

Hesaplamalı Düşünce ile Mimari Tasarımın Potansiyellerini Yeniden Düşünmek: Betonarme Bir Deney

BİRGE YILDIRIM OKTA

*Department of Architecture, Faculty of Art and Design, Kadir Has University
birgeyildirim@gmail.com*

ÖZET

Hesaplamalı düşünce disiplinler üstü yeni üretimleri olanaklı kıldı. Hesaplamalı teknolojiler özellikle pozitif bilimler için yeni gelişmelere yol açarken, mimarlık alanında da önemli bir araştırma alanına dönüştü. Bu teknolojik gelişim sadece bir tasarım aracı değil aslında tasarım sürecine düşünsel olarak katılan, tasarım bilgisini yeniden üretme potansiyeline sahip bir kurguyu içermekte. Parametrik sistemler karmaşık geometrilerin üretim ve imalat süreçlerini, bunların ekonomik ve performans değerlendirmelerini mümkün kılarken tasarım sürecinde çoklu düşünmeyi sağlayan bir araç olarak önemli bir araştırmayı mümkün kılmakta. Son yirmibeş yılda parametrik sistemler ile geliştirilen tasarımlar, birbirini tekrarlayan form üretimleri nedeni ile bir mimari stil olarak algılanmakta. Bu algı hesaplamalı düşünce süreçlerini biçimsel bir kümeye indirgerken, pek çok tasarımcı tarafından parametrik sistemlerin kullanımının tercih edilmemesine ve tasarım sürecinde algoritmalar ile yeninin üretimine yönelik potansiyellerin indirgenmesine neden oldu. Bu makale günümüzde hesaplamalı teknolojiler ile tasarlama ve inşa etme süreçlerinin sadece başlarında olduğumuz savından yola çıkarak, bilgisayarca düşünmesüreçlerinin potansiyellerini betonarme strüktür ve kalıplar üzerinden araştırır. Araştırma, betonarme ile gerçekleştirilen bir dizi tasarım denemesini vaka çalışması olarak değerlendirirken tasarım denemeleri üzerinden betonun akışkanlığını vurgulayacak üç boyutlu strüktürel form üretimini, parametrik sistemlerle tasarım sürecini, geleneksel yöntemlerle dijital fabrikasyonu birleştiren imalat sürecini ve dijital teknolojilerin mimarlık disiplini için gelecek potansiyellerini tartışır.

Anahtar Kelimeler: Deneysel tasarım, Betonarme Tasarımı, Parametrik mimarlık, Hesaplamalı Tasarım, Morfogenetik

Rethinking the Potentials of Computational Design: Experimenting with Reinforced Concrete

ABSTRACT

The advance of computational thinking paved the way for new developments in the field of positive sciences and made new, inter-disciplinary productions possible. In the field of architecture, computational thinking has become a major subject of research. It is not just a design tool. It is very much involved in the design process as an intelligent contributor and has the potential to reproduce the knowledge of design.

In the last twenty-five years designs produced by using parametric systems came to be known as an architectural style because of its recognisable repetitive forms. This was not a positive reputation. Parametric systems came to be known as a tool just to create forms and therefore many designers did not prefer to employ it in their work. It is assumed that we are still at the beginnings of an era when increasingly more design and construction is expected to be done by using computational technology. In this article the potential of computational thinking is discussed based on observations during reinforce concrete design experiments. The project, which became our case study, employed computational technology for producing reinforced concrete structures and their moulds. A main objective for the design was to underline the fluidity of concrete while creating a three dimensional structural forms. The project employed a design process using

parametric systems and a production procedure using traditional methods together with digital technology.

Keywords: Experimental Design, Concrete Design, Parametric Architecture, Computational Design, Morphogenesis

1. GİRİŞ

Sayısal teknolojilerin tasarım dünyasına girişi ile mimarlar için yeni bir ufuk açıldı. Bu yenedünya, tasarım sürecini dönüştürdüğü gibi tasarım üretimine yönelik yeni yöntemlerin keşfedilmesine yol açtı (Lökçe, 1999). Tasarım alanı sayısal algoritmalar ve hesaplamalı modellerin tasarım dünyasına girişi ile süreç odaklı bir araştırma sahasına dönüştü. Bu 600 yıllık rasyonalizmin sona erdiğinin ilanı olurken, mimarlık disiplinine yeni bir gözlükle bakmayı ve yeni bir zihniyetin (mind set) doğuşunu zorunlu kıldı (Morel, 2019). Tasarım yöntemleri çeşitlenirken, tasarımın estetik algısında da bir dönüşüme yol açtı. Estetik beğeni değişti, ideal tasarım nesnesinin arayışı son buldu, çoklu çözümler yaratılarak optimuma ulaşmak pek çok tasarımcı için temel hedef oldu. 20. Yüzyılı kapsayan uzun ve değişken bu süreçte, muazzam sayıda tasarım artefaktının üretimine, sosyokültürel dönüşüme, teorik ve pratik araştırmanın gerçekleştirilmesine tanıklık ettik (Ago, 2019). Bilgisayarın bir tasarım aracı olarak kullanılması ile başlayan bu tarih süreçte, tasarım düşüncesi apriori lineer ilişkilerden eslenen bir temsile bürünmekteydi. Günümüzde mimarlık disiplini için dijital teknolojiler bir araç olmanın çok ötesinde yenilikçi ve gelişime açık yeni bir kurgu tarifliyor. Bilgisayar destekli tasarım ve hesaplamalı yöntemler ile mimarlık ortamında sürecin tasarlandığı yeni bir dönem başladı. Bu süreç beraberinde bir tartışmayı da başlatmış oldu. Bilgisayarca düşünme, yenilikçi bir tasarım süreci/üretim yöntemi olarak son yirmi beş yılda hızla gelişirken, analogilere dayalı biçimsel yaklaşımlar tasarım dünyasında sıklıkla eleştirilmekte. Bilgisayar destekli tasarım yöntemleri ile üretilen organik formların biçimsel üretime yönelik form dünyası içinde mimarların sahte bir yaratıcılık yanılgısı içerisinde olduğunu düşünen tasarımcılar, akademisyenler mimarlığın form üretiminin ötesinde bir noktada olması gerektiğini vurgulamakta (Lawson, 1999, Lawson 2002). 2008 ekonomik krizi ve ardından yaşanan ekonomik durgunluk daözellikle mimarlık disiplininde sayısal teknolojilerin neoliberal, küresel politikalarla anımsanmasına ve dijital tasarım araştırmaların gerilemesine neden oldu (Retsin, 2019, Schumacher, 2016). Tasarım dünyasında nesne tabanlı üretimler sıklıkla eleştiriye maruz kaldı. Örneğin Steadman (2008) biyolojik analogilerin doğayla kavramsal ve operasyonel bir ilişki kuramadığından bahsediyor. Tasarımcıların doğal sistemlerle kurduğu ilişkinin biçim üretiminden öteye geçememesi bağlamında eleştiriliyor. Patrick Schumacher'in Parametrisizm olarak isimlendirdiği bu yöntem neredeyse bir akım olarak algılanmakta (Schumacher, 2009). Kuşkusuz dijital teknolojiler dünyamızı sosyal, ekonomik, kültürel olarak hızla dönüştürürken mimarlık disiplini de dijital dünyanın bir stile indirgenmesi hesaplamalı tasarım düşüncesinin anlamını çok daraltmakta. Bu algı 2004 yılında Mario Carpo'nun derlediği, "The Digital Turn in Architecture (1992-2012)" kitabında, dijital teknolojilerle yapılan tasarımları Greg Lynn ve Bernard Cache'nin tasarım üretimlerinden örneklendirerek akışkan, karmaşık ve eğrisel formlardan oluşan bir mimari dil olarak tanımlanması ile pekiştirilmiştir (Carpo, 2004). Dijital teknolojiler karmaşık geometrilerin temsil ve imalatını kolaylaştırır fakat bir tasarım dili tariflemeyi (Leach, 2019). Kuşkusuz her mimari üretim bir görsel üretimle sonlanır fakat mimari stiller tasarımcıyı sonuca yönlendiren bir dizi ön kararı içerir (Joye, 2006)). Doğadan ilham alan sistemsel kurguları, biçimsel form üretiminin ötesinde, yaratıcı söylemler geliştirme potansiyeline sahip bir tasarım araştırma alanı. Bu sav üzerinden makale hesaplamalı yöntemlerle gerçekleştirilen betonarme bir denemeyi tartışmayı hedefler. Makale teorik altyapısını biomimikriden alır. Biomimikri doğanın, doğada bulunan sistemlerin veya biçimlenişlerin araştırılarak tasarım uygulamalarına uyarlanmasıdır. Mimarlık disiplini de algoritmalarla yapılan soyutlamalar diğer tasarım parametreleri ile birleştirilerek tasarıma uyarlanır. Dolayısı ile Biomimikri tasarım dünyası için bir sistem yaklaşımıdır. Bu biyolojik/doğal sistemleri algoritmalara dökerek soyutlayan, süreç ve sistemleri ayrıştırarak form, strüktür ve malzemenin tekrar entegrasyonunu sağlayan bir tasarım ve üretim

metodudur. Buyöntem, betonla gerçekleştirilen bir dizi deney sonucu inşa edilen bağlaç projesinde uygulanmıştır. Projede betonun akışkan formunu vurgulayan parametrik sistemlerle elde edilen tasarım ve dijital fabrikasyon ile gerçekleşen imalat süreçleri makale kapsamında aktarılacaktır.

2. DOĞADAN ÖĞRENME

1970'lerin başında Charles Jencks'in 1980'ler sonrası için öngördüğü biomorphic akımın mimarlık camiasına etkileri halen sürmekte (Jencks, 1971). Doğal sistemler üzerinden tasarımı yeniden yorumlayan bu akım mimari temsile ve sürece dair gözlem, analiz ve araştırma odaklı disiplinler arası bir tasarım süreci tanımlar (Erdoğan, Gönenç, 2011). Hesaplamalı teori ile doğal sistemlerin tasarımı için bilginin yeniden keşfinden yola çıkan bu akım doğadan öğrenen, araştıran bilişsel temelli bir yaklaşım. Günümüzde evrimsel algoritmalar üzerinden doğa yeniden keşfedilmeye çalışılmakta (DeLanda, 2005). Birçok disiplin doğanın analizine yönelik numerik matematik ve geometriği terk ederek (Nelson, Burry, Maher 2006) doğanın karmaşık kurgusunu anlamaya yönelik yeni yöntemlerin keşfine yönelmiştir. Varoluşsal, sosyal, biyolojik parametreler ile doğanın sistemsel keşfine yönelik hesaplamalı teori ve algoritmalar disiplinler üstü bir bilgi alanına dönüşmüştür (Weinstock, 2008).

Tasarım sürecine doğanın entegrasyonu ile yapay ve doğal arakesitinde tasarım bilgisi üretilirken bilgisayar destekli tasarım yöntemleri bir araç olmaktan çıkarak sürecin ta kendisini tanımlar. Algoritmaların üretim ve modelin manipülasyonuna olanak veren bilgisayar temelli kurgular aynı zamanda bireysel olarak algıladığımız dünyanın soyutlanarak yorumlanması ve modellenmesini içerdiği için süreç temelli, özgün ve esnek tasarım biçimlerine olanak sağlamakta.

Evrimsel süreçlerin kodlarının araştırıldığı günümüzde mimarlık için doğanın *memetic* (taklitçi) algoritmalar ile yeniden üretimi önemli bir tasarım araştırma sürecini doğuruyor. Wienstock, mimarlık üretiminin geçirdiği bu süreci teknoloji, ekonomi ve iklimsel parametrelerin değişimi sonucu gerçekleşen sistemsel bir dönüşüm olarak tanımlamakta (Weinstock, 2008). Bu aynı zamanda gezegensel yeni bir kültür söyleminin mimariye etkisi. Doğadan esinlenmekten öte, doğanın devinimsel süreçlerini analiz ederek doğayı bir modele dönüştüren yeni bir sistem kurgusu. Dolayısı ile hesaplamalı düşünce tasarımcıya doğal/yapay sistemler arasında oluşturulan yeni bir düşünce kurgusu tariflemekte. Sadece doğa bilimlerini değil sosyal ve iktisadi bilimlere de ışık tutan hesaplamalı teori tasarımcıya bilgisayarca düşünme olanağı sunarak pek çok parametrenin optimizasyonunu sağlamakta. Mimari paradigmaya yönelik oluşturulan algoritmalar farklı disiplinlere ilişkin bilgiler arasında bağlantı kurarak, mimari bilgi üretimini ve tasarım sürecini desteklemekte.



Resim 1. Yukarıda, Sedimanter kayaçlar, Fas Anti Atlas Dağları,Aşağıda , Sedimanter kayaçların beton ile yorumlanması

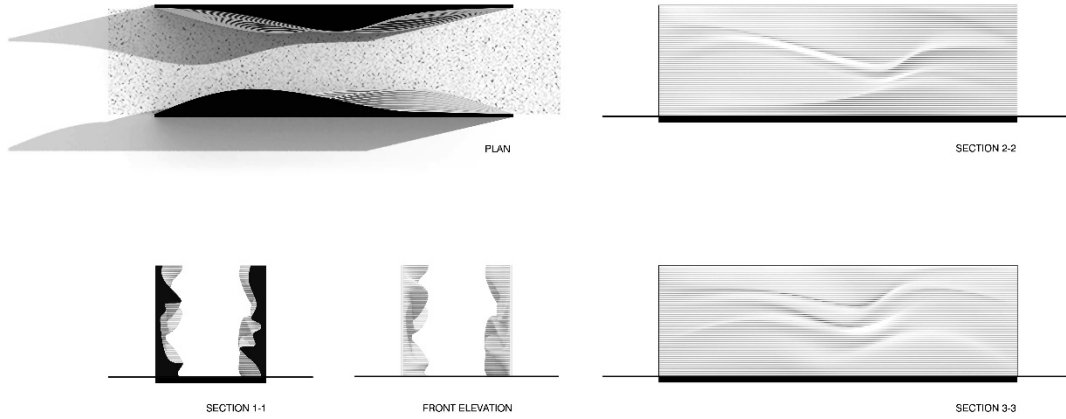
3. MORFOGENETİKTEN JOGENETİĞE

Hesaplamaları teori ve düşüncenin mimarlık/tasarıma süreç ve üretim olarak yansımalarına ilişkin günümüzde pek çok tasarım/üretim yer almakta. Bağlaç projesi süreç temelli düşünsel bilgiyi üreterek, doğa-teknoloji-zaman ve mekan bağlamında yenilikçi bir söz ve yöntem geliştirmeyi hedefler. Bu bağlamda morfogenesis kavramı üzerinden proje

Üretim sürecini tartışmak istiyorum. Küratörlüğünü Deniz Aslan ve Nursen Gümüşsoy'un stendiğ 2018 Betonart yaz okulunun ana teması "Beton olmak: Bir morfogenetik yaklaşım" olarak belirlendi. Morfogenesis kavramı ilk olarak biyoloji alanında "morfogeni" sözcüğü ile kullanılmış (Roudavski, 2005). Daha sonra jeoloji, kristalografi, mühendislik, kent araştırmaları, sanat ve mimarlık alanında biyolojik analogileri tariflemek için bu kavram kullanılmış (Beyaztaş, 2012). Mimarlıkta morfogenesis dijital temsil – görselleştirme aracı olarak değil, kavramsal bir esinlenme olarak kullanılmakta. Bu formun üretiminden, var olma ve ortaya çıkış halinin sorgulanmasına, sistemsel yaklaşıma, imalata kadar pek çok alanı kapsamakta. Dolayısı ile morfogenesis kavramı tasarım sürecine dair bir söylem içermekte. Küratör Deniz Aslan'ın beton ne olmak ister sorusu bu söylemi desteklemekte. Betonun olmak istediğ hali anlamak için öncelikle betonun davranışını anlamak önemli. Beton akışkan, sürekli, bütüncül, kendini taşıyan bir strüktürü olanaklı kılıyor. Bu noktada tasarım betonun doğasına veya betonun olmak istediğ halle uyumlu önemli bir tasarım parametresi olarak karşımıza çıkıyor. Srekliplik, akışkanlık ve bütüncüllüğü vurgulayan tasarım üretimi için düşünsel altyapı kurgulanırken hesaplamalı yöntemler devreye giriyor.

4. HESAPLAMALI DüşüNCE İLE TASARIM SÜRECİ: BAĞLAÇ

Biyolojik esinlenme kavramı bilimler arası bilgi transferi ve yorumlanmasını anlatmak için kullanılıyor. Bu yapılan analizlerin tasarım bilgisine aktarımını gerektiren derin bir gözlem ve sistematik bir analiz sürecini kapamakta. Bağlaç disiplinler arası bilgi transferini jeoloji biliminden tasarıma aktararak geliştirilen bir deneme. Proje kapsamında sedimanter kayalar analiz edilmiştir. Bu kayalar iklimsel biyolojik ve fiziksel koşullardan etkilenerak aşınma, çökelme ile morfolojik değışime uğrar (Helg vd., 2004). Sedimanter kayalarda ayrışma, taşınma, çökelme ve diyajenez sonucu gerçekleşen morfolojik biçimlenme analiz edilerek beton ile yeni bir form denemesi yapılmıştır. Bu kurgu aslında fonksiyon, algı ve imalata yönelik bir dizi kararın tasarım kurgusunda önemli bir dile ve araca dönüş halidir. Dolayısı ile Bağlaç projesi jeolojik oluşumların prensiplerinden yararlanarak betonla geliştirilen bir üretimdir (Resim 1). Proje bağlaç kavramı üzerinden şekillenen bir morfolojik kurgu içerir. Bağlaç, İki kelimeyi bağlayan kendi başına bir anlamı olmayan ancak cümle içinde anlam kazanan sözcükler için kullanılmakta. Tasarım bağlaç metaforundan yola çıkarak iki hal/ durum arasında bir bağ niteliğ taşır. Tasarlanan mekân iki duvar arasında gerçekleşen yapay topoğrafya algısını pekiştirir (Resim 2). Bağlaç kavramından yola çıkarak proje betonla kişi arasında, duvarın ötesi ve içi arasında, algısal/deneysel mekânın üretimini amaçlar. Dışarıdan yalın iki duvar olarak algılanan projede iç mekân jeolojik dokuların analizi sonucu üretilen algoritmalar ile soyutlamalarını içerir. Bu yapay topografya kişiyi kapsar ve yeni bir deneyim yaşatmayı hedefler. Bu ilişki süreç temelli bir tasarımın ürünüdür. Bağlaç yapay ve doğal peyzajı kapsayan sinematografik bir kurgu içerir (Resim 3). Morfogenesis kavramı tasarım süreci ve yapım yöntemine ilişkin parametreler bütünü içerisinde önce analog sonra dijital algoritmalar üretimini desteklerken, biçimsel değil fikirsel ve araçsal bir tasarım sürecinin menşeine dönüşür. İnşa edilen ürün bu sürecin bir sonucu olmaktan çok bu süreçte geliştirilen deneysel biçimlenişlerin doğal, rastlantısal hallerin insan vücudu ile uyumlanan bir fragmanı olarak karşımıza çıkmakta (Resim 4,5).



Resim 2. Bağlaç plan, kesit, görüşler



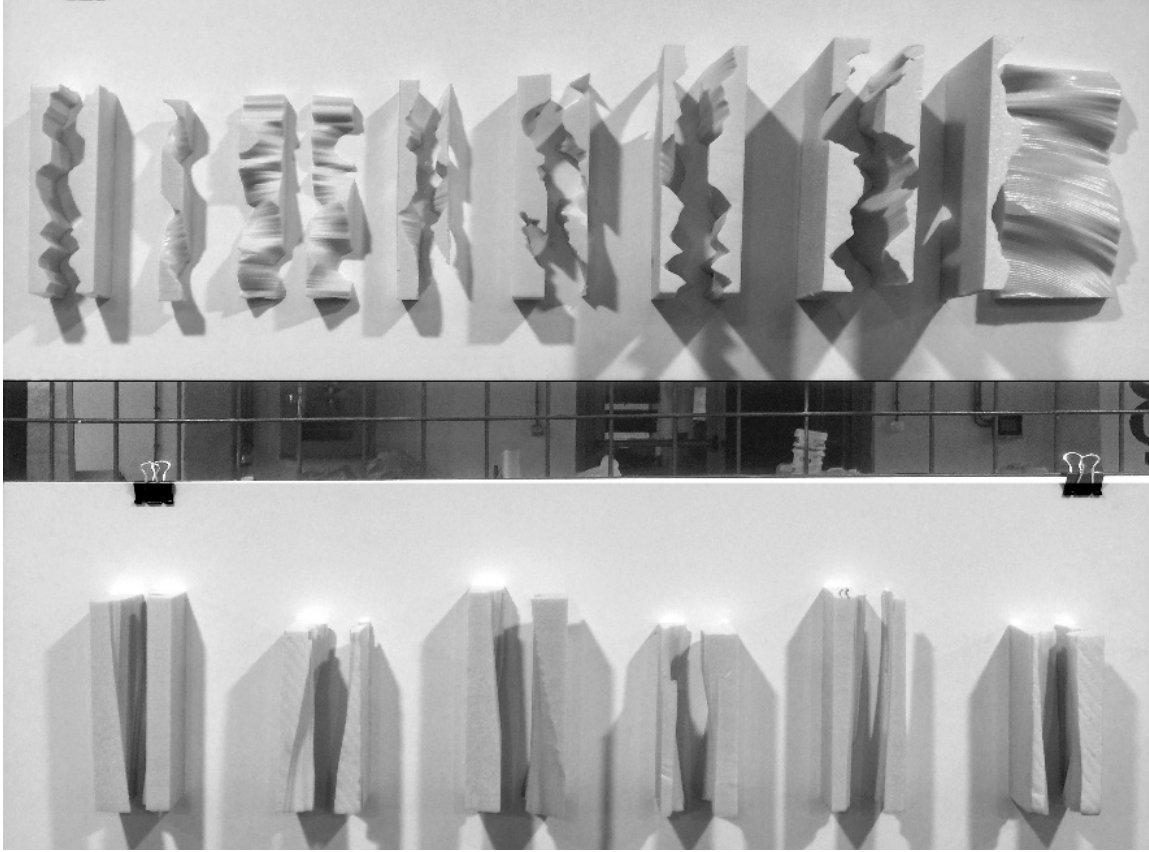
Resim 3. Bir yapay topoğrafya olarak Bağlaç

Bu bağlamda dünyada inşa edilen örnekler bakıldığında beton kalıp teknolojilerine ilişkin gerçekleştirdiğimiz bu araştırmayı bir kaç başlık altında kategorize etmek mümkün; Esnek kalıplar (kumaş, membran), Geleneksel Kalıplar (ahşap, forex), 3d yazıcı beton üretimi, Akışkan kalıplar (Kum, toprak) günümüzde kullanılan beton üretim teknolojileri arasında. Geleneksel kalıplar betonun akışkanlık prensibini sınırlarken betonarmeyi katı ve durağan bir strüktür olmaya zorluyor. Hesaplamalı yöntemlerle gerçekleştirilen kalıplar geleneksel tasarım formları ve kalıp yöntemlerinin dikte ettiği mekânsal üretime alternatif

betonun akışkan ve kalıbın şeklini alan doğasına uyum sağlayarak mekân üretimini destekler.



Resim 4. Beton prototiplerden bir örnek.



Resim 5. Analog maket deneyleri

Sayısal teknolojiler rastlantısal form varyasyonları üretmek için bir araca dönüşürken, aynı zamanda tasarım sürecinde dokuya, fonksiyona, iklimsel koşullara yönelik apriori parametrelerle şekillenen tasarım kurgusuna alternatif tasarımla şekillenen yeni parametrelere dair aposteriori bilgiyi tekrar sürece sokarak tasarıma yeni açılımlar sağlıyor (Şekil6). Bu tasarım üretimini, düşünsel süreç-tasarım aracı-tasarımcı arakesitinde yeni bir deneyim alanına dönüştürerek mekânın üretimine, malzemenin kullanımına yönelik bir kurguyu içeriyor. Bu noktada beton alışlagelmiş geleneksel strüktürel ve mekânsal tasarım kurgusunun dışında, Gürer ve Alaçam'ın sayısal tasarım süreçlerinde malzemeye ilişkin tespitlerinde tanımlandıkları gibi "betonu biçimlendirmek" yerine betona form veren tasarım bilgisini yeniden üretme potansiyeli taşır (Gürer, Alaçam, 2015) . Bağlaç projesinin imalatı bağlamında bu yöntem incelendiğinde tasarlanan kalıplar basınca karşı esneyerek tepki vermekte, sadece kalıbın betona değil, betonun da kalıba şekil verdiği etkileşimli yeni bir üretim sürecini geliştirmekte. Yalnızca imalata yönelik gözüken bu yöntem, tasarımcı ve kullanıcı için mekânı salt fonksiyonel bağlamından çıkartarak uzamsal ve deneyimsel yeni bir kurguya sürükler.



Resim 6. Başlaç içeriden görünüş

5. SONUÇ

Bilgisayar teknolojileri, tasarım bilgisini dönüştüren, üreten, mekân ve bedenle yeni etkileşimleri olanaklı kılan bir ortam. Bu araçlar tasarımcı ve tasarım arasında kurduğu

yeni diyalogla mimarlık bilgisinin de evrildiğinin bir göstergesi. Tasarım sürecinde bilgisayar teknolojilerinin amaç veya araç olma halini topyekûn kabullenme veya reddetmeye ilişkin tartışma, tasarım sürecinin karmaşık doğasını da indirger nitelikte. Uzunca bir süredir eleştirilmekte olan dijital avant-garde mimari tasarım süreçleri deneysel biçim üretimleri ve diğer disiplinlerden analogiler üzerine kurulu kavramsal çerçevesi ile eleştirilirken, bu eleştiri evrilmekte olan mimarlık/tasarım bilgisinin araştırılmasını engellemekte. İki kutuplu bu yaklaşım dijital ve analog süreçler arasında etkileşime izin vermiyor. Günümüzde biçim üretiminin tekrar üzerine kurulu olduğu ve bilgisayar destekli tasarım araçlarının her zaman yenilikçi biçim üretim ve süreçlerle sonuçlanmadığı yadsınamaz bir gerçek olsa da, bilgisayar destekli tasarım özellikle deneyim, imalat ve süreç temelli üretime yönelik yeniliklere olanak sağlamakta olduğu da bir gerçek (Şekil 7). Bu makale bağlaç projesini tartışırken betonun kullanımı üzerinden doğadan esinlenen bilgisayar destekli düşünsel tasarım süreçlerinin yalnızca biçim üretimi üzerine değil aynı zamanda sürece yönelik tasarım söylemleri, mekân üretimi ve imalat yöntemlerinin optimizasyonuna dair önemli bir potansiyel barındırdığını vurgular. Makale proje kapsamında betonla geliştirilen bir dizi deney ile parametrik sistemlerin tasarım ve imalat sürecini optimize ederken, karmaşık geometrileri fonksiyonel olarak üretebilme ve inşa edebilmeyi mümkün kıldığını göstermiştir. Deneyler kapsamında üretilen yerleştirme ile aynı zamanda alternatif beton kalıp sistemleri ile üretilen betonarme strüktürler için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Doğal/yapay/coğrafi sistemlerin analizi ile oluşturulabilecek algoritmalar tasarımcılar için mikro ve makro ölçekte önemli potansiyeller barındırıyor. Dijital algoritmalar tasavvurlarımızın ötesinde düşünülmemişi düşünmeyi, hayali inşa etmeyi mümkün kılıyor (Kolarevic, 2005). Sayısal paradigmlar yazılım ve donanım alanında karmaşık bir noktaya erişirken, bu yeni teknolojilerin mimarlık disiplinine girişi ile mimarın rolü de hızla değişmekte. Hesaplamalı yöntemler mimarları son ürüne yönelik tasarıma odaklanmak yerine, tasarım sürecinin başından itibaren sistem ve süreç yönetimini tasarımla bütünsel düşünmeye zorluyor. Mimarlık disiplini, parametrik sistemlerin mimari tasarıma girişi ile imalat, malzeme, seri üretime imkan sağlama, optimizasyon gibi pek çok kriteri içinde barındıran çok disiplinli bir tasarım bilimine dönüşmekte (Erdine, 2017). Bu noktada mimarın rolü farklı disiplinler arasında müzakere ve işbirliği sağlayan bir sistem tasarımcısına dönüşmekte. Günümüzde hesaplamalı yöntemler ile mimarlık disiplini kavramsal biçimsel mekânsal ve teknolojik olarak dönüştürecek uzun bir araştırma deneyinin sadece başlarındayız.

6. KAYNAKLAR

- AGO, V. (2019) Series and Other Unit-Based Alternatives: Notes on Contemporary Digital Operations, *Arhitectural Design*, 89(2), 110-117.
- BEYAZTAŞ, H., S. (2012) Mimari Tasarımda Ekolojik Bağlamda Biçim ve Doğa ilişkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri, yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2012.
- CARPO, M. (2004) *The Digital Turn in Architecture (1992–2012)*, John Wiley & Sons (Chichester).
- DELANDA, M. (2005) *Intensive Science and Virtual Philosophy*. Continuum, New York.
- ERDİNE E., KALLEGİAS A. (2017) Interwoven reinforced concrete structures: Integration of design and fabrication drivers through parametric design processes, *Design Studies*, 52, 198-220.
- ERDOĞAN, E, GÖNENÇ, S., A. (2011) Hesaplamalı Modeller Aracılığıyla Mimari ve Doğal Biçim Türetim İlkelerini İlişkilendirmek, *METU JFA*, 28(2), 269-281.
- GÜRER, E., ALAÇAM, S. (2015) Sayısal Düşünmenin Yaratıcılık Bağlamında Sökümü, Mimarlıkta 'Sayısal Fırsatlar, Bilgisayar Mimarlığın Neresinde?', ed. B. Şenyapılı, No. 35, 02/2015, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi, 58-62.
- HELIG, U., BURKHARD, M., SE ´VERINE, C., ROBERT-CHARRUE, C. (2004) Folding and inversion tectonics in the Anti-Atlas of Morocco, *Tectonics*, 23 : 1-17.
- JENCKS, C. (1971) *Architecture 2000: Predictions and Methods*, International Thomson Publishing, London, 1971.



- JOYE, Y. (2006) Cognitive and Evolutionary Speculations for Biomorph Architecture, *Leonardo*, 39, (2), The MIT Press, 145-152.
- KOLAREVIC, B., MALKAWI, A. (2005) *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*, Spon Press, New York; London.
- LAWSON, B. (2002) CAD and Creativity: Does the Computer Really Help?, *Leonardo*, 35(3), 327-331.
- LAWSON, B. (1999) 'Fake' and 'Real' Creativity using Computer Aided Design: Some Lessons from Herman Hertzberger, *Proceedings of the 3rd Conference on Creativity & Cognition*, ACM Press, New York, 174-179.
- LEACH, N. (2019) There Is No Such Thing as a Digital Building: A Critique of the Discrete, *Architectural Design*, 89 (2), 166-141.
- LÖKÇE, S. (1999) Integrating Technology into the Architectural Curriculum. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 17(3), 1999.
- MOREL, P. (2019) The Origins of Discretism: Thinking Unthinkable Architecture, *Architectural Design*, 89(2), 14-21.
- NELSON, A., BURRY, M., MAHER, A. (2006) The Discipline' in Interdisciplinary and Transdisciplinary Research, *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences: Annual Review*, 1:147-54
- RETSIN, G. (2019) Discrete Architecture in the Age of Automation. *Architectural Design*, 89(2), 6-13.
- ROUDAVSKI, S. (2005) Towards Morphogenesis in Architecture, *International Journal of Architectural Computing*, 7(3), 345-374.
- SCHUMACHER, P. (2016) Parametricism 2.0: Gearing Up to Impact the Global Built Environment. *Architectural Design*. 86 (2). 8-17.
- STEADMAN, P. (2008). *The Evolution of Designs: Biological analogy in architecture and the applied arts*. Routledge.
- SCHUMACHER, P. (2009) Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design, ed. N. Leach, *2 Digital Cities*, July/August (no 4), 14-23.
- JENCKS, C. (1971) *Architecture 2000: Predictions and Methods*, International Thomson Publishing, London, 1971.
- WEINSTOCK, M. (2008) Metabolism and Morphology, *Architectural Design Magazine*, 78(2), 26-33.