

MİMARLIKTA HESAPLAMALI TASARIM VE ÜRETİM YAKLAŞIMLARI: PAVYONLAR ÜZERİNE İNCELEME

İrem İŞBİTİREN* (ORCID: 0000-0002-1537-8423)

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
e-posta: iremisbitiren@hotmail.com

ÖZET

Araştırma; günümüzde mimarlık alanında değişen tasarım ve üretim süreçlerinin sonucu olan hesaplamalı tasarım kavramını ele alarak değiştirdiği üretim yöntemlerini ve geliştirilen malzeme yaklaşımlarını incelemektedir. Bu bağlamda hesaplamalı tasarım iş akışı modellerinin sayısal üretim teknolojileri ile ilişkisinin irdelenmesini ve potansiyellerinin farkına varılmasını hedeflemektedir. Bu ilişkinin izin verdiği farklı form arayışları ve üretim yöntemleri araştırmanın önemini vurgulamaktadır. Üretim aracı olarak görülen pavyon örneklerinin analizleri ile desteklenmektedir. Hesaplamalı tasarım süreçleri kapsamında üretim süreçlerinin ve araçlarının yanı sıra yeni kavramların ve sınıflandırmaların ortaya çıktığı görülmüştür. Sayısal üretim (digital fabrication) teknolojileri kullanılarak üretilen pavyon örneklerinde, tasarım, malzeme ve iş akışı yaklaşımlarının konvansiyonel tasarım süreçlerinden farklı olduğu gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Tasarım; Dijital Fabrikasyon; Üretim Teknolojileri; Tasarım Süreci; Pavyon Tasarımı.

ABSTRACT

Research examines the computational design concept which is the result of changing design and production processes in the field of architecture today, and examines the production methods it has changed and the material approaches developed. In this context, it aims to examine the relationship of computational design workflow models with digital production technologies and to realize their potential. Research for different form finding and production methods allowed by this relationship emphasize the importance of research. It is supported by the analysis of

pavilion examples seen as production tools. It has been observed that new concepts and classifications have emerged as well as production processes and tools within the scope of computational design processes. In the pavilion examples which are produced using digital fabrication technologies, it is shown that the design, material and workflow approaches are different from conventional design processes.

Keywords: Computational Design; Digital Fabrication; Fabrication Technologies; Design Process; Pavilion Design.

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojilerinin ilerlemesi ile tasarım alanına olan etkileri gözle görülür hale gelmiştir. Mimari tasarım bağlamında biçim, strüktür, malzeme arasındaki ilişkinin ve gelişen üretim teknolojilerinin keşfedilmesi söz konusudur. Geleneksel üretim yöntemlerinin ve süreçlerinin güçlüğü yeni uygulama yöntemleri arayışına sebep olmaktadır. Mimari tasarım süreçlerinin farklılaşması, hesaplamalı tasarım yöntemlerinin kullanılması ve buna bağlı sayısal üretim teknolojilerinin üretim aracı olması ve potansiyellerinin keşfedilmesi gündemdedir.

Değişen, dönüşebilen ve adapte olabilen üretim araçlarının araştırılmasının yanı sıra tasarımın form arayışlarına bağlı döngüsünde getirdiği üretim kısıtlamaları da göz önünde bulundurulması bu bağlamda önemlidir. Bu çalışma deneysel mimarinin uygulama alanı olarak gördüğü, hesaplamalı tasarım yöntemlerini kullanan ve sayısal üretim yöntemlerine göre üretilen pavyon örneklerini kapsamaktadır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Güncel tartışma konularından olan hesaplamalı tasarım süreçleri ve bu konunun etki alanı olan üretim yaklaşımları çalışma konusu olarak seçilmiştir. Konu üretim yaklaşımlarının deney alanı olan uygulanmış pavyon örnekleri üzerinden ilerlemektedir. Örnekler tasarımlarında hesaplamalı

* İrem İŞBİTİREN

tasarım yöntemleri geliştirmesi, sayısal üretim teknolojilerini kullanması ve yenilikçi üretim yaklaşımı geliştirmesi sebebi ile seçilmiştir. Çalışmanın amacı hesaplamalı tasarım yöntemlerinin sistematikleştirdiğini göstermek ve bu yöntemleri kullanarak sayısal üretim teknolojileri ile uygulama alanlarının keşfedilmesi ve taşıdıkları potansiyellerin gösterilmesidir.

1.2. Araştırmanın Yöntemi

Hesaplamalı tasarım ve süreçler beraberinde yeni kavramlar getirmiştir. Bu alanda literatür taraması yapılarak sayısal üretim teknolojilerinin etkilendiği konular vurgulanmıştır. Alanın araştırma ve uygulamasının yapıldığı küçük ölçekli uygulama alanı olan pavyon örneği, gösterme aracı olarak kullanılmıştır. Kavramlar ve yöntemlerle desteklenen araştırma son yıllarda gelişen üretim araçlarını kullanan ve uygulayan örneklerle desteklenmiştir.

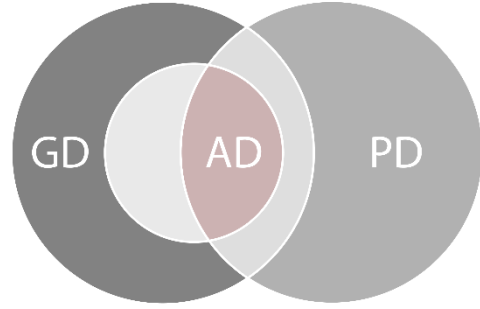
2. MİMARLIKTA HESAPLAMALI TASARIM KAVRAMI

Bilgisayar ve yazılım teknolojilerine ulaşmanın kolay olduğu bu süreçte düşünme şeklimizin yanı sıra üretim yöntemlerimiz de değişmektedir. Bu süreçten etkilenen alanlardan biri olan mimarlıkta, bilgisayarın mimari tasarım süreçlerinde oynadığı rol değişmekte, tasarım probleminin yanıt arayan araç olarak kullanılması önemini anlamamızı sağlamaktadır. Çağdaş, Bacınoğlu ve Çavuşoğlu'na (2015) göre hesaplamalı tasarım yaklaşımları matematiksel, mantıksal, ilişkisel karşılıkları olan parametrik, üretken, performans dayalı tasarım yaklaşımları ile tasarım sürecine yansımaktadır. Sayısal ortamın sağladığı hesaplamalı tasarım kavramsal olarak incelendiğinde tipik tasarım iş akışlarını iyileştirmenin bir yolu olarak paradigma ve farklı araştırma konularını keşfetmenin bir aracı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde hesaplamalı tasarım bağlamında Parametrik, Üretken, Algoritmik Tasarım terimlerini araştırdığımızda karşımıza bazı tanımlar çıkmaktadır. Parametrik tasarım kavramı tanımlamalarında ölçülebilen değişkenlere bağlı olarak tanımlanmasının yanında Zarei (2012) tanımı iki kategoriye ayırıyor, birincisi konsept modelleme için bir yöntem diğeri ise mimari yapı için fikirdir.

Abdelmohsen'e (2013) göre üretken tasarım tanımı hücresele özdevinim, evrimsel yöntemler, üretken ve biçim gramerleri, L sistemleri, kendi kendine organize etme, etkin tabanlı modeller ve sürü sistemlerini kapsıyor. Bunların yanında performans dayalı sistemlerinde üretken tasarım tanımının kapsadığı belirtiliyor.

Algoritmik tasarım ise Cambridge sözlüğüne göre "bir soruna cevap veren matematiksel bir dizi ögesinin hesaplanmasına yardımcı olacak talimatlar veya kuralların bütünü" olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda tanımlar karşılaştırıldığında Şekil.1 ortaya çıkmıştır.

Algoritmik tasarım üretken ve parametrik tasarımın kesişim alanında olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bu tür yaklaşımlar ile yazılım araçları, tanımlamalar ve yaklaşımlar süreç içerisinde güncellenmektedir.



Şekil 1. Caetano Santos, Leitão'e (2020) göre GD: Generative Design (Üretken Tasarım); AD: Algorithmic Design (Algoritmik Tasarım); PD: Parametric Design (Parametrik Tasarım) ilişkisi.

2.1. Hesaplamalı Tasarım Süreç İlişkisi

Bilgisayar teknolojilerinin 1960 yılından itibaren tasarım alanında kullanılmaktadır. Bu alandan etkilenen mimarlık da bilgisayar ortamına dahil olmuştur. El çizimleri ile başlayan süreç bilgisayar ortamına taşınmıştır. CAD (Computer-Aided-Design) programlarının araç olarak kullanıldığı modellerin yanı sıra hesaplamalı tasarım süreçlerinin etkin rol oynadığı Formasyon, Üretken, Performansa Dayalı ve Birleşik modeller kullanılmaktadır. Bu bağlamda hesaplamalı tasarım modellerini Oxman (2006) beş ana başlıkta incelemektedir. CAD Modeller; Formasyon Modeller; Topolojik Tasarım Yöntemi, Parametrik Tasarım Yöntemi, Animasyona Dayalı Tasarım Yöntemi; Üretken Modeller; Biçim Gramerleri ile Tasarım Yöntemi, Evrimsel Tasarım Yöntemi; Performansa Dayalı Tasarım Yöntemi, Performansa Dayalı Üretken Tasarım Yöntemi; Birleşik Model olarak ayırmaktadır.

Avinç ve Vural'a (2020) göre hesaplamalı tasarım bağlamında değişen tasarım sürecine ait bir model önerisidir. Konvansiyonel tasarım süreçlerinden farklı olarak ulaşılan kavramlar değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik, bileşenler, varyasyon, animasyon, simülasyon, optimizasyon,

rasyonelleştirme / dökümantasyon, aşama olarak ise sentez, geliştirme ve iletişim aşamalarına ayırmışlardır.

2.2. Hesaplamalı Tasarımın Mimarlık Üretim Yaklaşımlarına Etkisi

Mitchell (2001) üretim yaklaşımına ait şu sözleri söylemektedir: “Mimarlar inşa edebilecekleri binaları çizerler ve çizebildikleri binaları inşa ederler.” Bu yaklaşımın pratikte mimarların tasarım sürecine olan etkisinin yanında, kullandığı araçlarla gerçeğe dönüştürebilme imkânı artmaktadır. Sayısal Tasarım/Üretim Teknolojileri (CAD/CAM) ve bina bilgi modelleri (BIM) ile mimari tasarımda üretim yaklaşımlarının esnekliği ve artan yöntem çeşitliliği söz konusudur. Hesaplamalı tasarım modellerinin yapım aşamasına geçilmesinde veya prototiplemede dijital fabrikasyon araçları üretilmesini sağlar. Üretmek için bilgisayar modelleri üzerinden veya prototipler üzerinden test yapmak, geri dönüşler ile beslenmek ve farklı disiplinler ile iş birliği Oxman (2006) tanımı ile birleşik modele doğru evrilmesi verimli olacağı fikri ortaya atılmıştır.

3. ÜRETİM YAKLAŞIMI: DİJİTAL (SAYISAL) FABRİKASYON

Üretim Türk Dil Kurumu tanımına göre “belirli faaliyet ve işlemler sonucu yeni bir mal veya hizmet meydana getirme” olarak, fabrikasyon ise “fabrikada yapılarak tüketime hazır duruma getirilen madde” olarak tanımlanmıştır. Fabrikasyon teknolojisinin tarihi 19. yüzyılın başlarında Ford Motor Company'nin kurucusu Henry Ford tarafından tanıtılan ve geliştirilen kitle üretimi ile başlamıştır. Sayısal teknolojiler ile fabrikasyonun birlikte kullanımı ise Massachusetts Institute of Technology (MIT)'de 1952 yılında freze tezgâhının sayısal şekilde kontrol edilmesi kabul ediliyor (Gershenfeld, 2005). Bunların yanında ilk dijital fabrikasyon laboratuvarı (FABLAB), Boston merkezli, 2003 yılında “South End Technology Center” adıyla açılmıştır (Gershenfeld, 2012). FABLAB adı ile resmi bilinen fabrikasyon laboratuvarlarının sayısı, 2011'de 90 iken 2017 Aralık ayında 1205 adete ulaşmıştır (Fab Labs). İlerleyen zamanda ise makerlab kavramı ortaya çıkmıştır. Bu sayede ortaya çıkan tasarımı üretme mantığını tasarımcı kendin yap yöntemi ile ortaya koyabilmektedir.

Mimarlık ve fabrikasyon üretimi alanındaki gelişime Iwamoto'nun Digital Fabrications Architectural And Material Techniques (2009), Nick Dunn'un Digital Fabrication in Architecture (2012) önemli ivme sağlayan kitaplar arasında öne çıkmaktadır. Ayrıca CAD (Computer-Aided-Design) teknolojisinin, mimari formun ve inşaat üretiminin sınırlarını genişletmesi ile yeni bir anlayış getirmişlerdir.

Hesaplamalı tasarım ve dijital fabrikasyon üretimi arasındaki bağlantı, ürüne ait bilginin hızlı sayısallaştırılmasını sağlamakta ve tasarımı mimarlığın fabrikasyon bölümüne bağlamaktadır; bu şekilde mimar, yapım aşamalarında en küçük bileşene kadar kontrol-bilgi sahibi olabilmekte ve yapı ortaklarının bilgi seviyelerini arttırmaktadır (Gramazio vd., 2010). Sonuç olarak sayısal üretim teknolojileri mimari üretim yöntemlerini önemli ölçüde etkilemiştir ve tasarımcılara tasarladıklarını gerçekleştirme alanı sağlamıştır.

3.1. Dijital (Sayısal) Üretim Teknikleri

Dijital (Sayısal) üretim tekniklerinde Katmanlı Üretim (Additive Manufacturing), 3 boyutlu yazıcıları; Eksiltici Üretim (Subtractive Manufacturing), CNC (Computer Numerical Control), EDM (Electrical Discharge Machining), Lazer Kesimi, Su Jet Kesimi; Robotik Manipülasyon (Robotic Manipulation) ise Mafsallı Robotları, Kartezyen Robotları, İşbirlikçi Robotları kapsar. Robotların mimari ve uygulamada Fabrikasyon, Konstrüksiyon, İşletme Operasyonu, Tasarım amacıyla kullanılmaktadır. Ek olarak bu bağlamda günümüzde kartezyen robotların 3 boyutlu yazıcılar ile kullanılması söz konusudur. Sonuç olarak uygulama alanında üretimlerin varyasyonlarının ve kullanım alanlarının artması söz konusudur.

4. ÜRETİM ARACI: PAVYON TASARIMI ÖRNEĞİ ÜZERİNE

Geçici mimarlığın sembollerinden olan pavyon kavramı tipik bina programından farklı olarak içerdiği esnek fonksiyonelliği ile deneysel mimarlığın uygulama alanına girmeyi başarmıştır. Teknoloji gelişiminin takip ettiği uygulama yöntemlerinin deneyimlendiği pavyonlar mimarlık tarihinde de önemlidir. Söz gelimi, 1929 yılında Mies van der Rohe Barselona Dünya Sergisi için tasarlanan Alman Pavyonu, ilk önemli örneklerden biridir. Taşıyıcı ve duvarların birbirinden ayrıldığı tasarımda iç mekânda sağlanan açık plan ve malzeme anlamında yenilikçi bakışa sahiptir.

Mimarlık tarihinde adı geçen ise Richard Buckminster 1967 Dünya Expo Fuar için tasarladığı Montreal'de inşa edilen ABD pavyonu Biyosfer Montreal jeodezik kubbesidir. Tasarladığı form ve geometri dışında, kolay inşa edilebilir olması ve iç mekandaki ısı akışının kontrol edilebilir olması konusunda döneminde farklılık yaratmıştır. Pavyon tipolojisinde yarattığı etki büyüktür.

Mimarlık tarihinde de görülen farklı formların ve yapım yöntemlerinin kullanıldığı pavyonlar günümüzde de teknoloji ile değişerek uygulanmaktadır. Bu bağlamda seçilen örnekler

kullanılan sayısal üretim teknolojilerinin yanında farklı malzeme yaklaşımları dikkate alınarak seçilmiş ve yöntemine göre sınıflandırılarak incelenmiştir.

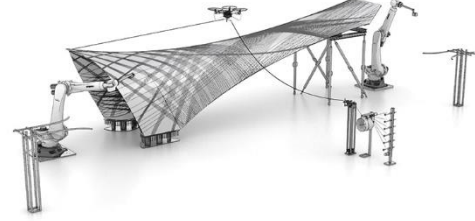
4.1. Robotik Manipülasyon Üzerine

Sayısal üretim teknolojilerinde endüstriyel robotların mimarlık alanında kullanımı, uygulamaları ve araştırmaları artmakla beraber malzeme yaklaşımlarının da değiştiği gözlenmektedir. Uygulanan pavyon örnekleri kullandıkları malzeme, üretim teknolojisi ve yöntemi ile ele alınarak değerlendirilmiştir.

ICD (Institute for Computational Design and Construction) ve ITKE (Institute for Building Structures and Structural Design) Stuttgart Üniversitesi tarafından yürütülen hesaplamalı tasarım ve üretim programında 2016-2017 yılları arasında yürüttüğü araştırma pavyonlarından birisidir. Bütüncül kabuk tasarımından yola çıkarak üretilen pavyon tasarımında iki robot kolun arasında karbon ve cam lif (fiber) taşıyan drone aracı üretime katkı sağlıyor. Sayısal ortamda hazırlanan strüktür modellerden yola çıkarak basınç dayanımının azaldığı noktalarda karbon elyaf sıklığı artırılıyor. Bu noktada performansa bağlı sayısal modeli üzerinden optimizasyon yapılmıştır. Cam elyaf ise geçirgenliğin olması istenilen bölgelerde kullanılıyor. Pavyon 40 m² alana yayılıyor ve tek ayaklı strüktürün ulaştığı konsol açıklık 12 metredir. Bu örneğin sonucunda ölçeklendirebilecek geniş açıklıkların fabrikasyon sürecinde kullanılabilir ve üretilebilir olmasına dikkat çekilmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3) (URL-1, 2017).



Şekil 2. Pavyon Görsel (URL-1, 2017).



Şekil 3. Robot Kol ve Drone Üretim Araçları (URL-1, 2017).

Diğer araştırma örneği ise aynı programda yer alan ICD (Institute for Computational Design and Construction) ve ITKE (Institute for Building Structures and Structural Design) Stuttgart Üniversitesi tarafından yürütülen hesaplamalı tasarım ve üretim programında 2018-2019 yılları arasında yürüttüğü BUGA lif pavyonu (BUGA Fibre Pavillion) dur. Basınç ve çekme eksenlerine göre dokuma stratejisi oluşturan ve karbon, cam lif malzemelerini kullanan, iki pozisyoner arasındaki kasnakta robot kol tarafından dokunan strüktür birimlerden oluşuyor. 23 metrelik açıklığa sahip pavyon 400 m² alana yayılıyor. Üst örtü ise şeffaf yapıya sahip ön gerilimli ETFE membranı ile sağlanıyor. Hafif strüktürlü yapısı ile ve sağladığı deneyim ile konvansiyonel çelik strüktürlerden farklılaşıyor (Şekil 4 ve Şekil 5) (URL-2, 2019).



Şekil 4. Pavyon Görsel (URL-2, 2019).

Bambu elemanlar, 3B baskı teknolojisine dayalı yeni bir sistemle birbirine bağlanıyor. Bağlantıların oluşturulması hesaplamalı-dijital bir süreç sayesinde otomatikleştirildi ve mekanik gereksinimleri karşılamak için geliştirildi. Buna paralel olarak, zaman ve maliyetten tasarruf etmek için hacimler optimize edildi. 380 bağlantı üretmek için MJF (Multi Jet Fusion) teknolojisi ve DMLS (Direct Metal Laser Sintering) kullanan bir hibrit strateji uygulanmıştır.



Şekil 9. Birleşim Noktaları (URL-3, 2020).

Pavyonun gölgelendirme panelleri, hesaplamalı tasarım süreci ile tasarlandı ve hafif esnek tekstil üzerine geri dönüştürülebilir bir morötesi (UV) dirençli termoplastik üzerine ek 3B baskı yoluyla üretildi. 3B baskı, kumaşı sertleştirdi ve fabrikasyon için hazır paneller haline geldi. Modüler bir yapı şeması sayesinde, yapı hızlı inşa edildi. Pavyonun önceden monte edilmiş kısımları sadece 48 saat içinde yerinde monte edildi. Dijital bambu pavyonu, sayısal üretimin inşaatta sürdürülebilir bir geleceğe nasıl yol açabileceğine dair yeni bir paradigma araştırmasına sebep oluyor (Şekil 9 ve Şekil 10) (URL-3, 2020).



Şekil 10. 3B yazıcı ile Üretilmiş Akıllı Düğüm Noktası (URL-3, 2020).

4.3. Katmanlı Üretim Üzerine

Pavyon tasarımını mozaikleme yöntemi ile parçalara ayırarak katmanlı üretimin bütünüyle etkin rol

oyndığı tasarım olan Trabeculae Pavyonu örneği ele alınmıştır.

Politecnico di Milano'daki Trabeculae Pavyonunu (2018) tasarlayan ve geliştiren Roberto Naboni'nin deneysel tasarım ve inşa etme konusunda uzman bir ekip ile birlikte doktora araştırmasının sonucu olarak üretilmiştir. Çalışma, malzeme ve yapısal verimi artırılmış antiklastik hücresel yapıya sahip kabuğun prototipinin üretilmesi ile tamamlanmaktadır.

Tasarımdan üretime kadar malzeme testi, biyo-esinlenmiş tasarım algoritmaları, çok kriterli optimizasyon ve üretim yönetimi gibi farklı aşamaları birbirine entegre eden çok ölçekli bir hesaplama iş akışına dayanmaktadır. Hesaplamalı İş Akışını Malzeme Fabrikasyon Üretim Sistemi ve Hesaplamalı Tasarım; Form Arayışlarının ve Strüktürel analizleri olarak iki ana başlıkta toplamaktadırlar. Bu paralellikte stres yörüngesi hücre tasarımını, hücrenin gücünün belirlenmesi için ise hücre topolojisi ve hücre kalınlığı faktörleri devreye girmektedir. Katmanlı üretime geçmeden önce ise mozaikleme, geometri optimizasyonu, katmanlı tasarım aşamaları fabrikasyon üretiminin tectoniğini oluşturmaktadır.



Şekil 11. Trabeculae Pavyonu (Naboni, 2019).

Pavyon, toplam 36 m² alanı kaplayan yüke duyarlı 352 bileşenden oluşan kabuktur. Yüksek dirençli biyopolimer malzemesi kullanılarak ekonomik açıdan verimli olan FDM (Fused Deposition Modeling)'nin altında yer alan FFF (Fused Filament Fabrication) tekniği ile 3B yazıcı araçları çiftliği olarak tanımladıkları araçlar ile 4352 saatte üretilmiştir (Şekil 11).



Şekil 12. 3B Yazıcı Grubu (Naboni, 2019).

Trabeculae Pavyonu araştırması, bir tanıma yönelik yeni bir yaklaşımın FFF'nin doğruluğundan tam olarak yararlanan ana hatlarını çizmektedir. Yapım sistemi teknolojisi ile tasarımcıların büyük ölçekli tasarlamasına ve malzeme organizasyonunun yüksek kontrolüne sahip olmalarına izin verir. Geleneksel yöntemlere kıyasla malzeme verimliliği de sağlanmaktadır. Uzun vadeli ileri görüş bakış açısı ile mimarlığa yeni bir yaklaşım getireceği öngörülmektedir. Katmanlı üretimin sağladığı malzemenin verimli kullanılmasına yönelik ve karmaşık yapıların strüktür performansı aracılığı ile de biçimsel yeni yaklaşımların keşfedilmesi söz konusudur (Şekil 12) (Naboni vd., 2019).

4.4. Katmanlı Üretim ve Robotik Manipülasyon Çoklu Araç Kullanımı Üzerine

Günümüzde gündemde olan katmanlı üretim ve robotik manipülasyon çoklu araç kullanımı ile yaklaşımlar geliştirilerek uygulanan farklı ölçeklerde uygulamalar bulunmaktadır. Flotsam & Jetsam örneği pavyon tasarımı bağlamda incelenmiştir. Bu örneğin seçilme nedeni farklı formları denemesi ve boşluk tanımlamaları yapmasıdır. Ayrıca kullandığı hibrit malzeme ve yöntem yaklaşımı ile gelecek potansiyellere yön vereceği öngörülmektedir (Şekil 13).

Shop Architects tarafından tasarlanan Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Techmer PM işbirliği ile üretilen Flotsam & Jetsam Design Miami Pavyonu 2016 yılında tamamlanmıştır. Üretim aracı olarak 3B yazıcı ve robotik kol manipülasyonları kullandıkları, formunu serbest biçimli hücresel üretim tekniği ile elde ettikleri görülmektedir. Önceden belirli parçalara ayrılıp üretilen sonradan konumlandırılacak alana taşınıp o sırada birbirine bağlanan yapım sürecine sahiptir. Malzeme olarak yaklaşımlarının sürdürülebilirliği katmanlı üretime taşıdıklarını belirtmektedir. Malzeme yaklaşımlarını incelediğimizde, yüzeylerinin ABS (Akrilonitril Butadiyen Stiren) ile güçlendirilmiş karbon lif oturma yerleri için ise bambu kompozitin kullanıldığını ve içeriğinin 20% bambu ve 80% PLA (Poly Lactic Acid) içerdiği söylenir. Malzeme araştırma grubunda bulunan Özcan (2016) bambu seçimlerinin sebebini açıkladı:

“Bambu çok çeşitli iklimlerde hızlı büyür - bazı türleri günde 90 cm'den fazla büyür. Eşdeğer ağaçlardan hektar başına yaklaşık % 35 daha fazla CO2 tutmaktadır. Sentetik liflere kıyasla düşük düzeylerde yapılandırılmış enerjiye sahiptir. Karbol elyaf ile kıyasla bambu PLA daha düşük maliyete sahiptir.”

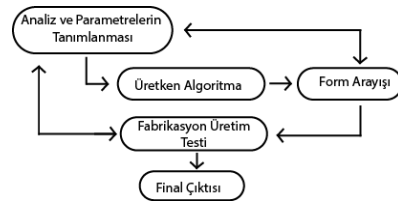
Bu örnek ile de görüldüğü üzere malzeme seçiminin tasarım aşamasında yapıldığı ve üretim aracı ile doğrudan bağlantılı olduğu görülmektedir.









Şekil 13. Flotsam & Jetsam Pavyonu (URL-4, 2019).

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Hesaplamalı tasarım süreçleri ile konvansiyonel tasarım süreçleri arasında kavram ve yöntem farklılıkları görülmektedir. Hesaplamalı tasarımda, tasarımcı bilgisayarındaki model ve iş akışı ile etkileşimdedir. Diğer açıdan tasarım, malzeme ve üretim teknolojileri yenilikçi yapım süreçlerinin kavramsallaşmasına, geliştirilmesine ve özellikle yüke duyarlı malzeme etkileşimi ile mimari form üretilmesine yardımcı olmuştur. Tasarımda yer alan yenilikçi yöntemler verimli malzeme kullanımına da izin vermektedir. Ortaya çıkan mekansal deneyimin de kalitesi söz konusudur. Sayısal üretim teknolojilerinin ve tekniklerini kullanabilmek için sistematik iş akışına ihtiyaç vardır. Bu akışın yönetim ilişkisini doğru tanımlamak gereklidir. Doğru tanımlanmaması sonucunda bir noktada yaratıcılığın da kısıtlandığı sonucuna ulaşılır. Agkathidis' e (2019) göre Şekil 14'te belirtilen form arayışı kavramının ayrı tutulması ile de açıklanmaktadır.



Şekil 14. Agkathidis' e (2019) göre Hesaplamalı Tasarım ve Fabrikasyon Üretimi İş Akışı İlişkisi, (Yazar tarafından Türkçeye çevrilmiştir ve konuya uyarlanmıştır.).

Pavyon Adı	Ekip	Yıl	Alan	Ağırlık	Maks. Açıklık	Malzeme	Üretim Aracı/Yöntemi
Araştırma Pavyonu (Research Pavilion) 	ICD/ITKE University of Stuttgart	2016 - 2017	40 m ²	1000 kg	12 metre	Karbon ve Cam Lif içeren Komposit Filament	Endüstriyel Robot ve Hava Aracı
Buga Lif Pavyonu (Buga Fibre Pavilion) 	ICD /ITKE University of Stuttgart	2018 - 2019	400 m ²	3040 kg	23 metre	Karbon, Cam Lif içeren Komposit Filament ve ETFE (Etilen tetrafloroetilen) Membranı	İki Pozisyoner Arasındaki Kasnak ve Robot Kol
Akıllı Düğüm Pavyonu (The SmartNodes Pavilion) 	Chinese University of Hong Kong (CUHK)	2015	-	-	-	ABS (Akrilonitril Butadiyen Stiren) Filamenti, Alüminyum kiriş, Membran	3B Yazıcı (39 farklı Bağlantı Üretimi) / FDM (Fused Deposition Modelling)
Dijital Bambu pavyonu (Digital Bamboo Pavilion) 	ETH-Zürich / DBT ve HS HI-TECH/ Güney Kore	2020	40 m ²	200 kg	5 metre	Bambu, hafif esnek tekstil ve termoplastik, Metal	3B Yazıcı (900 Bağlantı) / MJF (Multi Jet Fusion), DMLS (Direct Metal Laser Sintering)
Trabeculae Pavyonu (Trabeculae Pavyonu) 	Politecnico di Milano / Roberto Naboni vd.	2018 - 2019	36 m ²	288 kg (Ortalama Değer)	6 metre (Ortalama Değer)	Yüksek dirençli biyopolimer	3B Yazıcı (352 Bileşen) / FDM (Fused Deposition Modeling)
Flotsam & Jetsam 	Shop Architects, Branch Technology	2016 - 2017	150 m ²	-	6 metre (Ortalama Değer)	Karbon-lif içeren ABS filamenti, Bambu.	3B Yazıcı ve Endüstriyel Robot (Karma Kullanım)

Şekil 15. Derleme Tablosu (Yazar tarafından üretilmiştir.)

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gelişen teknolojilere bağlı mimarlığın pratiği ile bağlantılı üretim yöntemleri de değişmektedir. Yenilikçi yaklaşım geliştiren mimarlığın deneysel yaklaşımını kullanan pavyon örnekleri ile desteklenmiştir. Derlenen makale Şekil 15 tablolaştırılmıştır. Örneklerin ele aldığı malzeme biyo-polimer türevlerinde olduğu gözlenmiştir ve sayısal süreçlerinin strüktürel analizlerinin malzeme ile optimize edildiği dikkat çekmektedir. Derleme tablosunun başlıklarından birinin ağırlık olması malzemenin tanıdığı avantajında göstergesidir. Tasarımda geçebildiği açıklık ise mekân mekân tanımlama noktasında ve ölçek bağlamında önemli başlıktır.

Dijital fabrikasyon tekniklerinin mimarlık alanında da uygulanabilir olduğu gösterilmiştir ve bu teknolojilerin sağladığı çeşitliliği ve potansiyelleri keşfedilmiştir. Mekân üretiminde kullanılan geleneksel üretim yöntemleri yerine yenilikçi malzeme yaklaşımlarının tasarım sürecinde etkin rol oynadığı süreçler örneklerle gösterilmiştir. Bu aşamada tasarımın uygulama-üretim kaygısını ortadan kaldıracak hesaplamalı tasarım süreçlerinin etkin olduğu sayısal üretim teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşacaktır. Mimarlık eğitiminde "Bu tasarımın inşa edilmesi nasıl mümkün olur?" Sorusuna yanıt ararken keşfedeceğimiz malzeme, yöntem ve teknolojiler ile tasarımın üretkenliği artacak ve yapım süreci kolaylaşacaktır. Uzun vadede büyük ölçekli şantiyelerde robotik kolları veya önceden 3B yazıcı ile üretilmiş birimleri görmemiz mümkündür. Bu teknolojiler ile malzeme kullanımı azalmakta ve çeşitli mimari formların uygulamasına yönelik adaptasyonu kolaylaşmaktadır.

KAYNAKLAR

Abdelmohsen, S. M. (2013). Reconfiguring architectural space using generative design and digital fabrication: a Project based course, Ain Shams University, Egypt.

Asterios Agkathidis, Dark Matter Garden: A case study in algorithmic modelling and digital fabrication of complex steel structures, *Frontiers of Architectural Research*, Volume 8, Issue 3, 2019, Pages 303-310, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.05.003>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209526351930032>).

"BUGA Fibre Pavilion / ICD/ITKE University of Stuttgart" 09 May 2019. ArchDaily. Accessed 19 Jan 2021. <<https://www.archdaily.com/916650/buga-fibre-pavilion-icd-itke-university-of-stuttgart>> ISSN 0719-8884

Cagdas, G. & Bacinoglu, Zeynep & Çavuşoğlu, Ömer. (2015). *Mimarlıkta Hesaplamalı Yaklaşımlar*.

Crolla, Kristof & Williams, Nicholas & Muehlbauer, Manuel & Burry, Jane. (2017). *SMARTNODES PAVILION Towards Custom-optimized Nodes Applications in Construction*.

Gershenfeld, Neil, 2005, *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop -From Personal Computers to Personal Fabrication*, Basic Books.

Gershenfeld, Neil, 2012, "How to Make Almost Anything: The Digital Fabrication Revolution?", *Foreign Affairs*, 91:6, ss.43-57.

Gramazio, Fabio, Kohler, Matthias, Oesterle, Silvan, 2010, "Encoding Material", *Architectural Design*, 80:4, ss.108-115.

"ICD-ITKE Research Pavilion 2016-17 / ICD/ITKE University of Stuttgart" 18 Apr 2017. ArchDaily. Accessed 19 Jan 2021. <<https://www.archdaily.com/869450/icd-itke-research-pavilion-2016-17-icd-itke-university-of-stuttgart>> ISSN 0719-8884.

Inês Caetano, Luís Santos, António Leitão, *Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design*, *Frontiers of Architectural Research*, Volume 9, Issue 2, 2020, Pages 287-300, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263520300029>).

Mutlu Avinç, G., ve Vural, S., (2020). Bir Model Önerisi: Hesaplamalı Tasarım Bağlamında Değişen Tasarım Süreci. *Online Journal of Art and Design*, vol.8, 77-96.

Oxman, R. (2006) *Theory and Design in The First Digital Age*, *Design Studies* 27(3), pp. 229-265.

Roberto Naboni, Luca Bresghello, Anja Kunic, *Multi-scale design and fabrication of the Trabeculae Pavilion*, *Additive Manufacturing*, Volume 27, 2019, Pages 305-317, ISSN 2214-8604, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860418307280>).

“The Digital Bamboo Pavilion / ETH-Zürich”
2020.<<https://dbt.arch.ethz.ch/project/digital-bamboo/>>

William J. Mitchell, “Roll Over Euclid: How Frank Gehry Designs and Builds,” in J. Fiona Ragheb, ed., Frank Gehry, Architect (New York: The Solomon R. Guggenheim Foundation, 2001), pp. 352-363. Quoted from p. 354.

Zarei, Y. (2012). The Challenges of Parametric Design in Architecture Today: Mapping the Design Practice (Doctoral dissertation, The University of Manchester (United Kingdom)).

İnternet Kaynakları

URL-1 <https://www.archdaily.com/869450/icd-itke-research-pavilion-2016-17-icd-itke-university-of-stuttgart>, Erişim Tarihi: 19.01.2021.

URL-2 <https://www.archdaily.com/916650/buga-fibre-pavilion-icd-itke-university-of-stuttgart>, Erişim Tarihi: 19.01.2021.

URL-3 <https://dbt.arch.ethz.ch/project/digital-bamboo>, Erişim Tarihi: 21.01.2021.

URL-4 <https://www.shoparc.com/projects/design-miami/> Erişim Tarihi: 28.01.2021.