyal olarak hareket edebileceği düşüncesi ortaya konmuştur.



Şekil 1: Fiziksel form bulma ve MbM'nin alabileceği tahmin edilen formun grafiksel gösterimi.



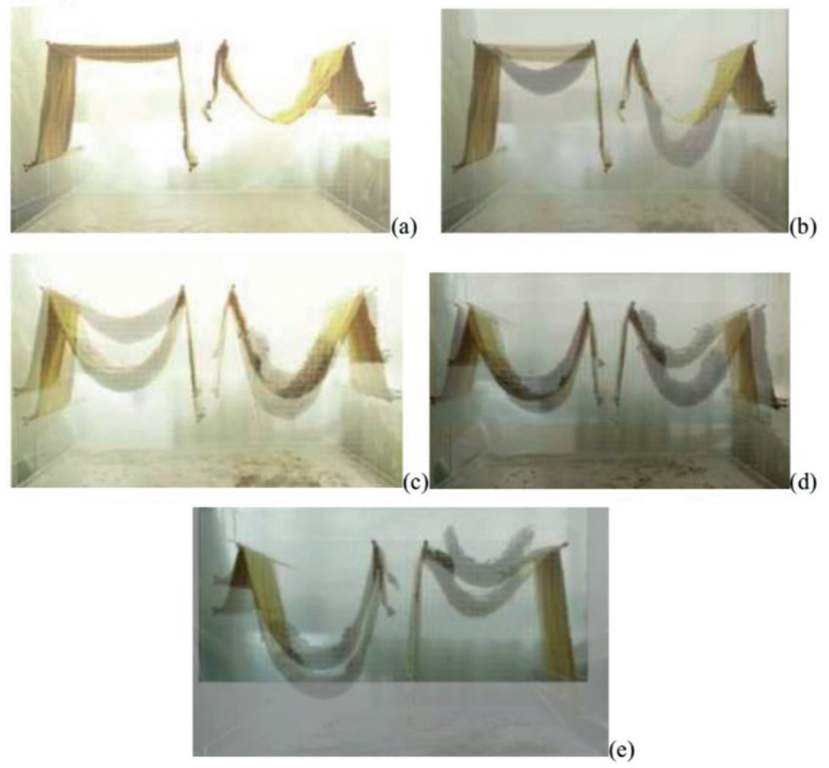
Şekil 2: Serbest asılı kumaş kalıp kurulumu

Kabuğun malzemesi	Form-aktif yapı	Form-aktif tipoloji	Kalıbı stabilize etme yolu	Sertleştirici malzemeyi işlemek için teknik	Güçlendirme
Miselyum tohumu, saman, buğday kepeği ve su	Sıkı esnek kumaş	tek katman	serbest asılı	döküm	saman

Tablo 1: Deney 1'de kullanılan malzemeler ve işlevleri. Tablo ISoFF'tan (Url-1) türetilmiştir.

Daha sonra, bir döküm deney seti, tasarımcının sınır koşullarını kenarlardan değil, kumaşın kendisinin yüzeyinden manipüle edebildiği ayarlanabilir bir kalıp olarak hazırlandı. Bunu yapmak için, çıkarılabilen bağımsız çubukları olan bir noktasal deney seti tasarlandı. MbM kumaş kalıbı haline gelmeyi denemek için yapılan deney, kumaşın (ön-düzlemde) ve ön-stresin (ön-düzlemde) ve MbM basıncının (normal-düzlem) kombinasyonu ile önceden gerilmiştir. Bu yöntemin genel dizisi şu şekildedir: bir kumaş parçası, lazerle kesilmiş pleksiglas ve dikey olarak yerleştirilmiş ahşap çubuklar üzerinde homojen olarak gerilir. Daha sonra miselyum karışımı kumaş üzerine yerleştirilir. Kumaş ek yük ile deforme olur. Daha fazla miselyum geliştikçe, malzeme her geçen gün sertleşir.

İlk miselyum örüntüsü görülebildiğinde, her iki karşılıklı çubuk da yerinden çıkarılır. Bu noktalarda kumaş zayıflar, bu da kesit görünümünde MbM'nin öngörülemez yer değiştirilmesi ile sonuçlanır. Kamera ile kaydedilen malzemenin bu yer değiştirme eğrisi, zaman kısıtlamasına bağlı olarak malzemenin sınırlarını gösterecektir.



Şekil 3: Beş fazda form bulma durumları: (a) serbest asılı kumaşların başlangıç aşaması, (b) başlangıç fazı ve birinci fazın üstdüştümü, MbM'yi yükledikten sonra biçimlendirme, (c) ikinci fazın ve birinci fazın üstdüştümü, (d) üçüncü fazın ve ikinci fazın üstdüştümü, (e) üçüncü fazın ve dördüncü fazın üstdüştümü.



Şekil 4: Deney üzerinde gözlem yoluyla görsel hesaplama.

Kabuğun malzemesi	Form-aktif yapı	Form-aktif tipoloji	Kalıbı stabilize etme yolu	Sertleştirici malzemeyi işlemek için teknik	Güçlendirme
miselyum yetiştirme kiti	esnek kumaş	tek katman	ön gerdirme	döküm	talaş

Tablo 2: Deney 2'de kullanılan malzemeler ve işlevleri. Tablo ISoFF'dan (Url-1) türetilmiştir.

3. BULGULAR

Kumaş ile şekillendirme çalışmaları üzerine yapılan gözlemlere dayanarak, fiziksel form bulma yöntemi kullanılması tercihi sebebiyle tasarımcının kalıp düzeneği ve kalıptaki esnek malzemelerin deformasyonu kısıtlarını gözetmesi gerektiği sonucu çıkarılır (Elbasdı ve Alaçam, 2016).

Bununla birlikte, MbM üzerine yapılan araştırmalara dayanarak, malzemenin yeniden şekillendirmeye uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Elbasdı ve Alaçam, 2017). Yeniden şekillendirme malzemenin ölü yükü veya üzerine uygulanacak bir basınç kaynağı ile sağlanabilir. Bunu yapmak için Veenendal ve Block'un (2012) yaklaşımları takip edilebilir. İlk yaklaşım, sabitlenen kumaş kalıbının dijital tasarım araçları ile tanımlanan başlangıç geometrisini korumak ve ortaya çıkan analog şekli elastik deformasyondan saptamaktır. İkinci yaklaşım, bir kumaş kalıp içinde mümkün olan en uygun çözümü bulmak için son analog geometriyi sabit tutmaktır.

Miselyumun substrat üzerinde onu çepeçevre saracak kadar gelişmesi, malzemenin oluşma evresinin sonuna geldiği anlamına gelmekte ve oluşan bu malzeme son işlemlere ihtiyaç duymaktadır. Oluşan miselyum esaslı malzeme, miselyum sayesinde sağlamlaşmış ve kırılğan bir yapı haline gelmiştir. Ancak, canlı olan miselyumlar malzeme üzerinde kırık olması durumunda dahi bu bölgelerde gelişerek malzemenin sürekliliğini sağlayabilmektedirler. Yapılan deneyler süresince de malzemenin bu avantajlı durumu gözlenebilmektedir. Sonuç ürün -substrat malzemeye bağlı olmak üzere- hafif, sürdürülebilir, kirliliğe yol açmaz, suda yüzebilir ve yalıtkan bir malzemedir. MbM'nin önemli görülen ve bu makalede anlatılmak istenen özelliği ise malzemenin serbest biçim oluşturabilmeye izin vermesi; verilmek istenen biçime ulaşılmasa dahi -alçı ve betonun çabuk kuruma özelliğinden ayrılarak- uzun süreç içerisinde de biçimsel manipülasyona açık olmasıdır. Yapılacak manipülasyon yalnızca kalıbın sınır koşullarını değiştirerek değil, malzeme üzerine uygulanacak baskı sayesinde de elde edilebilir. Bu özelliği miselyum esaslı malzemeyi hem sanatçılar ve tasarımcılar hem de malzemedan yalnızca fonksiyonel anlamda yararlanmak isteyenler için avantajlı duruma getirmektedir.

4. SONUÇ

Bir formun oluşturulması için malzemeye uygulanan yöntemler genellikle bir tasarım sürecinin sonunda deneyimlenir. Bu çalışma, malzemenin form alma potansiyellerini incelemek amacıyla, deneyler yoluyla analog ve dijital tasarım teknikleri arasında ilişki kurmayı amaçlamaktadır. Bu amaç, yazarların, sonuçtan ziyade materyalizasyon ve oluşum sürecine odaklanmasını sağlayan araştırma yaklaşımıyla elde edilmiştir. Ayrıca, bir başka amaç da, analog ve dijital form bulma yöntemlerini uygulayarak canlı materyallerle çalışırken formların ortaya çıkmasının öngörülebilir olup olmadığını anlamak idi. Form oluşumu, materyallerle çalışmadan mükemmel bir şekilde dijitalleştirilemez. Kumaş kalıplarının sayısallaştırılması araştırmacıların kapsamında olsa da, günümüzün CAD/CAM teknolojisi, malzeme davranışının tam olarak modellenmesine izin vermemektedir. Tasarımcılar halen tatmin edici sonuçlar elde etmek için dijital modeli beslemek üzere materyal deneyleri yoluyla malzeme davranışlarını anlama ihtiyacı duyarlar. Bu nedenle, bu çalışma, ayarlanabilir bir kalıp kullanarak miselyum bazlı malzemelerin (Mbm) 'form-alma' sürecinin potansiyel CAD/CAM entegrasyonu hakkında tartışmaları ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

Deney ve bulgularla yazar, kitlesel ürünlere alternatif olabilecek 'yetiştirilmiş' (Hebel ve Heisel, 2017) materyallerden oluşan yeni bina ve strüktür malzemeleri hakkındaki tartışmaya katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Her ne kadar deneme süreci ve sonuçlar tasarımcıya çeşitli tartışmalı konulara yol açsa da, bu çalışmanın ürün tasarımı, mimarlık ve inşaat endüstrisinde yeni bir anlayış getireceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada tasarım odaklı düşünce ile bilimsel bilgiyi birlikte kullanarak materyal üretimine yaşayan sistemleri entegre etme, bunu yaparken de tasarımcıyı materyal üretim sürecinin başından itibaren karar verici olarak konumlandırma düşüncesi amaçlanmaktadır.

Kaynakça

Elbasdi, G., Alacam, S. (2017). A Study on the Materialisation and Formation of Mycelium in Fabric Formwork. In M. J. de Oliveira and F. C. Osorio (Eds.), Proceedings of the Kine[SIS] tem International Conference 2017 (pp. 275-283). Lisbon: DIN MIA/CET-IUL.

Elbasdi, G., Alacam, S. (2016). An Investigation on Growth Behaviour of Mycelium in a Fabric Formwork. In A. Al-Attili, A. Karandinou, B. Daley (Eds.), Proceedings of Parametricism Vs. Materialism: Evolution of Digital Technologies for Development 8th ASCAAD Conference (pp. 65-74). London: Imperial House Publishers.

Hebel, D., Heisel, F. (2017). Cultivated Building Materials. Basel and Berlin: Birkhäuser.

Veenendaal, D., Block, P. (2012). Computational Form-finding of Fabric Formworks: An Overview and Discussion. Ohr, J. et al. (Editors). Proceedings of the 2nd International Conference on Flexible Formwork. Bath, UK, 368-378.

Url-1 < www.fabricforming.org>, date retrieved 10.06.2016.

Transformation Of Dance Motion Data To Form Through The Computational Environment

Sinem KIRKAN¹, Gülen ÇAĞDAŞ²

^{1,2} Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Architecture is inherently intertwined with movement and body. One of the most intense observations of the movement is undoubtedly dance performance. Architecture and dance share the same language in terms of shape and form; both disciplines transform solid bodies and space to identify themselves. In recent years, involving computers to design process leads to digital analysis of movements. Movement data is available with movement analysis in computational environment. These data can be used as design components for different disciplines. In this article, it is emphasized that dance data can be used to create dynamic spaces and architectural forms in interaction with body movements. Within this scope, the relation among the time, space and movement is examined. Motion capture and motion transformation techniques are studied. In this content, it has been worked with a group dancers as subjects and their movements were transferred to computational environment using Kinect, Grasshopper and Quokka interfaces. Dancers movements were scanned and the motion data for each joint were stored for the analysis process. Thanks to the computational environment, the models based on the movement data were produced and the movement traces in the space were concretized and analyzed. The interaction of the created forms with the dancer and the reflection of the of body movement dynamics on the form produced were intensified. At the end of the study, the productive results of using dance movement data in search of dynamic and interactive forms instead of the usual solid, stationary forms of architecture are shown.

Keywords: Architecture, Dance, Interactive Design, Computational Environment, Architectural Design Computing

Received: 26.01.2019

Accepted: 31.01.2019

Corresponding Author:
sinemkirkan@hotmail.com

Kirkan, S. & Çağdaş, G. (2019). Transformation of Dance Motion Data To Form Through The Computational Environment. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 11-34.

Dans Hareketi Verilerinin Sayısal Ortamda Forma Dönüştürülmesi

Sinem KIRKAN¹, Gülen ÇAĞDAŞ²

^{1,2} İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Mimarlık doğası gereği hareket ve bedenle iç içedir. Hareketin en yoğun olarak gözlemlendiği süreçlerden biri de kuşkusuz ki dans performansdır. Mimarlık ve dans şekil ve form açısından aynı dili paylaşır; her iki disiplin de kendilerini tanımlamak için katı cisimleri ve mekanı dönüştürür. Bilgisayarın tasarım sürecine dahil olması ile beraber gerçek ortamdaki hareketlerin analiz ve deneyimleme süreçleri son yıllarda sayısal ortamda da değerlendirilmeye başlanmıştır. Hareketlerin sayısal ortamda analizi ile hareket verilerinin elde edilmesi mümkündür. Bu veriler bir çok farklı disiplin için tasarım ögesi olarak ele alınabilir. Bu makale kapsamında dans hareketleri ile etkileşimde olan dinamik mekanlar ve mimari formlar üretilmesinde dans verileri ele alınması üzerinde durulmuştur. Çalışma kapsamında öncelikle beden, hareket ve dans üzerine araştırmalar incelenmiştir. Sonraki aşamada dans performansından hareket verilerinin elde edilmesi incelenmiştir. Bu bağlamda dansçı denek grupları ile çalışılmış, dansçıların hareketleri Kinect, Grasshopper ve Quokka ara yüzleri kullanılarak sayısal ortama aktarılmıştır. Dansçıların hareketleri dans performansı boyunca taranmış, her bir eklemden meydana gelen hareket verisi analiz süreci için depolanmıştır. Sayısal ortamın sağlamış olduğu olanaklar ile hareket verilerine bağlı modeller üretilmiş, mekandaki hareket izleri somutlaştırılmış ve analizi yapılmıştır. Oluşturulan formların dansçı ile birebir etkileşimde olması, beden hareketi dinamikliğinin üretilen forma da yansması üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda hareket ile etkileşimli bir kabuk tasarımı önerisi sunulmuştur. Çalışmanın sonunda mimarlığın alışıldık katı, durağan formları yerine dinamik ve etkileşimli form arayışlarında dans hareketi verilerinin kullanılmasının üretken sonuçları gösterilmektedir.

Anahtar kelimeler: Mimarlık, Dans, Etkileşimli Tasarım, Sayısal Ortam, Mimari Tasarımda Bilişim

Teslim Tarihi: 26.01.2019

Kabul Tarihi: 31.01.2019

Sorumlu Yazar:

sinemkirkkan@hotmail.com

Kirkan, S. & Çağdaş, G. (2019). Dans Hareketi Verilerinin Sayısal Ortamda Forma Dönüştürülmesi. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 11-34.

1. GİRİŞ

Canlılar içinde buldukları mekanı bedenleri ile hareket ederek deneyimledikleri için mimarlıkta hareket ve beden ayrı düşünölemeyen kavramlardır. Dansta da form, hareket ve beden ilişkileri yoğun olarak gözlemlenmektedir. Bu sebeple dans ve mimarlık ortak temellere dayanmaktadır. Bu bağlamda dans disiplini, mimarlık disiplini için neler sağlar sorusunun cevabını aramak mekana ve forma farklı bir açıdan bakılmasını sağlamaktadır. Bir tasarımcı olarak mimar aldığı verileri dönüştürerek mekanı tanımlar. Mekana dönüşecek olan bu veriler kullanıcı gereksinimleri olabileceği gibi aynı zamanda bir fikir, esinlenme, müzik parçası ya da dans olabilir. Bu doğrultuda mimar, mekan tasarım sürecinin ilk girdisi olarak beden hareketlerini ele alabilir. Bu katkı ile mimar, tasarladığı mekanlarda kullanıcının sürekli değişen beden ve algısını dikkate alıp, durağan mekanlar yerine daha dinamik mekanlar üretebilir.

Bu makalede dijital tasarım ara yüzlerin araç olarak kullanıldığı mimari tasarım sürecindeki yeni düşünce sistemi ele alınmıştır. Tasarım süreci açısından bu yeni yaklaşımların etkisi ve bedenin animasyonu, dans deneyimi ile form arama sürecinin beraber düşünölebilmesine olanak sağlamıştır. Çalışmada, dans hareketi verilerinin sayısal ortama aktarılması ve algıcılar aracılığı ile dansçıların müzik eşliğindeki dans hareketlerinin forma yansıdığı etkileşimli, dinamik bir form tasarlamak amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Modern danstaki serbest, akışkan beden hareketleri, dansın forma dönüştürülmesinde önemli girdiler sağlamaktadır; performans boyunca dansçı, bedeninin meydana getirdiği hareketler ile boşlukta soyut izler ve formlar yaratır. Bu bağlamda çalışma kapsamında hareket verileri alınmasında modern dans performansları kullanılması kararlaştırılmıştır.

Sürece yardımcı olması amacı ile dans, hareket ve mimarlık arası ilişkiler, dansın matematiksel olarak ifadesi, dansın kuralları ve dansın notasyonu incelenmiş, bu konuda yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

Literatür araştırması sonrası dansın sayısal ortamda ele alınmasına yönelik süreçte Kinect , Rhino, Grasshopper ve Grasshopper'ın eklentisi olan Quokka ara yüzü ile kullanılması kararlaştırılmıştır. Hareket verilerinin sayısal ortama aktarılmasında ana hareket noktaların ele alınması daha işlenebilir bir veri sağlayacaktır. Bu doğrultuda tüm beden hareket bulutu olarak taranmamış, ana hareket akış noktaları olan eklemlerdeki ve bu eklemlerin birleşmesi sonucu oluşan akslardaki hareketlerin alınması uygun bulunmuştur. Hareket verilerinin bu dört ara yüz ile gerçek ortamla eş zamanlı olarak sayısal ortama alınması gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra elde edilen beden hareketlerinin yorumlanması ve form olarak karşılığı araştırılmıştır.

Form arama sürecinde deneklerin dans hareketleri tasarım sürecinin çıkış noktasını oluştururken, aynı şekilde tasarımın sonraki aşamalarında da etkileşimli yüzeyler tasarlamak için deneklerin dans hareketlerine başvurulmuştur.

3. DANS, HAREKET VE MİMARLIK İLİŞKİLERİ

Mimarlık ve dans, zaman ve mekan ile ilgili tamamlayıcı bir ilişki sunar. Hem dans hem de mimarlık görsel sanatların form bulmuş halidir, aynı temel olan üç boyutlu mekanı paylaşır (Gavrilou, 2003). Hareket eden bedene odaklanıldığında, etkileşim ve teknolojinin örtüşmesi, mekanı ve bedeni dans pratiği ile ele almasına olanak sağlamaktadır. Dans bedeninin üst düzeyde hareket ettiği alanlardan biridir (Ötken, 2011). Dansta hareket genellikle durağan durumlar olarak değil devinimsel bir süreç olarak vurgulanır.

Eş zamanlı olarak çoklu dans diyagramları üst üste çakıştırılırken, haritaların kesişim noktalarından mekânsal çerçeve oluşturmak mümkün olabilir. Dansların birlikte haritalanması, morfogenetik tasarım sürecini destekler, dans parçası ve dansçılar arasındaki sosyal hareket ve etkileşim ile form oluşur. Benzer şekilde, mimarlık mekânsal olarak hareketi haritalar ve kinestetik yapıları teşvik eder. Haritalanan beden hareketlerindeki bilgi mekânsal boyuta taşınabilir, form olarak mimarlıkta kullanılabilir (Gines, 2005). Form yaratma sürecinde meydana gelen hareketlerin yoğunluğu, meydana gelme sıklığı, hareketlerin birbiri ile ahengi ve uyumu önemli girdiler olarak ele alınmaktadır.

4. HAREKET ANALİZİ

Dansın analizi için öncelikle dansı oluşturan hareketlerin incelenmesi gerekir; çünkü her dansın başlangıç noktasında hareket yatar. Hareketlerin incelenmesinde ilk adım hareketlerin kaydedilmesi ve görsel olarak sunulmasıdır. Dans performansının parçalanması ile dans hareket parçalarına ulaşılır. Bu yolla dans hareketlerinin söz dizimi, prensipleri, tasarım süreçleri incelenebilir.

Dansın görselleştirilmesinde resim, heykel, fotoğraf ve video sanatı gibi bir çok yaratıcı yaklaşım vardır. Bu yaklaşımların dans hareketlerinin analizi ile geometrik, mimarlık ve mekan ilişkilerine ulaşılabilir (Stathopoulou, 2011).

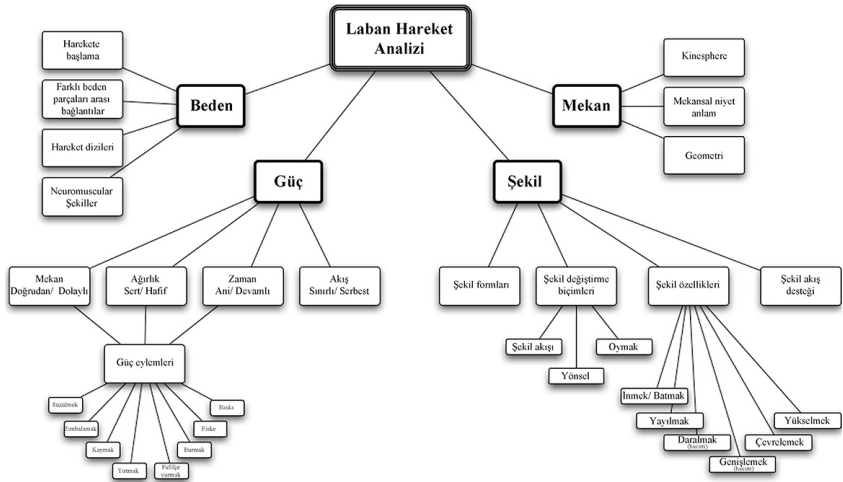
Dansçıların hareketleri ve pozları farklı geometrik ilişkiler sergiler. Bu geometrik ilişkiler sahneyi gözleme açısına da bağlıdır. Ancak sahneyi tek noktadan gözlemek yerine x, y, z koordinatlarında 360 derece gözlemek dansçıların buldukları noktayı daha net analiz edip, mekanla ve diğer dansçılarla oluşturduğu ilişkiyi, geometrik ilişkileri daha net açıklanmasını sağlar.

4.1 DANS NOTASYONU, LABAN HAREKET ANALİZİ VE PARAMETRELERİ

Dans notasyonu basit olarak müzik parçalarındaki notaların oluşması gibi bütün bedendeki dans hareketlerinin kodlanmasına dayanmaktadır (Varna, 2013). Notasyonlar zamanla değişen, gelişen ve hareket eden imajlar, sanal mekanlar, evrimleşen mekanlar, form ve strüktürler içerirler.

Dans disiplininde en çok kullanılan notasyon sistemi Rudolf Laban tarafından oluşturulan Laban Hareket Analizidir. Laban'ın sistemi, temel hareket olanaklarının seçimine ve düzenlenmesine dayanan ayrıntılı bir alfabe sistemini temel almaktadır (Guest, 1990). Bu sistem üç boyutlu mekan, zaman ve dinamikler açısından insan hareketlerini analiz etmeye yardımcı olmaktadır.

Labanotation notasyon sisteminde dansçının başlangıç noktası, mekansal uzaklık, mekansal ilişkiler, ağırlık merkezi, ağırlık aktarımı, zıplamalar, dönmeler, beden parçaları, yollar ve adım planları sistematik mekansal semboller kullanarak kayıt edilir. Sistemde hareket x, y, z eksenini uzantısında kayıt edilir. Böylece hareket üç boyutlu olarak, altından üstüne okunabilir. Laban'ın yaklaşımında beden ve mekan analizin ana alt başlıkları oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında da beden, beden hareketleri ve mekana dönüşüm incelemeleri yapıldığı için Laban hareket analizi, hareket incelemesinde gerekli olan parametrelerin seçiminde bir kaynak oluşturmıştır

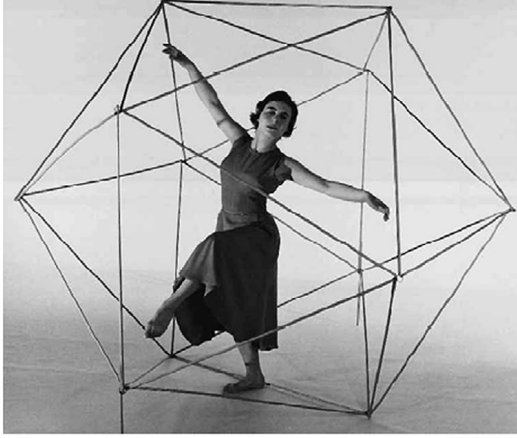


Şekil 1: Laban hareket analiz tablosu (Ur1-1).

Laban Hareket Analiz teorisi kullanılarak insan beden hareketleri analiz edilebilir. Mekan kullanım taraması yapılabilir. Mekan ve mekan kullanımı arasındaki ilişkiler çıkartılabilir (Chen ve diğ, 2011). Laban hareket analizinin ana bölümleri beden, güç, şekil ve mekandır (Şekil 1).

4.2 KINESPHERE

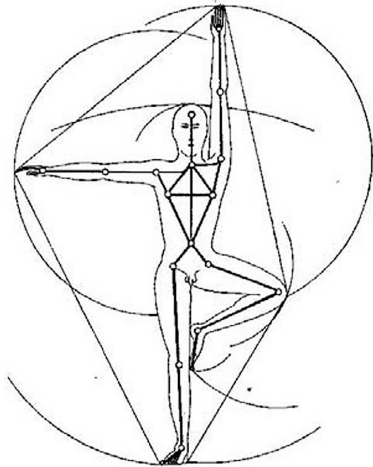
Laban'a göre, bedenın farklı pozisyonları kinesphere denilen görsel yirmi yüzlülüğü içerir. Dansçının çevresini saran, dansçının tarayabileceği mekan olarak tanımlanan kinsesphere, bedenın hareket ile dış limitlerinin oluşturabileceği oluşan üç boyutlu geometri olarak ifade edilir (Spurr, 2007), (Şekil 2). Beden hareket ettikçe, kinesphere beden ile birlikte hareket eder. Beden bu noktada ana strüktürü oluşturur ve eksen görevini görür.



Şekil 2: Laban'ın tanımladığı hareketin strüktürü (Stathopoulou, 2011).

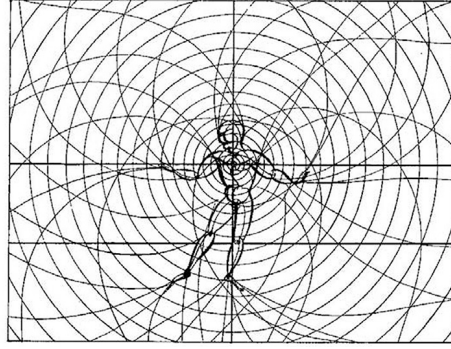
Çalışmanın ilerleyen aşamalarında denek dansçıların hareket sürecinde oluşturmuş oldukları üç boyutlu soyut formlar ve mekan taramaları analiz edilmiştir ve kinesphere'leri oluşturulmuştur.

Bir dans performansında sonsuz sayıda hareket kombinasyonları olabilir; bu noktada sınırlayıcı, insan bedeninin fiziksel strüktürüdür. Bauhaus okulu koreografi Oscar Schlemmer de insan bedeninin oluşturmuş olduğu hareket kombinasyonlarındaki mekan taramalarını araştırmıştır. Şekil 3'te Oscar Schlemmer'in mekanda insan beden hareketleri ile oluşan geometrik formlar görülmektedir. Dansçı dönme hareketi yaparken bedeni ile mekanda meydana getirdiği hareket formları eğrilerden oluşmaktadır. Bu bağlamda mekandaki sürekli hareketler sürekli formlar meydana getirmektedir.



Şekil 3: Oscar Schlemmer'in "Man and Art Figure" beden hareketleri ile oluşan geometrik formların ifadesi (Rosenberg, 2010).

Şekil 4'te dansçının hareketi sonucunda mekanda bedeni ile meydana getirdiği form çeşitlenmeleri görülmektedir. Hareketlerin üst üste çizilmesi ile görünüş düzleminde bir çok geometrik şekil oluşmaktadır.



Şekil 4: Oscar Schlemmer'in "Man and Art Figure" form çeşitlenmeleri (Rosenberg, 2010).

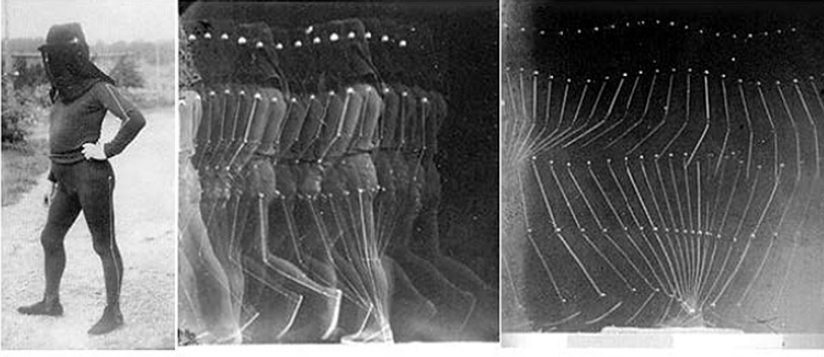
5. DANS PERFORMANSINDAN HAREKET VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE ANALİZİ

Hareketler dans performansının strüktürünü oluşturur. Strüktürün net olarak ifadesi için her bir bileşenin tek tek belirlenmesi gerekmektedir. Hareket verilerinin alınması için geliştirilen ara yüzler ile verilerin daha sağlam temeller üzerinde oturur, daha kesin bilgiler içerir. Kaotik gözükken hareket dizilerinin anlamlı parçalar halinde ifadesi bu yolla mümkün olabilmektedir.

Sayısal ortam, bilgisayar teknolojileri kullanılarak yaratılan gerçek mekandan, zaman-mekan sınırlamalarına göre daha esnek sanal bir ortamdır. Beraberinde hız, zaman kazanma, çoğalabilme, aynı anda çoklu çalışabilme, daha esnek, daha değişken ortamlar yaratma imkanı sunmaktadır. Fiziksel ortama göre zamansal ve mekansal olarak daha esnek bir yapıda olduğu için hareketlerin yeniden türetilmesi, incelenmesi, değiştirilmesi, deformasyonu burada mümkün olabilmektedir. Sayısal ortamda, gerçek ortamdan alınan ya da sayısal ortamda üretilen bir hareket ya da hareketler topluluğunun model, sistem ve süreç olarak ifadesi mümkündür. Sayısal ortam bu bağlamda hareket incelemelerinde zamana bağlı değişimin çok yönlü olarak ele alınmasını sağlamaktadır ve zamanda anlık değişimler, sıçrayışlar, geri dönüşler mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda tasarımcıların bilgiye daha kolay ulaşmalarına yardımcı olmaktadır (Petric ve diğ., 2003).

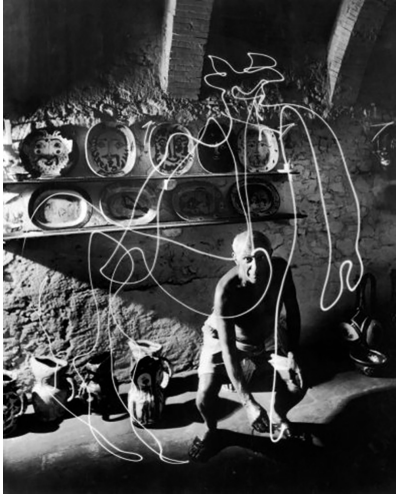
HAREKETİN YAKALANMASI

Hareketlerin izlenmesi, mekanda bıraktığı etki ve hareketin devamlılığının yakalanması sanatçılar tarafından ele alınan bir konu olmuştur. Jules-Etienne Marey'in insanlarla yaptığı çalışma, hareket yakalanmasında önemli bir örnek olarak gösterilebilir. Marey, çalışmasında katılımcıdan üzerinde metal çubukları ve beyaz çizgileri olan siyah bir elbise giyip yürümesini istemiştir (Şekil 5). Çalışma ile yürüyen insan figüründeki uzuvların kaydının üretilmesini sağlamıştır (Stathopoulou, 2011). Bu şekilde aldığı beden hareketlerini yan yana koyarak hareketin devamlılığını araştırmıştır.



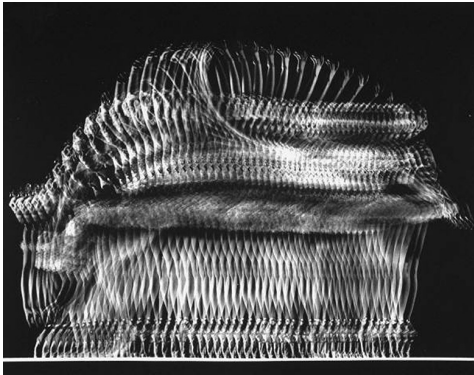
Şekil 5: Marey'in hareket yakalama giysisi ile hareket yakalama (Stathopoulou, 2011).

Gjon Mili genellikle hareketli objelerin/insanların fotoğraflarını çekerek hareket anını yakalamayı hedeflemiştir. Bu amaca ulaşmak için ışık kullanmış, fotoğraflarında ışığın oluşturduğu hareketi alarak hareketin devamlılığını göstermeye çalışmıştır. Şekil 6'da Picasso karanlık bir odada elinde küçük elektrikli ışık kaynağı ile bulunmaktadır.



Şekil 6: Picasso'nun ışık çizgileri (Url-2).

Şekil 7'deki çalışmasında sanatçı dansçıların hareketlerini yakalayıp kaydetmeyi hedeflemektedir. Elektronik flaş, stroskopik ışığı dans, tiyatro ve spor fotoğrafları çekmek için kullanan ilk fotoğrafçıdır, bu şekilde harika dans hareketleri yakalamıştır. Şekil 8'de ise paten sanatçısı Carol Lynne'nin paten yapma sırasındaki hareketlerinin devamlılığını araştırmıştır.



Şekil 7: Dansçıların hareketinin izlenmesi (Url-2).



Şekil 8: Paten sanatçısı Carol Lynne'nin hareketleri (Url-2).

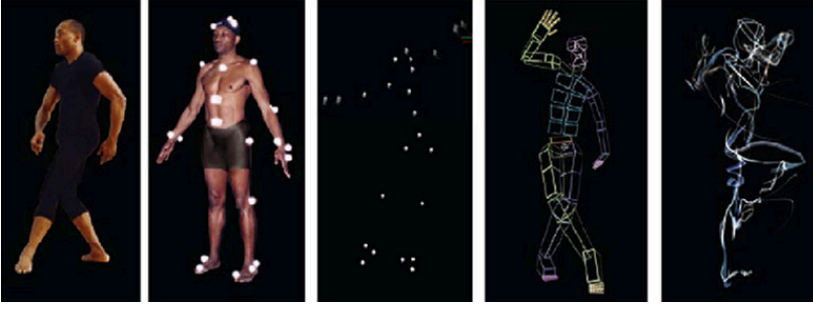
Fotoğraf sanatçıların yanı sıra, heykeltıraşlar için de hareketin izinin yakalanması önemli çalışma konularının arasında olmuştur. Naum Gabo (d. 5 Ağustos 1890 – ö. 23 Ağustos 1977) Rus kökenli bir heykeltıraştır. Özellikle Konstrüktivizm stilinin önemli uygulayıcılarından ve Kinetik Sanatı'nın kurucularındandır. Şekil 9'da sanatçının yaptığı heykellerin hareketin form bulmuş halini temsil ettiği görülmektedir.



Şekil 9: Linear Construction in Space no:1 (Url-3).

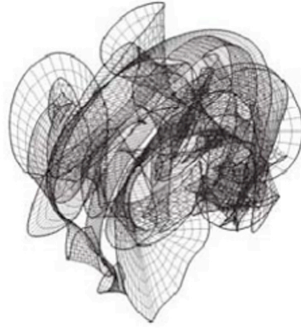
Fotoğraf ve heykel sanatının yanı sıra video genellikle dans performanslarının anlık olarak değil, süreç olarak kaydedilmesine, daha sonra dansçılar ve koreograf tarafından izlenebilmesine olanak sağlar. Ancak videoda üç boyut incelenemez, hareketin iki boyutunun detayı görülebilir.

Optik hareket yakalama sistemi en yaygın olarak kullanılan sistemlerden biridir. Bu sistemde dansçıların bedeninde küresel belirleyiciler bulunur (Şekil 10). Küresel bir ortamda bulunan dansçı bir çok kamera tarafından izlenir.



Şekil 10: Dansçı, hareket yakalama noktaları, 3 boyutlu ortama optik transfer, 3 boyutlu iskelette hareket, final beden çizimi (Stathopoulou, 2011).

Hareket eden her obje durağan objeler gibi bir form ile ifade edilir. Hareket halindeki objelerin formunun tanımlanması daha karmaşıktır çünkü form da eş zamanlı olarak hareketle beraber değişmektedir. Örnek olarak Şekil 11’de hareketi incelenen bir eklemden birçok hareket karşılaşması durumu görülmektedir. Dış görünüş göz ardı edildiğinde, hareketin formu, izlediği yol aracılığı ile çıkabilmektedir. Böylece hareketin mekanda bıraktığı izler form olarak ifade edilir. Bu izlerin üst üste bindirilmesi ile hareket sürecinin tamamına form olarak ulaşılabilir.



Şekil 11: Hareketi incelenen eklemden bir çok hareket karşılaşması durumu (Stathopoulou, 2011).

6. DANS HAREKETLERİNİN SAYISAL ORTAMA AKTARILMASI, ANALİZİ VE FORMA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Gerçek ortamdan alınan hareket verileri sayısal ortamda değiştirilip yeniden gerçek ortama hareket verisi olarak sunulduğunda, artık geçmişte kalan bir hareket değiştirilip yeniden üretilmiş olmaktadır. Bir hareketin devamında diğer hareketin nasıl oluştuğu matematiksel olarak ifade edildiğinde bununla bağlantılı olarak hareketleri sayısal ortamda türetmek ve anlamlı bir hareket topluluğu haline getirmek mümkün olmaktadır.

6.1 HAREKET VERİLERİNİN GERÇEK ORTAMDAN KINECT İLE YAKALANMASI

Microsoft Kinect, gerçek zamanlı 3 boyutlu tarayıcıdır. Bunun yanı sıra üç boyutlu tarama ile elde edilen nokta bulutlarının (point cloud) Rhino, Grasshopper ve Quokka ile beraber yeniden düzenlenmesini sağlar (Brennan ve diğ., 2013). Kinect’in kullanılabilmesi için gerekli olan Microsoft Windows Software Development Kit (SDK), derin beden pozisyonuna erişimi sağlamaktadır. Derinlik sensörü üç boyutlu olarak video sahnelerini yakalamayı sağlayan infrared lazer projectörden meydana gelmektedir.

Dans performanslarının sayısal ortama aktarılması için öncelikli olarak Kinect, Grasshopper ve Quokka yüklü bir bilgisayar ve dansçıların aynı ortamda bulunması gereklidir. Dans edilecek düzlemin pürüzsüz olması dansçıların hareketlerinin mevcut çevreden etkilenmemesi için önemlidir. Dansçının mekanla etkileşiminin hem fiziksel hem de psikolojik olarak en az seviyede olması beklenmektedir. Dansçı Kinect'in karşısında, yaklaşık 3 metre mesafede bulunabilir. Kinect'in üzerinde 3 adet göz, sıra mikrofonlar ve hareket sağlayıcı bir motor mekanizması bulunmaktadır. Soldaki göz lazer projeksiyonu yaparken, sağdaki kızılötesi sensör bu ışınların gidiş-geliş süresini hesaplayarak 320x240 çözünürlüğünde her bir noktanın mesafesini bildirmektedir. Kinect firmware ise bu veriler ışığında iskelet yapısını hesaplar ve bunu bilgisayara gönderir. Yakalanan görüntü, saniyede 30 kez resim olarak bilgisayara iletilmektedir.

Quokka Kinect'in aldığı ortam verisinin Grasshopper ortamına taşınmasını sağlayan eklentidir. Quokka, Hem derin nokta bulutunu hem de kullanıcı iskelet verisinin alınmasını ve Kinect'in gerçek zamanlı üç boyutlu tarayıcı olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Böylece Kinect, yüzey verilerini elde edip, yüzey noktalarını alıp onları nokta bulutuna dönüştürmektedir. Bu bağlamda Quokka fiziksel modele bağlı olarak dijital modelin de eş zamanlı olarak değişmesi kısa sürede farklı formların denenebilmesine olanak sağlamaktadır; üretken bir sistemdir. Bu ara yüz ile standart yüzeylerden standart olmayan eğrisel yüzeyli geometriler geliştirilebilmektedir (Brennan ve diğ., 2013).

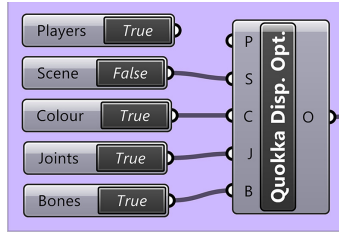
Kinect ve Quokka ara yüzleri ile fiziksel model taranır ve tasarımcının yaklaşımına göre fiziksel modeldeki beden ve çevre dijital ortama alınmış olur. Yüzey burada nokta bulutu olarak taranır. Ekran görüntüsü doğrudan fiziksel modelin dijital ortamdaki karşılığıdır, fiziksel modeldeki herhangi bir işlem dijital modelde de eş zamanlı olarak izlenebilmektedir. Nokta bulutu üç boyutlu düzlemde tanımlanır, nokta takımlarından meydana gelir. Bu sebeple her bir nokta da x,y,z koordinatları ile tanımlanmaktadır

Çalışmaya zamanlayıcı aktif hale getirmekle başlanır. Bu aşamadan sonra Rhino ekranında dansçı ve mekan görüntüleri oluşmaya başlayacaktır. Görüntülerin oluşması ve Kinect'in dansçının eklem noktalarını tanıması için dansçının eklemlerini kırarak bir süre Kinect'e kendini tanıtmayı gerekmektedir.



Şekil 12: Zamanlayıcının aktif hale gelmesi ile Rhino ekran görüntüsü.

Dansçının hareketleri değıştikçe ekran görüntüsü de eş zamanlı olarak değışmektedir. Quokka ara yüzündeki parametrelerle oynanarak görüntü şekli ve yoğunluğu değıştirilebilmektedir. Quokka görüntü tercihlerinde yapılacak olan değışiklikler Rhino ekranında elde edilen görüntünün değışmesine neden olmaktadır (Şekil 12). Burada players (oyuncular) ögesi Kinect'in koordinatlarını aldığı dansçı olmaktadır. Scene (sahne) dansçının dışında görülen diğer yerlerdir. Colour (renk) görüntülerin renkli olmasını sağlamaktadır. Joints (eklemler) dansçının eklemlerini, Bones (kemikler) dansçının kemiklerini ifade etmektedir. Bu 5 ögede de True (doğru) ve False (yanlış) seçenekleri vardır. True seçeneği bu ögenin Rhino ekranında görülmesine, yani Kinect ile alınan verilerin görülebilir olmasına, False seçeneği ekranda bu verilerin görülmemesine, bu verilerle işlem yapılamamasına yol açmaktadır.



Şekil 13: Quokka Görüntü Tercihleri Ögesi.

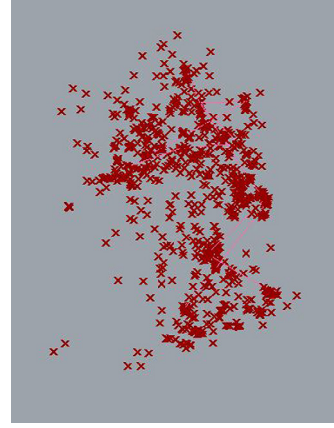
Çalışmada dansçının hareketlerinin çevresinden bağımsız ele alınması beklenmektedir. Bu amaçla scene yani sahne seçeneği false olarak işaretlenerek çalışma sürdürülecektir (Şekil 13).

Bütün bedenin nokta bulutu olarak ifadesinin yerine sadece eklemlerin, sadece kemiklerin alınması ya da bu iki ögenin beraber ele alınması dansçılarının hareketlerinin daha net verilere ulaşımı sağlayacaktır. Tüm beden nokta bulutu olarak alındığında dansçının genel beden yapısı, kilosunu, kasları da nokta bulutunun içinde bulunacaktır. Çalışma özelinde ana hareket verilerine ulaşmak istendiği için beden yapısı tarama bulutu dışında bırakılmaktadır. Bu doğrultuda players (oyuncular) bağlantısının Quokka görüntü seçenekleri ile ilişkisi kaldırılmıştır.

6.2 DANS HAREKET SÜRECİNİN İFADESİ, HAREKET SÜREKLİLİĞİNİN İZLENMESİ

Hareketin eş zamanlı olarak sayısal ortama aktarılması sonrasında bedenin ifadesinin yanında beden hareketlerinin sürekliliğine de Grasshopper ortamında ulaşılmak istenmektedir. Hareketin devamlılığında bıraktığı izlerin bulunması için hareketin meydana geldiği birimlerin yer değışimini izlenmektedir. Hareket izleme deneylerinde öncelikle eklemler ele alınmıştır. Şekil 14'te eklemlerdeki hareket devamlılığının nokta olarak ifadesi görülmektedir. Nokta bulutları eklemlerin yer değışiminin üst üste eklenmesi ile yoğunlaşmaktadır. Eklem noktalarının zamansal tespiti üzerinden inceleme yapmak hareketin yoğunluk dağılımı, yoğunluk merkezi, hareket alanı ve mekan kullanımını okumaya olanak sağlamaktadır.

Şekil 14: Dansçının Rhino ekranında eklemleri ile hareket değişiminin taranması.



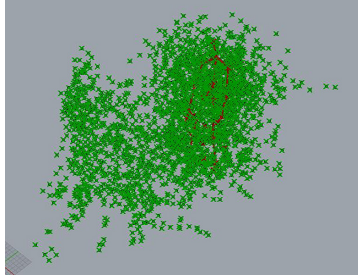
6.3 DANS HAREKETLERİNDEN VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Hareketteki ritmi görmek ve hissetmek bedenün üç boyutluluğunu kavramak, anatomik kapasitesini hissetmek ve bedenün ağırlık ile ilişkisi, mimik ve şekillerin tanımlanması farklı dans performanslarında farklı dansçılarla çalışırken yeniden tanımlanır (Can, 2003). Bu sebeple, çalışmada 5 adet dansçının performansı ele alınmıştır.

Her bir dansçıya performansını gerçekleştirmesi için eşit süre verilmiştir. Performans sürecinde modern dans performansları için bestelenen Drew Manti'a'nın "Deliberation" isimli parçanın ilk 1 dakika 57 saniyesi kullanılmıştır. Dansçılar bu süre içinde mekan kullanımlarında özgür bırakılmış; dansçılardan teknik olarak doğaçlama yapmaları istenmiştir. Kullanılan mekan ile dansçının ortaya koyacağı performans arasında ilişki olup olmadığını incelemek adına, mekanlar ilk dört dansçı için aynı olup 5. dansçıda farklılaşmıştır. Her iki mekan da geniş dans stüdyosu olup, dansçıların hareket kapasitelerini kısıtlamamaktadır. Dansçıya çalışmanın başında genel olarak içerikten bahsedilmiş, performans boyunca eklem hareketlerinin nokta olarak sayısal ortama aktarılacağı ve hareketin devamlılığının izleneceği iletilmiştir. Hareket çeşitlenmeleri ve mekan kullanımında dansçının bilinçli olarak farklılıklar yapmasını önlemek için proje ile ilgili detaylı bilgi verilmemiştir. Dansçı hareket verilerinin forma dönüştürüleceğini performans öncesinde bilmemekte, sadece hareketlerinin sayısal ortamda izleneceği düşünmektedir. Devam eden süreçte projede kullanılan programlar hakkında kısa bilgilendirme yapılmış, dansçının sahneyi kullanmasında Kinect ile ilişkisinin kesilmeyeceği yerler belirlenmiştir. İlerleyen aşamada dansçıya seçilen müzik parçası dinletilmiş, dinlediği parça ile sahnede doğaçlama yapması istenmiştir.

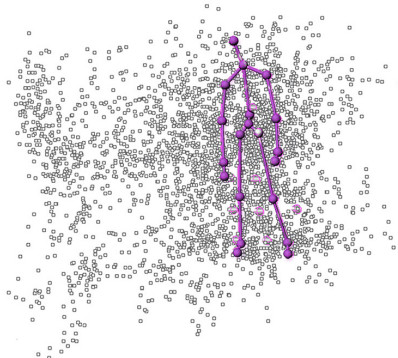
Hareket verilerinin kaydedilmesinde ilk olarak dansçının performansa başlamadan önceki sabit hali alınmıştır; sabit hali kaydedilirken eklem noktaları ve bu eklem noktalarının bağlantıları belirlenmiştir. Bu veri projenin ilerleyen aşamalarında dans analizlerinde başlangıç noktası bilgisi olarak kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra performans boyunca video kaydı yapılmıştır.

Performansın sayısal ortamda kaydedilmesinde Grasshopper'daki Data Record bileşeninden yararlanılmıştır. Data Record, performans boyunca her bir eklemdaki hareket değişimini kaydeder. Böylece mekan kullanımı, dansçının eklemler arası mesafesi, hareket değişimi incelenebilmektedir. Çalışma kapsamında her bir eklem bir nokta ile ifade edilmiştir ve performans boyunca her bir dansçının eklem koordinatları x, y, z koordinatlarında alınmıştır. Hareket taraması dans performansının tamamını ifade edecek şekilde 1 dakika 57 saniye olarak kaydedilmiştir. Performans sonunda Rhino ekran görüntüsündeki noktalar bütün dans süreci boyunca gerçekleşen hareket değişimlerinin tümünü ifade etmektedir. Şekil 15, dans performansı sürecinde D1'in eklem noktalarını göstermektedir.



Şekil 15: D1'in, Dans performansı boyunca eklemlerinin x, y, z koordinatlarında bıraktığı izler.

Çalışmada hareket verilerinin sadeleştirilmesi adına, tüm eklem noktaları aynı büyüklükte ve renkte küre, kemikler ise silindir ile ifade edilmiştir. Şekil 16, nokta bulutu olarak elde edilen hareket sürecinin ifadesidir. Burada dansçının performansa başladığı ilk konumun modeli ve hareket sürecinin tamamının nokta taraması perspektif açıdan görülmektedir.



Şekil 16: Dans performansındaki hareket verilerinin nokta bulutu olarak ifadesi.

Dansçının süreç boyunca hareket taraması, hareket yoğunluk noktası, mekan kullanımı üç boyutlu olarak ifade edilmiştir. Çalışma diğer dansçılarla aynı süreç ele alınarak devam etmiş, sonucunda her bir dansçı için hareket modelleri elde edilmiştir.

6.4 DANS VERİLERİNİN SEÇİLEN PARAMETRELERE GÖRE YORUMLANMASI

Rhino ortamında üç boyutlu hareket bulutu olarak ele alınan hareketleri, iki boyutlu düzlemde ifade edilmek ve hareket analizi yapabilmek için plan, ön görünüş, yan görünüş ve perspektif görüntüleri alınmıştır.

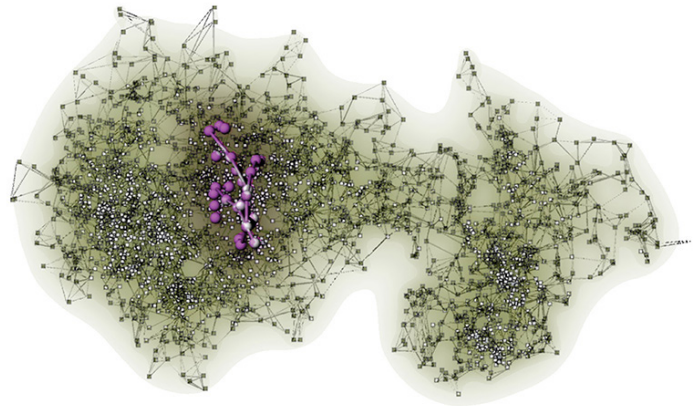
Çalışma kapsamında özellikle dansa mekan kullanımları üzerinde durulduğu için, hareket incelemelerinde Laban Hareket Analizinin Beden, Mekan ve Şekil parametrelerine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Mekan parametresi altında öncelikle hareket taramaları ele alınmış, sonrasında bu hareket taramalarından türetilen hareket yoğunluk dağılımı, hareket yoğunluk merkezleri, hareket alanı bağlamında analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra hem plan düzleminde, hem de oluşturulan üç boyutlu model ile Mekan parametresinin alt başlıkları olan Kinesphere ve Geometri üzerinde analizler yapılmıştır.

Hareket taraması: Hareket taraması (nokta bulutu), hareket sürecinde eklemlerin Grasshopper ekranında bıraktığı izlerdir. Kinect ekranı ile taranan beden sayısal ortamda 20 nokta (20 eklem) ile ifade edilmektedir. Diğer bir deyişle, bir dans taramasında ekranda 20 adet nokta bulunuyorsa, dansçı sabit durmaktadır, herhangi bir hareket gerçekleştirilmemektedir. D1, hareket sürecinde ekranda 3080 nokta bırakmıştır. Modelde D2 860, D3 1140, D4 1280, D5 4260 nokta bırakmıştır. Bu verilerden en çok hareketin D5 performansında gerçekleştiği söylenebilmektedir.

Hareket yoğunluk dağılımı: Hareket taramasında hareketin yoğunlaştığı noktaları ifade etmektedir. Dans hareketi analizinin bu aşaması için nokta bulutundaki her bir noktaya, yani her bir hareket değişimine gölge verilmiştir. Gölgelemlerin yoğunlaşması ile hareket yoğunlukları ortaya çıkmaktadır.

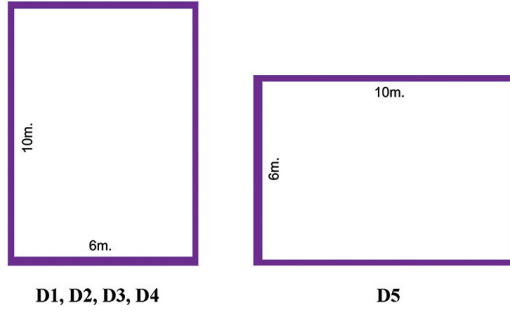
Hareket yoğunluk merkezleri: Dansçının hareket sürecinde genellikle yoğun olarak kullandığı mekan bölümlerini ifade etmektedir. Hareket yoğunluk dağılımı sonucu hareket yoğunluk merkezleri de ortaya çıkmaktadır.

Hareket alanı ve mekan kullanımı: Mekanda dans süreci boyunca kullanılan alanın geometrik ifadesidir. Hareket alanını ifade etmek için en dıştaki noktalar birleştirilmiştir. Hareketin yayılması ele alınmıştır. Şekil 17, D1 hareket bulutunun çevresindeki gri alan hareket alanını ifade etmektedir. Hareket alanı, hareket noktalarının birleşme potansiyellerini göstermek adına eğrisel olarak belirtilmiştir.



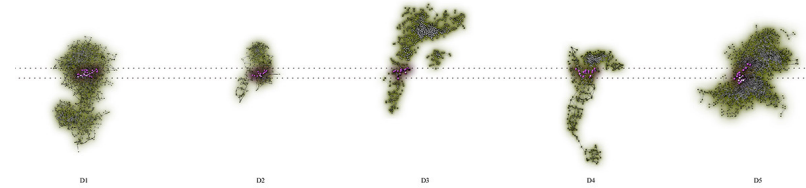
Şekil 17: D1 hareket alanı

Şekil 18, D1, D2, D3, D4 ve D5'in performanslarını gerçekleştirdikleri mekanın geometrik formunun şematik ifadesini göstermektedir. Mekanların geometrik formlarındaki farklılaşmalar hareketlerin mekanda dağılımı üzerinde etkili olmuştur. Dansçılar her iki mekanda da mekanın tamamını kullanmamışlardır; mekanlar hareketleri kısıtlamayacak ölçüde geniştir. Buna rağmen mekan şekillerinin hareket sürecinin şekillenmesinde etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 18: D1, D2, D3, D4 ve D5'in performanslarını gerçekleştirdikleri mekanın geometrik formunun şematik ifadesi ve ölçüleri

Dansçıların hareketleri plan düzleminde incelendiğinde, ilk dört dansçının hareket izinin dikey olarak, D5'in ise yatay olarak geliştiği gözlemlenmektedir. Denekler arası mekan kullanımlarının farklılaşması Şekil 19'da görülmektedir. D1, başlangıç konumu etrafında, koordinat sisteminde X ve Y ekseninde hareketini yoğunlaştırmış, bununla beraber hareketin yönünü ileri olarak devam ettirmiş, genel olarak koordinat düzleminde Y ekseninde ilerleme kaydetmiştir. D2, kendi etrafında hareketler gerçekleştirmiştir. D3, yoğun olarak Y ekseninde, başlangıç noktasından geriye doğru uzaklaşıp yoğun hareketler gerçekleştirmiştir. D4, başlangıç konumunda hareket yoğunluğu oluşturmuş, Y ekseninde ileriye doğru hareketlerini gerçekleştirmiştir. D5, başlangıç konumu etrafında hareketlerini yoğunlaştırmış, genellikle Y ekseninde konum değişiklikleri gerçekleştirmiştir. Genel olarak D5'in hareketleri mekanda daha homojen olarak yayılmaktadır.

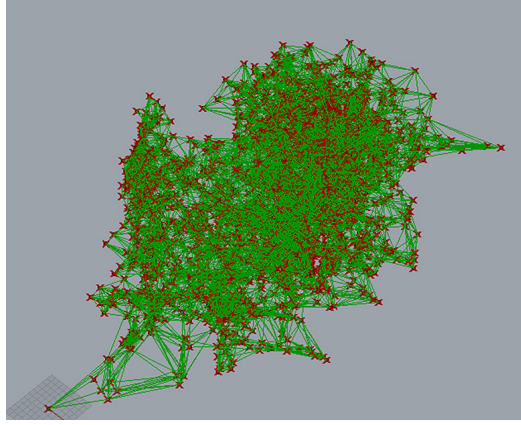


Şekil 19: Deneklerin dans performansı hareketine başlangıç merkezleri ve mekan taramaları

6.4.1. HAREKET MODELİ

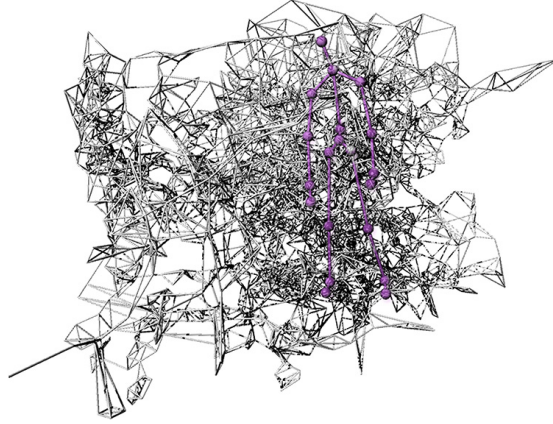
Hareket modeli oluşturmak için Grasshopper ortamında eklemler, yani hareket noktaları, hareket modelinin en net olduğu durum olan her bir noktadan üç adet çizgi geçmesi ile birbirlerine bağlanmıştır. Eklemler arasında bir çizgi geçme durumunda uzun çizgiler oluşmakta, üçgen formları daha az görülmektedir. Oluşturulan bu form ile hareket sürecinin hacmini temsil edecek olan geometrik form elde edilememektedir. Üçten fazla çizginin geçmesi durumunda ise oluşan geometrik şekiller karmaşıklaşmakta, elde edilmek istenen geometrik formda gereksiz yüzeyler oluşmaktadır. Bu sebeple, model çalışması her bir noktadan üç adet çizgi

geçme durumu ile ilerletilmiştir. Bu aşama sonrası her bir çizgiye kalınlık verilmiştir. Model görüntüsü noktalar arası bağlantı bir ağı anımsatacak şekildedir. Şekil 20, her bir eklemden üç adet çizgi geçme durumunu ifade etmektedir.



Şekil 20: Dans performansındaki hareket verilerinin birbirine bağlanması, her bir eklemden üç adet çizgi geçme durumu: Grasshopper ekran görüntüsü.

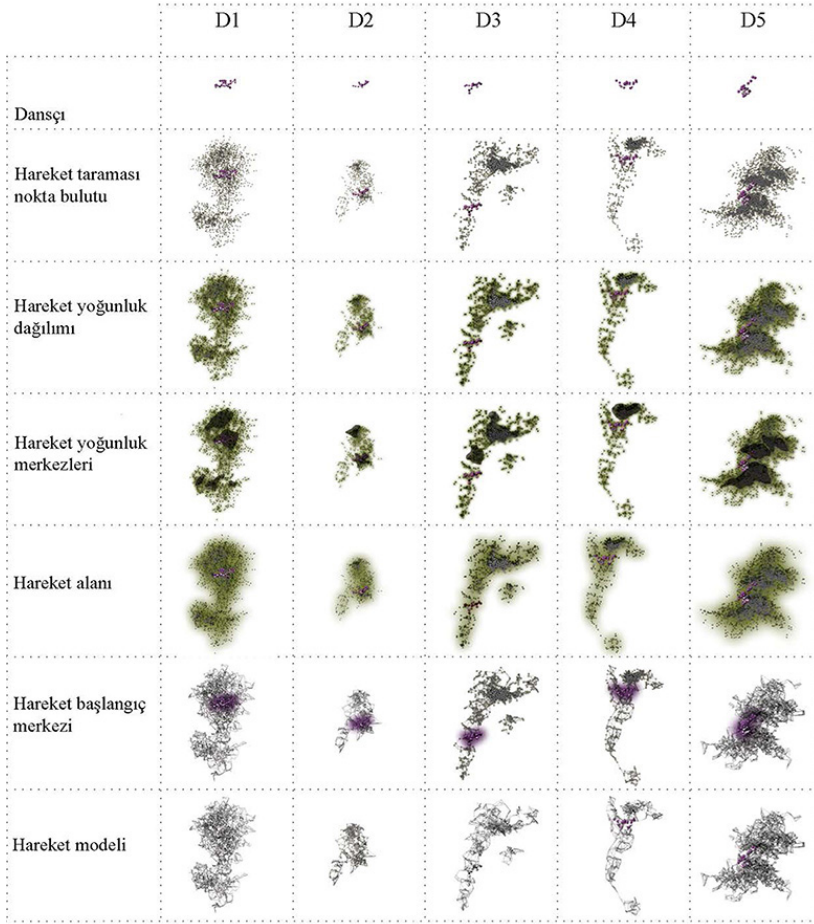
Sonraki aşamada Grasshopper ortamında her bir çizgi, çizgilere hacim kazandırmak amacı ile bir silindir ile ifade edilmiştir. Şekil 21'de dans hareketlerinin çizgiler ile birleştirilip, bu çizgilere hacim kazandırılması sonrasında performans sürecinin tamamının katı model olarak ifadesi görülmektedir.



Şekil 21: Dans performansındaki hareket verilerinin birbirine bağlanması, her bir eklemden üç adet çizgi geçme durumu: Grasshopper ekran görüntüsü.

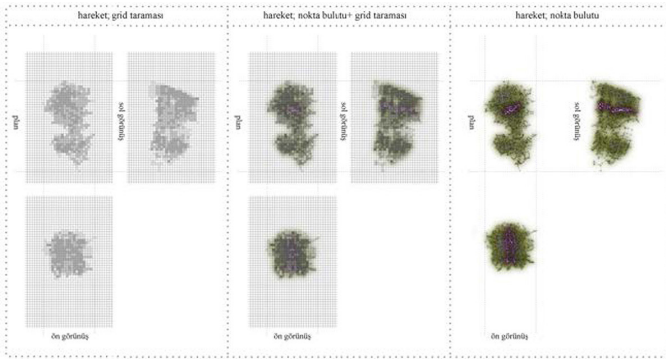
Şekilde dansçı, mor küreler ve bu kürelerin bağlantıları ile ifade edilmektedir. Bu şekilde dansçı, performans sürecinin başlangıç noktasındaki pozisyonundadır. Hareket sürecinin kinesphere'i de Şekil 21'de görüldüğü gibi, bedenın dış limitlerinin oluşturduğu noktaların bağlantısı ile ifade edilebilmektedir. Hareket modeli ile hareket süreci boyunca boşlukta bırakılan izlerin üç boyutlu örüntüsü oluşturulmak istenmiştir.

Dans hareketlerinden form üretme sürecinin başlangıç aşaması olarak dansçıların hareketi başlatma anı, mekan kullanımları, hareket taraması nokta bulutu, hareket yoğunluk dağılımı, hareket yoğunluk merkezleri, hareket alanı ile ilgili kayıtlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 22, hareket analizi incelemelerinin plan düzlemindeki grafiksel ifadesidir.

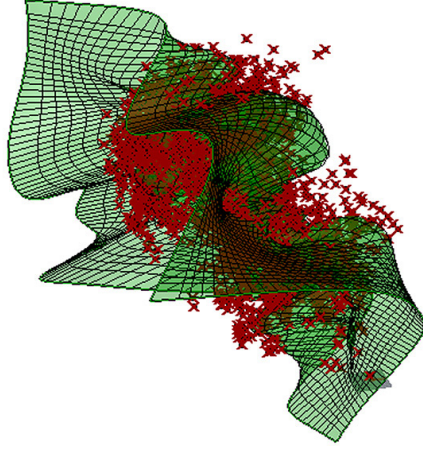


Şekil 22: Dans performansı plan düzlemi hareket analizleri.

Hareketin forma dönüşümünde temel olarak amaçlanan nokta, hareket ile etkileşimde olabilecek, dinamik bir model oluşturmaktır. Böylece beden hareketlerinin tasarım sürecinde veri olarak alınması sadece tasarımın form arama sürecinde kalmayacaktır; elde edilen tasarım ürünü hareket ile etkileşimde olmaya devam edip, hareket, beden, form arası etkileşimli bir ortama olanak sağlamaktadır. Bu amaçla, dans performansının hareket süreci ve hareketin yoğunlaştığı alanlar üzerinde durulmuştur. Öncelikle her bir dansçı için hareket analizleri grid sisteminde ifade edilmiştir. Bu ifade ile dans süreci boyunca hareket yoğunlukları detaylı olarak okunabilmiştir. Şekil 23, D1'in grid düzleminde dans analizini ifade etmektedir.

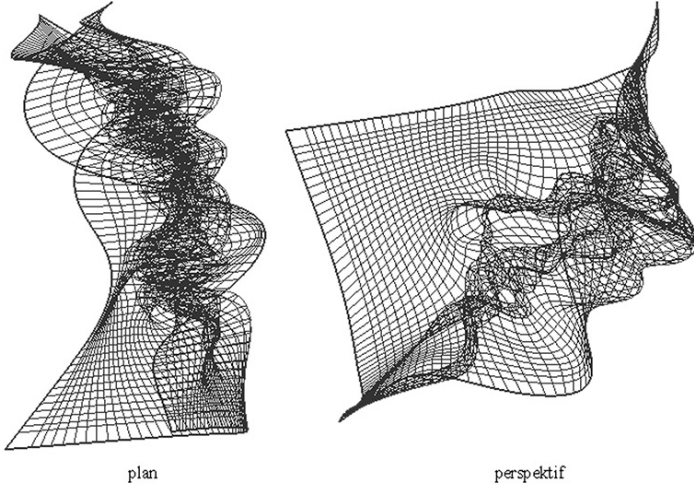


Şekil 23: D1 grid düzleminde dans analizi.



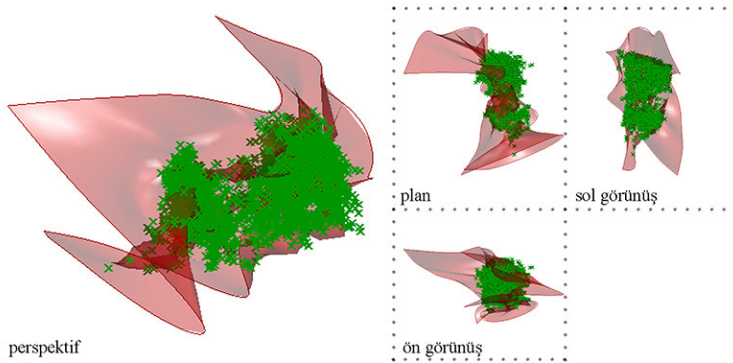
Şekil 26: Parametrelerin değiştirilmesi ile oluşturulan yüzey.

Şekil 27, "Patch" komutu ile elde edilen yüzey hareketin mekanda dağılımını, kıvrılmasını, mekanda ilerlemesini ifade etmektedir.



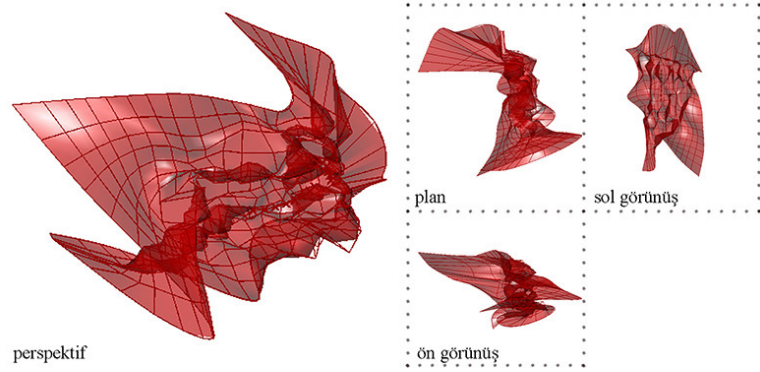
Şekil 27: Patch komutu ile oluşturulan yüzeylerin plan ve perspektif görüntüleri.

Şekil 28'te, D1 için 1. aşamada hareket bulutundan oluşturulan yüzeyler görülmektedir. Yeşil noktalar hareket bulutunu temsil ederken, kırmızı geometri oluşturulan yüzeyi ifade etmektedir.



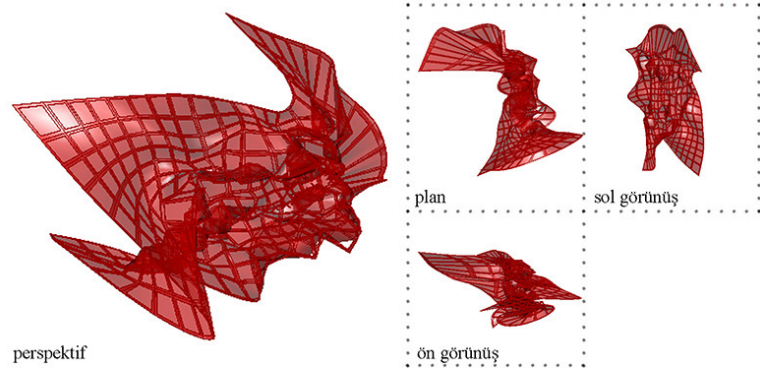
Şekil 28: D1, 1. aşama Rhino ara yüzü ekran çıktıları.

2. aşamada elde edilen yüzeyin gridlere bölünmesi ve bu gridlerin birer geometrik çerçeve ile ifade edilme süreci gerçekleşmektedir. Bunun için yüzey “Divide Domain” ile yatayda ve dikeyde 20 parçaya bölünüp bir grid sistemi oluşturulmuştur. Bu aşama sonrası parçalara yükseklik verilmiştir. Bölünme sonrası elde edilen parçaların alanlarındaki farklılaşmalar, yüzeydeki girinti ve çıkıntılarının homojen olarak dağılmamasından kaynaklanmaktadır. Şekil 29’da yüzeyin gridlere bölünmesi görülmektedir.



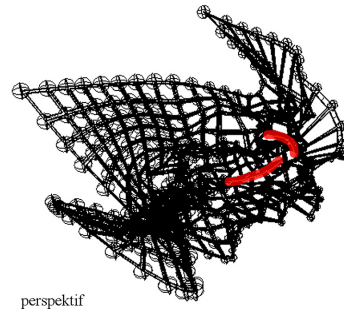
Şekil 29: D1, 2. aşama Rhino ara yüzü ekran çıktıları; yüzeyin gridlere bölünmesi.

Bölünmüş olan gridlere çerçeve modeli “geometri” olarak tanıtılmıştır. Bu aşama sonrası “Morph” ile her bir yüzeyin bu geometri ile ifade edilmesi sağlanmıştır ve formun çerçevesi oluşturulmuştur (Şekil 30).



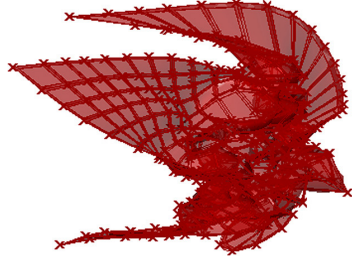
Şekil 30: D1, yüzeyin geometrilerle ifadesi.

3.aşamada, hareket ile etkileşimde olması beklenen yüzeylerin tasarım süreci mevcuttur. İlk olarak önceki bölümlerde yapılan hareket analizleri veri olarak alınmış, hareket yoğunluğunun fazla olduğu yerler tespit edilmiştir. Hareket yoğunluğu fazla olan bölümlere birer eğri çizilmiş, bu eğrilerin üzerinde olacak şekilde 7 adet nokta oluşturulmuştur (Şekil 31).



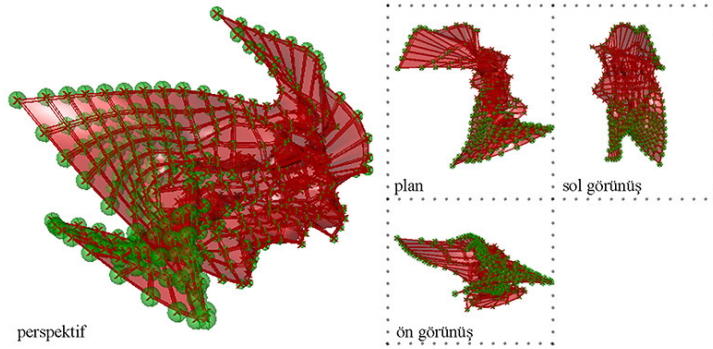
Şekil 31: Hareket yoğunluğunu ifade eden eğriler.

2.aşamada oluşturulan grid yüzeylerin köşelerinin nokta ile ifadesi yapılmıştır. Bunun için tasarımın 1. Aşamasında elde edilen yüzey, "Surface Divide" ile dikeyde ve yatayda 20 parçaya bölünmüş, her bir kesişim noktası bir nokta ile ifade edilmiştir (Şekil 32). Bu noktalar merkez olacak şekilde, her bir noktaya bir adet küre bağlanmıştır. Kürelerin tasarım ürünündeki etkileşimli hacimlerin olması amaçlanmıştır, bu doğrultuda kürelerin yarı çaplarının etkiye göre değişebilir olması için çalışılmıştır.



Şekil 32: Kürelerin merkez noktaları.

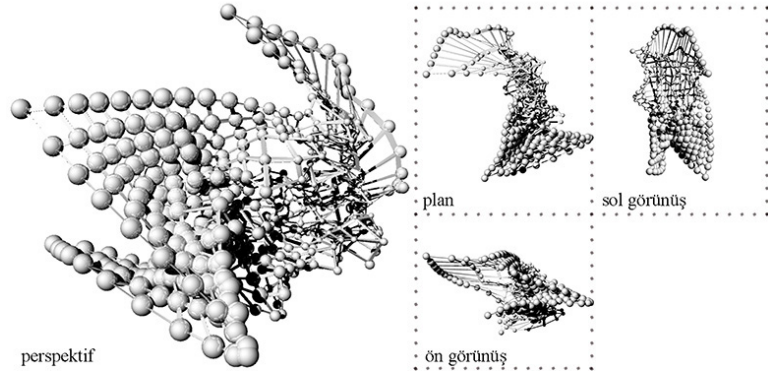
Eğri üzerinde belirlenen noktalar ile, yüzey bölünmesi ile elde edilen noktalar arasındaki mesafeye göre en yüksek ve en düşük değerler bulunmuş, kürelerin yarı çapları bu verilerle ifade edilmiştir. Böylece, eğriye en yakın yüzey noktasındaki kürenin yarı çapı en küçük olurken, eğriden uzaklaştıkça kürelerin yarı çapları, belirlenen en yüksek değere kadar büyümekte, sonrasında sabit kalmaktadır (Şekil 33).



Şekil 33: Grid ve kürelerin Grasshopper ara yüzü ile oluşturulması.

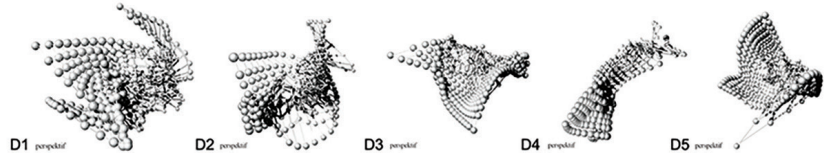
Oluşturulan model, üzerindeki balonlarla beraber etkileşimli bir yüzey, bir kabuk olarak düşünüldüğünde hareket eğrisi de hareket halinde olan dansçıyı temsil etmektedir. Bu model yardımı ile, kabuğun dansçı ile etkileşimde olması, dansçı ile kabuk arasındaki mesafenin azaldığı durumlarda kürelerin yarı çaplarının küçülmesi, geçirgen, önceki durumuna göre daha açık bir yüzey oluşturması, mesafenin artması ile kürelerin yarı çaplarının tekrar büyümesi; böylece etkileşimli bir kabuk oluşturulması sağlanmaktadır. Her bir küreye bağlanan hareket sensörleri küre yarıçaplarında değişim gerçekleştirilmektedir. Hareket yoğunluğundaki değişime göre kürenin bağlı olduğu kolektör sayesinde kürenin içindeki gaz miktarı değiştirilmektedir. Böylece tasarlanan yüzey, hareket değişimlerine eş zamanlı olarak tepki verebilip formunu yeniden şekillendirebilmektedir.

Diğer bir deyişle, tasarımın ilk aşamasında form arama çalışmalarında kullanılan hareket verileri sonraki aşamada formun etkileşime bağlı değişim aşamasında da kullanılmış, hareketten ortaya çıkartılan form tekrar hareket ile etkileşime girip şekil değiştirmiştir. Şekil 34, etkileşimli modelin sabit bir anlık durumunun model olarak ifadesini göstermektedir.



Şekil 34: Etkileşimli model, render.

Şekil 35'te ise tüm dansçılar için oluşturulmuş olan etkileşimli modelin sabit anlık durumları perspektif olarak belirtilmiştir.



Şekil 35: Etkileşimli model, render.

D2 mekanda hareket taramasının en düşük olduğu performansı sergilemiştir. Bu doğrultuda D2 hareket verileri ile oluşturulan model, diğer modellere göre az örüntü içermekte; küreler arası boşluklar daha belirgin olarak görülmektedir. D3 ve D4'ün mekan taramaları plan düzleminde genel olarak benzerlik bulunmaktadır; her iki dansçı da mekan kullanımında dikeyde devamlılık sağlamıştır. Mekan kullanımlarındaki benzerliğe karşı, harekete başlangıç noktası, hareket yoğunluk merkezi ve hareket yoğunluk dağılımı farklılık göstermektedir. Bu bağlamda D3 ve D4 verilerinden oluşturulan etkileşimli modeller farklılık göstermektedir. D5'in hareketleri hareket başlangıç merkezi etrafında homojen olarak yayılmaktadır; oluşturulan form içbükey bir örtü şeklinde olup kürelerin homojen yerleşmesine olanak sağlamaktadır.

7. SONUÇ

Gelişen bilgi ve iletişim teknolojileriyle, insanların hareketlerini tasarım sürecine dahil edebilmek mümkündür. Canlıların hareketleri ile iletişime girip tepki verebilen formlar tasarlamak bu çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır.

Çalışmanın ilk aşamasında hareket, mimarlık ve dans disiplinleri arası ilişkiler incelenmiş ve bu disiplinlerin beraber ele alınabilecek yönleri araştırılmıştır. İkinci aşamada dans performansından hareket verilerinin elde edilmesi ve analizi üzerinde durulmuş, dans verilerinin sayısal

ortamda analizine yönelik ön çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın son bölümü hareket yakalama ve hareket ile etkileşimli interaktif form oluşturma sürecini içeren çalışmaları içermektedir.

Bu aşamada tasarım sürecinin ilk girdisi olarak hareketin alanda bıraktığı izler sayısal ortama alınmış, bu izler ile form oluşturma süreci ilerletilmiştir. Oluşturulan kabuğun tekrar hareket ile ilişkili olması istenmiş; bu bağlamda, beden hareketleri yoğunluğu ve bedenin kabuğa olan mesafesindeki değişim ile hacmini değiştiren kürelerin bulunduğu interaktif bir kabuk sistemi önerilmiştir.

Çalışmanın gelecekte mimarlığın disiplinlerarası çalışmalarında ve dans disipliniinde mekan kullanıma yönelik araştırmalarda katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Kaynakça

- Brennan, A., Alhadidi, S., Kimm, G. (2013). Quokka: Programming for Real Time Digital Design Platform. International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, 18, pp. 261-270, Hong Kong.
- Can, C. (2003). Choreographic Assemblages An Archaeology of Movement and Space. MSc Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, USA.
- Chen, J. F., Lin, W. C., Tsai, K. H., Dai, S. Y. (2011). Analysis and Evaluation of Human Movement based on Laban Movement Analysis. Tamkang Journal of Science Engineering, 4 (3), 255-264, Taiwan.
- Fox, M. ve Kemp, M. (2009). Interactive Architecture. (L. N. Packard, Ed.) New York: Princeton Architectural Press, USA.
- Gavrilou, E. (2003). Inscripting Structures of Dance Into Architecture. International Space Syntax Symposium, 4. London, United Kingdom.
- Gines, M. T. (2005). Labanotation: A Methodology For Systematically Mapping Movement in Architectural Form. Southern Illinois University, School of Architecture, Illinois, USA.
- Guest, A. H. (1990). Dance Notation. *Perspecta*, 26, 203-214, USA.
- Ötken, N. (2011). Dans ve Hareket. *Akademik Araştırmalar Dergisi*, 12 (48), 287-311, İstanbul, Türkiye.
- Petric, J., Conti, G., Abacus, G. U. (2003). Designing within Virtual Worlds. In J.-Y. T.-S. Mao-Lin-Chiu (Ed.), *Digital Design Research and Practice: Proceedings of the 10th international Conference on Computer Aided Architectural Design Futures*. London, Boston: Kluwer Academic Publishers, United Kingdom.
- Rosenberg, S. B. (2010). On Architecture and the Dancing Body: Changing Visuality. Wesleyan University, Dance Studies Department, Connecticut, USA.
- Spurr, S. (2007). Chance Encounters between Body and Buildings: New Technologies in Architecture and Dance. University of Technology, Faculty of Design, Architecture and Building, Sydney, Australia.
- Stathopoulou, D. (2011). From Dance Movement to Architectural Form. PhD Thesis, Master of Philosophy University of Bath, Department of Architecture and Civil Engineering, United Kingdom.
- Varna, C. (2013). Improvisational choreography as a design language for spatial interaction. MSc Thesis, University College London, Bartlett School of Architecture, Building, Environmental Design & Planning, United Kingdom.
- Url-1<<http://www.laban-movement-analyses.be/content/some-applications-lma-bf>>, alındığı tarih: 10.12.2014
- Url-2<<http://life.time.com/culture/>>, alındığı tarih: 10.12.2014
- Url-3<<http://www.naum-gabo.com/gallery/>>, alındığı tarih: 08.11.2014

A Form Finding Approach With Triply Periodic Minimal Surfaces

Yusuf Reşat GÜNER¹, Gülen ÇAĞDAŞ²

^{1,2} Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Computational approaches and methods has brought new era in relationship between geometry and architecture. Within the scope of this study, the reflections of developments in Computational Geometry on the design will be deduced and a design developed with Triply Periodic Minimal Surfaces will be presented. In contrast to traditional physical research methods, the innovations of Computational Design Methods in Minimal Surfaces and also in design will be examined with the applications of this innovations in architectural examples and application areas.

The main aim of the study is to create an Architectural design composition which consists of interpreted Triply Periodic Minimal Surfaces, which are geometric examples derived with Computational Thinking. For a conceptual framework, a polygonal area which has divided edges according to parameters (eg number of enters and exits) will be subdivided into quadrilaterals and then Triply Periodic Minimal Surfaces modules will be derived according to these quadrilaterals.

Keywords: Architecture and Geometry, Computational Geometry, Minimal Surfaces, Design and Production of Triply Periodic Minimal Surfaces

Received: 26.12.2018

Accepted: 31.01.2019

Corresponding Author:

yrguner@gmail.com

Güner, Y.R. & Çağdaş, G. (2019). A Form Finding Approach With Triply Periodic Minimal Surfaces. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 35-54).

Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler ile Biçim Arama Yaklaşımı

Yusuf Reşat GÜNER¹, Gülen ÇAĞDAŞ²

^{1,2} İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Mimarlığın geometri ile olan ilişkisi, hesaplamalı yaklaşımlar ve yöntemler bağlamında yeni bir boyut kazanmıştır. Bu makale kapsamında, hesaplamalı geometri alanındaki gelişmelerin tasarıma yansımaları irdelenecek ve Periyodik Minimal Yüzeyler ile geliştirilen bir tasarım ürünü sunulacaktır. Hesaplamalı tasarım yöntemlerinin, geleneksel olan fiziksel form arama yöntemlerine karşıt olarak, Minimal Yüzeyler ile tasarım alanına getirdiği yenilikler ve bu yeniliklerin Mimari tasarım süreçlerindeki uygulama alanları ve örnekler incelenecektir.

Çalışmanın temel amacı, Hesaplamalı Düşünme yöntemleriyle gelişen geometrik teorilerin bir örneği olarak Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeylerin (ÜYPMY) periyodik özellikleri kullanılarak ve Hesaplamalı Tasarım yaklaşımlarıyla hedeflenen amaca göre deforme edilip, geometrik özelliklerini kaybetmeden elde edilen birleşimlerden meydana gelen bir mimari tasarım kompozisyonu oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda çok kenarlı bir alanın, tüm kenarları çevre verilerine bağlı olarak (örneğin giriş-çıkış sayısı) bölümlendirilip, 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.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık ve geometri, Hesaplamalı geometri, Minimal yüzeyler, Periyodik minimal yüzey tasarımı ve üretimi.

Teslim Tarihi: 26.12.2018
Kabul Tarihi: 31.01.2019

Sorumlu Yazar:
yrguner@gmail.com

Güner, Y.R. & Çağdaş, G. (2019). Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler ile Biçim Arama Yaklaşımı. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 35-54.

GEOMETRİ VE MİMARLIK

“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.” (Galileo, URL-1)

Matematik biliminin uzamsal ilişkilerle ilgilenen bir alt bilim dalı olan Geometri, insanların tamamen soyut kavramlarla dünyadaki birçok şeyi algılayabilmek için geliştirdikleri bir disiplindir. İnsanlar fiziksel gözlemlerinin yanı sıra elde ettikleri bilgilerin sentezleri ile yeni bilgiler ortaya çıkartmıştır. Tarih boyunca Plato, Euclid, Pythagoras, Archimedes, Leonardo Da Vinci ve Descartes gibi bilim adamları geometri bilim dalına önemli katkılarda bulunmuşlardır. Somut olan bütün durumlar ve olaylar, tamamen kavramsal bir bilgi olan bu geometri bilgileriyle açıklanmaya çalışılmıştır. Geometri, insanoğlunun salt entelektüel süreçlerle fiziksel dünyanın, gözlemlere dayalı tahminlerini yapmasını sağlayan bilimsel araştırmalarının belki de en temelidir (Coxeter, 1961).

Mimarlık ürünlerinin de somut birer obje olduklarını düşünürsek, geometri mimarlığın temel yapı taşlarından biri olmuştur. 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 tariflenmesini önemli bir veri olarak görmektedirler. Ceccato (2010, sf:9) ise mimarlık ve geometrinin binlerce yıldır iç içe geçmiş iki olgu olduğundan bahseder.

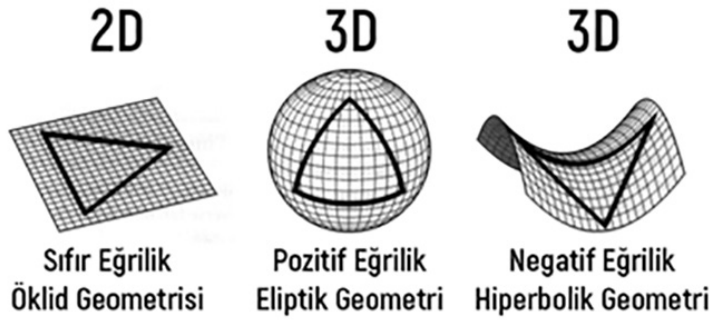
Tamamen kavramsal gerçeklikte olan matematik ile tamamen var olan bir gerçekliğe sahip mimarlık arasında nasıl bir ilişki olabileceğini sorgulayan Salvadori (2015) mimarlar ve matematikçiler arasında belirli farklar olduğunu söylemektedir. Salvadori'ye (2015, sf:27) göre mimarlar geometrik anlamda bir üçgenin şekli ile ilgilenirken, matematikçileri heyecanlandıran şey üçgenin iç açılarının toplamının 180° olup olmamasıdır.

HESAPLAMALI GEOMETRİ

Geometrinin en önemli bilim insanlarından olan Öklid'in oluşturduğu düzlemsel geometri kuralları yüzyıllar boyunca insanların ve mimarların birçok şeyi temsil etmesinde ve üretmesinde kullanılmıştır. Tarih boyunca Öklid'in Elementleri geometrinin temel kılavuzlarından biri olmuş ve hatta tüm bilim alanlarında çalışmak için temel seviyede Öklid bilgisi gerekmiştir (Hartshorne, 2000, sf:460). Günümüzde ise hem Öklid dışı anlayış ile ortaya çıkan yeni geometriler hem de gelişen hesaplamalı tasarım yöntemleri ve araçları, mimarları farklı geometrilerin kullanımına yönlendirmiştir. 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-2). Öklid'in beşinci aksiyomunu sağlamayan ama diğer aksiyomlarını sağlayan geometrilere Öklidyen olmayan geometriler denir. Topolojik

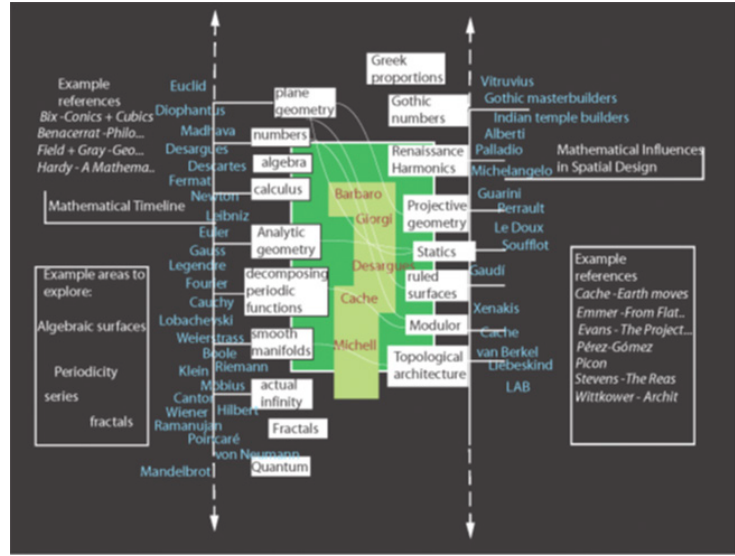
geometri, cebirsel geometri, fraktal geometri, diferansiyel geometri gibi uzmanlık gerektiren geometri çalışmaları hesaplamalı tasarım araçları sayesinde mimarların tasarım yaparken kullanabilecekleri yöntemler olmuştur. Mimarlar hem bu yöntemleri kullanmakta, hem de bu geometri yöntemlerinin gelişmesi için yeni problemler tanımlamaktadır.

Salvadori (2015, sf:26) 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 tanımla bir üçgenin iç açıları toplamı 180° 'dir. Fakat uzay geometrisinde bir gezegen üzerinde çizilecek bir üçgenin iç açıları toplamı 180° 'den büyük olabilir (Şekil 1). Modern geometrinin gelişimini sağlayan Öklidyen olmayan geometriler, uzaysal mekanın eğrisel ve çok boyutlu oluşları ana fikirleri üzerinde gelişen geometrilerdir (Kolarevic, 2003).



Şekil 1: Geometri çeşitleri (URL-3)

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-4). Hesaplamalı geometri başta bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar grafikleri, robotik gibi birçok 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. Formun kendisinin bir geçmiş ve bellek olduğunu ve dolayısıyla formun mimarlık pratiğinin tarihsel sürecinin temellerinden biri olduğunu belirten Leyton (2006, sf:8) geometride ortaya çıkan yeni buluşların, aynı şekilde mimarlıkta da yeni buluşlar anlamına geldiğini söylemektedir. Pottmann ve diğ. (2007, sf:213) ise bu düşünceye paralel şekilde, mimarlıktan elde edilmiş geometrik problemlerin geometri işleme, bilgisayar destekli geometrik tasarımda ve ayrıık 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 2).



Şekil 2: Geometri ve Mimarlık arasındaki etkileşim diyagramı (Burry, 2011, sf:26)

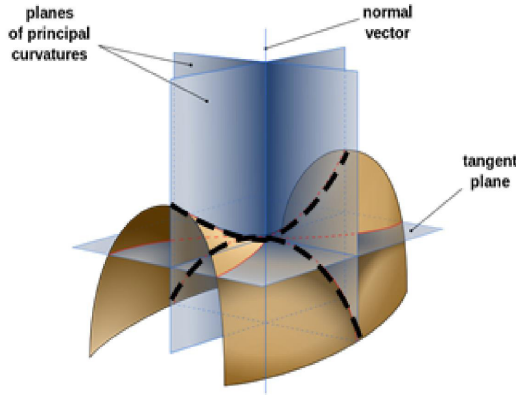
Öklid döneminde mimarlık ve matematiğin birbirlerine uzak olduğunu belirten Hırvat matematikçi ve tarihçi Nagy (2001, sf:11), ilerleyen zamanlarda birbirlerine yaklaşmış olsalar da bilgisayar destekli mimari tasarımın bu ikili ilişkide yeni bir dönem açtığını söylemektedir. Mimarların hem ihtiyaç duydukları yazılımları geliştirebiliyor olması hem de bunları kullanmak için gereken matematik bilgileri arttırmaları 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, sf:12) bu soruya değindiği çalışmada, bilgisayarın alternatif üretmede ve bir fonksiyonun integralini hesaplamada hızlı olduğunu; yine de yeni algoritmalar ve metodolojiler geliştiren kişilere, bunları yaratıcı bir şekilde kullanarak yeni araştırma konuları çıkarabilecek kişilere ihtiyaç duyulduğunu söylemektedir. Bu amaçla matematikçiler ve mimarlar arasında birbirini besleyen bir ortaklık kurulabilir. Hesaplamalı Düşünme yöntemleri ile kurulmaya başlanan bu ortaklık sayesinde mimarlar artık daha karmaşık geometrileri kendi çalışmalarında kullanmaya başlamışlardır. Mimarlar, Hesaplamalı Düşünme yöntemleri ile farklı geometri bilgilerini kullanabilir olmaya ve bu bilgiler doğrultusunda tasarımlar yapabilmeye başlamışlardır. Bu yöntemler mekanların sadece Öklidyen geometri bilgileriyle şekillenen tasarımlar olduğu düşüncesini değiştirmeye başlamıştır. Ceccato (2010, sf:12) mimarlık firmalarının kompleks geometrilere olan ilgilerinin artmasının nedeninin, daha önceleri karşılanması mümkün olmayan ve zahmetli estetik ve performans kriterlerinin bu tarz geometrilerle ulaşılabilir hale gelmesinden dolayı olduğunu söylemektedir. Foster and Partners'taki "Specialist Modeling Group" ya da Zaha Hadid Architects'teki "CODE" gibi mimarlık ofislerinin kendi bünyesinde geometri bilgisine ve hesaplamalı tasarım bilgisine hakim mimarlardan oluşan uzman gruplar bu nedenlerle ortaya çıkmışlar ve çalışmalarını ortaya koymaya başlamışlardır. Mimarlar artık düzlemsel geometriler dışında topolojik geometri, cebirsel geometri, fraktal geometri, diferansiyel geometri gibi bilgilerle farklı geometrileri de tasarımlarında kullanmaya başlamıştır.

MİNİMAL YÜZEYLER

Diferansiyel geometrinin uğraş alanlarından biri olan minimal yüzeyler, yüzeyin en küçük parçasında kendisini sınırlandıran çerçeve için en küçük alanlı yüzeyi oluşturan yüzeylerdir. Minimal yüzeyler barındırdıkları fiziksel birçok avantajın yanında oluşturdukları karmaşık şekiller 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 özelliği yüzeyin bütün noktalarındaki ana eğriliklerin ortalamasının hesaplanması ve bu ortalamalarının toplamının sıfır olmasıdır. Şekil 3'te kalın kesik çizgilerle temsil edilen o noktadaki ana eğrilere K1 ve K2 eğrileri dersek ortalama eğrilik (H):

$$H = 1/2 (K_1 + K_2)$$

olur (URL-5). Minimal yüzeylerde ise ortalama eğrilik değeri yüzeyin her noktasında daima sıfıra eşittir.



Şekil 3: Bir yüzeyin temel eğrileri (URL-6)

Minimal yüzeyler iki ana grup altında sınıflandırılmışlardır. Bunların ilki birbirlerine eklenince periyodik özelliklerini devam ettiremeyen aperiodyk yüzeylerdir. İkincisi ise tek yönde, çift yönde veya üç yönde olmak üzere periyodik olan ve birbirlerine eklendiklerinde minimal yüzey özelliklerini devam ettirebilen periyodik minimal yüzeylerdir. Bütün minimal yüzeylerde ortalama eğrilik değerinin sıfır olması sayesinde herhangi bir içbükey bölge oluşmamaktadır ve bundan dolayı da yüzeyde su birikmez. Bu yüzden mimarlar minimal yüzeyleri, prensip olarak membran kullanımlarında oldukça fazla tercih etmektedir.

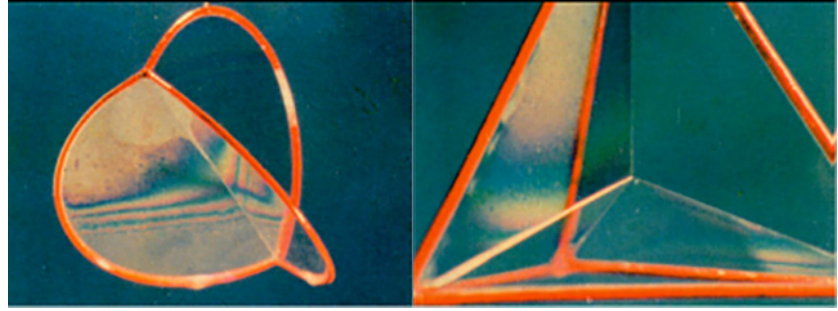
Minimal yüzeylerin temelleri 1873 yılında Antoine Ferdinand Plateau tarafından "Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires" adlı çalışmada atılmıştır (Özsöylev, 1998, sf:46). Plateau'nun sabun yüzeyleri ile yaptığı gözlemlere göre:

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 baloncuğunun 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).

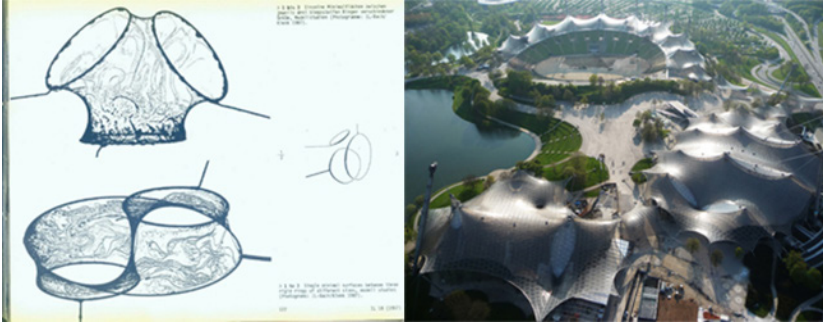


Şekil 4: Plateau'nun 3. (a) ve 4. (b) kuralı (Emmer, 2009)

Sabun baloncukları ile ilgili araştırmalar matematik alanında deneysel matematik diye adlandırılan yeni çalışma disiplini ortaya çıkartmıştır. Bu araştırmalarla birlikte matematikçiler de deney yaparak üretim yapan bilim adamlarının arasında yer almıştır. Scientific American yazarlarından John Horgan "İspatın Ölümü" adlı makalesinde, baloncuklarla uğraşan Jean Taylor'dan deneysel matematikçi diye bahsetmiştir (Özsöylev, 1998, sf:46).

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).

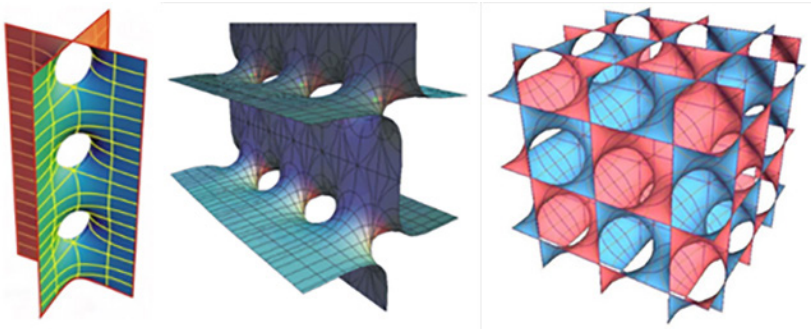
Otto'nun yapıtlarının başarısının temellerinde bu keşiflerle elde ettiği özgünlükler vardır. Minimal yüzeylerin matematik dünyasında oluşturduğu yeni deneysel matematik anlayışıyla, Frei Otto'nun deneysel mimari anlayışı da ortak konuları paylaşan ve ortak söylemleri olan konular olmuşlardır. Otto, 1961 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. Frei Otto'nun bu deneylerinde elde ettiği minimal yüzeylerle oluşan formlar onun birçok tasarımına ilham kaynağı olmuştur (Şekil 5).



Şekil 5: Frei Otto'nun sabun köpükleri ile keşfettiği formlar (URL-7) ve bu deneylerden elde ettiği prensiplere 1972 Yaz Olimpiyatları için tasarlanan Münih Olimpik Parkı (URL-8)

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 düşünmektedir. 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). Otto'nun bu söylemine karşın, ilerleyen yıllarda yapılan çalışmalarda, bu çalışmanın da peşine düştüğü soru olan, Hesaplamalı Düşünme yöntemleri ile fiziksel olarak elde edilemeyecek yeni minimal yüzeyli geometriler elde edilebileceği görülmüştür.

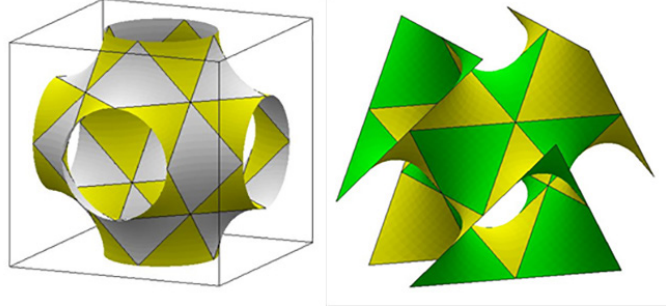
Minimal yüzeylerin süreklilik prensibini kullanan periyodik minimal yüzeyler ise geometri haricinde birçok alanda araştırmaları ve uygulamaları yapılan bir konu olmuştur. Özellikle moleküler bilimlerdeki çalışmalarda periyodiklik özellikler üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Schwarz'ın yansıma 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 6).



Şekil 6: Tek yönlü, iki yönlü ve üç yönlü periyodik minimal yüzeylere örnekler (Meeks III, 2005)

Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeylerin (ÜYPMY) ilk örnekleri Alman matematikçi Hermann Schwarz tarafından 1865 yılında bulunmuştur. Schwarz, bir dört yüzlünün altı kenarının dört tanesinden oluşan çerçevede sabun zarı yüzeyi üretildiğinde oluşan birimlerin kenar kenara birleştirilmesiyle sabun yüzeylerinin devamlılık sağladığını fark etmiştir.

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, sf:162), (Şekil 7).

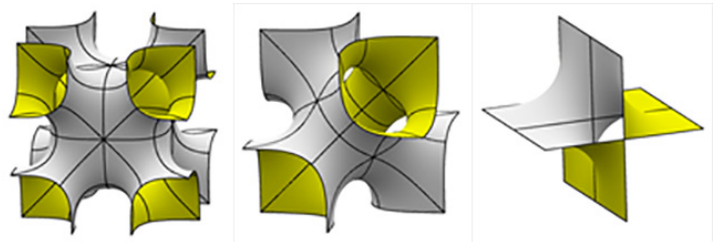


Şekil 7: Schwarz'ın P(a) ve Schwarz'ın D(b) yüzeyleri (URL-9)

Schwarz ve onun öğrencisi Neouvius'un bulgularının dışında ÜYPMY'lerin var olup olmadığı ispatlanmamış olmasına rağmen, Schwarz bu konuda ortaya 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 incelenememesidir.

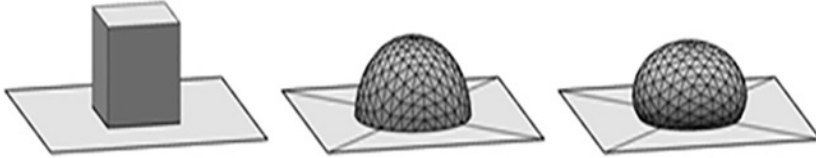
Schwarz'ın yeni minimal yüzeylerin türeyebilmesi için önerdiği algoritmalar ve bilgisayar teknolojisinin devreye girmesi ile beraber ÜYPMY tekrar matematikçilerin ilgi alanına girmiştir. Hesaplamalı yöntemlerin gelişmesiyle birlikte matematikte en çok ilerleme sağlayan konulardan biri minimal yüzeyler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

Hesaplamalı yöntemlerle tekrar araştırmalara konu olan ÜYPMY'lere ilk katkı 1960'lı yıllarda Schoen tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarını 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 sayısal 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 8) (Krivoshapko ve Ivanov, 2015, sf:427).



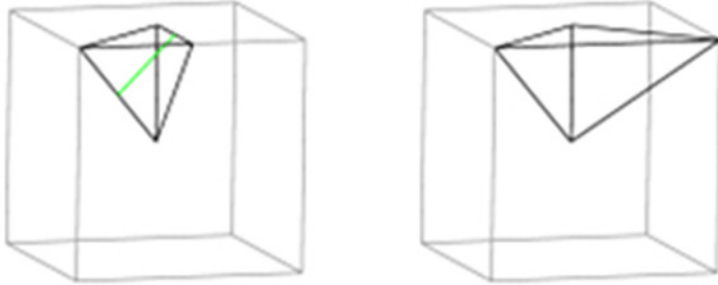
Şekil 8: Schoen'in bulduğu bazı ÜYPMY örnekleri (I-WP, F-RD, CWP) (URL-10)

Schoen'in bulduğu yüzeylerden sonra Werner Fisch ve Elke Koch gibi çok sayıda bilim insanı 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, sf:162). Brakke'nin (1992) Experimental Mathematics dergisinde yayımladığı yazı ile birlikte sunduğu Surface Evolver programı, verilen bir yüzeye ve kısıtlara dayalı olarak o yüzeyin enerjisini en aza indirmeye çalışan bir programdır (şekil 9).

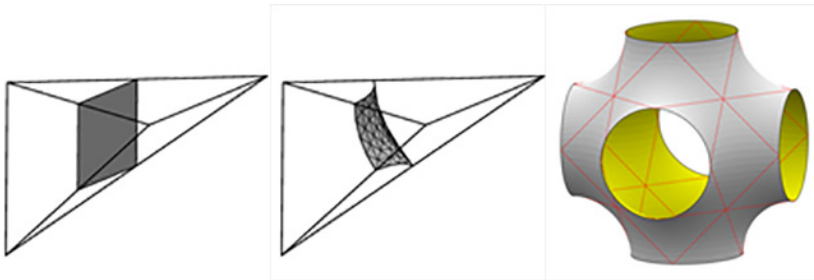


şekil 9: Yer ekimi ve yüzey keşişim enerjilerine bağlı olarak bir düzleme damlacık bırakılması (URL-11)

Brakke'nin araştırmaları sabun zarları araştırmaları ile paralel bir araştırma olduğu için Brakke 1999 yılından itibaren Schoen ile çalışmaya başlayarak Surface Evolver programı ile ÜYPMY üzerinde araştırmalara başlamıştır. Brakke bir küpün bölünmüş parçaları olarak Coxeter'in kaleydoskop hücrelerinde (şekil 10) bir minimal yüzey oluşturup, daha sonra Schwarz'ın yansıma prensipleri ile bu hücreleri tam bir küpe türeterek ÜYPMY'leri üretmeyi başarmış ve hem var olan örnekleri tekrar üretmiş hem de kendisi yeni örnekler ortaya çıkarmıştır (şekil 12).



şekil 10: Bir kübün 1/48'lik ve 1/24'lük kaleydoskop hücreleri (URL-10)



şekil 11: 1/48'lik hücrenin Schoen's P yüzeyini oluşturması (URL-10)

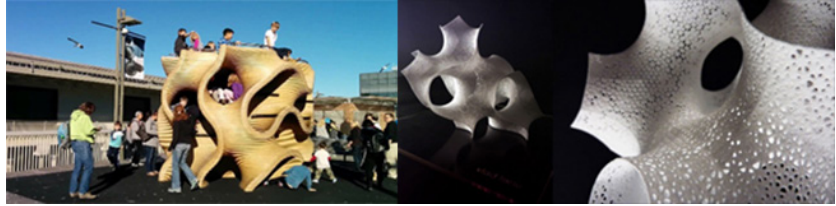
ÜYPMY'ler hem tekil olarak geometrileri ile hem de sistematik olarak türeyebilme avantajları dolayısıyla heykeltıraşlar ve mimarların ilgisini çeken şekiller olmuşlardır. Mimaride de özellikle Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler ile yapılan tasarımlar ve çalışmalar bulunmaktadır.

Mimarlar ÜYPMY'leri 1970'li yıllardan itibaren yapı tasarımında kullanmaya başlamışlardır (Piker, 2009). 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, sf:163) 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, sf:89) minimal alanlı bu yüzeylerin ağırlık ve kullanılan malzemeyi minimuma indirmesinden dolayı mimaride uygulanması için çok uygun geometriler olduklarını düşünmektedirler. Yapılan literatür araştırmasında ÜYPMY'lerin mimari kullanımı üç kategori altında incelenmiştir.

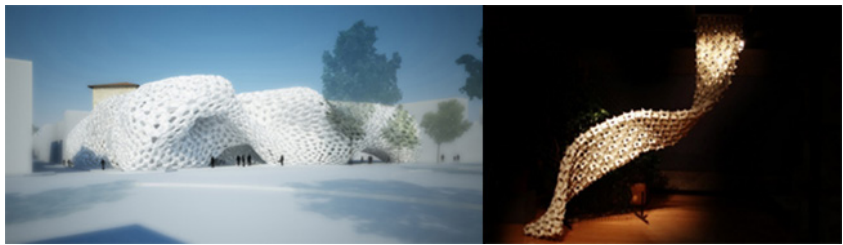
Bunlardan ilki, ÜYPMY'lerin en önemli özelliklerinden birisi sınırsız olarak birbirlerine eklenilebilmeleri olmasına rağmen bu geometrilerin tekil olarak kullanıldığı örneklerdir. Bu tarz yüzeylerin özgün geometriler oluşturması mimarların tek başlarına dahi bu yüzeyleri mimari çalışmalarda değerlendirmelerine 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 (Şekil 12).

Şekil 12: Gyroid Climber (URL-12) ve Minimal Complexity Projeleri (Tenu, 2011b)



ÜYPMY'lerin mimaride kullanıldığı ikinci tür örnekler ise, bu şekillerin yan yana türeyebilme özelliklerini kullanıp yapılar için yüzeyler oluşturduğu örneklerdir. Bu tarz örneklerde ÜYPMY'lerin iki yönde birbirlerine eklenerek yüzeyler oluşturduğu görülmektedir (Şekil 13).

Şekil 13: Biodigital Processes in Architecture – New Library in Florence (URL-13) ve tetraMIN (URL-14)



ÜYPMY'lerin mimaride kullanıldığı son örnek tarzları ise, bu tarz yüzeylerin doluluk boşluk ilişkilerini irdeleyerek mekan oluşturmaya çalışan örneklerdir (Şekil 14).



Şekil 14: Taichung Metropolitan Opera (URL-15) ve 4.4.3.3 Kowloon Wholesale Fruit market in Hong Kong (URL-16)

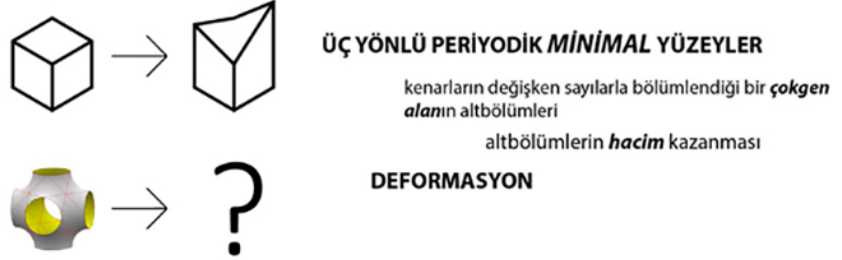
Piker (2009) ÜYPMY'lerin mimaride kullanılmasının bazı nedenlerden dolayı kendini geliştiremediğini söylemektedir. Bu nedenlerden biri geliştirilen matematiğin göz korkutuculuğudur. Parametrik modellemenin artan uygulanabilirliği ile mimarlar artık x, y ve z'yi, u ve v olarak veren basit fonksiyonlarla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

Geometriyi anlayabiliyor olmanın yeni dijital tekniklerin kullanılmasında önemli bir rol oynadığını söyleyen Wallisser (2009, sf:91) 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.

MİNİMAL YÜZEYLER İLE OLUŞTURULAN BİR TASARIM ÖNERİSİ

Çalışmanın bu bölümünde bir sergi mekanı için tasarım önerisi geliştirilmiştir. Bu amaçla ele alınan ÜYPMY'ler matematiksel olarak bir küp dahilinde üretilmiş ve periyodikliği sağlanmış yüzeylerdir. Bu çalışma kapsamında ÜYPMY'ler geometrik tanımlarında oldukları gibi sabit bir sınır şeklin içinde değil, bu sınır şeklin deformasyonu ve türetimleri ile yorumlanarak, bir mekan tasarımında kullanılmıştır. Bu doğrultuda yapılan Rhino-Grasshopper modeli ile sınırları belirli çokgen alanda, kullanım verilerine göre belirlenen kenar bölümlenme parametrelerine bağlı olarak oluşturulacak sınır şekiller içerisinde ÜYPMY'ler türetilerek bu tarz geometrilere mimari bir yorum katılarak bir tasarım önerisi sunulacaktır.

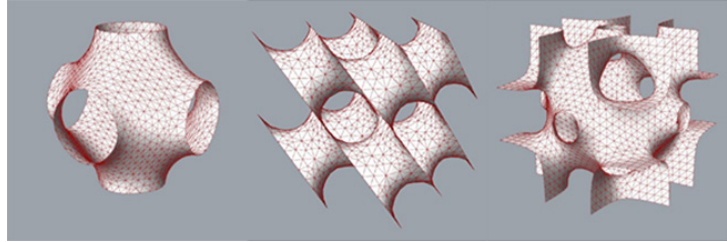
Matematiksel altyapı ve hesaplamalı tasarım yöntemlerini kullanan bu yöntemle tasarımcı, verilen alanda dörtgen alt-bölümleri oluşturup ÜYPMY'leri deforme ederek, ÜYPMY'leri tasarımda sadece geometri modellerindeki halleriyle değil sınır-şekilleri deforme ederek de kullanabilecektir (Şekil 15).



Şekil 15: Çalışmada ÜYPMY'lerin ele alınma öngörüsü

ADIM 1 – TEKİL ÜYPMY OLUŞTURULMASI

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 uygulamasını da yapabilmek mümkündür. Brakke'nin yöntemi için kaleydoskop hücreleri ile üretilecek minimal yüzeye göre verilecek kısıtlar Kangaroo eklentisi aracılığıyla minimum alanlı ve minimum enerjili yüzeylere çevrilerek bu kaleydoskop 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. Ayrıca Surface Evolver programı ile matematiksel modelleri görselleştiren ve manipüle edilmesini sağlayan k3dsurf gibi programlarla oluşturulacak modeller de Rhino programı içerisine alınabilir (Şekil 16).



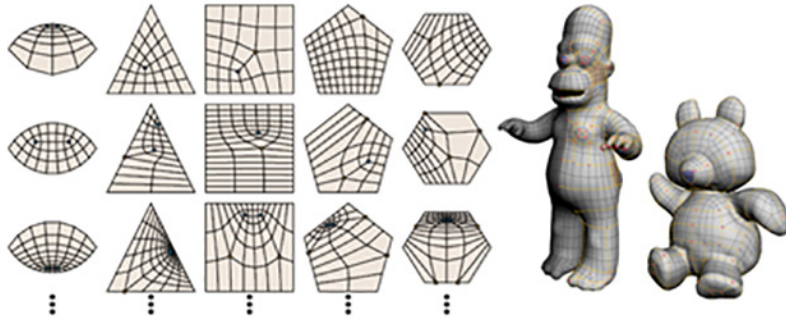
Şekil 16: Grasshopper ile oluşturulan ÜYPMY örnekleri: (a) Primitive (b) Diamond; (c) PW Hybrid

ADIM 2 – ALT BÖLÜMLERİN OLUŞTURULMASI

Çalışma kapsamında kullanılan ÜYPMY'ler dörtkenarlı sınırlara sahip olduğu için, yöntemin ilk aşaması, sınırlarıyla belirli çokgen bir alanın dörtgen alt-bölümlerini oluşturmaktır. Alt bölümlere ayırma işlemi bilgisayar grafikleri konusunda çalışanlar için temel araştırma konularından biridir. Mimarlıkta ise alt bölümlendirme, bilgisayar destekli tasarım araçlarıyla birlikte sayısal ortamda tasarlanan karmaşık yüzeylerin, üretiminde karşılaşılan boyutlandırma kısıtları ve üretimin düzlemsel geometri metotlarıyla üretilecek olmasından dolayı karşılaşılan problemleri giderebilmek için çalışılan konulardan biri olmuştur (Pottmann, Schiftner ve diğ., 2008).

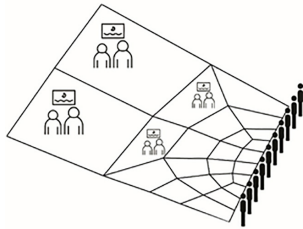
Çalışma kapsamında ise alt-bölmelere ayırma işlemi, tasarımın son halinin üretimine yardımcı olması amacıyla değil, tasarımın başında bir hesaplamalı tasarım aracı olarak kullanıcı parametrelerini değerlendirmek üzere kullanılacaktır.

Bu kapsamda yapılan literatür araştırmasında ETH Zurich'teki Interactive Geometry Lab (IGL)'ın yaptığı çalışmalar, dörtgenlenmiş alt-bölümlerin oluşturulması için araştırmaya dahil edilerek uyarlanmıştır. Ekibin 2014 yılında sundukları çalışmada, Takayama ve diğ. (2014a) sınırları parçalanmış çok kenarlı bir 'mesh' parçasını dörtgenlemek için bir algoritma geliştirmiştir (Şekil 17). 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-17).



Şekil 17: Takayama ve diğ. (2014a) tarafından geliştirilen $2 \leq N \leq 6$ kenarlı parçaların örüntüye bağlı olarak dörtgenlenmesi

Kenarların alt-bölmelere ayrılması bir parametreye göre belirlenebilir. Tasarım konusu olarak bir sergi mekanı düşünüldüğü için bir kenarı giriş kısmı olarak değerlendirilip çok sayıda parçalanmayla, diğer kenarlar büyük sergi mekanları olarak değerlendirilebilir; az sayıda parçalanmalar yapıldığında tüm alanın alt-bölümlenmesi bu parametrelere bağlı olarak oluşturulur (Şekil 18) ve böylece bütün ÜYPMY birimleri arasında mekânsal süreklilik sağlanmış olur.



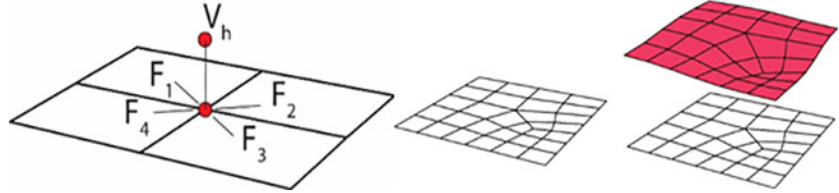
Şekil 18: Dört kenarlı bir alanda 10 girişli 2 ana sergili bir mekanın alt-bölmeleri

ADIM 3 – ALT BÖLÜMLERDEN ÜYPMY İÇİN SINIR ŞEKİLLERİ OLUŞTURULMASI

Çalışma kapsamında sergi mekanlarının bütünüyle eş alanlardan oluşmayacağı öngörüldüğü için, önerilen modelde ÜYPMY'lerin sınır şekilleri olan küpler deforme edilerek farklılaşmış birimlere sahip bir tasarım yöntemi sunulmak istenmiştir. Alanın alt-bölümlenmeleri yapılıncı plan düzleminde konumları belirlenen ÜYPMY'lerin sınır şekillerinin üçüncü boyuttaki şekillenmelerinin yapılması gerekmektedir.

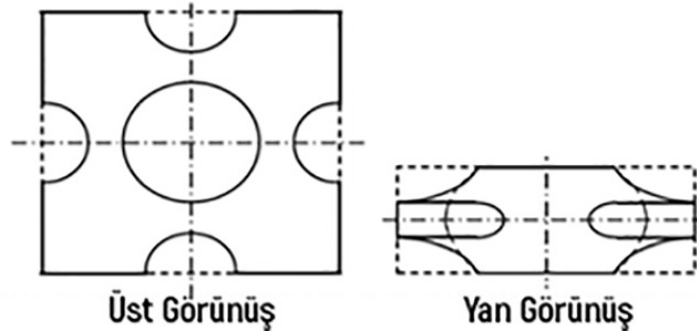
Rhino-Grasshopper ortamında geliştirilen algoritma ile alanın alt-bölümlenmelerinden elde edilen düğüm noktaları ilişkili oldukları alt-bölümlerin alanlarının büyüklüklerine göre yükseklik (V_h) kazanmaktadır (Şekil 19). Önerilen modelde mimari mekanlar olarak çok yüksek veya basık mekanlar oluşması istenmediği için, sınır şekilleri oranlı olarak deforme edebilmek için düğüm noktaları, bağlantılı olduğu dört alt-bölümün (F_1 - F_4) alanına göre oluşabilecek her bir küpün yükseklik değerleri ortalaması alınarak yükseltilmiştir (Şekil 21).

Şekil 19: Yükseklik verme algoritmasının bir uygulama örneği



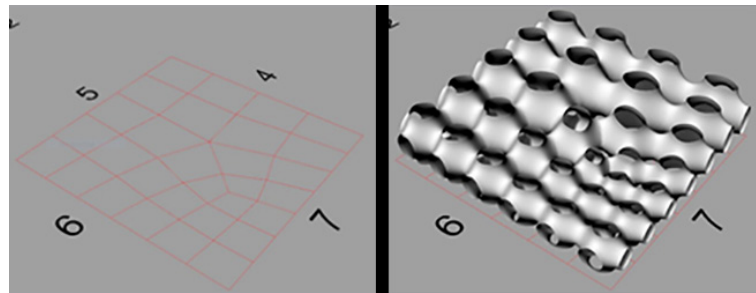
Burada yapılması gereken kontrol, ÜYPMY'lerin sınır şekilleri üzerinde yapılacak basit deformasyonlar ile oluşan yüzeylerin minimal yüzey özelliklerinin değişip değişmediğidir. Şekil 20'de Schoen'in bir küboid içinde 16 eşit yüzey parçası ile oluşturduğu ÜYPMY hücresi görülmektedir. Bu küboidin yüksekliğini değiştirerek minimal yüzeylerin bir parametrik ailesini geliştirmek mümkündür (Krivoshapko ve Ivanov, 2015). Yani verilen sınır şekil (küp) deformasyona uğratıldığında başlangıç yüzeyi ÜYPMY olarak geometrik özelliklerini devam ettirecektir.

Şekil 20: Sınır şeklinin yüksekliği değiştirilmiş bir ÜYPMY (Krivoshapko ve Ivanov, 2015)

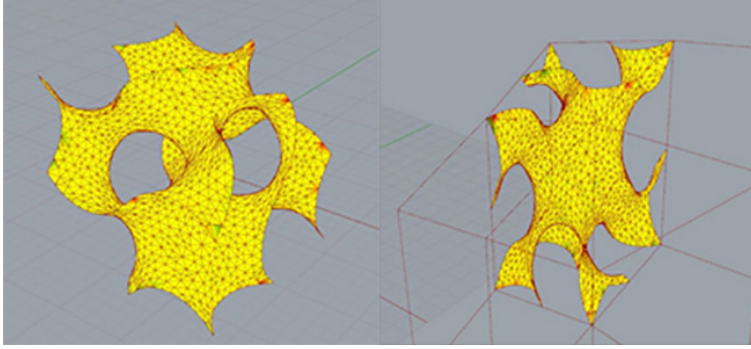


Çalışma kapsamında önerilen ÜYPMY'ler mekanı oluşturan hacimsel modüller olarak değerlendirilmiştir. Bu modüller önceki aşamada oluşturulan sınır şekiller doğrultusunda oluşturulan ÜYPMY'den oluşmaktadır. Birden fazla ÜYPMY ile oluşturulan tasarım önerisinde tüm modüller arası süreklilik gösteren bir mekan oluşturmak istenilmiştir.

Şekil 21: Önerilen modelde dört kenarlı (4-5-6-7) parametrelili alanda 1. Adımda elde edilen Primitive yüzeyin uygulanması

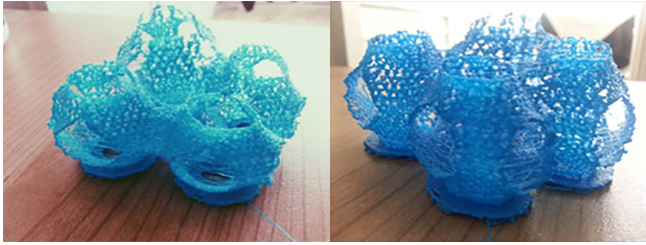


Çalışmanın sonraki aşamasında ilk başta ÜYPMY'e en yakın geometri olarak verilen cebirsel modelin ortalama eğrilik analizleri ile deformasyon sonrası oluşan ortalama eğrilik analizleri karşılaştırılmıştır. Cebirsel modelin ayırık parçalardan oluşan ve minimal yüzeye en yakın model olmasından dolayı ortalama eğrilik değeri sıfıra eşit değildir. Yapılan analizde (Şekil 22) yaklaşık 8.5m.'lik ayrıtlara sahip 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 modeldeki deforme edilmiş bir sınır şekil üzerindeki Schwarz Primitive yüzeyi ele alındığında ise, ortalama eğriliklerin ortalaması 0,001475'e kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Burada belirtmelidir ki eğer elimizdeki model bir mesh modeli değil de yüzey modeli olsaydı iki değer de sıfır çıkacaktı.

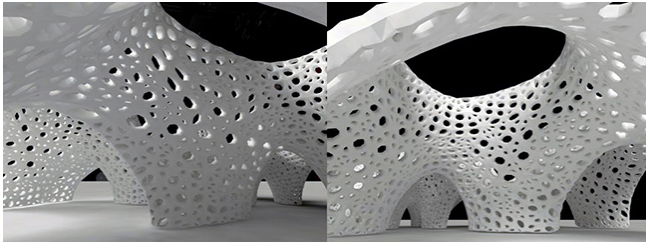


Şekil 22: Analizi yapılan örnek ÜYPMY ve deforme edilmiş hali

Çalışmanın son aşamasında Rhino-Grasshopper ortamında tasarlanan sayısal modelin, sayısal üretim yöntemleriyle fiziksel bir modeli üretilmiştir (Şekil 23).



Şekil 23: Schwarz P yüzeyinin deformasyonu ile yapılmış bir üç boyutlu prototip



Şekil 24: Yarım Schwarz P yüzeyi ile oluşturulmuş bir alanın iç alan perspektifi



Şekil 25: Yarım Schwarz P yüzeyi ile oluşturulmuş bir alanın farklı doğrultularda kesitleri

Minimal yüzeyin gerilmeleri en aza indirgeme özelliği, 3B baskıda bile üretiminin zor olacağı öngörülebilecek kısımları, destek malzemesi konulmadan basılmasına olanak vermiştir. Fakat ana eğriliklerin sifra yakınsadığı (düzlemselliğe yakın) yatay kısımlar oluştuğunda destek malzemesine ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki geometri ve mimarlık arasındaki etkileşim tarih boyunca mimari çalışmalarda önemli bir yer tutmuştur. Son yıllarda bilgisayar teknolojisi yardımıyla mimarların, matematiğin derin hesaplarıyla uğraşmadan karmaşık geometrilerin sonuç ürünlerine ulaşabilmesi oldukça kolaylaşmıştır. Burada belirtilmelidir 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. 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.

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 oluşturuldukları şekilleriyle kullanılabilmesi 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.

Kaynakça

- 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.
- Ceccato, C. (2010). The Master-Builder-Geometer. *İçinde Advances in Architectural Geometry* (ss. 9-14).
- Coxeter, H. (1961). *Introduction to geometry*. New York: Wiley.
- 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>

- Hartshorne, R. (2000). Teaching geometry according to Euclid. *Notices of the AMS*, 47(4), 460–465.
- 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.
- Leyton, M. (2006). *Shape as Memory. A Geometric Theory of Architecture*. Book.
- 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.
- 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).
- Otto, F., ve Songel, J. M. (2010). *Conversation with Frei Otto*. New York, US: Princeton Architectural Press.
- Özsöylev, H. N. (1998). Sabun Baloncuklarıyla Deneysel Matematik. *Bilim ve Teknik*, (06), 44–48.
- 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., Schiftner, 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).
- Schoen, A. H. (1970). Infinite periodic minimal surfaces without self-intersections. *Nasa Technical Reports Server*. Erişim adresi <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19700020472>
- Sierra, F., ve Rodriguez, C. M. (2014). Architectural Envelope Systems Based on T riple Periodic Minimal Surfaces. *International Journal of Space Structures*, 29(4), 161–170.
- Takayama, K., Panozzo, D., ve Sorkine-Hornung, O. (2014a). Pattern-Based Quadrangulation for N-Sided Patches. *İçinde Eurographics Symposium on Geometry Processing*. Cardiff, UK.
- 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.
- 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>
- 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://web.deu.edu.tr/mate-matik/m9_b2.html>, Alındığı tarih: 17.04.2016.
- Url-2<http://www.matematikciyiz.biz/Arast%C4%B1rmalardan_Secmeler/oklit_disi_geometriler.htm>, Alındığı tarih: 25.04.2016.
- Url-3<<http://abyss.uoregon.edu/~js/cosmo/lectures/lec15.html>>, Alındığı tarih: 26.01.2019.
- Url-4<https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_geometry>, Alındığı tarih: 08.05.2016.
- Url-5<<http://mathworld.wolfram.com/MeanCurvature.html>>, Alındığı tarih: 21.04.2016.
- Url-6<https://en.wikipedia.org/wiki/Principal_curvature>, Alındığı tarih: 21.04.2016.

Url-7<<https://iam.tugraz.at/workshop14s/2014/03/25/soap-bubbles-and-minimal-surfaces/>>, Alındığı tarih: 12.05.2016.

Url-8<<http://www.pritzkerprize.com/laureates/2015>>, Alındığı tarih: 12.05.2016.

Url-9<<http://met.iisc.ernet.in/~lord/webfiles/tpms.html>>, Alındığı tarih: 24.04.2016.

Url-10<<http://facstaff.susqu.edu/brakke/evolver/examples/periodic/periodic.html>>, Alındığı tarih: 21.04.2016.

Url-11<<http://facstaff.susqu.edu/brakke/evolver/examples/examples.htm>>, Alındığı tarih: 01.05.2016.

Url-12 <<https://www.youtube.com/watch?v=Op4QS6sGSZ8>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.

Url-13<<http://www.evolo.us/architecture/biodigital-processes-in-architecture-new-library-in-florence/>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.

Url-14<<http://i-m-a-d-e.org/?p=2698>>, Alındığı tarih: 08.05.2016.

Url-15<<http://www.designboom.com/architecture/tai-chung-metropolitan-opera-house-by-toyo-ito-under-construction/>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.

Url-16<<http://projectsreview2011.aaschool.ac.uk/students/jihyun-heo>>, Alındığı tarih: 11.07.2016.

Url-17<<http://igl.ethz.ch/projects/patch-quad/>>, Alındığı tarih: 23.05.2016

Computing and Knitting in the Context of Concrete Shell Structures

Serenay ELMAS¹, Sema ALAÇAM²

^{1,2} Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

This paper was produced from the master thesis titled "Computing and Knitting: Experiments on Tailoring Concrete and Knitted Textile for Shell Structures" that published on December 2017 in ITU Architectural Design Computing Graduate Programme. The thesis proposes an integrated design and production approach to seek future construction scenarios for the complex concrete thin shell structures by utilising material behaviour and computational tools. The investigations focus on the findings and the outcomes of the composite usage of concrete (as a compressive material) and knitted textile (as a tensile material). In the scope of this study three phased experiments were conducted, which comprised of; (i) material experiments, (ii) form finding and structural analysis, (iii) production of physical prototypes. In order to achieve the feasible form alternatives the integration of material feedbacks from physical models and the structural feedbacks from digital model was provided. In order to get a deep understanding about the material limitations and to determine optimum cement mixture to obtain maximum mechanic behaviour from the composed material, microstructure analysis were completed in material scale. Motivated by the feasibility problems of complex concrete shells, the potentiality of initially delicate and flexible materials are explored to generate structurally efficient lightweight concrete shells in order to eliminate the need for formwork, minimize the production cost and time by promising less labor-intensive, more sustainable and waste-free structures.

Keywords: computational design, structural skin, concrete shell structure, textile reinforced concrete, cast-in-place formwork

Received: 03.01.2019

Accepted: 31.01.2019

Corresponding Author:

serenelmas@gmail.com

Elmas, S. & Alaçam, S. (2019). Computing and Knitting in the Context of Concrete Shell Structures. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 1(1), 55-64.

Beton Kabuk Strüktür Tasarımı Bağlamında Hesaplama ve Örme

Serenay ELMAS¹, Sema ALAÇAM²

^{1,2} İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Buyuzı Aralık 2017’de İTÜ Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı’nda yayınlanan “Computing and Knitting: Experiments on Tailoring Concrete and Knitted Textile for Shell Structures” başlıklı tezden üretilmiştir. Tezde, karmaşık biçimlerdeki beton kabuk strüktürlerin üretilebilirliği üzerine malzeme özelliklerinden ve hesaplamalı tasarım araçlarından yararlanarak geliştirilen bütünleşik bir tasarım ve üretim yaklaşımı önerilmektedir. Araştırmada, beton ve örülmüş tekstilin kompozit kullanımı sırasında elde edilen bulgular ve çıktılar üzerine odaklanılmıştır. Başlangıçta esnek ve kolay biçimlenebilen bir malzemeden yararlanmak hedeflenirken, farklı bir kalıba gerek duyulmadan rijit bir strüktürel davranış gösteren hafif beton kabuk oluşturmanın potansiyelleri ele alınmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneyler, malzeme deneyleri, biçim arayışı-dijital simülasyonlar ve fiziksel prototip üretimi olmak üzere üç ana başlık altında toplanmıştır. Mikro ölçekte yapılan malzeme deneyleri üzerinden strüktürel davranışın iyileştirilmesi hedeflenirken aynı zamanda oluşturulan parametrik model ile form arayışının da strüktürel geri dönüşlerle süreç içinde beslenmesi sağlanmıştır. Önerilen yöntem ile, beton kabuk strüktür uygulamalarında kalıp ihtiyacı egale edilerek, üretim maliyetinin, üretim süresinin ve yoğun emek gerektiren işçiliğin minimize edilmesi ile malzeme kaynaklarının sorumlu bir şekilde kullanılması ve üretim kaynaklı atık miktarının sıfırlanması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: hesaplamalı tasarım, strüktürel kabuk, beton kabuk yapısı, tekstil betonarme, yerinde dökme kalıp

Teslim Tarihi: 03.01.2019
Kabul Tarihi: 31.01.2019

Sorumlu Yazar:
serenelmas@gmail.com

Elmas, S. & Alaçam, S. (2019). Beton Kabuk Strüktür Tasarımı Bağlamında Hesaplama ve Örme. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 55-64).

1. GİRİŞ

Malzeme ve formun doğrudan strüktürel davranışı belirlediği kabuk strüktürler mimarlık ve mühendisliğin ara kesitinde her zaman önemli role sahip bir araştırma alanı olmuştur. 1900'lerin başından itibaren betonarmenin kullanımıyla, yığma yapılara kıyasla oldukça ince kalınlıklarda geniş açıklıkların geçilmesi mümkün hale gelmiştir. Günümüzde ise, betonun akışkan bir malzeme olması sebebiyle sahip olduğu potansiyellerin, giderek karmaşıklaşan formların fiziksel olarak üretilebilirliği üzerine oluşturmaya müsait olduğu eşikler söz konusudur.

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) teknolojilerindeki gelişmeler, 1990'lı yıllardan itibaren artan bir ivmeyle doğrudan tasarımdan üretime geçişi kolaylaştırmıştır. Form üretiminin dijital ortamda geldiği nokta hemen hemen sınırsız olarak kabul edilse de, karmaşık formlarda tasarlanan strüktürlerin inşa edilebilirliği ile ilgili hala göz ardı edilemeyecek bir boşluk söz konusudur. Beton kabuk strüktürler çerçevesinden bakıldığında, formun inşa edilebilirliğinin malzemenin özelliği kadar kalıbın kısıtlarına da bağlı olduğunu görmek mümkündür. Bu kısıtlamalara ek olarak, tekrar kullanıma uygun olmayan rijit kalıp kullanımı toplam inşa maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturmakta ve ciddi bir atık üretimine sebep olmaktadır (Lloret et al., 2015; Van Mele and Block, 2011). Dolayısıyla, beton kabuk strüktürlerin inşa edilebilirliği üzerine yapılan güncel çalışmalarda, malzeme olarak betonun iyileştirilmesinin ve çelmeye karşı çalışabilmesi adına kullanılan donatıların farklılaşmasının yanı sıra kalıbın yeni bakış açıları ile tekrar ele alındığı ve yorumlandığı görülmektedir.

Bu çalışmada dijital araçlardan ve malzemelerin birlikteliğinin getirdiği potansiyellerden yararlanarak, kompleks beton kabuk strüktürlerin üretilebilirliği üzerine yeni bir yaklaşım getirilmesi hedeflenmiştir. Araştırma kapsamında örülmüş tekstilin hem donatı hem kalıp olarak çalışması önerilmiş ve ayrı bir kalıp ihtiyacı ortadan tamamen kaldırılarak üretim maliyetini ve zamanını minimize eden aynı zamanda atık üretimi olmadan tamamlanan üretim süreçleri vadedilmiştir.

2. TEKSTİLİN BETON STRÜKLERDE DEĞİŞEN ROLÜ

Esnek bir malzeme olup çelmeye çalışan tekstil ile basınca çalışan rijid bir malzeme olan betonun birlikte kullanımı yarattığı ikilem bağlamında oldukça potansiyel taşıyan bir araştırma alanıdır. Bu birlikteliğin irdelenmesi ve yarattığı ikilemden fayda sağlama durumu sürekli gelişmekte olan teknoloji ve dijital araçlar çerçevesinden yeniden ele alınıyor olsa da, tekstilin beton ile birlikte kullanımına beton kabuk strüktürlerin erken dönem örneklerinden itibaren rastlanılmaktadır. Betonun basınca karşı mukavemetinin tekstilin çelmeye karşı davranışı üzerinden yorumlandığı Heinz Isler' in erken dönem beton kabuk örneklerinde analog simülasyon görevi üstlenen tekstile daha sonra alternatif donatı olarak ve/veya kumaş kalıp uygulamalarında beton ile biraradalığı çalışılan bir malzeme olarak karşılaşılmaktadır (Elmas ve Alaçam, 2018).

Günümüzde karmaşık geometrilerin fiziksel olarak üretilebilirliği üzerine oldukça fazla sayıda çalışma devam etmektedir. Betonun donmadan önce yarıkışkan bir halde olması serbest formların üretilebilirlik arayışlarına cevap olarak yeniden gündeme gelmesinde önemli bir yere sahiptir. Malzemenin özelliklerini iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar kadar gerektirdiği - gerekli olma durumu sorgulanmalı- kalıp kullanımının getirdiği çok yönlü kısıtlamalar da uzun süre bir çok çalışmanın motivasyonu oluşturmuş ve geleneksel kalıp kullanımına alternatif potansiyel üretim süreçlerinin geliştirilmesinde tetikleyici bir rol üstlenmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak; Gramazio Kohler araştırma grubunun kullanılan beton kalıplarının statik ve rijit olma durumunu sorguladığı, Smart Dynamic Casting with slip forming (Lloret et al., 2015) ve TailorCrete wax based formwork (Url-1) çalışmaları, betonun 3D yazıcılar kullanılarak deneyimlenmesi (Bhooshan et al., 2017), Danimarkalı profesyonel bir prekast firması olan ADAPA' nın çift eğrilikli yüzeylerin üretimi için geliştirmiş olduğu Adaptive Mould System (Url-2) ve C.A.S.T tarafından yürütülen kumaş kalıp çalışmaları verilebilir.

Sürdürülebilir üretim süreçlerine olan ihtiyacın giderek artması, inşaat kaynaklı atık üretiminin bir problem olarak değerlendirilmeye başlanması ve yeniden kullanıma elverişli olmayan üretim bileşenlerinin yerine tekstil kullanımının sorgulanmasını tetiklemiştir. Bu sebeplere ek olarak esnek bir malzeme olması, kolay şekil verilebilmesi ve tekstil üretimindeki gelişmeler de kumaşın beton kabuklarda kalıp olarak kullanımını adım adım ileri taşımıştır. Kumaş kalıp kullanımının yaygın olabilmesi, dijital ortamda betonun kumaş kalıp içerisinde hareketi ile fiziksel olarak kumaş kalıp içindeki davranışı arasındaki tutarlılığı arttırmayı gerektirmektedir. Bu gereklilik fiziksel ortamdaki bir çok parametreyi simülasyonun bir parçası haline getiren özelleşmiş dijital araçların geliştirilme ihtiyacını gündeme getirmiştir. Block Research Group' un fiziksel kısıtlamalar, malzeme davranışı ve kumaşta meydana gelen kırışma, defleksiyon gibi parametreleri tek bir platformda entegre etmeyi amaçlayan bir dijital eklenti geliştirme üzerine yaptığı çalışmalar biçimin oluşunu (becoming of form) kontrol edebilme açısından önemli bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır (Veenendaal ve Block, 2012). Tekstilin çeşitli yöntemlerle kalıp olarak kullanımının yanı sıra donatı olarak kullanımını da oldukça yaygın olarak karşımıza çıkmakla birlikte, tekstil donatı kullanımı deneysel aşamada kalmamış günümüzde bir çok profesyonel şirket tarafından uygulanan bir sistem halini almıştır. Bu yazı kapsamında detaylı incelemelerine yer verilmeyecek olmakla birlikte, literatürde hem tekstil donatı kullanılan örneklere hem de kumaş kalıp kullanılan beton strüktürlere fazlaca rastlanmaktadır. Literatürde karşılaşılan örneklere kıyasla, Block Research Group tarafından tamamlanan Nest Hilo projesi, eğrisel formdaki beton kabuğun üretilim aşamasında hem donatı olarak tekstilin tercih edilmesi hem de kalıp olarak kumaşın şilte şeklinde kullanılması ve sürece dijital araçların başarılı bir şekilde entegre olma durumu sebebiyle bu yazıda aktarılacak olan çalışma için ayrı bir yere sahiptir (Url-3).

İlgili literatür çalışmaları ve yukarıda yer verilen örneklerden farklı olarak bu çalışma kapsamında tekstil donatı ve tekstil kalıp farklı elemanlar olarak değerlendirilmemiştir. Örülüş tekstilin hem donatı hem de daha sonra bir

söküm işlemi gerektirmeyecek şekilde strüktür içinde kalan bir kalıp işlevi görmesi önerilmiştir. Sürecin önemli bir kısmında da beton ile tekstilin iplikleri arasındaki adezyon kuvveti malzeme ölçeğinde yapılan deneyler ile güçlendirilme yoluna gidilmiştir. Bu da kumaş kalıp uygulamalarında uygulanan yöntemden, çalışma kapsamında önerilen yöntemi ayıran başka bir nokta olarak kabul edilebilir.

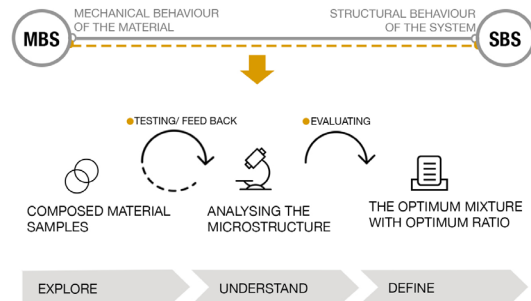
3. BETON VE ÖRÜLMÜŞ TEKSTİLİN BİRARADALIĞI ÜZERİNE YAPILAN DENEYLER

Beton karışımı ve organik yün ipliklerin kompozit bir şekilde davranışını gözlemlemeyi, irdelemeyi ve iyileştirmeyi amaçlayan bu süreç üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamaları, mikro ölçekte yapılan malzeme davranış incelemeleri, dijital ortamda gerçekleşen biçim bulma ve strüktürel simülasyonlar ve fiziksel prototiplerin üretimi oluşturmaktadır.

3.1 MALZEME DENEYLERİ

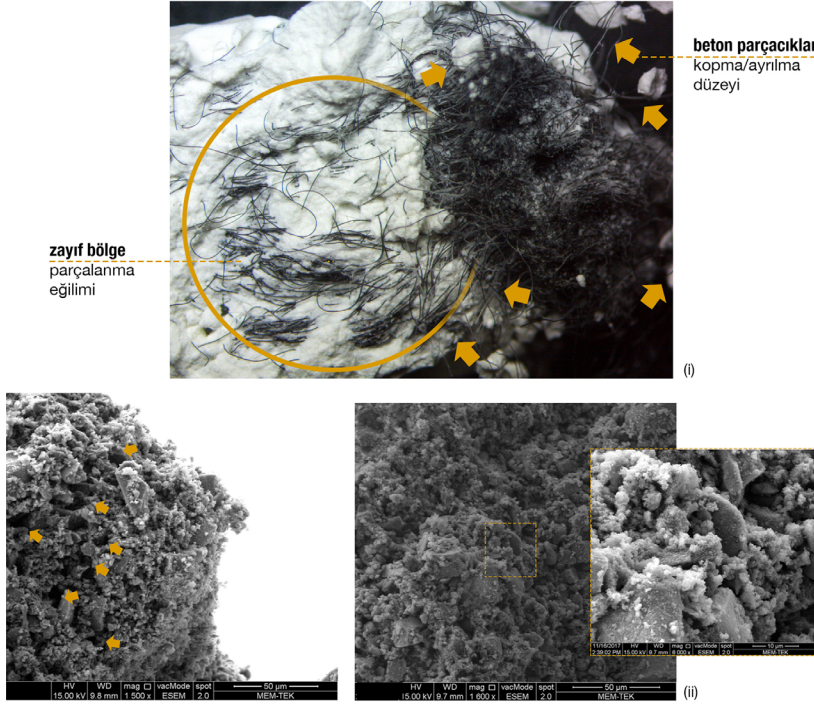
Biçim bulma, strüktürün maruz kaldığı yükler ile statik denge içinde olacak şekilde optimum geometrisini bulabilmek adına bir çok parametrenin dogrudan ve net bir şekilde kontrol edildiği bir süreçtir. Kabuk strüktürler özelinde bakıldığında maruz kalınan yuk tipik olarak ölü yük ve çoğu zaman kabuğun kendi ağırlığıdır (Adriaenssens et al., 2014, p.2). Bu sebeple sistemi malzeme üzerinden hafifleterek maruz kalınan yükün azaltılması bir alternatiftir. Beukers ve Van Hinte (2005)'nin vurguladığı gibi sistemin yükünün hafiflemesi için hafif malzeme kullanmak bir seçim olabildiği gibi bir zorunluluk değildir. Ağır malzemeler kullanılarak ta (kullandıkları form ve kalınlığa bağlı olarak) hafif strüktürler elde edilebilir (çelik, beton v.b). Fakat bu tür malzemeler kullanılarak sistemin hafifletilmesi malzeme kalınlığı üzerinden yapıldığında, inilebilecek minimum kalınlık sistemin yüklere karşı cevap verebileceği seviyede olmalı, malzemedan beklenen mekanik performans karşılanmalıdır.

Çalışma kapsamında yapılan malzeme deneylerinin temel amacı, kabuk strüktürlerde malzemenin mekanik davranışıyla sistemin genelinin strüktürel davranışı arasındaki ilişkiyi arttırmak ve iyileştirmek olarak kabul edilebilir. Yapılan deneylerde beton karışımının örülmüş tekstil üzerinde bir kaplama olarak davranışı gözlemlenmiştir. Bu çerçevede, kompozit bir malzeme gibi çalışması beklenen farklı içeriklerdeki çimento karışımları ile kaplanmış ipliklerden alınan kesitler üzerinden mikrostrüktür incelemeleri yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Malzeme deneyleri için önerilen yöntem diyagramı

Mikrostrüktür, malzemenin karakter özelliğini barındıran, atomik ve moleküler yapısı ile ilgili olan dolayısıyla da mikroskop altında gözlemlenebilen iç yapısı olarak tanımlanırken, makrostrüktür malzemenin çıplak gözle görülebilen özellikleri olarak tanımlanmaktadır (Eriç, 2002). Çalışma kapsamında uygulanan çimento karışımının inceliği sebebiyle oluşmaya ve ilerlemeye meyilli çatlakların minimuma indirilmesi ve iplik tanecikleri ile beton parçacıklarının birbirlerine uyguladığı adezyon kuvvetini arttırabilmek adına değişik oran ve içeriklerde çimento karışımları sabit kalınlık ve açıklıkla örülmüş yüzeyler üzerine uygulanmıştır. Malzemelerin birlikte nasıl davranmak istediğine yönelik daha derin bir anlayış kazanmak adına, beton hamuru karışımına daldırılan örülmüş tekstil numunelerinden ve özellikle oluşan çatlak bölgelerinden periyodik olarak kesitler alınarak hem stereo mikroskop hem de sem (statik elektron mikroskobu) altında mikrostrüktür incelemeleri yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: (i) stereo mikroskop (ii) sem ile kesit alınan bölgenin incelenmesi

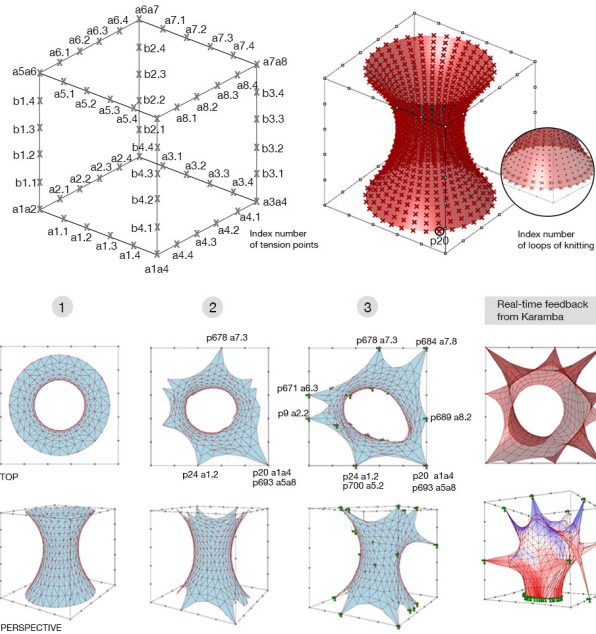
1500x ile 6000x arası yapılan yakın incelemelerde moleküler ölçekte de malzemenin boşluklu yapısı kullanılan malzemelerin izin verdiği ölçüde karışım içerikleri ve oranları değiştirilerek minimize edilmeye çalışılmış, bu sayede malzemelerin birbirleriyle daha sıkı bir şekilde birleşme eğilimi göstermesi sağlanmıştır.

3.2 BİÇİM ARAYIŞ SÜRECİ

Parametrik tasarım ortamında yürütülen biçim arayışı ve entegre strüktürel analizler iki temel amaç üzerine kurgulanmıştır. Bunlar, karmaşık geometrilerin üretilebilirliğine cevap aramada, başlangıçta esnek ve kolay biçim verilebilen bir malzemenin potansiyellerini araştırmak ve bu sırada biçim karmaşıklıkça eş zamanlı olarak strüktürel davranış ile ilgili geri bildirimler alabilmektir.

Süreç küp şeklinde bir çerçeveye bağlı tanımlı tübüler bir form ile başlatılmış ve adım adım modellenen biçimin ilmeklerinden karkasa çekilerek deforme edilmesi ile devam etmiştir. Bu süreçte alınan geri bildirimler örgünün sıklaşması gereken ve daha seyrek olabileceği bölgelerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Grasshopper ortamında üretilen modelde girdi olarak tanımlanan ve farklı değerlerin girilmesine izin verilen parametreler; bağlantı ve destek noktaları, mesh U ve V noktaları (örgünün ilmek sayısı bu şekilde tanımlanmıştır), ilmekler arası mesafe, malzeme özellikleri, ipliklerin kesit özellikleri, yer çekimi kuvveti, ilave hareketli yük ölü yük değerleri olarak belirlenmiştir.

Oluşturulan modelde formun belirli ankraj noktaları arasında tekstilin davranışını simüle edebilmesi ve serbest bir şekilde davranabilmesi için 'Kangaroo Physics' eklentisi kullanılmıştır. Yukarıda girdi parametrelerinde bahsedildiği gibi dijital ortamdaki oluşturulan tübüler başlangıç formunun U ve V değerleri örgünün ilmek sayısını tanımlamak için kullanılmıştır. Bu doğrultuda, yüzeyi oluşturan her yatay ve düşey çizginin kesişim noktaları birer ilmek tanımlanmaktadır. Modelde tüm ilmek noktaları kontrol edilebilir ve müdahale edilebilir şekilde oluşturulmuştur. Dolayısıyla bu noktalardan herhangi birinin çekilip karkasa sabitlenmesi durumunda, modellenen sistem de yapılan müdahaleye eşzamanlı olarak cevap verebilecek, dijital ortamda modellenen form, fiziksel ortamda örülmüş tekstilin hareketini simüle edecek ve bu süreç gözlemlenebilecektir. Çekilen ilmek noktalarının sabitleneceği noktalar için bir sınır oluşturmak ve fiziksel prototipler ile dijital modellerin tutarlılığını artırmak adına öngörülen ahşap küp karkasın her kenarı beş eşit parçaya bölünmüş ve ilmeklerin çekilebileceği noktalar bu noktalarla sınırlandırılmıştır. Karkas üzerindeki her noktaya alfanümerik bir kod atanmış, aynı zamanda tanımlı tüm ilmek noktaları numaralandırılmıştır. Bu şekilde üretilen farklı form alternatifleri için oluşturulan kod listeleri ile daha kontrollü bir süreç izlenmiştir (Şekil 3).

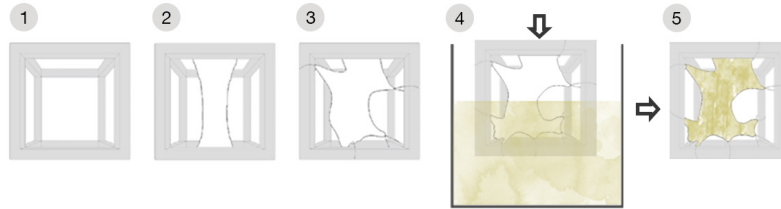


Şekil 3: Biçimin çekilen noktalara göre eşzamanlı olarak kendini adapte etmesi (Grasshopper modelinden alınmıştır)

Strüktürel geri dönüşler alınabilmesi için model 'Karamba' eklentisinin bileşenleriyle entegre çalıştırılmış, bu sayede ilmekler çekilip karkasa sabitlenerek oluşturulan form esnasında eş zamanlı olarak kabuğun genelinde meydana gelen yük dağılımını gözlemlemek mümkün hale gelmiştir. Analizler sonucu basıncın fazla olduğu sistemin altında kalan tüm ilmekler sabit ankraj noktaları olarak belirlenmiş ve metal bir tel yardımıyla birlikte çalışmaları sağlanmıştır ve alınan yük dağılım verilerine göre örgünün sıklaşıp seyrekleşebileceği bölgelere karar verilmiştir.

3.3 FİZİKSEL PROTIPLERİN ÜRETİLMESİ

Fiziksel prototipler yuvarlak örgü makinası ile 4 mm kalınlığında yün iplikler kullanılarak üretilmiştir. İpliğin kalınlığının ve örgü yönteminin belirlenmesi örgü makinasının kısıtlamalarına bağlı olarak şekillenmiştir. Atkılı örgü (weft knitting) yöntemi kullanılarak tübüler formda örülen tekstil 350mm * 350mm * 350mm ölçülerinde oluşturulan ahşap karkasa gerilerek sabitlenmiştir. İstenilen form tekstile ilmek noktalarından çekilip gerilerek verildikten sonra, daha önce malzeme deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda hazırlanan optimum çimento karışımına daldırılarak sabitlenmesi ve rijit bir hal alması sağlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: 1. Ahşap karkas, 2. Örgünün üst ve alt bölgelerinden karkasa sabitlenmesi, 3. Dijital ortamda üretilen kodlar doğrultusunda ilmeklerin karkasa çekilerek sabitlenmesi, 4. Beton karışımına daldırma, 5. Katılaşmaya bırakılan model

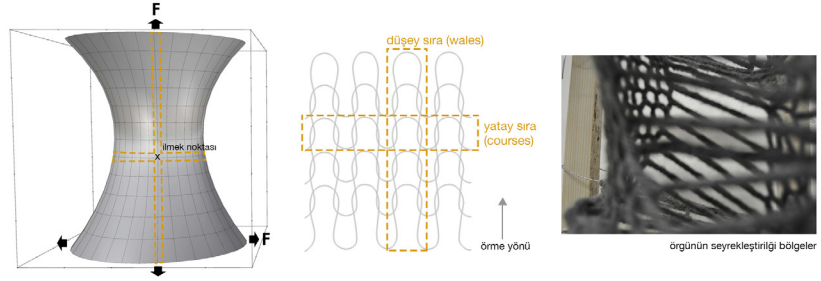
Tek tip örgü yöntemi ve aynı sayıda ilmek kullanılarak üretilen numunelerde, strüktürel simülasyonlardan alına yük dağılımları doğrultusunda örgü içinde kısmi olarak ilmekler atlatılarak açıklıklar oluşturulmuştur. Örgünün sıklaştığı veya seyrekleştiği bölgelerde yapılacak müdahaleler otomasyona bağlı olmadığı için atkılı örgü yönteminde ilmekler atlatılırken örgünün istenilenden daha çok açılması deformasyona sebebiyet vermesine rağmen deneyler kapsamında yuvarlak örgü makinesinin tercih edilmesinin üç temel sebebi vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Tübüler olarak üretilen form üst ve alt çember kesitlerinden sabitlendikten sonra yatay doğrultuda çekilerek deforme edileceği için yatay doğrultuda uygulanan çekme kuvvetine karşı maksimum esneklik ve elastiklik sağlamak,

2. Yatay doğrultuda sağlanan esneklikle karmaşık geometrilerin üretimine cevap verebilmek,

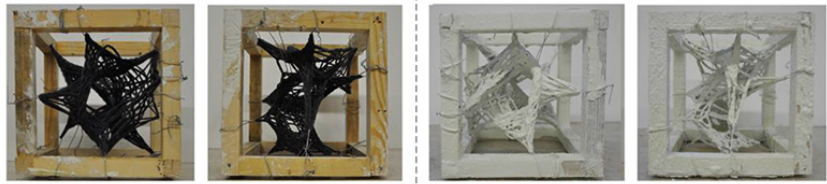
3. Makineden çıkan formun ayrıca bir dikim işlemine gerek duyulmadan tübüler olarak direkt üretilebiliyor olması ve bu sayede dijital ortamda üretilen model ile fiziksel model arasındaki tutarlılığın artırabilmektir.

Şekil 5: Atkılı örme tekniği ve örgünün seyrekleştirdiği bölgeler



getirilmesi için metallerin kaplanmasında kullanılan eloksal işlemine yakın bir havuzlama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde hazırlanan beton karışımlarına daldırılan karkaslara sabitlenmiş tekstil formlar, yarı akışkan formdaki betonu iplikleri üzerine tutarak, betonun bir kaplama gibi davranması sağlanmıştır (Şekil 6).

Şekil 6: Üretilen fiziksel prototipler: Beton karışımına daldırılma işleminden önce ve sonra



Beton karışımına daldırılan örülmüş tekstil formların iplikleri üzerindeki beton katmanı kururken yerçekiminin etkisiyle aşağı doğru birikim gösterdiği ve maksimum kalınlığa ulaştığı gözlemlenmiştir. Strüktürlerin alt kısımları maksimum basınca maruz kaldığı için bu bölgedeki betonun maksimum kalınlığa ulaşması strüktürün yük taşıma özellikleri açısından pozitif olarak değerlendirilmiş olsa da, betonun bu bölgede birikme durumu oluşturulan dijital model ve strüktürel analizlerde hesaba katılmamıştır. Dolayısıyla kontrol edilemeyen bir durum söz konusu olmuştur. Betonun kuruma aşamasında belirli bir süre yapmış olduğu akışı ve buna bağlı olarak formun yapılışını/oluşunu tam anlamıyla kontrol etmek ve müdahale edebilmek için sensörlerle entegre eş zamanlı bir gözlem mekanizması kurulması gerekli olacağından çalışma kapsamında betonun akışına müdahale etme göz ardı edilmiştir. Betonun yerçekimi ile strüktürün alt kısımlarında birikme davranışını simüle etmek adına dijital modele dönülüp ekstra bir yük girdisi tanımlanmış aynı zamanda alt bölgelerdeki strüktür kısımlarının kesit özellikleri (ip kalınlığı sabit olup çevresindeki beton kaplama kalınlığı verisi artırılarak) değiştirilmiştir. Bu şekilde simülasyon güncellenmiş ve dijital ortamdaki model ile fiziksel prototiplerin birbirleri ile tutarlılığını arttırma yoluna gidilmiştir.

4. SONUÇ VE TESPİTLER

Çalışma kapsamında üretilen fiziksel prototiplerin kendi ağırlıkları altında rijit bir şekilde durmalarının yanısıra üzerine gelen yüklere karşı beklenenden daha yüksek bir direnç gösterdikleri gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler, form aktif olarak çalışan örülmüş yün ipliklerin beton karışımı ile bütünleşmesi ve tek bir eleman olarak çalışması sonucu potansiyel bir yük taşıyıcılık özelliği edindiğini göstermektedir.

Özetle geliştirilen yaklaşım, betonarme kabuk strüktürlerde kalıp kullanımını elimine ederek, üretim maliyetleri ile yapım sürelerini minimize etmeye imkan verirken, daha sürdürülebilir strüktürel üretim süreçleri vaat etmektedir. Çalışmanın bütününden elde edilen verilerin, beton ince kabuk strüktürlerin form, malzeme ve strüktürel davranış bağlamında, karmaşık doğasına dair anlaşılabilirliğin gelişmesine katkıda bulunması öngörülmüştür. Önerilen yöntemin farklı ölçekte uygulanabilirliği söz konusu olduğunda, kullanılan ipin özellikleri, üretim yöntemi/kullanılan araçlar ve örme teknikleri tekrar değerlendirilmelidir. Başka bir yaklaşımla, üretilen fiziksel prototipler deneysel çalışma kapsamındaki ölçekte bırakılıp daha büyük ölçekli bir kabuk strüktürün bileşenleri haline gelebilir.

Çalışmanın bundan sonraki aşamaları için, farklı ip kalınlık ve çeşitleriyle çalışabilen, dijital modelden ve strüktürel simülasyonlardan alınan veriler doğrultusunda farklı dokularda ve sıklıklarda örgüler üreterek manuel müdahale gereksinimini ortadan kaldıran gelişmiş örgü makinelerinin ve ilgili yazılımlarının kullanımı hedeflenebilir. Bu şekilde daha kontrollü ve entegre tasarım ve üretim süreçleri elde edileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (2014). Shell structures for architecture: form finding and optimization (pp.1-5). Routledge.
- Beukers, A., & Van Hinte, E. (2005). Lightness: The inevitable renaissance of minimum energy structures, (pp.22-32). 010 Publishers.
- Bhooshan S., Van Mele T. and Block P. (2017). Equilibrium-aware shape design for concrete printing, Humanizing Digital Reality - Proceedings of the Design Modelling Symposium, 493-508. Springer Paris.
- Elmas S., & Alaçam S. (2018). Tekstil ve Betonun Biraradılığı Üzerine Deneysel Sorgulamalar. Betonart, (57), 78-83.
- Eriç, M. (2002). Yapı Fiziyi ve Malzemesi. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Kolarevic, B., & Klinger, K. (2008). Manufacturing material effects: rethinking design and making in architecture. Routledge s.103-118.
- Lloret, E., Shahab, A. R., Linus, M., Flatt, R. J., Gramazio, F., Kohler, M., & Langenberg, S. (2015). Complex concrete structures: Merging existing casting techniques with digital fabrication. Computer-Aided Design, 60, 40-49.
- Van Mele, T., & Block, P. (2011). A novel form finding method for fabric formwork for concrete shells. J. Int. Assoc. Shell and Spatial Structures, 52(217224), 31.
- Veenendaal, D., & Block, P. (2012). 35 Computational form-finding of fabricformworks : an overview and discussion. Proceedings of the 2nd International Conference on Flexible Formwork. University of Bath.

Url 1 <<http://gramazio-kohler.arch.ethz.ch/web/e/forschung/164.html>>

Url 2 <<http://adapa.dk>>

Url 3 <<http://www.block.arch.ethz.ch/brg/project/full-scale-construction-prototype-nest-hilo-shell-roof>>

A Node Pattern Approach in Categorizing General Form Typologies

Anday BODUR¹, Ethem GÜRER²

^{1,2} Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Creation of form in architectural practice has been historically a top-down process. However, the creation of form doesn't have to follow the conventional architectural process. There are also emergence-based approaches that evolve through reactions to the environmental factors, and some of these structures would fall under the vernacular category. This study focuses on how perceptible aspects of architectural forms can be used as a method to discern the actual quantitative characteristics through certain visual, simplified versions of forms, described in this article as "node patterns.". Patterns usually invoke the idea of two dimensional textures or sequences, but they can also be utilized to categorize architectural forms in certain archetypes. This way of describing complex architectural forms might offer certain advantages in finding out the qualitative properties of architectural forms, such as permanence, ease of construction, function, etc. This study puts forward the concept of "node" as the most primitive building block of a pattern. A node is defined as the most simplistic, discrete unit of a pattern, that can be easily identified by a user who's not technically educated as a designer or an architect. Patterns, which define certain architectural archetypes, are discussed in two different dichotomies: monolithic vs discrete, and regular vs random. These four qualities are then matched with three dimensional dichotomies like horizontal vs vertical, linear vs massive. Several real-world examples are discussed and the inherent qualities of the patterns are presented.

Keywords: nodes, patterns, emergence, imageability, archetypes

Received: 23.08.2019

Accepted: 06.09.2019

Corresponding Author:

andayb@gmail.com

Bodur, A. & Güre, E. (2019). A Node Pattern Approach in Categorizing General Form Typologies. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 65-86).

Form Kurguları Tasniflerinde Dügüm Örüntüleri Yaklaşımı

Anday BODUR¹, Ethem GÜRER²

^{1,2} İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Mimari pratikte form üretimi tarihsel olarak çoğunlukla yukarıdan-aşağı bir süreç olmuştur. Fakat, form üretimi her zaman geleneksel mimari süreci takip etmek durumunda değildir. Çevresel faktörlere verilen tepkilerle evrimleşen, belirme tabanlı form üretimi tipleri de bulunmaktadır ve bu şekilde üretilen kurguların bir kısmı vernaküler mimari kategorisine girmektedir. Bu çalışma mimari formların algılanabilir görsel özelliklerinin, “dügüm örüntüleri” adı verilen bir takım sadeleştirilmiş görsel formlar aracılığıyla, reel ve niceliksel özelliklerini ayırt etmek ve tasnif etmek için kullanılacak bir yaklaşımı ele almaktadır. Örüntü kelimesi çoğunlukla iki boyutlu doku ya da dizilimleri çağırırsa da, çeşitli arketipler içinde mimari formları tasnif etmek üzere de kullanılabilir. Karmaşık mimari formları bu şekilde tanımlamak, mimari formların kalıcılık, inşaat kolaylığı ve işlev gibi niteliksel özelliklerini ortaya çıkarmakta bir takım avantajlar sunabilir. Bu çalışma bir örüntünün temel yapı taşı olarak “dügüm” kavramını öne çıkarmaktadır. Dügüm, bir örüntünün tasarımcı ya da mimar gibi teknik bir eğitim almamış bir kullanıcı tarafından tanımlanabilen, en basit ve ayrık parçasıdır. Çeşitli mimari arketipleri tanımlayan örüntüler, bütünsellik ve parçalılık, rastlantısallık ve düzenlilik olmak üzere iki dikotomi içinde tartışılmıştır. Bu dört özellik daha sonra dikey ve yatay, lineer ve kütleli gibi boyutsal dikotomiler ile karşılaştırılmıştır. Bu özellikleri taşıyan gerçek, inşa edilmiş mimari örnekler ele alınmış ve örüntülerin kendilerine has özellikleri ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: düğümler, örüntüler, belirme, imgelenebilirlik, arketipler

Teslim Tarihi: 23.08.2019
Kabul Tarihi: 06.09.2019

Sorumlu Yazar:
andayb@gmail.com

Bodur, A. & Güner, E. (2019). Form Kurguları Tasniflerinde Dügüm Örüntüleri Yaklaşımı. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 65-86).

1. GİRİŞ

Form oluşumu, mimarlık pratiği bağlamından bakıldığında, ağırlıklı olarak yukarıdan-aşağı bir süreçtir. Tasarım, tekil bir müellifin bilinciyle şekillenen, nesnel, didaktik ve sürekli bir akış olarak kabul edilebilir. Bu tasarımın ortaya çıkardığı ürün ise, çoğu zaman yukarıdan-aşağı yaratım yöntemini yansıtan, katı ve tahmin edilebilir bir imgeye sahip olsa da zaman zaman farklı sonuçlar da ortaya çıkabilmektedir.

Buna karşılık, form oluşumu her zaman bilindik mimari pratik süreçle olmak durumunda değildir. Çevresel koşullara göre tepkisel olarak şekillenen, kategorik olarak vernaküler olarak da adlandırabileceğimiz, bir takım belirme ürünü yapılaşmalar da mevcuttur. Bunlara ek olarak, standart planlı tasarım süreçlerine karşılık, geometrinin planı takip etmediği, malzeme ile evrimleştiği form oluşumları da mümkündür. Özellikle vernaküler yapılar, formlar çoğunlukla malzemenin gerektirdiği gibi şekillenmiştir.

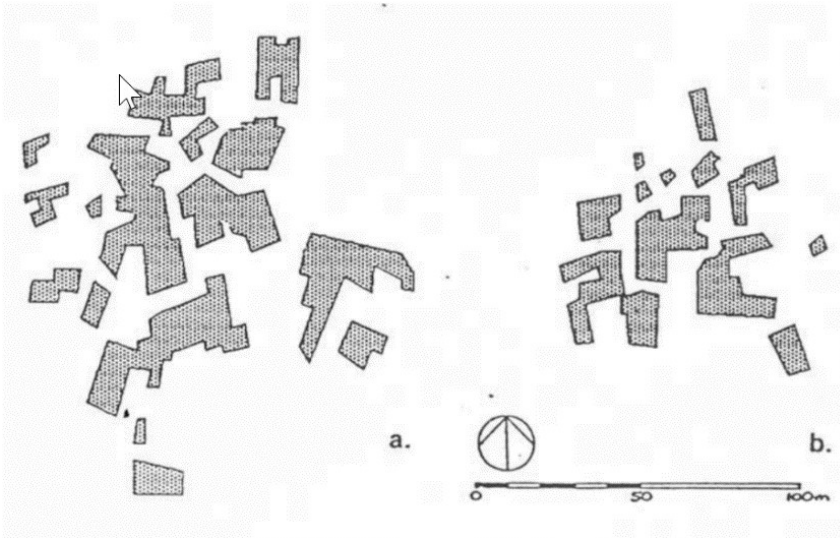
Mimari form bağlamında örüntüler, ağırlıklı olarak tek düzlemde, dokusal dekoratif öğeleri çağrıştırmaktadır. Öte yandan örüntü, birden çok düzlemde, üç boyutlu kurguları da tanımlayabilecek bir terimdir. Mimari formları örüntüler üzerinden tariflemek, bir formun kolaylıkla algılanabilen en temel noktalarını tanımlamak açısından bir avantaj teşkil edebilir. Bu çalışmada, örüntüleri oluşturan bu temel noktalar, “düğüm” olarak kabul edilmiştir. Düğüm kavramı, bu çalışma çerçevesinde, mimari ya da inşaat bağlamında teknik bir eğitim almamış bir insanın, genel geçer algısal tasnifleri aracılığıyla farkına varabildiği, bir kurgusal örüntüyü oluşturan en temel nokta olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında düğümler ve onların uzantısı olan örüntüler, mimari yazındaki dekoratif örneklerinden farklı olarak, tüm mimari kurguları tasnifleyebilecek, bir üç boyutlu endeks olarak düşünülmüştür.

Örüntüler, tanımları gereği birden fazla benzer alt ögenin oluşturduğu bir dizilimi tarifler. Mimari form oluşumlarında örüntüler, dekoratif ya da süsleme öğelerinin ötesinde, doğrudan kurgunun kendisini de oluşturabilirler. Öte yandan bu örüntülerin mimari formun karmaşıklığı nedeniyle okunması, diğer dekoratif örüntüler kadar kolay olmayabilir. Bu çalışma, mimari formların, bir takım temel düğüm örüntüleri üzerinden tasniflenmesi üzerine kuruludur. Tasnifleme, formları oluşturan bir takım temel tekrar eden öğeleri görsel olarak tanımlama ve daha sonra bu tekrarların nasıl okunduğunun tartışılması üzerine kurulmuştur. Mimari formların genel olarak sınıflandırılabilen örüntüler, bitişiklik/dağınıklık, düzenlilik/rastlantısallık dikotomilerinin oluşturduğu iki düzlemli bir grafikte ele alınmıştır. Bu skalaya oturan örüntüler, tek eksenli, iki eksenli, üç eksenli dizilimler olarak incelenmiş, bunlara ek olarak bu eksenlerin yatay ve düşey kurgularda ne gibi farklılaşmalara gittiği karşılaştırılmıştır. Bir sonraki adımda ise, tasniflenen örüntülere denk gelen mimari kurguların, işlev, kalıcılık, ilişkisellik ve üretim kolaylığı gibi nesnel özelliklerinin nasıl farklılaştığı tartışılmıştır. Düzenlilik/rastlantısallık ve bitişiklik/dağınıklık dikotomileri, mimari tasarımcıdan ziyade, herhangi bir insanın adlandırabileceği, öznel kategorilerdir. Bu öznel, örüntünün kolayca ta-

nımlanabilmesinin ön koşulu olan “imgelenebilirlik” sonucudur. Çalışmada örüntülerin açık ve net bir şekilde “okunabilmesi” için, mekânların örüntüleri oluşturan temel “düğümler” üzerinden tanımlanması, bu makalede hedeflenmektedir.

2. FORM OLUŞUMUNDA BELİRME VE DIZILIM

Modern toplumlarda, yapıların çoğu yukarıdan-aşağı tasarlanmaktadır. Gümüşkaya'ya (2019) göre bunun temel sebebi, insanın, -özellikle teknoloji çağı insanının- yerelin yanında bütüne dair farkındalığının doğadaki herhangi bir varlığa kıyasla çok daha gelişmiş olmasıdır. Bu farkındalığın gelişmesi, insanın basit bir etmen olduğu ilkel form üretiminden, kültürel bir müşterek müellifliğe geçiş süreci, ilk yerleşimlerden erken antik döneme kadar binlerce yıl sürmüştür. “Medeniyetin ve teknolojinin henüz mesleki özelleşmeyi ve bu tip araçları meydana getirecek kadar gelişmediği topluluklarına baktığımızda birçok yapı faaliyetinin doğadaki özkurgusal iptidai süreçlerden çok da farklı olmadığını görürüz. Örneğin, neolitik kentlere bakıldığında, karşımıza tepeden planlanmış değil de, tabandan türemiş organik kent dokuları çıkar” (Gümüşkaya, 2019).



Şekil 1: Ortaçağ'da kurulmuş iki yerleşimin plan lekeleri, Perrotet ve Les Yves (Hillier, 1989).

Özkurgusal yerleşim şemaları, hem Anadolu'da neolitik çağlarda (Mellaart, 1970) hem de Ortaçağ Avrupası'nda gözlenmiştir (Şekil 1). “Boncuklu Çember” (beady ring) biçimlenmesinin, dairesel aks çevresinde konumlanan yerleşim öbeklerinin, bilgisayar ortamında yapılan benzetimlere çok paralel ortaya çıktığı, tarihteki ilk “belirme” (emergence) örnekleri oldukları bilinmektedir (Hillier & Hanson, 1989).

Form oluşumunda belirme durumu, genellikle küçük alt parçaların farklı durum ya da koşullarda farklı şekillerde öngörülemeyen biçimde bir araya gelmesi ile meydana gelir. Vernaküler mimari form oluşumlarında “boncuklu çember” ya da benzeri bir dizilimin oluşabilmesi için önce bu dizilimi yaratacak tekil varlıkların (entity) oluşması ve bu varlıkların birtakım

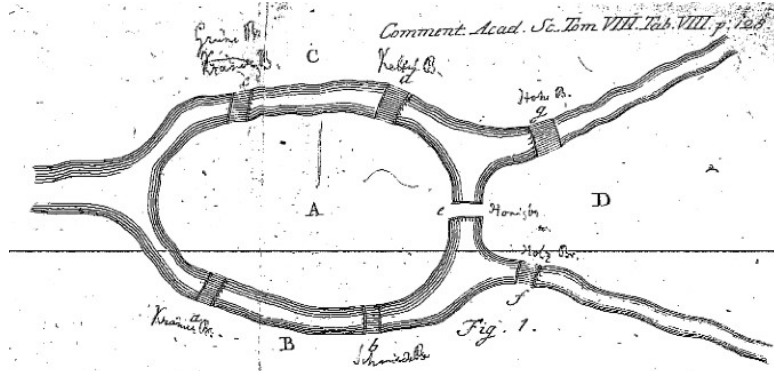
düzenler oluşturduğunun gözlemlenebilmesi gerekmektedir. Bu anlamda, bu tekil düğüm noktaları, formların daha gelişip artiküle edilmesi için gerekli birer sanal yapı taşları olarak kabul edilebilir.

3. MEKÂNSAL İMGELENEBİLİRLİK BAĞLAMINDA “DÜĞÜM” KAVRAMI

Mimari formun tanımı, 20. yüzyıl sonlarında dijital teknolojiler geliştikçe evrim geçirmiştir. Lynn, (1999) mimari formu durgun, atıl bir kurgu olarak değil, fikirsel olarak son derece yoğrulabilir, değiştirilebilir bir varlık olarak kabul etmiştir. Bu varlık, dış güçlerle dönüştürücü birtakım etkileşimler aracılığıyla, dinamik olarak “evrim geçirir.” Lynn ve çağdaşlarının sıklıkla değindiği ana fikir, mimarinin artık 20. yüzyıl ve öncesindeki gibi durağan, rijit yukarıdan-aşağı tasarım süreçleri ile değil, daha zamansal, evrimsel ve “belirme” kavramı üzerinden gelişeceğini savunmaktadır.

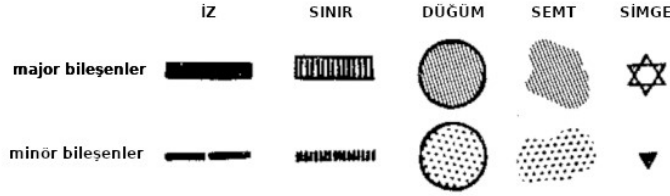
Öte yandan, mimari form oluşumunda zamansallığın öne çıkması, formların hareket üzerinden oluştuğu ya da yaratıldığı tezleri, beraberinde bir takım teorik tartışmaları da getirmektedir. Mekân eksenli mimarlıktan zaman eksenli mimarlığa evrimleşmede formun oluşum yöntemi değişebilir, buna rağmen form gerçek temellere dayanmaya başladığı zaman tekrar mekânsallaşmak zorundadır. Formun kuramsal perspektifteki bu belirsiz yapısının netleşebilmesi için kimi çözümlere ihtiyaç vardır. Hareketler formu oluştururken bir takım odak noktalarını takip etmek durumundadırlar, aksi takdirde çizgisellik oluşamaz. Çizgisellik, kullanıcıların algıladıkları mekânları belli örüntüler içerisinde okuyabilmesi için gereken bir önkoşuldur. Lynch, (1953) kent bağlamında bu fikri “imgelenebilirlik” olarak tanımlamıştır. Benzer bir durum, pekâlâ mimari formlar bağlamında da geçerli olabilir.

Çizgiselliği yaratan bu noktalar form oluşumunda mimari pratiğin dışındaki disiplinlerde “vertex”, “node” ya da “düğüm” olarak adlandırılmıştır. Matematik biliminde düğüm terminolojisi, çizge teorisi içinde tanımlanır. Çizge Teorisi, 1736’da İsviçreli matematikçi Leonhard Euler tarafından geliştirilmiş, objeler arasındaki matematiksel ilişkileri düğümler, kenar çizgileri ve yaylarla tanımlayan bir matematik alt dalıdır. Çizge teorisinin ilk olarak ortaya çıkışı “Königsberg’in Yedi Köprüsü” problemiyle olmuştur (Euler, 1741). Bu problem vasıtasıyla, gerçek topolojik bir yansıması olan mekânlar, sanal bir düğümler dizini olarak tariflenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Euler'in Königsberg'in köprülerini ifade etmek için çizdiği kroki.

Düğüm kavramı mimari literatürde Lynch'in kentsel tasarım ile ilgili yaptığı çalışmalarda da göze çarpmaktadır. Lynch'in ortaya attığı okunabilirlik (legibility) kavramına göre, bir kent, ilişkili örüntüler ve tanımlı semboller ile görsel olarak kavranabilir. Lynch (1953), kent imgesini, izler, sınırlar, semtler, düğümler ve kentsel simgeler olarak beş bileşene ayırmıştır (Şekil 3). Düğümler kentin içinde kullanıcının girebildiği, hareketlerinin geliş ve gidişlerinin odağı olan stratejik noktalardır. Dört yol ağızları, toplu taşıma durakları, yol kesişmeleri ya da bir kurgudan bir diğerine geçiş noktaları olabilirler.



Şekil 3: Kent imgelerinin temsilleri (Lynch'in "The Image of The City" isimli çalışmasından Türkçe'ye çevrilmiştir).

4. TEMEL BİR MEKÂN KURGUSU TEMSİLİ OLARAK "DÜĞÜM"

İnsan kurgusu yapı ya da formlar, aşağıdan-yukarı öğeler içerseler de, çoğunlukla net, sınırları açıkça belirlenmiş bağlamlar içerisinde oluşturulurlar.

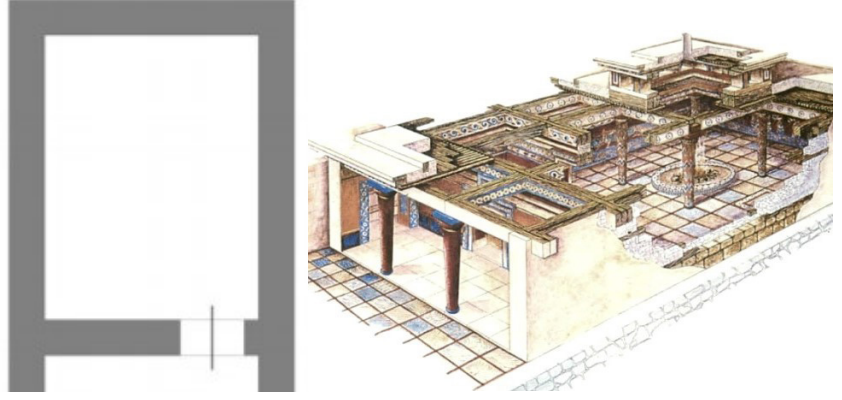
Fischer'a (1991) göre bütün inşa etme etkinliği, yerçekimine karşı gelen bir edimdir. Yerçekimi hep belli bir yönde işler, bundan dolayı, yatay ve düşey öğeler farklı yükler altında kalırlar. Bu yüzden de, taşıyıcıların içindeki farklı gerilim alanları (basınç, çekme ve eğilme gerilimleri, burulma) hep yönle ilintilidir. Bu nedenle mimari kurgular, çoğunlukla benzer formları takip ederler. Farklı coğrafyalardaki farklı jeolojik ve iklimsel koşullar, farklı yöresel malzemeler ve yapım teknikleri oldukça çeşitli görünümde mimari ürünlerin ortaya çıkmasına imkân verebilir, fakat "işlevsel kurgular" temelde aynı kalmak zorundadır, çünkü insanların hareket kabiliyetleri genel anlamda benzerdir. Bu nedenle insan yapımı mimari kurgular, temel formlarına indirgendiklerinde tasniflenebilir benzerlikler gösterirler. İnsan kurgusu formlar, insanın tasarıma "yukarıdan-aşağı" yaklaşımı ve genel pragmatik temayülleri nedeniyle belli bir "düzen ve ahenk" içine otururlar.

İnsan hareketlerinin sınırları, doğal yollarla sadece iki düzlemde hareket edebilmelerini tarifler. Sadece X ve Y düzlemlerinde işlev konuşlandırabilen bir kurgu-yapıcı doğal olarak net ve kararlı işlev örüntüleri belirlemek isteyecektir. Kullanıcının ayrık bir form olarak algılayabildiği en temel geometriyi bir "düğüm" olarak adlandıırırsak, bilinen en temel mimari kurgu olan megaron, gerçek anlamda tekil bir düğümü teşkil ettiğini kabul etmek mümkündür.

Megaron, bir yandan, mümkün olan en temel mimari kurguyu belirlerken, diğer yandan ise, insanların farklılaşan ihtiyaçlarının çoğuna cevap verememektedir. Sadece Frigya'nın (bugünkü iç Anadolu) yüksek ovalarında bulunan tekil megaronların bile 6 farklı tipolojisi bulunmaktadır (Erarlan, 2015).

Şekil 4 (Sol): Megaronun basit temsili.

Şekil 5 (Sağ): Mikanos megaronu perspektifi (Url-01).



Megaron, en temel mimari geometrik kurguyu ifade eden bir düğüm noktasını temsil ederken, daha karmaşık kurgular, düğüm noktalarının farklılaşmış örüntü dizilimleri aracılığıyla ifade edilebilir. Düğümler arasındaki yakınlık ve uzaklıklar, dizilim düzeni ve tekrar sekanslarının okunabilirliği, kullanıcılar tarafından okunabilir bazı arketiplerin oluşmasına olanak sağlar (Şekil 6).

Şekil 6: Düğüm örüntüleri, okunabilir mimari kurguların soyut bir şekilde ifade edilmesine olanak sağlar.



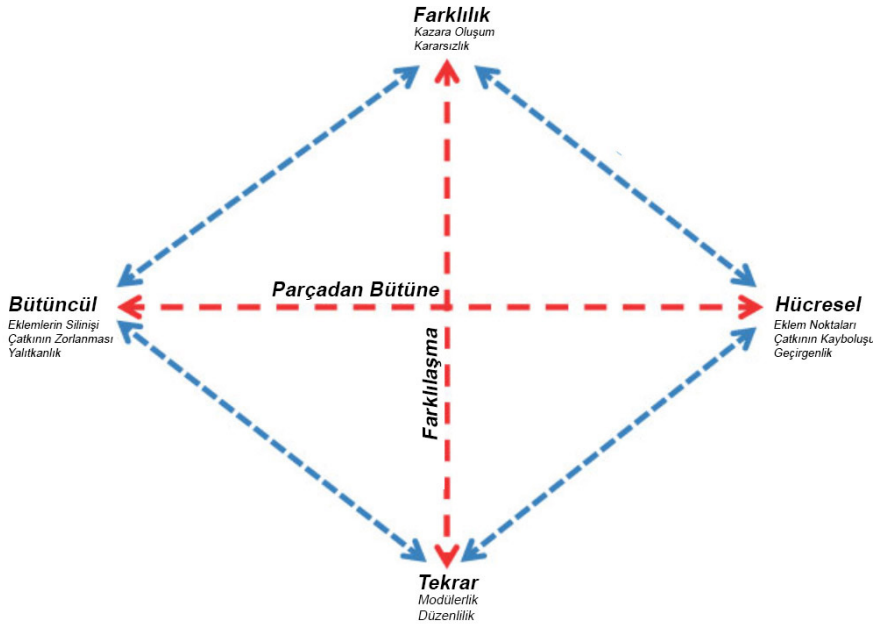
5. DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİNDE TOPOLOJİK DİKOTOMİLER

Lynch'in (1953) kentsel tasarım kapsamında ele aldığı "imgelenebilirlik" (imageability), mimari kurgular bağlamında düğüm örüntülerini kendi içinde tasniflememiz için bize yol gösterebilir. Kullanıcıların çeşitli işlevler için hedef belirledikleri, toplandıkları ya da yoğunlaştıkları bir noktayı düğüm olarak tanımlarsak, mimari kurguları da kentsel öğelerin tasnif edildiği çalışmalarda olduğu gibi, çeşitli düğüm örüntülerine indirgemek mümkün olabilir.

İmgelenebilirlik ile paralel bir gözlemi Piaget de yapmıştır. Çocuklarla ilgili çalışmalarında, insanın henüz bir tedrisattan geçmemiş saf durumunda, mekânı nasıl algıladığına dair ipuçlarını ortaya çıkarmıştır. Piaget'ye (1956) göre çocuk, mekânı kavrarken, herhangi bir izdüşüm yapmakla ya da Öklid türevi bir düzenlemeyle işe başlamaz, tersine, bazı temel ilişkiler kurar ve bunları kullanır – "bitişik ve ayrık", "sıralı", "çevreleyici", "süreklili" gibi. Bu topoloji eksenli kavramlar, mekânın kuramsal olarak yeniden kurgulanmasındaki temeller olarak görülürler.

Zaera-Polo (2009), benzer bir gözlemden bulunmuştur. Zaera-Polo'ya göre, yapılar, farklılık- tekrar, bütüncül-hücresele eksenleri içerisinde konumlanan örüntüler ile tasniflenebilmektedir (Şekil 7). "Farklılık" kutbu, kazara oluşum, kararsızlığı, "Tekrar" kutbu ise modülerlik ve düzeni kapsamaktadır. "Hücresellik" kutbu, eklem noktalarını, çatkısızlığı ve geçirgenliği, "Bütünsellik" kutbu ise çatkıyı, eklemelerin kayboluşunu ve ya-

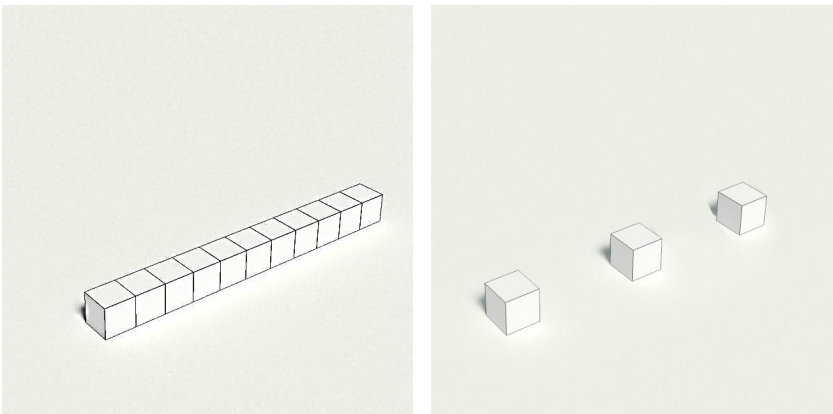
İtkanlığı temsil etmektedir. Zaero-Polo, bu tasniflerin geometrik dışavurumları ötesinde, politik dışavurumları olduğunu da belirtmiştir.



Şekil 7: Zaero-Polo'nun "Patterns, Fabrics, Prototypes, Tessellations" makalesinden çevrilmiştir.

5.1. DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİNDE BÜTÜNSELLİK VE PARÇALILIK

Mimari yapı kurgularını incelediğimizde, belirgin üç farklı dikotomide imgelenebilirlik özellikleri gösterdikleri anlaşılabilir. Bunların ilki bütünsellik ve parçalılıktır (Şekil 8 ve 9). Yapılar, işlev düğümlerinin kurgularına göre tekil, monolitik bir görünüm veren sıkı dizimli düğümler ya da ayrık, dağınık bir görünüm veren parçalı düğümlerden oluşurlar. Fischer'a (1991) göre yakınlık ilişkisiyle, iki cisim arasında bir bağlantı ve bir gerilim kurulur. Bu bağlantı ya da gerilim, cisimlerin arasındaki mekânı doldurur, bir ara mekân yaratır. Nesnelere birbirine ne kadar yaklaşırsa, ara mekân o kadar yoğunlaşır, gerilim o kadar artar, ancak sonunda cisimler birbirine değer ya da bitişirse, gerilim alanı çöker, ara mekân yok olur.

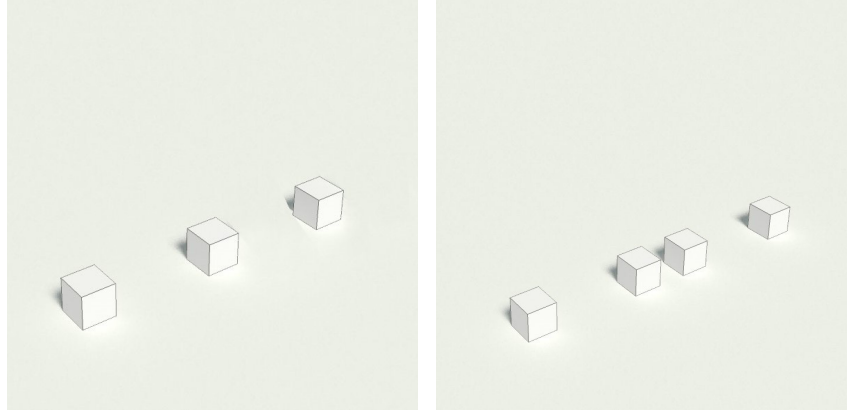


Şekil 8 (Sol): Bütünsel bir örüntü temsili.

Şekil 9 (Sağ): Parçalı bir örüntü temsili.

5.2. DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİNDE DÜZENLİLİK VE RASTLANTISALLIK

Mimari kurguları oluşturan işlev düğümlerinde en belirgin ikinci dikotomi, düzenlilik ve rastlantısallıktır. İşlev düğümleri, basitçe kendini tekrarlayan bir yapıda olduğunda, görsel olarak düzenli olarak algılanırlar (Şekil 10). Düğümler, açıkça anlaşılamayan bir örüntüye sahiplerse, düzensiz, ya da rastlantısal olarak algılanırlar (Şekil 11). Bu onların gerçekte rastlantısal olarak bu kurguya ulaştığını belirtmek zorunda değildir, fakat imgelelenebilir karakteristikleri, kullanıcıların onları bu şekilde algılamalarına neden olur.



Şekil 10 (Sol): Düzenli bir örüntü temsili.

Şekil 11 (Sağ): Rastlantısal bir örüntü temsili.

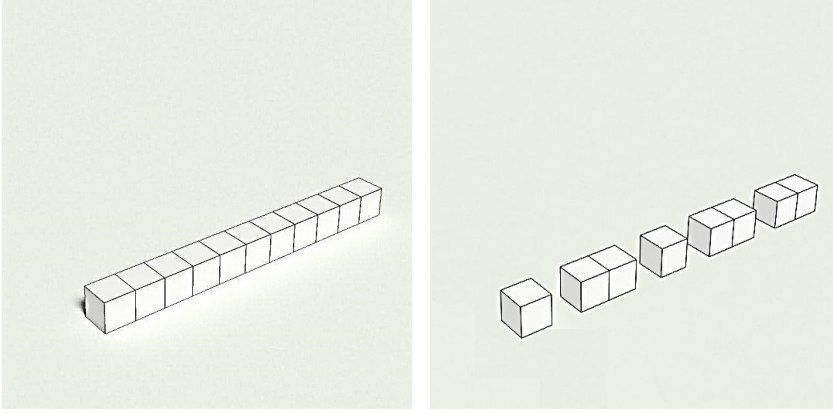
5.3. DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİNDE TEKDÜZELİK VE BİÇİM GRAMERLERİ

Mimari kurguları oluşturan düğümlerde ortaya çıkması mümkün olan, fakat kullanıcılar tarafından algılanmaları çok zor olan bir diğer örüntü ise, aslında bir biçim grameri tipi olan L-Sistemlerden oluşan kurgulardır. Lindenmayer sistemleri olarak da bilinen L-sistemleri (Çizelge 1), 1968'de Aristid Lindenmayer'in bitki hücrelerinin gelişim ve büyüme benzetimlerini gerçekleştirmek için geliştirdiği, bir yeniden yazma yöntemi ve biçim grameridir (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1996). Lindenmayer'in bir yosun gelişimi benzetimi için ürettiği bir L-Sistem şu sonuçları üretir:

Tablo 1. Çizelge 1. A, B, Açıları A, Kurallar (A → AB), (B → A)

Yeniçer	Yeniçer
a 0	A
a 1	AA
a 2	AAA
a 3	AAAA
a 4	AAAAA
a 5	AAAAAA

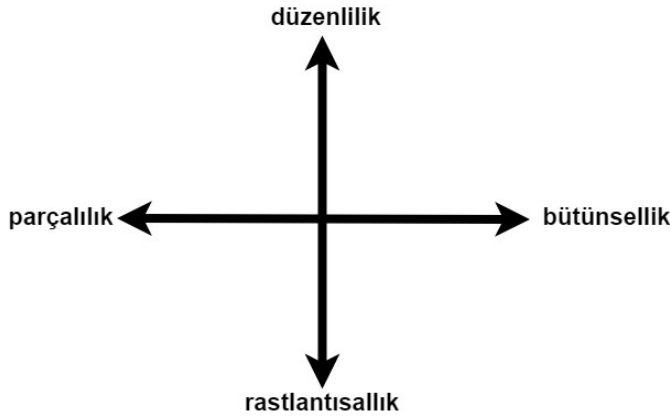
Bu bağlamda dikotomi, kendini sürekli tekrarlayan “tekdüze” bir örüntüye karşılık (Şekil 12), kendi içinde kuralları olan, kurallar sonucunda oluşturduğu kurgunun temel parçası rastlantısal görünen, fakat örüntünün tamamının bir L-sistemi tanımladığı ikilikler olabilir (Şekil 13).



Şekil 12 (Sol): Kendini tekdüze bir şekilde tekrarlayan bir örüntü temsili.

Şekil 13 (Sağ): Basit bir L-Sistem örüntüsü temsili.

Bu nedenle, L-sistemleri de düğüm örüntülerini tanımlayan dikotomi içerisinde kabul etmek mümkündür, fakat mimari kurguların algılanması söz konusu olduğunda, “okunurlukları” olmadığı, örüntülerin tasnifine eklemek uygun olmayacaktır. Standart bir mimari yapının işlev şeması, bir L-sistemin üreteceği formun çoğu zaman dışına çıkacağı için, basit örtü tipi kurgular, ya da obje-eserlerin dışında açıkça tanımlanabilir bir L-sistem örüntüsü ile karşılaşmak neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, örüntülerin karakteristiklerini sadece iki eksen üzerinde göstermek mümkündür (Şekil 14).



Şekil 14: Örüntü varyasyonlarının yerleştiği karakteristik eksenleri.

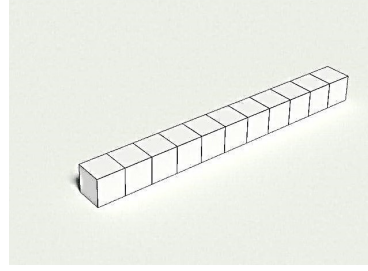
Düğüm örüntüleri, bu iki dikotomi arasında sıkışıyor gibi gözükseler de, kendi içlerinde X, Y, Z eksenlerinde çizgisellik, düzlemsellik ve hacimsellik özellikleri ile pek çok farklı varyasyona ulaşırlar. Tekil bir ekseninde oluşan dizilimler, en temel örnekleri ortaya çıkarırken, iki eksen ve üç eksenli oldukça karmaşık mimari kurguları temsil edebilirler.

6. DÜĞÜM ÖRÜNTÜSÜ FENOTİPLERİ

6.1. TEK EKSENDE DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİ

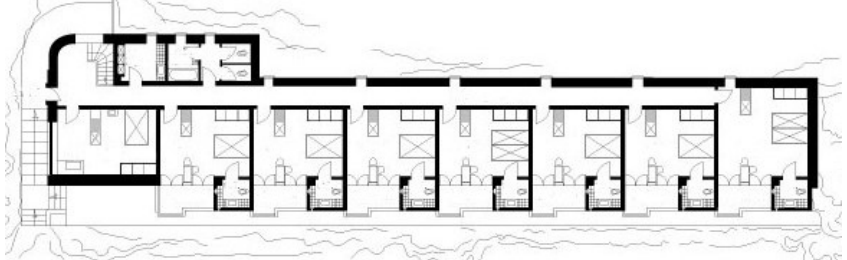
İnsanların her ihtiyacına tekil bir düğümün cevap veremeyeceğinden ötürü, mimari kurgular birden fazla düğümün farklı örüntüler içerisinde bulunduğu fenotiplere evrimleşmiştir. Bu örüntülerin en temel fenotipi, tek eksende, bütünsel ve düzenli örüntülü fenotiptir (Şekil 15). Bu fenotip

temel megaron formunun çoğaltılması ile konut türevi kurgularda da ortaya çıkabilir, fakat asıl tezahür ettiği örnekler konut dışındaki işlevlerde, eğitim, sağlık ve konaklama yapıları gibi kurgulardır.



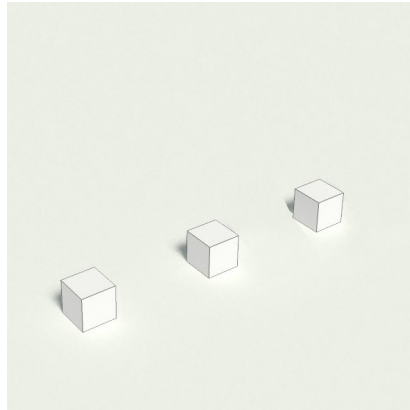
Şekil 15: Bütünsel ve düzenli örüntülü fenotipinin basit bir temsili.

Bütünsel ve düzenli örüntü fenotipinin ana ayırt edici özellikleri, düğüm işlevlerinin “benzer ve birbiri ile ilişkili” olmasıdır (Şekil 16). Bu fenotipin özellikle eğitim, sağlık ve konaklama yapılarında ortaya çıkmasının ana sebebi ise yüksek yoğunlukta kullanıcının benzer işlev düğümleri arasında hareket etmesine kolaylık sağlaması ve lojistik olarak imal edilmesi kolay bir kurgu olmasıdır. Bu fenotipin diğer bir ayırt edici özelliği ise, imalat basitliğine rağmen kullanım açısından kalıcı olmasıdır.



Şekil 16: Hotel Nord-Sud, André Lurçat, 1929, Calvi, Korsika (Eisenman, 1982) (Url-02)

Tek eksenli örüntü fenotiplerinde yaygın olan bir diğeri ise parçalı ve düzenli örüntü fenotipidir (Şekil 17). Bu fenotipin en belirgin olarak tezahür ettiği kurgu müstakil konutlar ya da geniş kapsamlı toplu konut planlarıdır. Müstakil konut sıraları, benzer fakat işlevsel olarak birbirinden ayrı bir düğümler dizinini temsil etmektedir. Bu fenotip, lojistik ve altyapısal olarak imalata çok elverişli olması ve kullanıcıların kişisel alanları olarak kullanabilecekleri tampon boşluklara izin vermesinden dolayı, ayrı konut arketiplerinde sıkça ortaya çıkar (Şekil 18). Genel olarak, parçalı ve düzenli örüntülü konut yerleşimleri, çoğu kentsel planlamanın temel taşlarını oluşturur. Bu fenotipin asıl ayırt edici özelliği, kalıcılıktır. Kendine özgü geometrik kurgusu, çevre bağlamı ikinci plana attığını işaret eder.

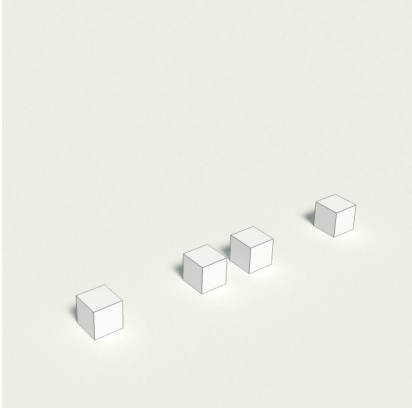


Şekil 17 (Sol): Parçalı ve düzenli örüntülü fenotipinin basit bir temsili.

Şekil 18 (Sağ): Nagele, Hollanda'da savaş-sonrası banliyö konut oluşumu (Url-03)



Tek eksenli örüntü fenotiplerinde görece olarak en nadir rastlananı ise, düzensiz ya da rastlantısal örüntülü fenotipidir (Şekil 19). Bu noktada “düzensiz” olarak tanımlanan örüntü, işlev düğümlerinin bağlamdaki doğal dağılımlarını takip etmesiyle oluşabilir. Buna ek olarak “rastlantısallık”, örüntünün kurgusunu oluşturan kullanıcıların herhangi bir tepeden inme şemayı takip etmemelerinden dolayı da meydana geliyor olabilir. Bu gibi durumlarda kullanıcılar yarattıkları kurguyu kendi içlerinde takip ettikleri kimi koşullara göre belirlerler (Şekil 20). İşlev düğümlerinin birbirlerine olan yakınlık ya da uzaklığı, benzer işlevlerin yakın, farklıların ise uzak konumlanması buna örnek olabilir.



Şekil 19 (Sol): Düzensiz ya da rastlantısal örüntülü fenotipin basit bir temsili.

Şekil 20 (Sağ): Bratislava'da bir bitpazarı. (Url-04)

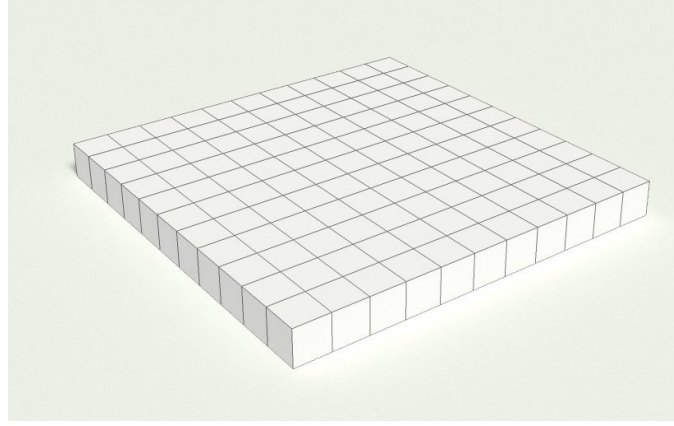
Bu fenotipler, çoğu zaman önceden belirlenmiş şemaları izlemedikleri ve kendi iç dinamikleri ile oluştukları için aşağıdan-yukarı üretimlere en açık olan örüntülerdir. Bu örüntülerin ayırt edici özellikleri, işlevsel olarak ayrılmak, geçicilik ve tekrar kullanılma- yer değiştirme gibi olgulara açık olmalarıdır. Geçicilik ve tekrar kurulabilme gibi özellikler, sıklıkla pazar yeri, fuar ya da panayır alanı gibi işlevlerde tezahür ederler. Bu fenotiplerin bir diğer ayırt edici özelliği de altyapıdan bağımsız olarak tasarlanabilmeleridir. Pazar alanı örüntüsü örneğinde görülebileceği üzere, satış birimleri işlev düğümlerini temsil etmektedir. Bu düğümler sabit bir eksen takip etseler de kendi içlerindeki bütünsellikleri ve parçalılıkları görece olarak rastlantısal oluşmuştur.

6.2. ÇİFT EKSENDE DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİ

İşlev yoğunluğu arttıkça ve kullanım amaçları karmaşılaştıkça, işlev kurguları da doğal olarak tek eksenin ötesine geçmek zorundadırlar. Genel olarak tüm tek katlı mimari kurgunun temelini çift eksendeki işlev örüntüleri oluşturur.

Düzenli ve bütünsel örüntü fenotipi sabit pazar alanı, kapalı fuar alanı, kapalı depo alanı gibi alan kullanımının sınırlı ve kontrollü olması gerektiği durumlarda karşımıza çıkar (Şekil 21).

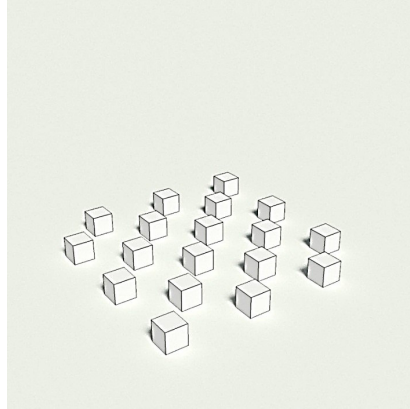
İşlevlerin benzerliği bu fenotipin ayırt edici özelliğidir. Bu fenotipin tezahür ettiği durumlar, statik, katı bir bağlamda, dinamik, değiştirilebilir fakat düzenli bir kurgu gerektiren durumlardır. Bu nedenle “istiflenme” metaforunun yatay düzlemde bir tezahürü olduğunu söylenebilir.



Şekil 21: Çift eksenli bütünsel ve düzenli örüntülü fenotipin basit bir temsili.

Çift eksenli parçalı örüntüler ise daha büyük ölçekli planlarda sıkça karşılaşılan bir örnektir (Şekil 22). Tekrar eden benzer işlev düğümleri, geniş fuar kompleksleri, depo ya da sanayi yapıları, askeri kamp alanı gibi büyük formlara ihtiyaç duyan fakat kendi içinde özelleşmemiş, temel prizmatik sınırlarda kalan kurgularda tezahür ederler (Şekil 23).

Bu tip fenotiplerin ayırt edici özelliği bağlama adapte olmaktan çok bağlamı ve altyapıyı da kendi ihtiyaçlarına göre şekillendirmektir. Bu kurgu fenotipi, lojistik ve imar kolaylığı açısından rastlantısallıktan alabildiğine uzaktadır.



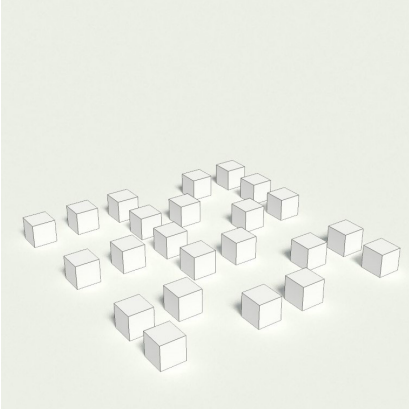
Şekil 22 (Sol): Çift eksenli parçalı ve düzenli örüntülü fenotipinin basit bir temsili.

Şekil 23 (Sağ): Messe München, Almanya'da bir fuar tesisi vaziyet planı (Url-05).



Çift eksenli örüntülerde “düzensiz” yer alan rastlantısal fenotipler, plan kurgusunun katı olmadığı, kullanıcıların işlev düğümlerini kendi önceliklerine göre belirlediği durumlarda tezahür ederler (Şekil 24). Serbest alanlı fuarlar, panayır ya da müzik festivali gibi oluşumlar bu tip fenotiplere iyi birer örnek oluşturur (Şekil 25). Bu örneklere ek olarak, konar-göçer toplumların kurdukları geçici mekânlar, yörük çadırı ya da yöresel tipi çadırları gibi hafif kurgulardan oluşan yerleşimler de bu fenotiplere örnek teşkil edebilir. Düzensizlik, geçicilikle bağlantılı bir kavramdır ve örüntülerin buldukları bağlam ile doğrudan ilintilidir.

Aşağıdan-yukarı üretimsel yöntemlere en uygun örnekler bu çift eksenli kurgularda ortaya çıkmaktadır. Bu fenotipin en önemli ayırt edici özelliği, geçicilik ve tekrar kullanılabilirliktir. Bunlara ek olarak, altyapıdan bağımsızlık, hafiflik de ikincil özellikler olarak sayılabilir.

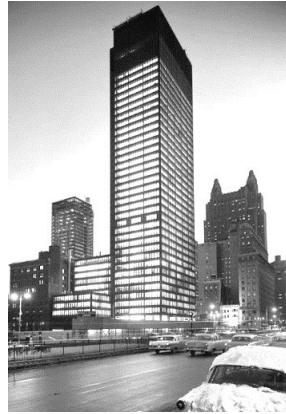
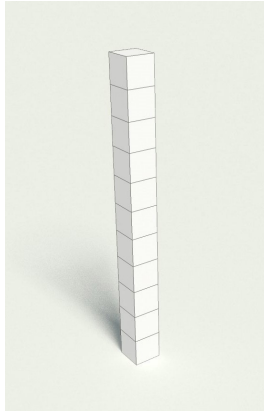


Şekil 24 (Sağ): Çift eksende düzensiz ya da rastlantısal örüntülü fenotipin basit bir temsili.

Şekil 25 (Sol): Bir çizgi roman fuarı, Hindistan (Url-06).

6.3. DÜŞEY EKSENDE DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİ

Diğer fenotiplerden farklı olarak düşey eksende örüntüler, oldukça tanımlı, kısıtlı işlevli mimari kurguları tarif ederler (Şekil 26). Bunun başlıca nedeni, insanın doğal hareket sınırlarının iki eksen içinde kalmasıdır. Bu da, düşey eksende yapılan her kurgunun açıkça önceden planlanmış, kesin bir tasarımın ürünü olmasına sebebiyet verir. Bu tip kurguların ayırt edici özellikleri, daimilik, katılık ve yukarıdan-aşağı tasarım ürünü olmalarıdır.



Şekil 26 (Sağ): Düşey eksende bütünsel ve düzenli örüntülü fenotipin basit bir temsili.

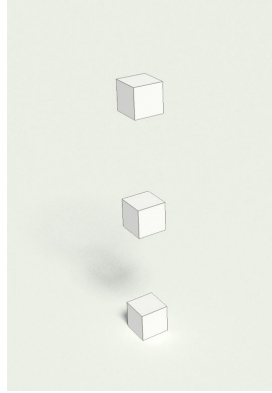
Şekil 27 (Sol): Seagram Binası, Mies van der Rohe, Şikago, A.B.D. (Url-07).

Düşey eksende örüntülerin en sık rastlanılanı bütünsel örüntü fenotipidir. Tüm temel ofis / apartman arketipleri bu fenotipin tezahürü sayılabilirler (Şekil 27). Bu fenotipin bu denli sık rastlanması lojistik ve imar anlamında avantajlı olmasıdır. Düşey eksende yükselen yapılar, kent ölçeğinde yer kazandırdığı için, inşaat bağlamında ise düşey çizgide farklılaşmadan kaçındığı için avantaj sağlarlar. Bu fenotipin ayırt edici özelliği, düğüm işlevlerinin benzer ve birbiri ile ilişkili oluşudur.

Mies van der Rohe tasarımı Seagram binası, modern mimarinin önemli örneklerinden biridir. Mies'in düşey kurguya yaklaşımı, sadece inşaat tekniği bağlamının ötesinde, görsel bağlamda da kendine hastır. Mies, adeta "imgelenebilirliği" bir ilke gibi görmüş, taşıyıcı strüktürün parçası olan L kirişlerini her noktada aynı boyutta tutmuştur. (Carpo, 2004) Bu bazı bölgelerdeki kirişlerin olmalarından fazla büyük olduğu anlamına gel-

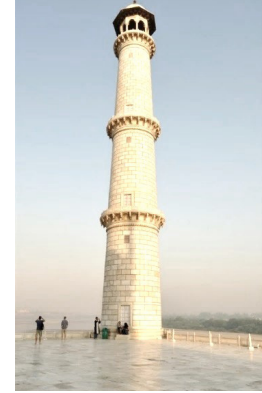
mektedir. Formun işlevi sıkı sıkıya takip ettiği modernist kurgularda dahi, detaylara inildiğinde “imge” zaman zaman öne geçebilmektedir.

Düşey eksende parçalı örüntüler, temsil ettikleri geometriler nedeniyle, oldukça özelleşmiş kurgulara işaret ederler (Şekil 28). Minareler, gözlem kuleleri, radyo kuleleri gibi son derece belirli işlevi olan kurgular bu fenotipin tezahürleridir (Şekil 29). Düşey eksende parçalı örüntüler, lojistik ve altyapısal olarak da, insanın doğal hareket sınırları açısından da olağandışı bir fenotiptir.



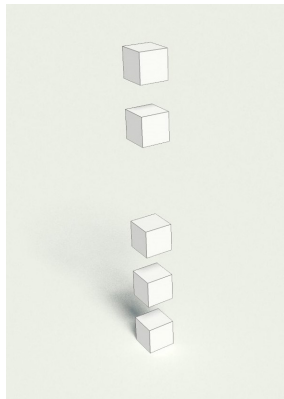
Şekil 28 (Sağ): Düşey eksende parçalı ve düzenli örüntülü fenotipin basit bir temsili.

Şekil 29 (Sol): Taj Mahal'in dört minaresinden biri, Hindistan (Url-08).



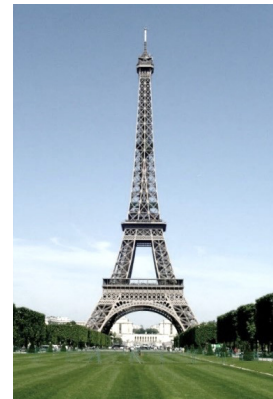
Düşey eksende “düzensiz” ya da “rastlantısal” örüntülü fenotipler, ya rasyonel planlamanın ötesinde (sanat eserleri, yerleştirme vb.) ya da var olan doğal bağlama altyapısal olarak uyum sağlama gerekliliğinden ortaya çıkmış kurgulardır (Şekil 30). Yüksek bitki yoğunluğunun ya da arazi topoğrafyasının özelleşmiş mimari kurguları zaruri kıldığı, gözlem platformları, radyo kuleleri, ya da düşey ulaşım için kullanılan bir takım tırmanma strüktürleri, bu kurgulara örnek gösterilebilir.

İşlev düğümlerinin alışlagelmiş serileri takip etmemesi, inşaatta zorluk yaratabileceği gibi, daha önceden deneyimlenmemiş, özgün bir takım tasarım nesne-kurgularının ortaya çıkmasına da olanak sağlayabilir. Bu fenotipin ayırt edici özelliği işlevsel ayrıksılıktır.



Şekil 30 (Sağ): Düşey eksende düzensiz ya da rastlantısal örüntülü fenotipin basit bir temsili

Şekil 31 (Sol): Eyfel Kulesi, Paris, Fransa (Url-09).

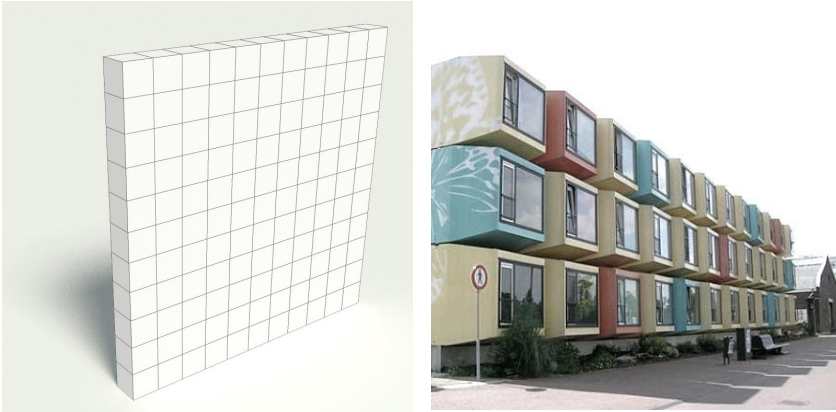


Eyfel kulesi standart dışı örüntü fenotiplere bir örnek teşkil edebilir (Şekil 31). Yatay düzlemler, önceden belirlenmiş katı işlevlerden çok, strüktürel olarak neler başarılabilir araştırılırken ortaya çıkmış bir kurgunun yan ürünleridir. Eyfel kulesi, 1889 “Exposition Universelle” fuarı için inşa edilmiş, geçici olarak tasarlanmış, fakat daha sonra kalıcı bir yapı olarak korunmuştur.

6.4. ÇİFT EKSENDE DÜŞEY DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİ

Düşey örüntülü kurgular, çift eksende ortaya genel olarak karmaşık işlevli yapılardan ziyade, eklentiler, örtüler ya da pavilionlar olarak görünür olurlar. Gerek bütünsel örüntülü, gerek parçalı örüntülü olsun, çift eksenli düşey bir fenotip, benzer yatay bir fenotipten çok farklı bir kurgu arketipini işaret eder. Bunun başlıca nedeni, ortaya çıkan geometrinin hacimsel kısıtlarıdır. Bu kategorideki kurguları, çoğu zaman tali kurgular olarak nitelemek mümkündür. Çift eksende düşey düğüm örüntülerinin kısıtlayıcı geometrileri, onları başka bir kurguya bağımlı, simbiyotik bir ilişkiye iter.

Bu tip kurgular, çoğu zaman kendi başlarına işlevsel bir yapıyı tanımlayamazlar, buna rağmen açıkça görülebilen bir “imgelenebilirlikleri” mevcuttur. Çift eksenli düşey örüntülerde, bütünsel kurgu doğal olarak bir duvar metaforunu belirtir. Duvar, tek başına bir işlev düğümünü temsil edemez, fakat duvar gibi dizilmiş bir düğümler yığını, bu fenotipe örnek olabilir (Şekil 32). Delft’te öğrenci yurtlarındaki oda yetersizliğini kapatmak için, “kurulan” Space Box, geçici olarak planlanmış, fakat zamanla sıra dışı tasarımı nedeniyle kampüsün bir simgesi haline dönüşmüştür (Şekil 33). Yine de bu popülerliği, kurgusunun doğasında olan geçiciliği yenememiştir. Space Box yapısı, öğrenci yurdunun ihtiyaçlarına cevap veremediği için “kurulduktan” 15 sene sonra kaldırılmıştır (Url-10).



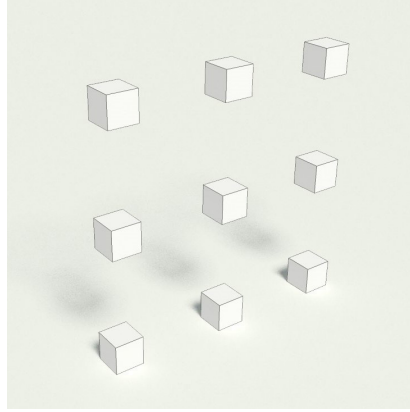
Şekil 32 (Sol): Düşey, çift eksenli, bütünsel ve düzenli örüntülü fenotipin basit bir temsili.

Şekil 33 (Sağ): Space Box, Öğrenci Yurdu Binası, Delft, Hollanda (Url-11).

Çift eksenli, parçalı düşey kurgular, duvar metaforunun bir uzantısı olarak, duvarı sarmalayan tali kurgular olarak karşımıza çıkabilir (Şekil 34). Bu formların ötesinde, özellikle bu dokuda tasarlanmış pavillionlar, ya da kurgu-nesne olarak da karşımıza çıkabilirler. Georges Candilis tarafından tasarlanan Casablanca masterplanı dâhilinde uygulanan “Cité Verticale” konut bloğu, kendine has balkon tipolojisi ile öne çıkmaktadır (Şekil 35). Balkonların parçalı ve düzenli bir örüntüde olması ancak bağlı oldukları ana blok sayesinde mümkündür. Candilis’in tasarımı, özellikle açık bir örüntü fenotipi amaçlanarak tasarlanmış gibi dursa da, aslında balkonların gölge verme işlevi gözetilmiştir.

Candilis’in tasarımındaki bu sıra dışılığın bir strüktürel kısıta dayanmaması, daha çok görsel bir etki ve gölgelenme için yapılmış olması, kurgunun kaderini de değiştirmiştir. Bugün, “Cité Verticale” projesindeki “arı kovanı” örüntüsü balkonların arasındaki tüm boşluklar doldurularak dairelere katıl-

mış, binanın karakteri tamamen bozulmuştur (Şekil 36). Casablanca master planındaki binaların pek azı orijinal tasarımlarına benzemektedirler (Ferrante ve diğ., 2011).



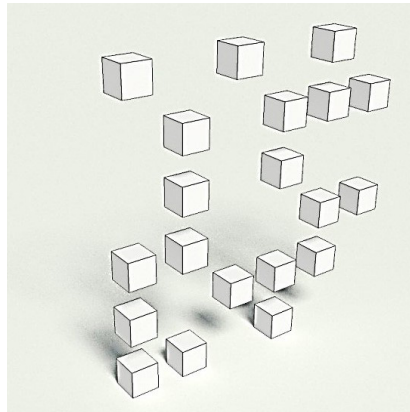
Şekil 34 (Sol): Çift eksenli parçalı ve düzenli örüntülü fenotipin basit bir temsili.

Şekil 35 (Sağ): G. Candilis tasarımı "Cit  Verticale" konutları, Casablanca (Url-12).



Şekil 36: Cit  Verticale konut projesinin inşaatından 30 sene sonraki durumu (Url-12).

Geometrik olarak nizami bir ayrıklık, düşey yapılarda pek rastlanılmamakla beraber, doğal topoğrafyada da gözlenmesi oldukça güçtür. Çift eksenli düşey ve "rastlantısal" nizamlı fenotipler, tanımlanması güç, doğal topoğrafya oluşumlarında ya da tamamen keyfe keder tasarlanmış nesne-kurgularda tezahür edebilirler. Bu fenotiplerin dağınıklığı aşağıdan-yukarı üretimlere imkân sağlayabileceği gibi, tamamen gayri rasyonel kurguları da işaret edebilir (Şekil 37). Dağınık ya da rastlantısal çift eksenli fenotiplere ilginç bir örnek olarak, Tellem ve Dogon toplumlarının tarihi sığınağı olan Bandiagara Kayalıkları gösterilebilir (Şekil 38).



Şekil 37 (Sol): Çift eksenli dağınık ya da rastlantısal örüntülü fenotipin basit bir temsili.

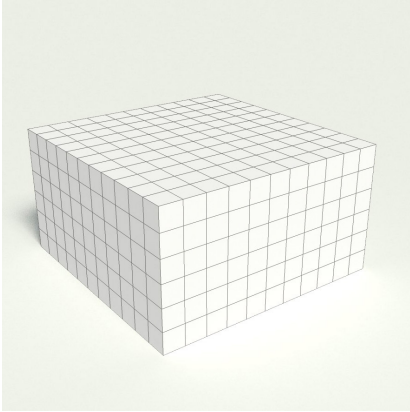
Şekil 38 (Sağ): Bandiagara Kayalığı, Mali, Batı Afrika (Url-13).



Rudofsky'ye (1964) göre ulaşım zorluğu olan arazilere bina yapma eğilimi, bir güvenlik arzusu ve belki de topluluğun sınırlarını belirleme ihtiyacından ortaya çıkmıştır. 500 metrelik dik ve hareket etmesi zor bir oluşumunda, Tellem insanları farklı kotlar ve konumlarda, sığınak ve yerleşkeler oluşturmuş ve yüzyıllarca dış etkilerden uzak yaşamışlardır.

6.5. ÜÇ EKSENDE DÜĞÜM ÖRÜNTÜLERİ

Günümüzde modern yapıların çoğunluğunun plan ve iç mekân kurguları üç eksenli örüntü fenotiplerinden birine tekabül eder (Şekil 39). İşlev benzerliklerinin açıkça ve ayrıksı bir şekilde ortada olduğu, düğümlerin doğrudan dış kabuklara etki ettiği örnekler de bulabilmek mümkündür. Bütünsel üç eksenli örüntü fenotipleri, özellikle yatayda büyük bir alana yayılan, AVM, ofis binası ya da toplu konut gibi mimari yapılarda tezahür ederler (Şekil 40).



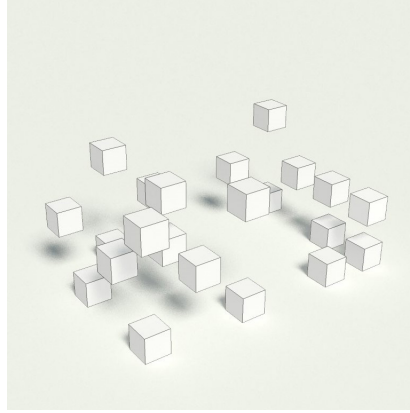
Şekil 39 (Sol): Üç eksenli bütünsel örüntülü fenotipin basit bir temsili.
Şekil 40 (Sağ): Cité A öğrenci yurtları, Le Havre, Fransa (Url-14)

Üç eksenli örüntülerde parçalı fenotipler, mimari hacimlerden çok iç mekân yerleşimlerini tanımlarlar (Şekil 41). Depo raflarının dizilmesi gibi, belli bir sıra ve ahenk gerektiren, işlev düğümlerinden çok "yığın" düğümlerini tanımlayan fenotiplerdir (Şekil 42). Fischer'a (1991) göre bireysellikten tümüyle arınmış, diğerlerine hiç benzemeyen pek az bina vardır: belli bir türde üretim yapılan bazı binalar, hangarlar ve otoparklar böyledir; genelde ise, her bina işlevine ve yapının ön koşullarına bağlı olarak (az ya da çok) kendine özgü bir iç mekân kurgusuna sahiptir.



Şekil 41 (Sol): Üç eksenli parçalı örüntülü fenotipin basit bir temsili.
Şekil 42 (Sağ): Bir depo yapısı (Url-15).

Üç eksenli, rastlantısal örüntülü fenotipler, beklendik yukarıdan-aşağı mimari şemaların en çok dışında kalan, çoğunlukla doğal bağlamdan ortaya çıkan oluşumlardır. Tepe kenarı yerleşimleri, kot farklılıkların bulunduğu alanlarda, üst plansız ortaya çıkmış tüm yerleşimler bu fenotipe örnek teşkil edebilirler (Şekil 43). Güney Amerika'da sıkça rastlanılan favela mimari kurgusu, bu plansız ya da rastlantısal fenotipler için bir örnek teşkil edebilir. Favela, merkezi otoritenin yaptığı kent planlarının dışında ve hatta yer yer doğrudan bu planlara aykırı olarak şekillenmiş, çoğu zaman imar hukuğuna ve yönetmeliklere aykırı yerleşimlerdir (Şekil 44).



Şekil 43 (Sol): Üç eksenli rastlantısal örüntülü fenotipin basit bir temsili.

Şekil 44 (Sağ): Lima'da konut yerleşimleri, Peru (Url-16).

Merkezi planlamanın uygun görmediği yüksek eğimli bölgelerde, alt yapı taşımanın açıkça pahalı ya da sakıncalı olduğu alanlarda ortaya çıkmaları muhtemeldir. Favela, bir anlamda “istenmeyen belirme” örneği teşkil ederler. Alışlagelmiş kentsel planlama, tekil bilinçten çıkan mimari kurgulama süreçleri, beliren üretken sistemlerle fikrinsel bir uyumsuzluk içerisindedir. Gerçek anlamda özgür bırakılmış, beklenmedik kurguları yaratacak üretken sistemlerin, halihazırdaki kentsel tasarımlardan, tapu kadastro planlarından ve en önemlisi de modern mimarinin en öne çıkardığı “yaratıcı müellifliğinden” tamamen bağımsız olmaları gerekmektedir.

Sonuç olarak, bu fenotipin her üç ekseninde geometrik türetilmeye imkân tanıması ve alışlagelmiş rasyonel plan tipolojilerine aykırı oluşu, aşağıdan-yukarı bir form üretim yaklaşımı için bir temel oluşturmalarını desteklemektedir.

6.6. ÖRÜNTÜ FENOTİPLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Örüntü fenotiplerinin kendi içlerindeki bütünsellik ve parçalılık, düzenlilik ve rastlantısallık gibi dikotomiler, görsel imgelerine etki etmenin ötesinde, işlevsel ve yapısal dikotomilere de yol açarlar. Şu ana kadar ele alınan örneklerde, yapısal kalıcılık ya da geçicilik, imalat kolaylığı ya da karmaşıklığı, işlev benzerliği ya farklılığı, kullanım ilişkisi ya da bağımsızlığı tartışılmıştır. Fenotiplerin bu grafikte sıralanmış nitelikler dışında daha pek çok özelliği bulunabilir, fakat birbirlerinden açıkça ayırmak için kullanılmak üzere, kolayca tanımlanan karşıtlıklar nispeten sınırlıdır (Şekil 45).

		İşlev		İlişkisel		Üretim		Kalıcılık	
		Benzer	Farklı	İlişkili	Bağımsız	Basit	Karmaşık	Kalıcı	Geçici
TEK EKSENLI ÖRÜNTÜLER	bütünsel	X		X		X		X	
	parçalı	X			X	X		X	
	rastlantısal		X		X	X			X
ÇİFT EKSENLI ÖRÜNTÜLER	bütünsel	X		X		X		X	
	parçalı	X			X	X		X	
	rastlantısal		X		X		X		X
DÜŞEY TEK EKSENLI ÖRÜNTÜLER	bütünsel	X		X		X		X	
	parçalı	X			X		X	X	
	rastlantısal		X		X		X		X
DÜŞEY ÇİFT EKSENLI ÖRÜNTÜLER	bütünsel	X		X		X		X	
	parçalı	X		X			X		X
	rastlantısal		X		X		X		X
ÜÇ EKSENLI ÖRÜNTÜLER	bütünsel	X		X		X		X	
	parçalı	X		X		X			X
	rastlantısal		X	X			X		X

Şekil 45: Örüntü fenotipleri karşılaştırma matrisi.

Bazı fenotiplerin tabloda belirtilen özellikleri, diğerleri kadar açık ya da keskin ayrımlara sahip olmayabilir. Örneğin çift eksenli parçalı örüntülü fenotipler, duruma göre imalatla hem basit hem de karmaşık örneklere sahip olabilirler. Buna ek olarak, çoğu rastlantısal ya da düzensiz örüntülü fenotip, geçici kurgular olmalarına rağmen, aşağıdan-yukarı bir üretimsel sistem sonucu üretilmiş planların uygulanması durumunda, pekâlâ kalıcı özellik de gösterebilirler.

Ele alınan örüntü fenotiplerini, burada bahsi geçen dört kıstas (devamlılık, imalat, işlev ve kullanım) dışında maliyet, sembolik anlam, yapı elemanlarının çeşitliliği gibi sınıflar ile de tasniflemek mümkündür. Fakat bu çalışmada alınan tasnif kategorileri, öncelikle “imgelenebilirlik” fikrine göre seçilmiştir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışma, mimari kurguların formlarının, “imgelenebilirlik” fikrinden yola çıkılarak, görsel algılanabilir özellikleri üzerinden temel soyut arketipler ile ilişkilendirilerek tasnif edilmesini hedeflemektedir. Bu ilişkilendirmenin kolaylıkla yapılabilmesi için, mimari kurguların soyut bir indirgeme aracılığıyla birtakım “düşüm örüntüleri” olarak kabul edilebileceği varsayılmaktadır. Daha sonra, düşüm örüntüleri, gerçek mimari kurgu örnekleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirme sonucu, benzer soyut kategorilere ait olan mimari kurguların, gerçek hayattaki somut ve nesnel özelliklerine ulaşmak mümkün olmuştur. Çalışmada ele alınan indirgeme, soyutlama ve tasnifleme yaklaşımı, mimari formların geometrik kurguları dışında kalan, kalıcılık-geçicilik, inşaat kolaylığı, işlev gibi özelliklerini, görsel karakterleri üzerinden belirleme konusunda yardımcı olabilecek bir yaklaşımdır.

Çalışma esnasında ele alınan örneklerde, ortaya konulan düşüm örüntülerinin 4 kutuplu iki dikotomi arasında konumlandırılabilirliği görülmüştür. Mimari kurguları temsil eden örüntüler, bir eksenle bütünsellik ya da parçalılık kutupları arasında, diğer eksenle ise düzenlilik ve rastlantısallık arasında kendilerine yer bulmuşlardır. Bu dört kutup arasında konumlanan örüntüler karşılaştırıldığında ise, gerçek hayattaki

tezahürlerinin dört nesnel özelliğe göre tasniflenebileceği ortaya çıkmıştır. Bu özellikler kalıcılık, ilişkisellik, inşaat kolaylığı ve işlev benzerliği olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bu araştırmada, mimari formların görsel karakteristikleri üzerinden bir soyutlama ve tasnif yaklaşımı ile, bir takım benzerlik gösteren kategorilere indirgenebileceği öne sürülmüştür. Ele alınan örneklerde yukarıdan-aşağı tasarım anlayışı ve beliren form oluşumları arasındaki karakteristik farklılıkların bahsi geçen görsel imgelenebilirliğe etki ettiği gözlemlenmiştir. Belirme sonucu, aşağıdan-yukarı biçimde oluşmuş formların, özellikle belli örüntüleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Yukarıdan-aşağı tasarımlarda ise, standart inşaat konvansiyonlarını takip etmeyen örüntülerin (örn. düşey çift eksenli ve parçalı örüntüler) zamanla ilk tasarımlarına sadık kalınmayarak kullanıcılar tarafından değiştirildiği, daha bilindik, temel formlara yakınlaştırıldığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Carpo, M. (2004). Ten Years of Folding. G. Lynn editörlüğünde, *Folding in Architecture*. Hoboken: Wiley-Academy.
- Eisenman, P. (1982, 11 17). Contrasting Concepts of Harmony in Architecture. (C. Alexander, Röportaj Yapan)
- Eraslan, A. (2015). Continuity of architectural traditions in the megaroid buildings of rural Anatolia: The case of Highlands of Phrygia. *ITU A|Z*, 232.
- Euler, L. (1741). *Solutio Problematis Ad Geometriam Situs*.
- Ferrante ve diğ. (2011). Retrofitting and adaptability in urban areas. *Procedia Engineering* 21 (s. 785 - 804). Bologna: Elsevier.
- Fischer, G. (1991). *Architektur and Sprache*. Karl Krämer Verlag.
- Gümüşkaya, G. (2019, 01 01). Kamusal Alanlardan DNA Devrelerine: Mekansal Özkurguyu Tasarlamak. *Arredemento*, s. 68-69.
- Hillier, B. (1989, 01). The architecture of the urban object. *Ekistics*, 8.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1989). *The Social Logic of Space*. London: Cambridge University Press.
- Lynch, K. (1953). *The Image of The City*. Massachusetts: The M.I.T. Press.
- Lynn, G. (1999). *Animate Form*. Princeton Architectural Press.
- Mellaart, J. (1970). *Excavations at Hacilar*. Ankara: Edinburgh University Press.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The Child's Conception of Space*. London: Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Prusinkiewicz, P., & Lindenmayer, A. (1996). *The Algorithmic Beauty of Plants*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rudofsky, B. (1964). *Architecture Without Architects A Short Introduction to Non-Pedigreed Architecture*. New York: Doubleday & Company, Inc.
- Zaero-Polo, A. (2009, 10 1). Patterns, Fabrics, Prototypes, Tesselations. *Architectural Design*, s. 18-22
- Url-1 <<http://blog.stephens.edu/arh101glossary/?glossary=megaron>> Alındığı tarih: 25.01.2019
- Url-2 <<https://expositions-virtuelles.citedelarchitecture.fr/vegetal/03-theme05-sstheme02.html>> Alındığı tarih: 25.01.2019
- Url-3. <<https://architectenweb.nl/agenda/event.aspx?ID=40355>> Alındığı tarih: 25.01.2019
- Url-4 <<https://www.welcometobratislava.eu/flea-markets-bratislava/>> Alındığı tarih: 25.01.2019
- Url-5 <<http://www.germany.travel/en/business-travel/trade-fairs/galerie-munich-exhibition-centre.html>> Alındığı tarih: 28.01.2019

- Url-6 <<http://www.comicsbeat.com/press-releases/pr-the-4th-annual-indian-comics-convention-received-stupendous-response-from-fans/>> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-7 <<https://interactive.wttw.com/tenbuildings/seagram-building>> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-8 <<http://european-science.com/eojnss/article/view/2701/pdf>> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-9 <<https://www.thehistoryhub.com/eiffel-tower-facts-pictures.htm>> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-10 <<https://www.delta.tudelft.nl/article/farewell-spaceboxes.>> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-11 <<http://www.joostdevree.nl/shtmls/spacebox.shtml>> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-12 <<http://laboratoriovivienda21.com/magazine/?p=89>> Alındığı tarih: 28.01.2019Url-13<<https://www.atlasobscura.com/places/cliff-villages-in-the-bandiagara-escarpment>>
- Url-14 <http://www.contemporist.com/cite-a-docks-student-housing-by-cattani-architects/sh_290910_02/> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-15 <<https://kevingue.wordpress.com/2014/03/18/engineering-the-warehouse-2014/>> Alındığı tarih: 28.01.2019
- Url-16 <<https://www.planur-e.es/miscelanea/view/el-habitar-del-fitekantropus-en-los-u-barrios-culturales-de-la-balanza-comas-lima-per-/full>> Alındığı tarih: 29.01.2019

Computing Diagrid Structural Systems in Free-Form High-Rise Designs

Çağlan ÇELEBİ

Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Recent years have seen the use of diagrid structural systems becoming widespread in architecture. Diagrids are advantageous mostly for cutting down on the number of structural elements used. However, the use of diagrid structural systems is still not common in free-form high-rise designs. Most high-rise designs are symmetrical and orthogonal structures whereas free-form as a type of building geometry form implies asymmetric configurations, without a fixed order or a central rotation axis. Among the difficulties observed in free-form high-rise designs is efficiency in the analysis and synthesis of structural solutions and in the physical realization of the structural elements. Overcoming these difficulties requires computational support. However, most of the existing software up to the task are protected by copyright and expensive, hence inaccessible to many small firms and individual designers. Addressing the problems of affordability and accessibility, the study presents a computational support system for preliminary design proposals of diagrid structures in free-form high-rise designs. This support takes place in an algorithmic design interface, and the biggest advantage is that designers can integrate the design and analysis phases in a single interface. The model has three main phases. These phases are the creation of a free-form high-rise geometry, structural analysis of this geometry when modelled as a diagrid structural system, and the numbering and sequencing of the most important structural element that is node connector so that it is suitable for the prefabrication. Based on the structural assessment of the model, the study also discusses the alternatives of diagrid structural systems to see whether the potential structural element may be added to the diagrid structural system.

Keywords: diagrid structural systems, free-form high-rise designs, node connector, preliminary design, structural analysis.

87

Received: 16.08.2019
Accepted: 30.08.2019

Corresponding Author:
caglancelebi@gmail.com

Çelebi, Ç (2019). Computing Diagrid Structural Systems in Free-Form High-Rise Designs. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 87-109).

Diagrid Strüktür Sistemlerinin Serbest Biçimli Yüksek Tasarımlarda Hesaplanması

Çağlan ÇELEBİ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Mimarlıkta diagrid strüktür sistemlerinin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Diagridler tasarımda kullanılan yapısal elemanların sayısını azalttıkları için avantajlıdır. Bununla birlikte, diagrid strüktür sistemlerinin serbest biçimli yüksek katlı tasarımlarda kullanımı yaygın değildir. Yüksek katlı tasarımların çoğu simetrik ve ortogonal yapılar, fakat bir bina geometrisi biçim türü olan serbest biçim, sabit bir düzen ve merkezi bir dönme eksenine olmayan asimetrik konfigürasyonlardır. Serbest biçimli yüksek katlı tasarımlarda gözlenen zorluklar arasında yapısal çözümlerin analiz ve sentezindeki verimlilik ile yapısal elemanların fiziksel gerçekleştirilmesi vardır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için hesaplamalı yaklaşımların desteğine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, bu çalışmaya kadar var olan yazılımlar telif hakkı ile korunmaktadır ve pahalıdır, bu nedenle birçok küçük firma ve bireysel tasarımcı bu yazılımlara erişemez. Bu yazılımların satın alınabilirlik ve erişilebilirlik problemlerini ele alan tez, serbest biçimdeki yüksek katlı tasarımlarda diagrid yapıların ön tasarımları için hesaplamalı yaklaşım ile bir destek sistemi sunmaktadır. Bu destek, algoritmik bir tasarım arayüzünde gerçekleşir ve en büyük avantaj, bütünlük olarak tasarımcıların tasarım ve analiz aşamalarını tek bir arayüzde yapabilmeleridir. Model üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, serbest biçimli yüksek katlı bir geometrinin oluşturulması, bu geometrinin bir diagrid strüktür sistemi ile yapısal analizi ve en önemli yapı sistemi elemanını olan düğüm noktalarının ön üretim için uygun şekilde numaralandırılması ve sıralanmasıdır. Modelin yapısal değerlendirmesine dayanarak, tez, potansiyel yapısal elemanın diagrid strüktür sistemine eklenip eklenemeyeceğini görmek için diagrid strüktür sistemlerinin alternatiflerini tartışmaktadır.

Anahtar Kelimeler: diagrid strüktür sistemleri, serbest biçimli yüksek katlı tasarımlar, düğüm noktası, ön tasarım, yapısal analiz

Teslim Tarihi: 16.08.2019
Kabul Tarihi: 30.08.2019

Sorumlu Yazar:
caglancelebi@gmail.com

Çelebi, Ç. (2019). Diagrid Strüktür Sistemlerinin Serbest Biçimli Yüksek Tasarımlarda Hesaplanması. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 87-109).

1. INTRODUCTION

Starting with Foster + Partners' prominent design 30 St Mary Axe (also publicly known as the "Gherkin"), diagrid structural systems are more and more utilized in contemporary architecture. Diagrid structural system is an innovative and flexible structural system where the structure is supported with diagonal structural elements on the periphery. Differently shaped and angled structural elements can be designed to a unique overall effect in each diagrid structural system.

There are two key lineages in research, namely those of Boake and Moon, that focus efforts on developing diagrid structural systems. Historically, Shukhov is designated as the pioneer in diagrid structural systems (Boake, 2014). Later, Foster + Partners disseminates the diagrid structural systems in contemporary architecture with the three unique designs that are the London City Hall, 30 St Mary Axe, and the Hearst Magazine Tower. Moon (2011) argues that, over the other more commonly used structural systems, diagrids, with the structural elements located on the façade, offer an advantage in powerful structural performance for unique high-rise designs.

Although diagrid structural systems are common in contemporary architecture, Capital Gate Tower in Abu Dhabi, ArcelorMittal Orbit Tower in London and CCTV Headquarters in Beijing are among the few examples of diagrid structural systems in free-form high-rise designs. Free-form as a type of building geometry form implies the condition of having or being an irregular or asymmetrical shape or design. A free-form mass has neither a fixed rule and homogeneous order, nor a symmetry or rotational central axis to rotate as. Some of the difficulties in free-form high-rise designs that prevent using diagrid structural systems in free-form high-rise designs frequently are in analyzing and defining structural solutions efficiently and the physical realization of structural elements.

Analyzing and defining structural solutions efficiently and the physical realization of structural elements are the two main difficulties in diagrid structural systems in free-form high-rise designs. These difficulties must be overcome with computational support, however, most of the existing software are unreachable expensive and protected by copyright so they are inaccessible to most designers. In order to overcome difficulties in the designing of diagrid structural systems in free-form high-rise proposals, developing a model for providing affordable and accessible computational support for preliminary design proposals is the main purpose of the study.

The study aims to design and analyze diagrid structural systems of the created free-form high-rise geometry and also prepare node connectors which are the most important structural element of diagrid structural systems for prefabrication. The study offers support to designers who are using diagrid structural systems in a free-form high-rise designs by avoiding the difficulties without struggling with unreachable expensive and protected software. This support takes place in an algorithmic design interface, and the biggest advantage is that designers can integrate the

design and analysis phases in a single interface. This makes it extremely practical for designers.

2. THE MODEL

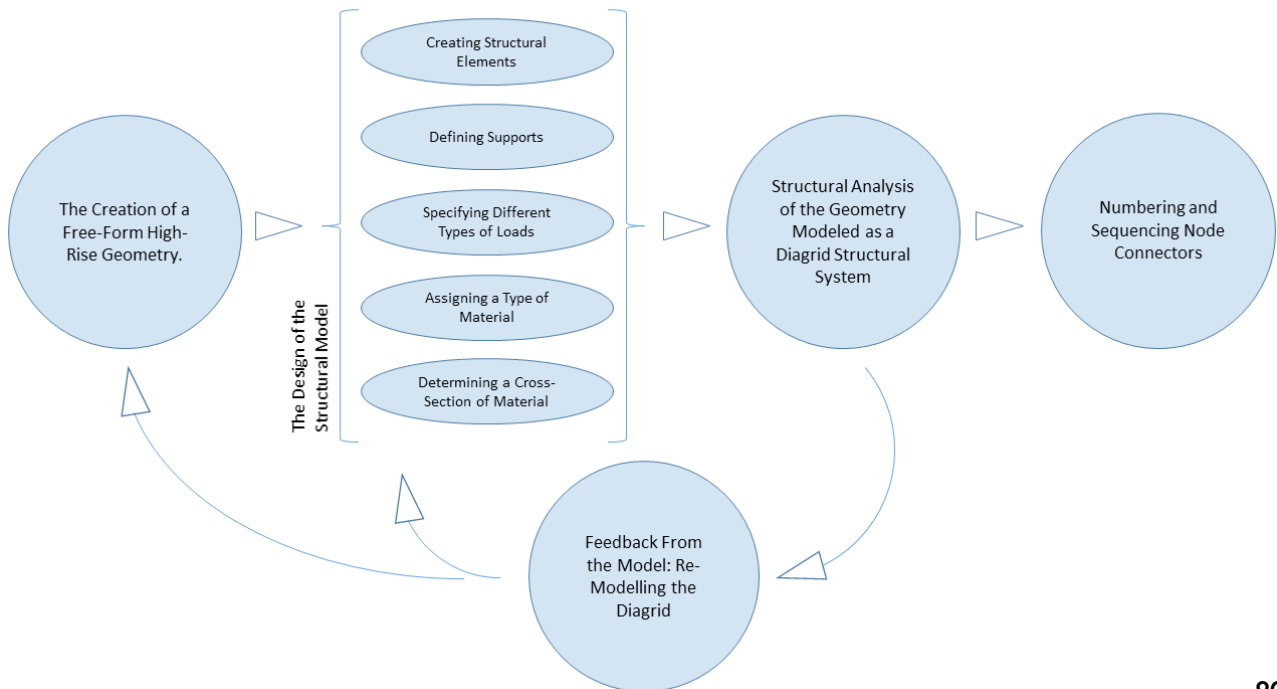
The study focuses on a model that creates a free-form high-rise geometry, designs a diagrid structural system, analyzes it and prepares node connectors which are most important structural element of a diagrid structural system for prefabrication in order to provide computational support for many small firms and individual designers.

In this section, the model that has been developed and designed in three phases as seen in the workflow diagram in Figure 1 is explained in detail. These phases are the creation of a randomly formed free-form high geometry, structural analysis of this geometry when modeled as a diagrid structural system, and the numbering and sequencing of the most important structural element that is node connector so that it is suitable for the prefabrication. Creating structural elements, defining supports, specifying different types of loads, assigning a type of material, determining a cross-section of selected material are the main steps of the design. The whole model has been constructed in the Grasshopper as shown in Figure 2, and the diagrid structural system has been designed and analyzed with the Karamba plugin for the Grasshopper program.

THE CREATION OF A FREE-FORM HIGH-RISE GEOMETRY

The first step of the model is creating a free-form geometry for further phases. Free-form implies asymmetric configurations, without a fixed order or a central rotation axis.

Figure 1 : The workflow diagram of the model.



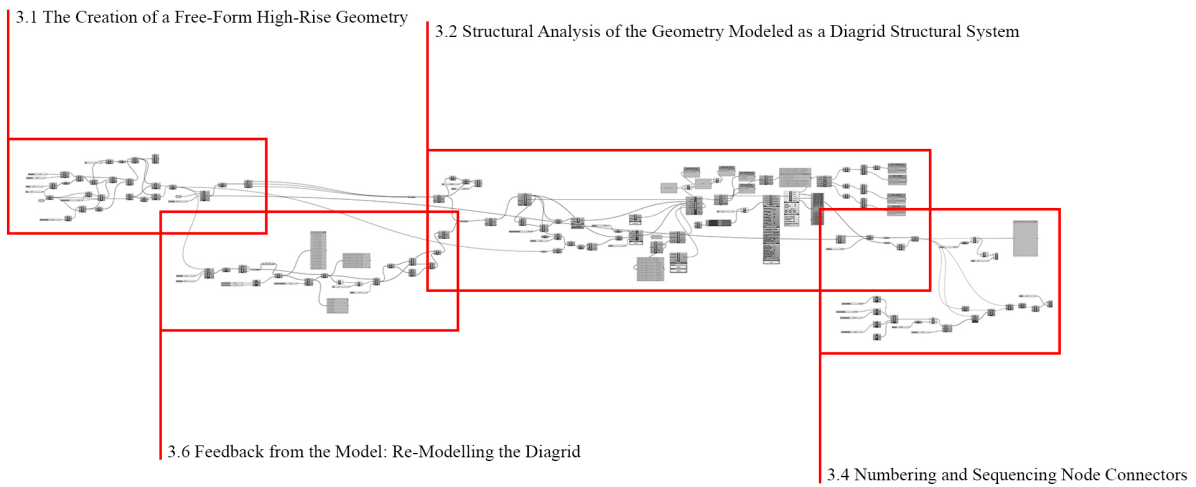


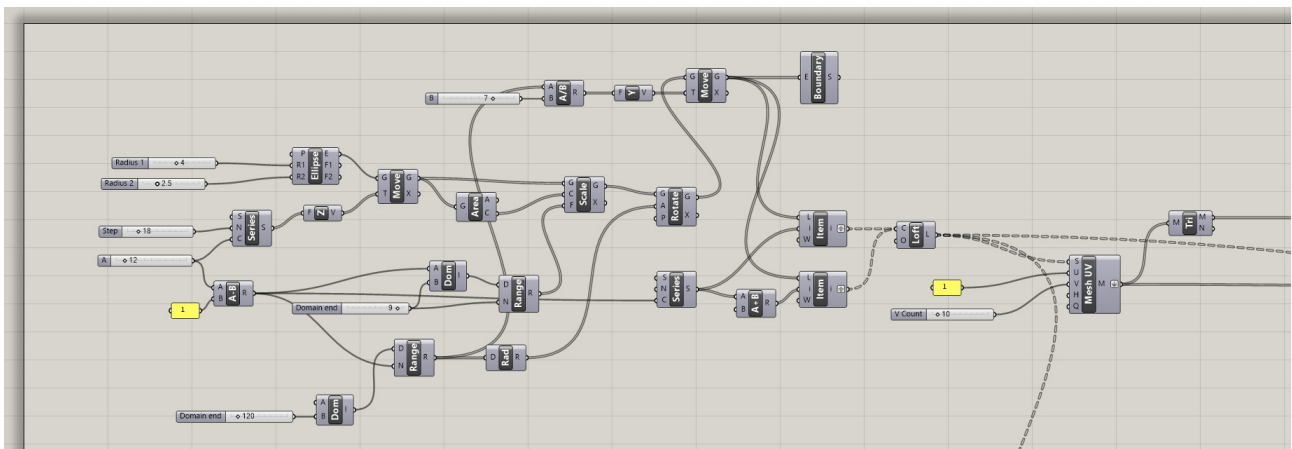
Figure 2 : The layout of the model in the Grasshopper.

The free-form geometry can be considered as a random geometry obtained in the digital design environments. In order to obtain the geometry, some parameters are required. A free-form is modeled with parameters such as the length and width of the base geometry in x and y direction and movement, rotation angle and the number of series in z direction.

The layout of parameters can be seen in Figure 3. The first step to create a geometry is about controlling circles and ellipses via parameters such as length and width of the base geometry in x and y direction. These parameters can be controlled by a user of the software, e.g. designer.

Then, series of various circles or ellipses which are already created in the first step listed in the z-direction. In order to get high-rise design, the lower limit of geometry height is set at 100 meters. According to the parameter of the number of series, desired height of the geometry is achieved. Movement and rotation angle of various circles or ellipses allow geometry to take the final shape.

Figure 3 : The layout of parameters for a free-form high-rise geometry.



Finally, using the loft component in the Grasshopper creates a free-form high-rise geometry from these series of circles and ellipses. There is only a search for form finding, no other input is addressed. As shown in Figure 4, via the triangulate component some alternatives for free-form high-rise geometries has diagonal lines over façade simply. The number of these lines can be controlled with the number of series in u-direction and the number of quads in v-direction.

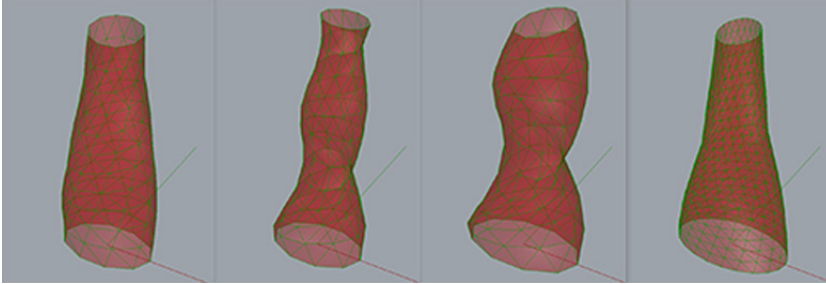


Figure 4 : Some alternatives for free-form high-rise geometries.

There has been a search for basic convenience for diagrid when creating alternatives. Larger floor width in lower parts, the lean angle at maximum 20° and providing a suitable space for the core of the building every level are some criteria for creating alternatives. Moreover, since a unique form will create inestimable value, and will be a prestigious icon in its environment, there are four individual unique forms are created in alternatives.

Between the alternatives the most proper one is selected because it provides an efficient interior area in every floor level and a more balanced structure while presenting a unique free-form high-rise geometry.

The selected geometry over the alternatives is ready to move to the next phase, where structural analysis of this geometry when modeled as a diagrid structural system is taking a place as represented in Figure 5.

THE CREATION OF A FREE-FORM HIGH-RISE GEOMETRY

In this phase of the model, the diagrid structural system on the selected free-form high-rise geometry is designed and analyzed over simple diagrid layout that is already achieved in the previous phase by selecting particular parameters with the help of using the Karamba plugin for the Grasshopper program.

In order to perform structural analysis, firstly designing the structural model is essential. For the design of the structural model, creating structural elements, defining supports, specifying different types of loads, assigning a type of material, determining a cross-section of selected material are main steps. Then, the basis for the structural analysis are, evaluating and visualization of stress levels, displacements of structural elements, total weight of the structure. The main branches of the design and structural analysis of the diagrid structural system can be seen in the Grasshopper layout as shown in Figure 6.

Figure 5 : Diagonal lines of the selected free-form high-rise geometry.

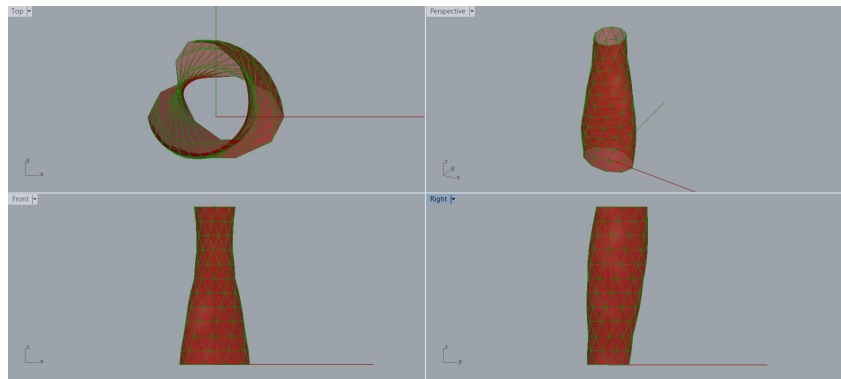
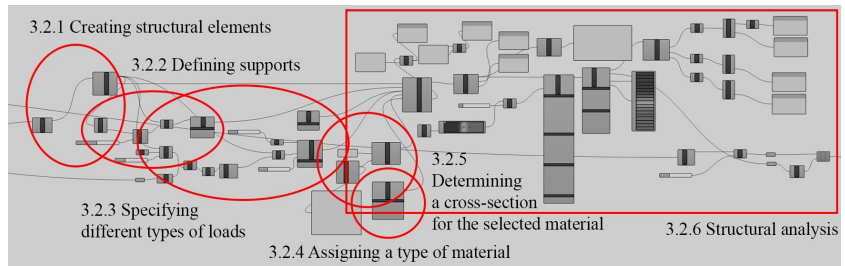


Figure 6 : The main branches of the design and structural analysis.



CREATING STRUCTURAL ELEMENTS

Structural elements of the model are important to be defined in the first step of the designing diagrid structural system for a structural analysis. In the diagrid structural system, structural elements are located on the building façade divided by diagonal lines.

The assembly component in the Karamba library as shown in Figure 7, collects basically all required data for structural analysis from the model so that converts lines to the structural elements. Initially, future structural elements, in this case, the diagonal lines of the model, must be prepared for the assembly component in order to be converted to beams.

In the selected model, there are 340 diagonal lines of free-form high-rise geometry. This number is calculated by parameters such as the step size of series in u direction and the number of quads in v direction. The model is designed with the parameters of the step size of series in u direction, which is 12, and the number of quads in v direction, which is 10. For u direction, since the horizontal beams are located on the both ground and roof levels, 12 times 10 yield to a total of 120 lines. For v direction, the step size of series in u direction, which is 11 (excluding the roof) multiplied by 20 make a second total of 220 lines. There are four lines at one single module of diagrid. The module divided by horizontal beam from the half has two lines so the number of 20 is used rather than 10 in the calculation for v direction. The total for the model is 340 lines.

The number of the parameters can be changed according to the user of the model designer. If the numbers of the step size of series in u direction and the number of quads in v direction are changed by designer, so

eventually, the number of the lines and beams will be affected and generated automatically through the model. Joining these lines to the assemble component make them to serve as structural elements of the model. Thus, there are basically 340 structural elements in the model of the diagrid structural system in free-form high-rise designs.

DEFINING SUPPORTS

Once structural elements are set, defining supports of the structure is the next goal in the model. The support component in the Karamba library, convert selected points to fixed points for supporting the structure. The main challenge here, defining those selected points. Points as serving supports should be located both in the ground level and at the connection point of the lines which are converted to the beams of the structure as explained in the previous stage.

Since there are 10 quads in v direction in the model, these 10 points in the ground level are defined as supports of the structure as seen in Figure 8. In the end, by joining these supports to the assemble component, they are serving as support elements of the model. Essentially, the number of defined supports has to be enough to support the structure.

SPECIFYING DIFFERENT TYPES OF LOADS

Thirdly, specifying single or more loads in the structure is another essential step to complete structural analysis. This is possible by using the loads component in the Karamba library. The loads component is a multi-use component where single or various types of more loads can be specified for the structure.

Gravity is the main load for all structures and is the simplest type of load because it does not require any parameter other than a crude information on the location on earth. Additional to the gravity load, wind load is a significant type of load for high-rise designs. Since wind direction and load is an environmental factor, according to the geographical conditions of where the model is located, wind direction is defined. As illustrated in Figure 9, for the model which located where wind direction is from north in most of the days of a year, vectors are defined from the north direction. These vectors are creating load conditions for the wind load and they can be set up according to the parameters such as the force of the vector and direction of the vector.

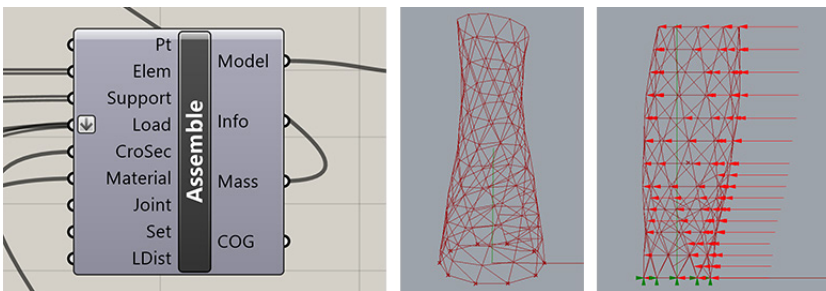


Figure 7 (Left): The assembly component in the Karamba library.
Figure 8 (Middle) : Support points of the structure.
Figure 9 (Right): Wind loads and supports of the structure.

Additional loads can also be defined since the load component in the Karamba library allows multiple types of loads to be set. For example, there are different values for live loads according to various functions of structures whether it is for residential or office. The values of live loads differ according to the function of the building and the country where the building is located but eventually they are fixed numbers so the live load does not require any parameter.

More loads can be considered for other design related choices. If the design has a swimming pool or mechanical systems on the rooftop, extra point load in the z-direction should be specified in addition to the gravity, wind load and live load.

ASSIGNING A TYPE OF MATERIAL

Next step for structural analysis is assigning a type of material for the structural elements (beams). This choice will have an effect on the cross-section, the overall mass and the structural analysis.

The MatSelect component in the Karamba library helps to assign a type of material, there are certain standards and numbers for each type of material inside the component. Therefore, the user must only select the material of beams, i.e. steel, concrete, wood and aluminum as seen in Figure 10.

Steel has certain advantages over other types of materials in high-rise designs, such as strength, dimensional stability and easy prefabrication (Wells, 2005). Strength and stability is important in high-rise designs and prefabrication is essential in diagrid structural systems, so steel is selected as a type of material of beams in this example.

DETERMINING A CROSS-SECTION FOR THE SELECTED MATERIAL

The final step is determining a cross-section of selected material in the previous step which is steel for complete structural analysis. The CroSecSelect component in the Karamba library, as shown in Figure 11, provides various type of cross sections with different thickness and selected one is assigned to the beams of the structure.

In order beams to behave structurally, 1-dimensional objects which are beams at present must have 3-dimensional characteristics. The cross-section is 2-dimensional shape, i.e. rectangle, square, round, and when they extruded along the length of the beam, the 3-dimensional characteristic is achieved. It is possible with CroSecSelect component in this step. Type of cross sections starting with "RO" represents round extrusion along the length of the beam. Since the geometry is free-form, selecting round cross-section is rational due to the convenience it provides in the combination details. Once the cross-section is determined, the input of the nodes is also defined simultaneously according to information that also defines cross-section.

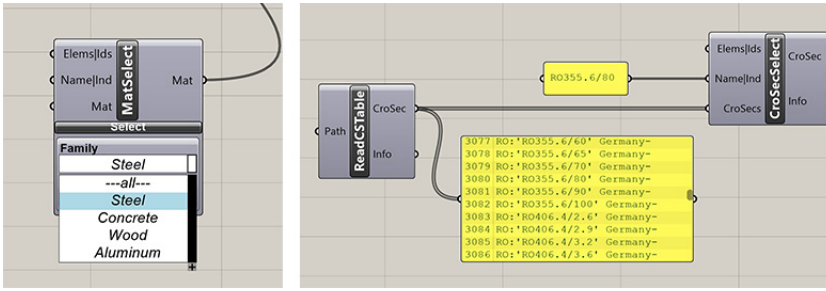


Figure 10 (Left): The MatSelect component in the Karamba library and material types.
Figure 11 (Right): The CroSecSelect component in the Karamba library.

STRUCTURAL ANALYSIS

Following the above steps, the model is assembled, and structural analysis through finite element analysis can be performed with selected inputs. Finite element analysis also called FEA, is representing structural elements as separated and calculate how loads and forces distribute themselves throughout each structural element. Evaluating and visualization of stress levels, displacements of structural elements, total weight of the structure are the basis of the structural analysis. At the end of the structural analysis, a structural assessment is discussed as feedback and alternatives are offered.

The selected inputs are representing just one case for this example dedicatedly and these inputs can be changed anytime potentially via parameters which results with different case and outputs. Constructing a model with computational approach has parameters and parameters have this potential. Therefore, comparative examples will be discussed with different inputs in this step in order to benefit from this potential so that provide better and economical structural conditions and solutions.

The assembly component in the Karamba library collects all inputs from previous steps and then the AnalyzeThl component analyzes mostly the building-scale models with small deflections. Placing inputs to these components performs the structural analysis for diagrid structural systems in high-rise designs.

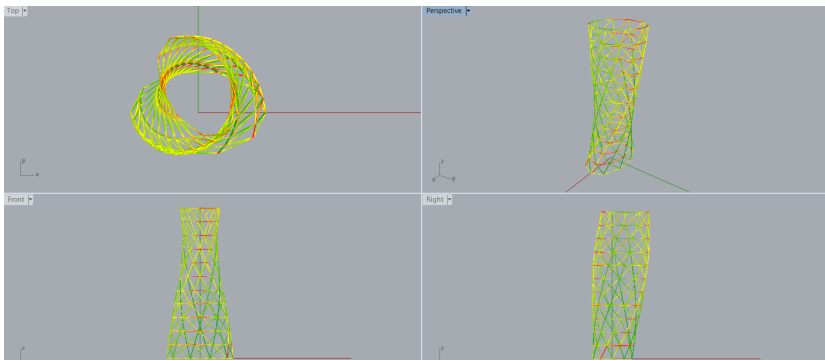


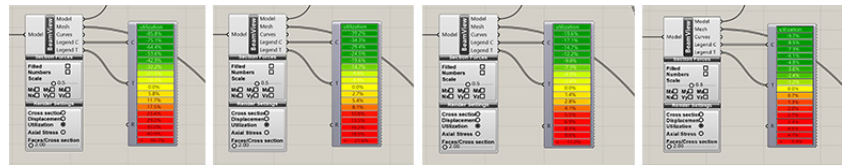
Figure 12: Structural analysis of free-form high-rise geometry.

As represented in Figure 12, visualization with a color range from green to red can represent displacement, utilization and axial stress of structural beams as structural analysis. Displacement is a term that how much

stress beams experience under loading. However, utilization demonstrates stress in terms of its percentage of the maximum stress capacity of the material, but axial stress shows stress information directly.

Percentages of current stress to the maximum stress capacity of different type of materials, concrete (C20/25), wood, concrete (C80/95) and steel are shown in Figure 13 respectively. Thus, type of the concrete has a significant effect on the utilization diagram, C20/C25 concrete has a weaker performance comparing wood, whereas C80/95 has better. For instance, if the chosen safety factor is %10, the only material that provides it is steel. On the whole, the percentages of current stress to the maximum stress capacity of different type of materials show that steel has a better and balanced performance than wood and any type of concrete in terms of stress capacity while designing diagrid structural system in free-form high-rise designs.

Figure 13 : Percentages of current stress to the maximum stress capacity.



This visualization is an effective way to understand general behavior and performance of the structure under defined loads in the previous steps, yet it is not complete enough to perform a structural analysis. In addition, there are three main quantitative measures that need to be considered if a complete structural analysis is desired. Mass of the whole model, maximum displacement of any structural element of the model and the maximum stress of any structural element of the model can experience is based on the limits of the material.

The mass of the model is the total weight of the whole structure and is impacted directly by the cross-sectional dimensions of the beams and the type of the materials that beams have. Moon (2009) studies the different height of diagrid structure with a variable angle of node connectors in terms of mass, and his study shows that 60-floor building has average 3500-ton steel mass. In the example, the structure has an approximately 200-meter height of 45 floors, and a 2600-ton steel mass. This value compares well to the 2400-ton steel mass of 30 St Mary Axe with 40 floors (Munro, 2004).

Displacement measure refers to the maximum distance any structural element of the structure moves under load. Although all structures move under loading, there are limits for how much the structure can move according to the national and international regulations. The output of the displacement of this model is about 0.04 meters as seen in Figure 14.

Figure 14 : Model mass and maximum displacement.



Stress is calculated based on the force in each structural element. In the model, stress levels of the model represent a range between maximum and minimum values under loading and are experienced based on the limits of the material. Forces are given as negative values for compressive forces and positive values for tensile forces. Thus, in order to minimize the overall force both the largest number (highest tensile force) as well as the absolute value of the smallest number (highest compressive force) has to be decreased. Stress levels can be represented via both raw stress level or utilization of the material, utilization shows stress in terms of its percentage of the maximum stress capacity of the material, whereas stress shows stress level directly.

There is a direct link between the cross-section of selected material and the model mass, displacement, and the stress levels. Thicker cross-section yields to higher values of model mass, smaller displacement and smaller absolute values of largest and smallest stress levels. Therefore, the cross-section of the beams can be thicker if it is necessary in terms of structural behavior. However, it is always important to provide economical solutions by keeping the cross-section of the beams thinner as lighter model mass is preferred. In the Figure 15, 16 and 17, different cross-sections are studied which are RO273/80, RO406.4/80 and RO711/80 respectively and it is observed that when model mass is getting heavy, the maximum displacement is decreasing. On the other hand, as the cross-section thickens, maximum moment and shear forces in the model and the both stress levels (compressive force and tension force) are increased considerably. However, percentages of current stress to the maximum stress capacity is slightly decreased. Providing a less the maximum displacement, smaller and balanced absolute values of largest and smallest stress levels with less model mass is the target, so finding balance between all is essential. It is also not preferred having thicker cross-section of the beams and heavier model mass.

Through structural analysis of the designed diagrid structural system, it is observed that there may be a need for potential structural elements that may be added to the diagrid structural system as well as the suitability of the designed diagrid structural system instead of making a cross-section of the structural elements of the whole model thicker. As a result of any need, feedback that structural system can be re-modeled restarts the design and analysis. This situation is examined in detail in the next section of the study.

DESIGNING NODE CONNECTORS

Diagonal structural elements and horizontal beams connect to one another at the node connectors. The first input while designing node connectors is the number of the nodes. The number of nodes of the model vary based on the parameters of the step size of series in u direction and the number of quads in v direction. The parameters determine the number of the level of horizontal beams and the conjunction points of diagonal structural elements and horizontal beams in each level eventually. The number of

Figure 15 : RO273/80, model is 1847 tons, max. displacement is 0.05 m.

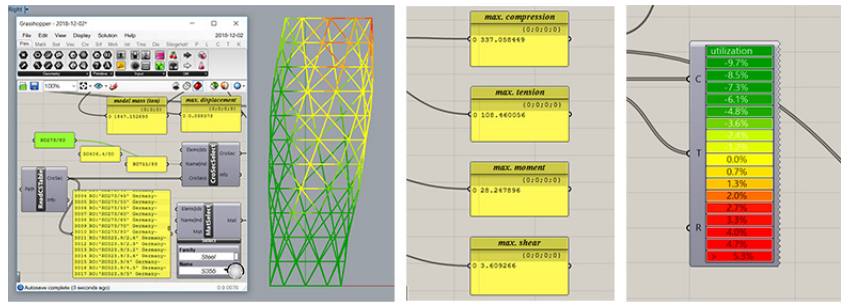


Figure 16 : RO406.4/80, model is 3123 tons, max. displacement is 0.03 m.

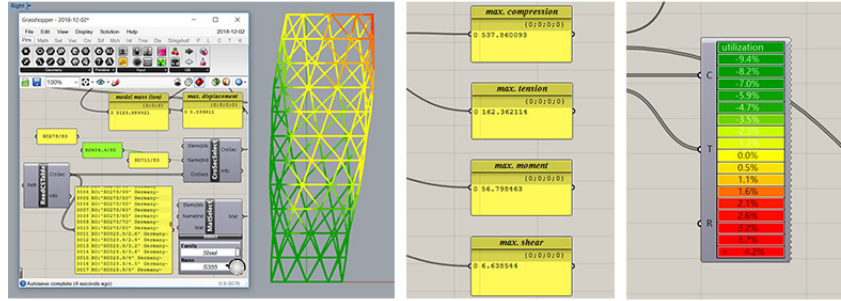
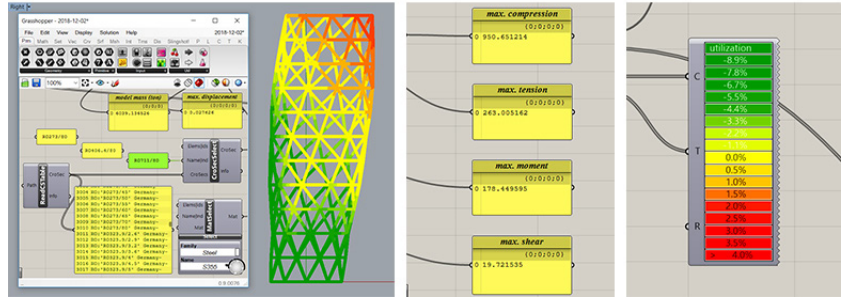


Figure 17 : RO711/80, model is 6039 tons, max. displacement is 0.02 m.



the level of horizontal beams and the conjunction points of diagonal structural elements and horizontal beams in each level eventually. The number of the level of horizontal beams times the conjunction points yield to a total number of node connectors. For instance, 12 levels of horizontal beams with 10 conjunction points in each level gives 120 node connectors whereas 23 levels of horizontal beams with 21 conjunction points in each level gives 483 node connectors.

In addition, the decision of the cross-section and size of node connectors are other parameters in designing node connectors. The cross-section of node connectors is linked to the cross-section of the structural elements. Once the cross-section of the structural elements is determined, the input of the nodes is also defined simultaneously. The size of node connectors is affected from the parameter of the length of each branch of node connector. In Figure 18, via the parameter some alternatives for node connectors are shown with different sizes. The selected node connector (left) has almost 4-meter length provides both effective connection work in the construction area due to space between branches and is cheaper for fabrication because it has less surface area comparing to taller alternatives.

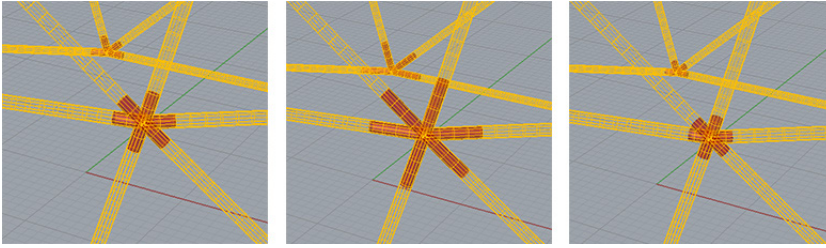


Figure 18 : Some alternatives for node connectors.

NUMBERING AND SEQUENCING NODE CONNECTORS

In the last step of the model, node connectors, which are the most critical structural element of the diagrid structural system, are separated from the geometry, numbered first, and then sequenced on a surface, ready for prefabrication.

Having numbers and being sequenced for node connectors are essential for prefabrication and effective in decreasing the number of works in the construction area. This allows node connectors to be listed according to the parameters such as number of floor level, floor height so that provides better organization and eases follow-up tasks for construction. Moreover, machines and robots are likely to read these numbers and work in order according to the sequence in case of any automated construction processes.

In the model, the model has 12 levels of horizontal beams including roof, 45-floor levels with 4,5m height and 10 conjunction point in each level, so there are essentially 120 node connectors. Initially, as illustrated in Figure 18, node connectors are distinguished from the whole geometry and starting from ground level, numbers are given to each node connector in order. Node connectors in ground and roof level have 4 branches whereas the others have 6. In other words, there are basically 19 node connectors which have a different number of the branch than others in the model.

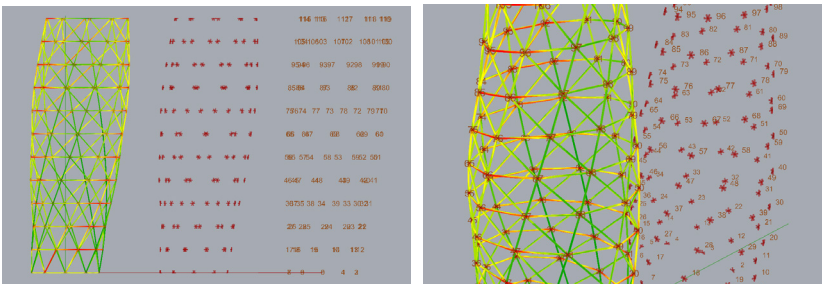


Figure 19 (Left): Node connectors are numbered.

Figure 20 (Right): Node connectors in the geometry and separated from the geometry.

All node connectors of the diagrid structural system as shown in Figure 20 has already numbers, but they are not sequenced on the surface yet. In diagrid structural systems in free-form high-rise designs, since the geometry in the model is asymmetric, every node connector has a various angle in each branch. Thus, prefabrication is essential for node connectors due to the economic reason which aims less amount of work in the site and various type of node connectors. For prefabrication, it is important to have both separated and sequenced node connectors in a surface

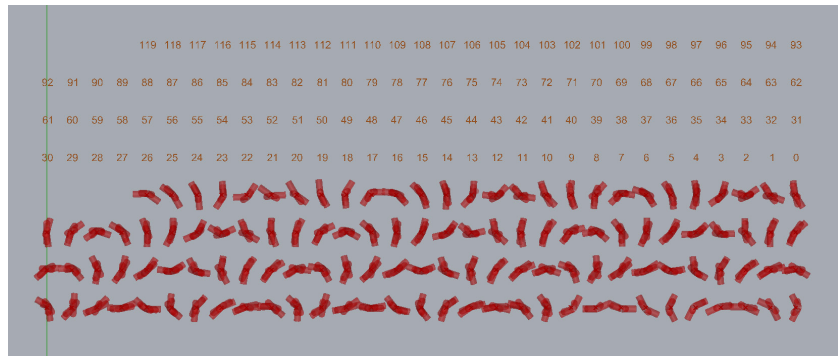


Figure 21 : Node connectors are sequenced.

and as seen in Figure 21, on a separated surface, all node connectors are sequenced and ready for prefabrication.

Using the potential of the model, since it contains parameters that can give outputs according to the various inputs, an alternative model has designed which has 23 levels of horizontal beams including the roof and 21 conjunction point in each level, so there are essentially 483 node connectors in this case. Initially, as illustrated in Figure 22, 23 and 24 node connectors are distinguished from the whole geometry and starting from ground level, numbers are given to each node connector in order.

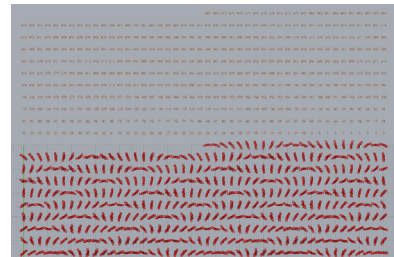
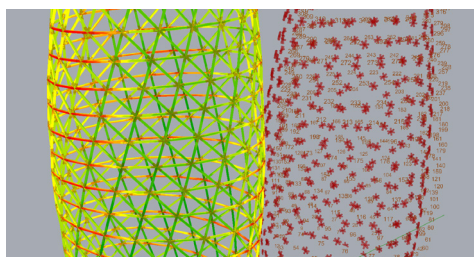
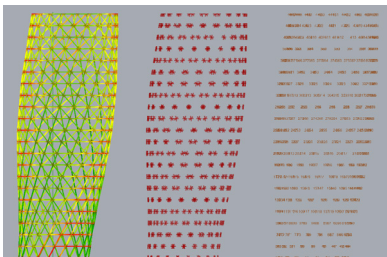
Several cases can be studied and analyzed in the model, comparative examples can be also discussed with different analysis in this step in order to benefit from the potential of the parametric design so that provide efficient conditions and solutions which satisfy alternative design ideas. Through various inputs, it should not be forgotten that selected inputs are representing just one case for this example dedicatedly and these inputs can be changed anytime potentially via parameters which results with different case and outputs, in other words, constructing a model with computational approach has parameters and parameters have this potential.

For instance, in this step of the study two alternatives are represented with 120 and 483 node connectors respectively. In other words, preliminary design for planning and an opportunity and flexibility for changing requirements are two key subjects for efficient design and construction. Therefore, in the preliminary design stage, the stakeholders can have the flexibility to realize several alternatives and discuss them in order to find aesthetic, efficient and most importantly the agreed solution for everyone, so that there are not any problems due to inaccurate planning and changing requirements.

Figure 22 (Left): Node connectors are numbered.

Figure 23 (Middle) : Node connectors in the geometry and separated from the geometry.

Figure 24 (Right): Node connectors are sequenced.



FABRICATING NODE CONNECTORS AS PROTOTYPES

In this step, node connectors of the diagrid structural system in free-form high-rise designs are indicated in Figure 25. And ideally, every node connector has to be prefabricated for the construction. The node connectors selected randomly from the sorted ones are produced as prototypes with a three-dimensional printer in order to create a model for the process of node connectors of diagrid structural system in free-form high-rise designs from design to prefabrication with the help of the model and the three-dimensional printer.

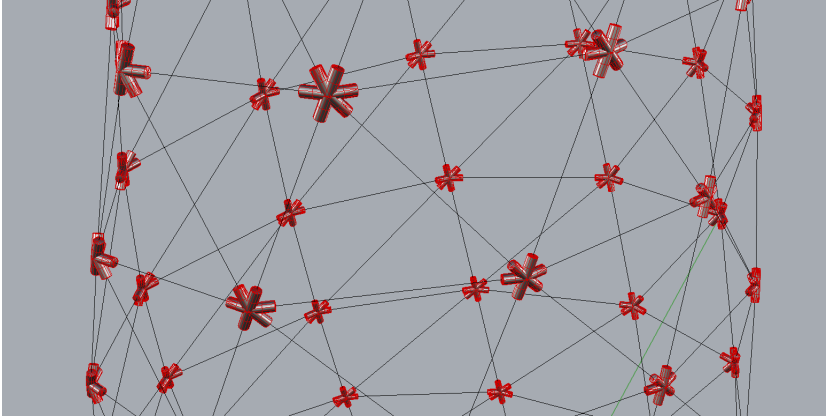
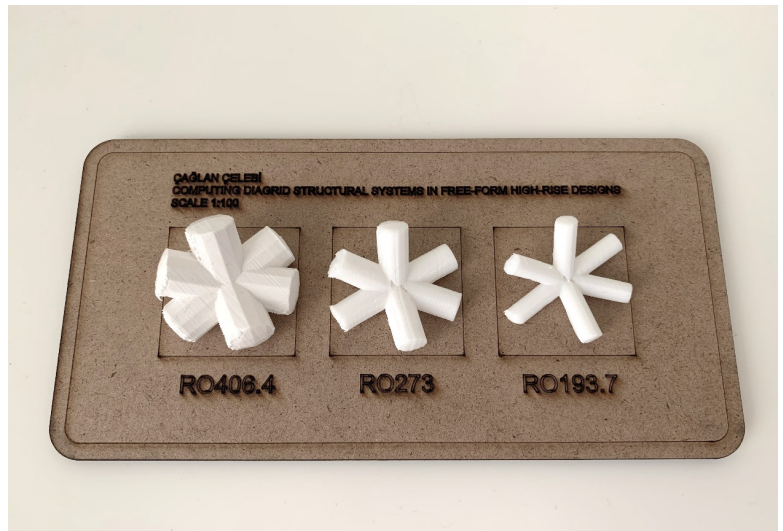
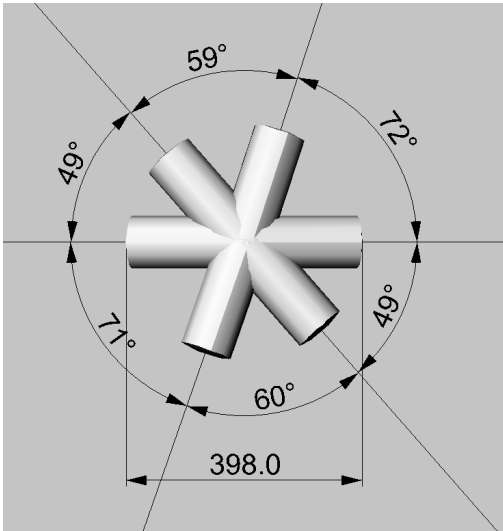


Figure 25 : Node connectors of the diagrid structural system.

For instance, the node connector selected randomly has a various angle in each branch and almost 4-meter length in the y-direction as shown in Figure 26.

As prototypes, randomly selected three node connectors with three different cross-sections are fabricated with a three-dimensional printer in 1:100 scale as an outcome of a model for the process of node connectors of the diagrid structural system in free-form high-rise designs from design to prefabrication (Figure 27).

Figure 26 (Left): Dimensions of the node connector selected randomly.
Figure 27 (Right): Three-dimensional fabricated node connectors in 1:100 scale.



Node connector is the center of the concept of the diagrid structural system and they are often parts of the diagonal structural elements. Node connectors play both aesthetical and functional roles as three-dimensional connections.

Fabrication as prototype is important in order to observe both aesthetical and functional role of node connectors better as designer. Thicker cross-section of selected material leads to a layout with larger spans and slightly less percentages of current stress to the maximum stress capacity whereas thinner cross-section leads to a denser layout and slightly more percentages of current stress to the maximum stress capacity. Moreover, selecting thicker cross-section in same layout provides less displacement but more total mass so an expensive model.

Experimenting and perceiving different prototypes in real rather than on computer, gives an idea to designers about diagrid designs and proportions of node connectors. Comparing alternatives of different cross-sections in prototypes helps designers while deciding the cross-section of structural elements and node connectors and the size of node connectors. Moreover, there is also the possibility to study and discuss preliminary connection details on these alternative prototypes.

FEEDBACK FROM THE MODEL: RE-MODELLING THE DIAGRID

In this part of the study, in the structural analysis of the model in the previous part, the remodeling of the diagrid structural system is discussed whether the potential structural element that may be added to the diagrid structural system are efficient. Moreover, it has been observed that the structural element in the diagrid structural system can be used more densely regionally, for instance in CCTV Headquarters. Diagrid structural system can be strengthened regionally as a solution to the structural strength requirements of the free-form high-rise designs. Therefore, as a result of any need, the diagrid will be re-modelled according to the feedback.

The main goal of adding potential structural elements is providing an alternative and possible more efficient solution to the problematic structural performance than the costly thickening of the cross-section of all the structural elements. Moreover, aesthetical concerns may also play a role in shaping geometrical patterns of the diagrid structural system. Montuori et al. (2014) study various geometric patterns of diagrid structural system in a regular geometry, emphasizing that different geometric patterns of the building façade that are almost comparable in terms of structural performance.

After the design and structural analysis of the model, whether a diagrid structural system in free-form high-rise designs is satisfying conditions efficiently or not will be observed clearly. There may be a need or a potential for adding structural elements to the diagrid structural system. In other words, if the system is efficient, but there is a desire for a

various geometrical pattern or if the system is not efficient and there is an intention for the different design aspect, firstly, the weakest regions where the structure is weak and unstable will be detected according to the structural analysis of the structure.

Location of additional structural elements are defined respectively according to the analysis: Locations where there are extreme positive and negative stress levels and maximum displacement are the main target. Moreover, adding structural elements closer to the support points has a positive contribution to the structural behavior. Then, defined weak regions will be strengthening regionally as a part of the design process. Increasing the number of structural elements in these regions instead of the whole system as an economical and efficient solution is the main step of this process.

Total weight of the structure is always controlled and compared with previous results while adding structural elements as the aim is to find an economical and efficient solution. The structural system will be remodeled according to the feedback from the analysis until the satisfactory result is achieved.

DETECTING WEAK REGIONS

In this step, the regions where the structure is weak and unstable will be detected according to the structural analysis of the structure. Since, stress is calculated based on the force in each structural element and stress levels of the model represents a range between maximum and minimum values under loading and is experienced based on the limits of the material, where the overall force leads the largest number (highest tensile force) and the absolute value of the smallest number (highest compressive force) are the weak regions of the structure. In addition, in the displacement visualization diagram, the unstable regions of the structure can also be observed. However, the much distance beams move under loading is observing in the top part of the structure because where is the farthest point from support. The critical point here is that the overall strength of the structure is affecting directly to the most unstable region where displacement is maximum, more strength less displacement.

In the weak regions starting from the bottom and foundation of the structure, additional structural elements are proposed as seen in Figure 29 with two alternatives through the parameters in the model in order to support the whole structure with both decreasing the gap between the largest number (highest tensile force) and the absolute value of the smallest number (highest compressive force) and maximum displacement, this proposal is studied in the next step.

SUPPORTING WEAK REGIONS

Next step for re-modeling diagrid is supporting the weak regions according to the inputs from the previous step. Since the geometry is

asymmetric, where the bending happens the region is indicated as a weak region in both utilization and stress visualization diagram. Additional structural elements placed in this region provides more efficient structural conditions as decreasing the gap between the largest number (highest tensile force) and the absolute value of the smallest number (highest compressive force) compared to former geometry as represented in both utilization and stress visualization diagrams in Figure 30 and Figure 31.

The strategy for adding potential structural elements is uncomplicated. Potential structural element is added as a line from the midpoint of randomly selected diagonal structural element that is located exactly in the weak regions to another midpoint of the side diagonal structural element. This happens for the indicated number of times in the specified regions which are the weak regions of the whole structure. There are a few parameters in order to control these additional structural elements. For instance, the density of these elements can be controlled via inputs such as the number of potential structural element and random seed generator, but the center of gravity of these elements is always around the center of the already detected weak regions.

Moreover, while making additional structural elements to provide improved structural conditions, it is also important to examine the displacement diagram as well as stress diagram. It is not surprising that the model mass is increasing when structural elements are added. But the displacement diagram is affected positively. As shown in Figure 32 and Figure 33, after the addition of new structural elements, the maximum displacement is decreased by almost 1 cm and the displacement diagram changes from red color range to orange range which represents the most unstable structural elements.

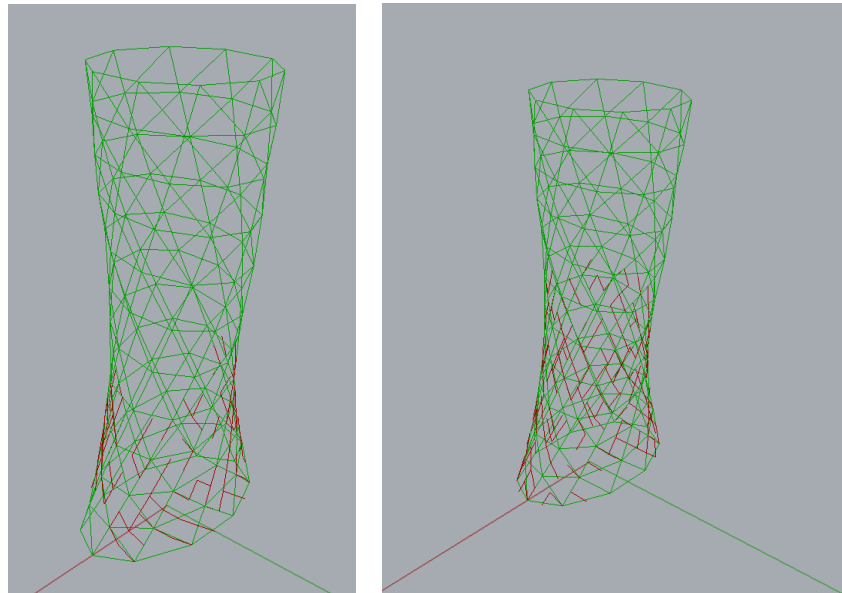


Figure 28 : The first alternative (left) and second alternative (right).

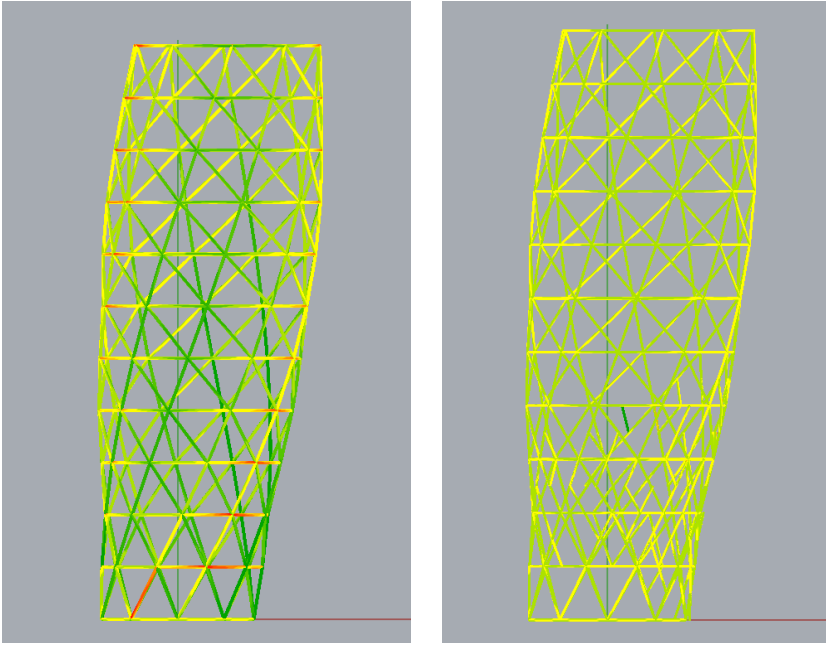


Figure 29 (Left): Stress diagram before adding structural elements.
Figure 30 (Right) : Stress diagram after adding structural elements.

A final observation is that it is possible to provide a more economical alternative solution by adding structural elements in specific regions instead of modifying the whole structure. This is not the only and correct way for providing a structural solution, yet it is an experimental alternative solution that opens up opportunities for alterations on the façade that can incorporate new considerations of functional and aesthetic terms.

FABRICATING DIAGRIDS AS PROTOTYPES

Three alternatives of diagrids that designed through the model are fabricated in 1:2000 scale as prototypes (Figure 34). The difference between alternatives is the structure: a layout with larger spans with a thicker cross-section of selected material (alternative 1), a layout where structural elements are added locally (alternative 2) and a denser layout with a thinner cross-section of selected material (alternative 3).

Designer can select a denser layout with a thinner cross-section of selected material if more closure and privacy is desired or select a layout with larger spans with a thicker cross-section of selected material if seeking more open space on façade or sun light. Moreover, a layout where structural elements are added locally is an experimental alternative in between them and provides alterations on the façade. The functions of interior space can be designed and adapted according to this alteration.

Fabrication is important in order to experiment different diagrid layouts as designer. Comparing different alternatives of diagrid layouts in prototypes shows that the structure affects the architectural characteristic of the diagrids. Discovering alternatives of diagrids in real rather than on computer, support designers for deciding alternative layouts.

Figure 31 : Displacement diagram before adding structural elements.

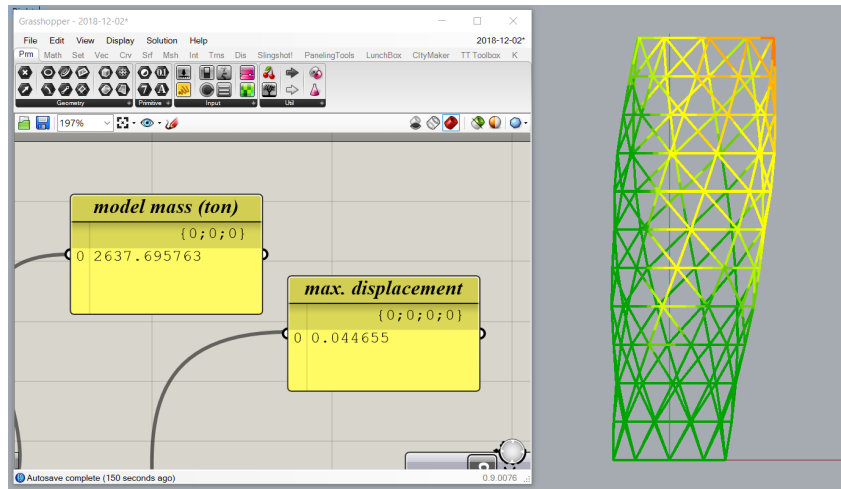
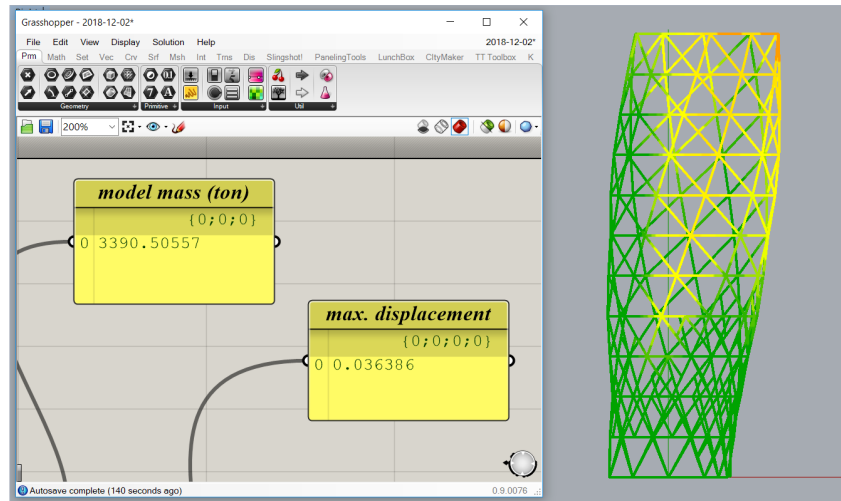


Figure 32 : Displacement diagram after adding structural elements.



3. CONCLUSION

This study focuses on diagrid structural system in free-form high-rise designs by constructing a model with a computational approach that designs a diagrid structural system, analyzes it and prepares node connectors which are most important structural element of a diagrid structural system for prefabrication in order to support designers to design it. In other words, this study presents a methodology to design and produce parametrically customizable node connector components of diagrid structural system in free-form high-rise designs by a computational approach. Consequently, designers will have a chance to determine a range of structural configurations of diagrid structural system in free-form high-rise designs and merely use the designed model on a computer to fine tune them.

The study offers a holistic perspective to the diagrid structure in free-form high-rise designs develops an affordable and accessible computational support for the preliminary design. This support takes place in an

algorithmic design interface, and the biggest advantage is that designers can integrate the design and analysis phases in a single interface. This makes it extremely practical for designers.

The model has been designed and developed via using accessible open-source software: The Grasshopper and the Karamba plugin (free version). The model has been constructed in Grasshopper and the diagrid structural system has been designed and analyzed with the Karamba plugin for the Grasshopper program. It is also open to further developments and this emphasizes the potential of using open-source software: the expanding of the knowledge additively.

In addition, the model is flexible due to its parametric characteristic and can be adapted to various individual projects so that designers benefit from it particularly but understanding potentials and having essential knowledge of predictability of the model give way to a more efficient gain. The model developed in this study offers that. Through the development of possibilities and opportunities of computational approaches, this study aims to support the use of diagrid structural systems in free-form high-rise designs among small firms. Thus, by the help of achievements of the study, it is assumed that when the diagrid structural system is used in a free-form high-rise designs, the complexities and difficulties occurring during the design and prefabrication phases will be avoided.



Figure 33 : Three-dimensional fabricated diagrids in 1:2000 scale.

ACKNOWLEDGEMENTS

Firstly, I would like to thank my thesis advisor Prof. Dr. Mine Özkar for her inspiration and support. This study would not have been possible without her encouraging guidance. I also thank her for advising me towards an Erasmus exchange semester at the University of Lisbon.

I am also very grateful to have had the opportunity to be a participant in the Fab Fest'17 held by the University of Westminster as a part of the ITU Digital Fabrication Team. I present special thanks to Prof. Dr. Leman Figen Gül for her leadership during the festival.

During the times that I have spent at the University of Lisbon and the University of Westminster, my vision and knowledge have expanded more than ever before.

I am indebted to the committee members Prof. Dr. Gülen Çağdaş and Asst. Prof. Dr. Sevil Yazıcı for their constructive suggestions that contribute to the development of the study.

References

- Boake, T. M. (2014). Diagrid structures: systems, connections, details. Walter de Gruyter.
- Montuori, G. M., Mele, E., Brandonisio, G., & De Luca, A. (2014). Geometrical patterns for diagrid buildings: Exploring alternative design strategies from the structural point of view. *Engineering Structures*, 71, 112-127.
- Moon, K. (2009). Design and construction of steel diagrid structures. NSCC2009.
- Moon, K. S. (2011). Diagrid structures for complex-shaped tall buildings. *Procedia Engineering*, 14, 1343-1350.
- Munro, D. (2004). Swiss Res Building, London. *Nyheter Stålbyggnad*, 3, 36-43.
- Wells, M. (2005). *Skyscrapers: Structure and design*. Laurence King Publishing.

