



MİMARİ TASARIMDA ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİSİNİN ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Sevim TOPAL ^{ID}1*, İsmail Emre KAVUT ^{ID}2

¹: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı, İç Mimarlık Yüksek Lisans Programı.

²: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İç Mimarlık Anasanat Dalı.

Özet

Günümüzde tasarım ve üretim süreçlerini dijital teknolojinin katkısı olmadan inşa etmek ve anlamaya çalışmak oldukça zordur. Tasarım özgünlüğü ve geleneksel yapı yöntemlerine göre daha hızlı uygulama imkanı sunan üç boyutlu yazıcılar inşaat, mimarlık ve tasarım alanlarında büyük oranda esneklik sağlamaktadır. Mimarlık ve tasarım alanındaki süreçler, gelişen teknoloji ve ilerlemelerle kökten değişmiş, sürdürülebilir malzeme araştırmasını, parametrik modellemeyi ve inşa edilmesi zor olan karmaşık geometrilerin üretilebilme olanaklarını arttırmıştır. Gelişmeler doğrultusunda üç boyutlu baskı teknolojisinin sunduğu avantajların değerlendirilmesi, kullanılan malzemeler ve tasarımların analizi, mimarlığın gelecekte nasıl şekilleneceğine yön vermektedir. Dijital üretimde yer alan üç boyutlu baskı teknolojisinin günümüz inşaat, mimarlık ve tasarım alanında ortaya çıkardığı farklılıklar incelenerek iş akışını, üretim yöntemlerini ve alışkanlıkları ne ölçüde değiştirdiği çeşitli örnekler üzerinden tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu baskı, Dijital teknoloji, Sürdürülebilirlik, Mimari tasarım

EXAMINATION OF THREE-DIMENSIONAL PRINTING TECHNOLOGY IN ARCHITECTURAL DESIGN THROUGH EXAMPLES

Abstract

Three-dimensional printers, which offer design originality and faster application compared to traditional construction methods, provide a great deal of flexibility in the fields of construction, architecture and design. Today, it is very difficult to construct and understand design and production processes without the contribution of digital technology. The processes in the field of architecture and design have radically changed with the advances in technology and advances, increasing the research of sustainable materials, parametric modeling and the possibilities of producing complex designs that are difficult to build. In line with the developments, the evaluation of the advantages offered by three-dimensional

*Sorumlu Yazar: s.sevimtopal@gmail.com

Bu makale Doç. İsmail Emre KAVUT'un danışmanlığı ile Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi İç Mimarlık Lisansüstü eğitim programında Sevim TOPAL tarafından hazırlanan 'Dijital Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Deneysel Mimarlıktaki Rolü' isimli tez çalışmasından türetilmiştir.

printing technology, the analysis of the materials and designs used, directs how architecture will be shaped in the future. The differences of three-dimensional printing technology in digital production in today's construction, architecture and design field will be examined and the extent to which it has changed the workflow, design understanding and lifestyles will be discussed through the examples determined.

Keywords: 3d printing, Digital technology, Sustainability, Architectural design

1.GİRİŞ

Dijital teknolojik gelişmeler günümüzde tasarımcıya daha esnek ‘deney’ ortamları sunarken, zihinlerindeki somutlaştırmasına, kimi zaman prototiplerle kimi zaman da ölçeğine uygun tasarımlarla üretebilmesine imkan sağlamıştır. Dijital üretim, bilgisayar teknolojisi tarafından kontrol edilen, insan gücünden daha az etkilenen, istenilen tarz ve miktarda ortaya ürün ya da yapı koyan bir üretim yöntemidir. Geçmişin fütüristik ve karmaşık tasarımları artık geniş bir yelpazede uygulanabilirlik kazanmıştır. Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte geleneksel yöntemlerle inşa edilmesi zor olan tasarımlar dijital ortamda üretilebilmeye başlanmıştır. Bu tasarımlar, dijital üretim yöntemleriyle daha kolay ve seri ürettirebilirken günümüzde mimarlığın temel araçlarından olan bilgisayar destekli tasarım ile mimari disiplin ve inşaat alanı dışındaki birçok teknolojilerde de kullanılmıştır. Mimariyi temelden etkileyen dijital üretim metotları, tasarımları ve süreçlerini değiştirirken uygulamadaki potansiyelleri de hızlandırmıştır. Günümüzdeki karmaşık ve ütopik tasarımların geometrilerini algılamaya olanak sunan bu araçlar artık tasarımcının ve kullanıcının da deneyimleyebilmesine olanak tanımaktadır.

Dijital üretimde hızlı prototipleme, zaman ve maliyet bakımından diğer malzemelere ve süreçlere göre hızlı bir şekilde sonuç elde etmemizi sağlarken, üç boyutlu bir nesne üretebilmek için iki boyutlu malzemenin katmanlarının artmasıyla oluşturulan bu teknik, nesnelere kademeli olarak hızlı bir şekilde üretmektedir. Bu teknolojinin avantajları arasında geleneksel yöntemlerle hazırlanan mimari modellerin de günümüzde artık 3d baskı ile kolayca yapıldığını göstermektedir. Tasarımcı için tasarımlarının inceleme ve revizelerini yapmak, fikirlerini doğrudan kullanıcıya aktarmak model üzerinden daha kolay anlaşılacağından 3d baskı teknolojisi ile üretmek bir avantaja dönüşmüştür. İnşaat ve mimarlıkta 3d beton baskı teknolojisi ile geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve esnek üretim sağlanmakta, duvar içlerinin oyukluğu tesisat hatlarının geçmesine daha kolay izin vermekte, malzeme oranını ve inşaat yükünü hafifletmektedir bu da aynı zamanda maliyetin ve iş gücünün tasarrufu demektir. Dijitalin teknolojik dönüşümlerin bir parçası olduğunu, tüm hizmet ve mesleki disiplinlerin dijitalleşmesiyle başladığını ileri süren Schumacher “Mimarlık ve tasarımda dijital, hesaplamalı tasarım süreçlerinin kullanımını ve bunların mimari sonuç, render veya inşa üzerindeki belirgin etkisini ifade eder. Dijital tasarım araçları ve yöntemlerindeki sürekli ilerleme nedeniyle 'mimaride dijital' yalnızca geçici olarak sabitlenebilen hareketli bir hedeftir” (Schumacher, 2019) olarak belirtir. “Yerinde 3D baskı, inşaat sektöründe yapı bileşenlerinin veya tüm yapıların inşaat sahasında üretilmesine olanak tanıyan çığır açıcı bir teknoloji olarak ortaya çıktı. Bu yaklaşım, geleneksel inşaat yöntemlerine göre birçok avantaj sunar; bunlardan biri, zaman ve maliyette önemli bir tasarruftur. Nitekim yerinde 3D baskı, prefabrik bileşenlerin karmaşık ve zaman alıcı nakliye ihtiyacını ortadan kaldırarak işçilik maliyetlerini ve inşaat süresini azaltır.” (Salvo, 2024) Konut krizine karşı bir çözüm fikriyle ortaya atılan ve geliştirilen 3d baskı yapıları şu anda dünyanın en hızlı büyüyen teknolojilerinden biridir. Diğer yandan 3d baskıda inşaat atık

oranının azlığı çevreye etkisi açısından daha uyumlu ve sürdürülebilir olduğunu göstermektedir. Bu teknoloji ile birlikte yaşam alanlarının ve iç mekan tasarımlarının değişmesi, seçeneğe göre 3d baskı ile uyum sağlayacak mobilyalar, aydınlatma elemanları, dekoratif nesnelere ve çeşitli aksesuarların üretilmesi ile sürdürülebilirlik ve kişiselleştirme deneyimi de artırılabilir.

1.1. Amaç

Üç boyutlu baskı yapılarının güncel teknoloji ve malzeme ile tasarım, inşaat, mimarlık alanında sağladığı olanaklar tartışılacaktır. Çeşitli disiplinler ile entegre olan ve farklı alanlarda üretim sağlayan bu teknolojinin mimarlıkta iç mekan kurgusunda getirdiği yenilikler ve farklılıklar incelenecektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında öncelikle üç boyutlu yazıcı teknolojisinin tarihsel yazılı literatür taraması yapıldıktan sonra üretime getirdiği avantajlar ele alınmış, kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin sağladığı olanaklar analiz edilmiştir. Bu yöntem ile inşa edilen konut, mağaza, ofis yapıları incelenerek tasarım, planlama ve üretim süreçlerine değinilmiştir.

3. ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ

İki ve üç boyutlu çizim araçları mimarlığın tasarım ve üretim yöntemlerinden olup, baştan sona iç mekan kurgusunun yaratımı ve mekanın biçimlenmesine kadar her aşamada yer alır. Bununla birlikte CNC teknolojisi ve üç boyutlu yazıcıların günümüzde aldığı son hali ile insan gücüne ve malzemeye minimum derecede ihtiyaç duyularak inşa edebilmenin örnekleri görülür. Bütçe, zaman ve enerjiden tasarruf sağlarken tasarımcıya da zihinde ve uygulamada özgür bir ortam oluşturmuştur. Robotik üretim, cnc makineler, 3d yazıcılar ve daha birçok teknoloji üretim süreçlerinde çok fazla ve değişken yenilikler getirmiştir. Bu süreçte ihtiyaç duyulan insan gücünü azaltmasının yanı sıra üretimde hızlılık sağlayarak en az hata ile inşa etmeyi mümkün kılmıştır. Bu makineler ile üretim deneysel mimarlığın bir parçası olarak süreç boyunca hem deneye hem de üretime destek olmaya devam etmektedir. “Robotlar, endüstride 1950’lerden bu yana kullanılmaktadır ancak daha doğru inşaat sistemleri gerektiren yeni tasarım biçimlerinin denenmesi nedeniyle mimarlığın inşaat ve tasarım alanında robotik uygulamaya başlanması 1990’lara kadar gerçekleşmemiştir” (Dunn, 2012). Ancak günümüzde her alanda oldukça sık kullanımı ile dikkat çeken robotik üretim son on yılda oldukça hızlı gelişim göstermiştir.

Endüstriyel robot türleri uygulanacağı, inşa edileceği alana göre çeşitlilik göstermektedir. Eklemlili, kartezyen, scara, polar, delta, silindirik olmak üzere amaca uygun üretilebilir. Endüstriyel robotlar birçok işi yerine getirebilseler de sınırlı ağırlık taşıma, insan kontrolüne ihtiyaç, yapılarıdaki dış unsurlara karşı hassasiyetlik vb. gibi bazı durumlarda sınırlılıkları mevcut olabilir. “1990’larda dijital mimarlık ağırlıklı olarak yeni bilgisayar destekli tasarım stratejileriyle ilgiliydi ve sıklıkla materyalizasyon ve inşaat konularını ihmal etmekle eleştiriliyordu. Dijital olarak tasarlanması mümkün olan ile fiziksel olarak inşa edilmesi mümkün olan arasındaki uçurum, 2000’li yılların başlarında CNC makinelerinin daha yaygın olarak kullanılabilir hale gelmesi ve nihayetinde tasarımcıların ve mimarların tasarımlarını sanal ortamdan fiziksel dünyaya geri getirmelerini sağlamasıyla daraldı” (Gramazio & Kohler, 2014, s. 46).

Günümüzde 3d baskının karbon ayak izinde ciddi azalmalara yol açarak birçok alanda kullanımının ilerlemesi ile gelecekte uyarlanabilir tasarım ve inşaat sistemlerine olanak sağlarken kişiselleştirmeyi de mümkün kılmaktadır. Sürdürülebilir, çevre dostu, geri dönüştürülmüş ve biyomalzemelerin kullanılmasında, çevresel faktörleri etkileyerek öncü bir üretim alanı olacaktır. Farklı malzemelerin deneyimlenmesi ve bir araya getirilmesi ile tasarlanan ürün ve yapılar için yeni olanaklar sağlarken bu teknolojik gelişmeler ve deneysel üretim süreçleri mimarların ve tasarımcıların fütüristik ve yenilikçi düşüncelerine de yol açacaktır.

3.1. 3D Baskı Teknolojisinde Kullanılan Malzemeler

3d baskı teknolojisindeki gelişmelerin ilerlemesi ile baskı sürecinde kullanılacak malzeme çeşitliliği de artmaktadır. Bu teknoloji içerisinde kullanılan farklı yöntemler ve malzemeler ile kullanım alanlarının genişlemesi üretene, üretilene ve çevreye fayda sağlamaktadır. Bu teknolojinin benimsenmesi ile birçok dezavantaj (imalat işçiliğinin kullanımının azalması, düşük vasıflı işe dayanan ülke ekonomilerinin etkisi, üretici sınırlamalarının olmaması vb.) beraberinde gelse de esnek ve güçlü bir teknoloji olması kaçınılmazdır.

Üç ana yazıcı türü olan bu teknolojide sıvı reçineyi plastiğe dönüştüren SLA, polimer tozu parçacıklarını katı bir yapıya sinterleyen SLS, bir nesne oluşturmak için eritilmiş termoplastik filamanları katman katman işleyen FDM yazıcılar kullanılır. Dünyada en yaygın 3d baskı malzemesi olarak kullanılan filamentler, plastikler haricinde özel işlev için formüle edilmiş termoplastik malzemelerden üretilir. Farklı malzemeler kullanılarak değişken sıcaklıklarda üretilen filamentler çeşitli özelliklere sahiptirler. Esneklik, sertlik, görünüş ve işlev özellikleri ile kategorize edilen filamentlerin günümüzde daha yüksek seviyeye çıkabilmesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilebilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

Polimerler; düşük maliyeti ve çok yönlü olmaları sebebi ile baskıda en çok kullanılan malzemedir. Karmaşık geometrilere sahip yapılarda yaygın olarak kullanılır. FDM (Fused Deposition Modelling) kullanılarak 3 boyutlu bir yapı oluşturulabilir. Termoplastiklerle birlikte çalışan bir teknoloji olup parçaların eritilerek katman katman uygulanmasına dayanır. Tüm geometrileri oluşturabilen, dayanıklılık, esneklik ve renk çeşitliliği sunan bu teknolojide kullanılan plastikler; PLA (Poliaktik Asit), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PETG (Polietilen tereftalat glikol), HDPE (High Density Polyethylene), TPU (Termoplastik Poliüretan), PP (Polipropilen), PC (Polikarbonat) olmak üzere birkaç farklı türden oluşur. “Son zamanlarda, PEEK ve PMMA gibi daha yüksek erime sıcaklıklarına sahip termoplastik filamentler, 3D baskı teknolojisi için malzeme olarak halihazırda kullanılabilir” (J. R.C. Dizon, A. H. E. Jr, , Q. Chen, & R. C. Advincula, 2018). “Sıvı haldeki veya düşük erime noktasına sahip 3 boyutlu baskı polimer malzemeleri, düşük maliyetleri, düşük ağırlıkları ve işleme esneklikleri nedeniyle 3 boyutlu baskı endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır” (W. Xin, J. Man, Z. Zuowan, G. Jihua, & H. David, 2017).

Ahşap filamentler; 3d yazıcılar tarafından kullanılan PLA bazlı bir diğer malzemedir. Ahşap filamentler yüksek oranda PLA ve düşük oranda ahşap içerir. Bünyesinde ahşap tozları ve lifleri bulduran filament bambu, abanoz, huş, maun vb. pek çok farklı türe ayrılabilir. Düşük oranda ahşap lifi buldurmasına rağmen dokusuna ve rengine kadar gerçeğine yakındır. Farklı renk ve yüzey dokuları elde etmek için sıcaklık derecelerinde değişikliğe gidilebilir. Baskıdan sonra yüzeyinde çapaklanmalar olabileceğinden zımparalama işlemlerine tabi tutulur ve yüzey çizgileri diğer malzemelere oranla daha az belirgindir.

Dezavantajları içerdiği liflerden dolayı diğer PLA malzemelerine göre daha hassas ve kırılmandır, sıcaklığa dayanıklılığı düşük seviyelerdedir bu yüzden kullanım alanları kısıtlıdır.

Metal filamentler; PLA ve polimer ile birlikte ince metal tozları içerir. Özellikleri PLA ile benzer olup metal görünümü sunarken, çelik, pirinç, bronz ve bakır türleri bulunmaktadır. Metal filamentler ile elde edilen baskılar daha sağlam olup hacimli ve parlak bir görünüme sahiptirler. %50 metal tozu ve %50 PLA veya ABS'den üretilen metal filamentlerinde günümüzde metal tozu %85'e kadar çıkabilir. Bu filamentlerde baskı sonrası çeşitli yüzey işlemleri (cilalama, havalandırma, karartma vb.) yapılabilir. Baskı işlemi zor olan bu filamentin estetik ve fonksiyonel parçalar üretiminde kullanılması uygundur.

Kumtaşı; çoğunlukla prototip ve mimari modellerin uygulamasında kullanılır ve birçok renkte üretilebilir. Düşük mukavemeti ve hassas yapısından dolayı daha çok dekoratif modeller için uygundur. Genellikle üretilen parçaların mukavemetini arttırmak için koruyucu epoksi reçine ile kaplanır.

Seramikler; birincil malzeme olarak kilin kullanımı ile elde edilir. Eklemeli bir üretim olan seramik özellikle endüstriyel uygulamalarda tercih edilir. Baskıdan sonra nemi yok etmek ve bütünlüğü sağlamak için kurutulur sonrasında fırında pişirilerek katılaşır. Belirli mineral, su ve ince kil kullanılarak üretilirken darbeye ve yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Katılaşp sertleşmeden önceki akışkan formundan dolayı farklı geometrik şekillerde uygulanabilir. Parlak görünüm için tekrar cilalanarak fırınlanabilirler. Beton, ahşap ve çelik gibi dayanıklı sert malzemelere göre kili kullanmak dijitali fiziksele aktarabilmek için deneysel çalışmalarda da esneklik sağlamanın yanı sıra geleneksel üretim süreçlerine göre önemli ve sürdürülebilir avantajlar da sağlar. 3D seramik baskının avantajları olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Seramik malzemeler ısı gördükten sonra küçülebilir, tasarlanan ve biten ürünler arasında boyut farklılıkları meydana gelebilir, bu yüzden bu faktörün öngörülmesi gerekir. Baskıdan sonra seramiklere uygulanan ısı işlemler zaman alabilir, dikkatli ve kontrollü olmayan sıcaklıklar seramiğin zarar görmesine ve bozulmasına sebebiyet verir.

Kompozitler; çeşitli malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşur. 3D baskıdan çıkan parçaların sertlik, ısı direnci, ağırlık gibi özelliklerini etkiler. Hafif ancak güçlü parçalar üretmek için çeşitli lif ve elyafların termoplastiklerle harmanlanarak bileşenlerin sertlik ve mukavemeti artırılır. "Olağanüstü çok yönlülüğe, düşük ağırlığa ve özelleştirilebilir özelliklere sahip kompozit malzemeler, yüksek performanslı endüstrilerde devrim yaratıyor." (W. Hao, 2018).

3D beton baskı; 3DCP (Concrete Printing) daha önce geleneksel beton kalıplarla üretilen yapıları yeni, karışık ve detaylı formlar ile geometrik özgürlüğü artırarak üretebilmek için oluşturulan çimentolu, katmanlı bir üretim şeklidir (Şekil 1). Farklı katkı maddeleri ile harmanlanan çimento bazlı harçlar inşaat sektöründe kullanılırken, işin modülerleşmesi ve kalıp israfının azalması ile tercih edilen bir teknoloji haline gelmektedir. Beton ile birlikte plastik, kum, metal, kil gibi malzemelerin kullanılmasının yanı sıra yerel, atık ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması da bu üretimin sürdürülebilir olmasına destek olur.



Şekil 1: 3d inşaat baskısı (PERI, 2024).

3D beton baskı teknolojisi, yapı, inşaat ve tasarım alanlarında sürdürülebilirlik konusunu da başarıyla ilerletmektedir. Yenilikçi tasarımlarıyla yüksek potansiyele sahip olmakla birlikte geleceği de şekillendirmektedir. Birçok fayda sunmasıyla birlikte alanında hızlı çözümler üreten, temel hizmetlere cevap veren 3d baskının gelecek mimarlığa da katkısı büyük olacaktır. “3D baskıda beton kullanımının yaygın olduğu alanlar arasında konut yapıları, inşaat bileşenleri (kalıplar, paneller, sütunlar), köprüler ve sivil altyapı, yapay resifler, mobilyalar, heykeller, endüstriyel ürünler yer alır. Aynı zamanda insan iş gücünün zorlu ve tehlikeli çalışma ortamlarında inşaat yapılmasına olanak sağlayabilir.” (Nadarajah, 2018).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarım özgürlüğü ve kolayca tasarlayabilme imkanı sunan 3d yazıcıların farklı ölçeklerde üretilebilmesi iç mekan düzenlemelerinde de kullanıcıya büyük oranda esneklik sağlamaktadır. Tasarımcı için tasarımlarının inceleme ve revizelerini yapmak, fikirlerini doğrudan kullanıcıya aktarmak model üzerinden daha kolay anlaşılacağından 3d baskı teknolojisi ile üretmek bir avantaja dönüşmüştür. 3d baskı uygulaması ile tasarımcıların da farklı tasarımları gerçekleştirebilmesi ve bunları hızlı bir şekilde revize edebilmelerine olanak tanırken, tasarımcılara, bilim insanlarına ve araştırmacılara disiplinler arası işbirliği sağlayarak uygulamalı öğrenmenin imkanlarını sunmaktadır.



Şekil 2: House Zero, Austin, Teksas (Barba, 2022)

House Zero; 2000 m²'lik bir alanda 4 yatak odası, 1 yaşam alanı ve 3 banyodan oluşan iklime duyarlı bir 3d konuttur (Şekil 2). Organik formlardan oluşan ağaç duvarı olarak adlandırılan cephesi ile göl kenarında yer alan konutta betonun soğukluk hissiyatını kırmak için ahşap elemanlar kullanılmıştır. Konutun duvarları yapısal olarak kavisli inşa edilse de

organik formlarla daha doğal bir görüntüye ulaşılmış, yuvarlatılmış köşeler ile evin dolaşım alanlarında daha yumuşak geçişler sağlanmıştır.



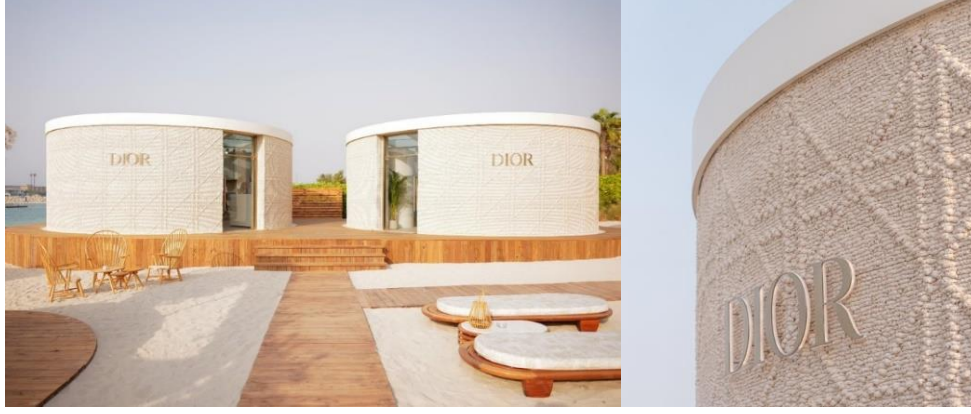
Şekil 3: Konutun içerdiği teknolojiler ve cephe görünümü (Barba, 2022)

Konutta asma katta yer alan pencereler ve ışık rafı dolaylı gün ışığını en üst düzeye çıkarırken çatıda yer alan güneş panelleri enerji sağlamaktadır (Şekil 3). Isı yalıtım katmanı sağlayan 3d baskı duvarlarda iç boşluklar tesisat için oldukça elverişlidir. Evin duvarları hava geçirmez ve aynı zamanda daha fazla yalıtım sağlayan çimento esaslı malzeme olan 'lavacrete' ile inşa edilmiştir. Ahşap iç kaplamalar ve mobilyaların yenilenebilir kaynaklarla dayanıklılığı artırılırken, kullanılacağı yüzeye göre tasarlanması yapı ile bütünlük ve uyum sağlamaktadır (Şekil 4).



Şekil 4: House Zero konut içi mobilya detayları ve iç mekan görselleri (Barandy, 2022)

DIOR Pop-Up mağaza; Dubai'nin Jumeirah sahilinde, WASP tarafından tasarlanan, kil, kum, ham elyaf gibi doğal malzemelerden 3d baskı ile inşa edilen Dior Pop-Up (Şekil 5) mağaza iki ayrı modülden oluşmaktadır. Butiğin duvarları Dior'un sıklıkla kullandığı kanaj motifini oluşturacak şekilde basılmıştır. Mağaza iç mekanında betonun soğukluğunu nötrlemek için ahşap ve açık tonlar kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 5: Dış Görünüm ve Cephe Detayı, Dior Pop-Up Mağaza, 2021, Jameirah, Dubai
(Moretti, 2021)



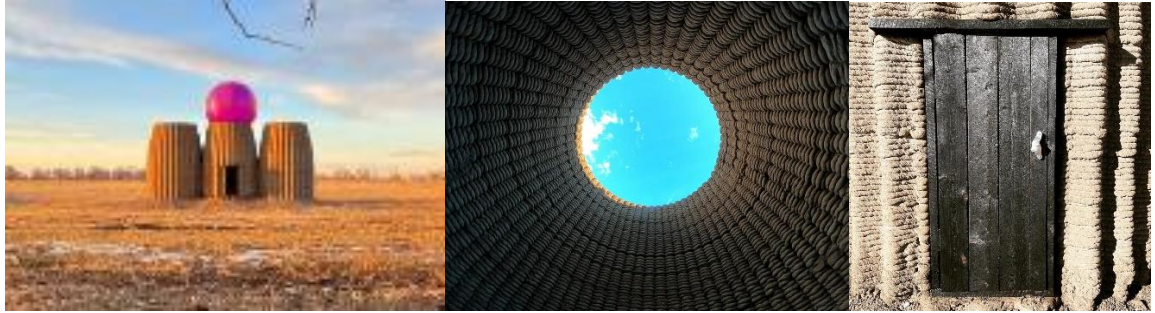
Şekil 6: İç mekan ve yapım aşamasından görüntüler (Moretti, 2021)

3D Housing; taşınabilir robot tarafından, 100 m²'lik bir alana sahip, tek katlı, 35 modülden oluşan konut 48 saatte yerinde basılmıştır. Cybe inşaat firmasının iş birliğiyle oluşturulan konut dairesel formlara sahip olup kavisli duvarlar ve köşelerden oluşmaktadır (Şekil 7). Yatak odası, banyo, mutfak, oturma odası ve çatı bahçesi gibi temel ihtiyaçlara yönelik alanlardan oluşan Milano Tasarım Haftası için 2018 yılında tasarlanan konutta “Duvarlar, Hollanda'nın 3 boyutlu baskı şirketi Cybe Construction tarafından tasarlanan bir robot tarafından, dünyanın en büyük çimento tedarikçilerinden biri olan Italcementi tarafından geliştirilen özel bir beton ve katkı karışımı kullanılarak inşa edildi. Daha sonra çatı, pencere ve kapılar eklenmiştir” (Morris, 2018). İç mekanda kullanılan mobilyalar, duvar rafları, pirinç tezgah ve konsollar 3d baskı duvar yüzeylerine uyum sağlayacak şekilde üretilmiştir.



Şekil 7: Milano Tasarım Haftası için tasarlanan Housing 05 (3DHousing05, 2018)

“Bu binayla, 3D baskı teknolojisinin artık daha karmaşık yapıları üstlenebilecek kadar gelişmiş olduğunu ve binaları yeniden tasarlanacak veya kullanım ömrü sonunda yeniden kullanılacak şekilde tasarladık. Bu teknoloji, sektörümüzün çok daha doğru, verimli ve daha az israfli olmasına yardımcı olmak açısından kritik öneme sahip” (Morris, Dezeen, 2018).



Şekil 8: Kovid zamanında tasarlanan 3d baskılı konut, Casa Covida (Fratello, 2020)

Casa Covida; Kovid zamanında 3d baskıyı yerli malzemeler kullanarak yeni ve eski yaşam stillerini bir arada tutan bir barınaktır (Şekil 8). Kum, kil, su ve samandan oluşup güneşte kurutulan yapı malzemesi kerpiçten oluşur. Barınak yüksek bir dağ çölünde yer alır ve iki kişinin temel ihtiyaçlarını (uyku, yiyecek, duş) gidereceği üç mekandan oluşurken çatı kısmında bırakılan açıklıklar sayesinde mekanda doğal aydınlatma kullanımı mevcuttur.

Dubai Belediyesi; Apis Cor firması tarafından yazdırılan iki katlı idari bina 9,5m yüksekliğinde 640 m²'lik bir alana sahiptir. Ek montaj gerektirmeden yerinde inşa edilen yapıda sadece duvarlar 3d yazdırılmıştır (Şekil 9). “3D baskılı malzeme Apis Cor tarafından geliştirilen alçı bazlı bir karışımdı. Sütunlar için 3D baskılı kalıp, inşaat demiri ve ağır betonla manuel olarak dolduruldu ve binanın duvarları, genel bir yüklenici aracılığıyla

geleneksel yöntemlerle monte edilen çatı, pencereler ve yalıtımla birlikte kat kat basıldı” (Malone, 2019).



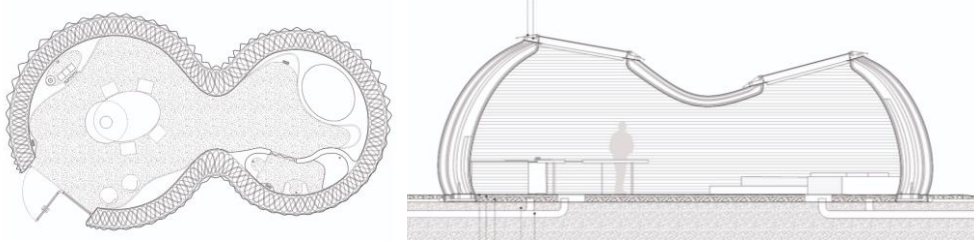
Şekil 9: Yapım aşamasından görüntüler, Dubai Belediyesi, BAE, 2019 (Harrouk, 2019).

Traditional House of the Future; Çin'in Guizhou eyaletinde inşa edilen geleceğin geleneksel konutu, geleneksel evlerin geri dönüşümü ve yeniden canlandırılması için 3d baskı yöntemiyle ahşap strüktürünü birleştirirken, kırsal kesimdeki kentleşmeye de bir cevap niteliğindedir (Şekil 10). Mevcuttaki konut 3d tarama yöntemiyle tarandıktan sonra duvarları baskıda basılıp, orijinal yapıya uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Değişimden ziyade uyum gerektiren bu evin geçmiş ile gelecek arasında bir bağlantı kurduğu da tasarımdan anlaşılabilir.



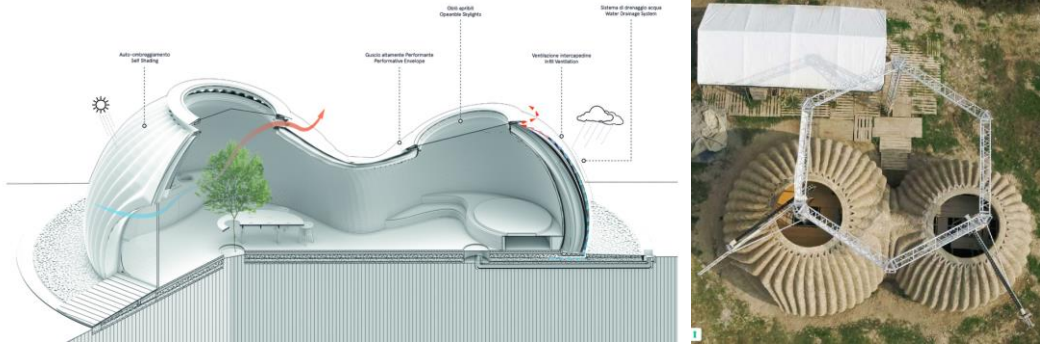
Şekil 10: Geleceğin Geleneksel Evi, Guiyang, China, 2023 (Shuangyu, 2023)

Tecla House; WASP ve MCA tarafından tasarlanan tamamen çevre dostu malzemelerle inşa edilmiş 3d baskılı bir yaşam alanıdır (Şekil 11). Pandemi sonrasında inşa edilen bu barınak daha sağlıklı ve çevreye duyarlı bir talebin cevabı niteliğindedir. Organik ve eğrisel tasarımı çevresiyle uyumluluk gösterirken yapı içinde akışkan sirkülasyon alanları da sağlar. “Tamamıyla yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerle oluşturulan, yerel topraktan elde edilen, karbon her iklime ve bağlama uyarlanabilen yeni bir dairesel konut modelidir” (WASP, 2021). Binanın biyolojik olarak parçalanabilen kili kullanarak sıfır atık bırakacak şekilde üretilmesi, endüstriyel atıkları azaltarak sürdürülebilir bir tasarım ortaya koymasını da sağlar.



Şekil 11: Tecla plan ve kesit çizimleri (WASP, 2021)

200 saatlik baskı sonunda inşa edilen Tecla için üretici firma “Proje, yerel hammaddelerin değerinin dijital tasarımla güçlendirildiği binalar ve yeni yerleşimler için benzeri görülmemiş bir perspektifi temsil ediyor. Çift kubbe çözümü, aynı zamanda yapı, çatı ve dış kaplama rollerinin de üstlenilmesini mümkün kılarak evi her açıdan yüksek performanslı hale getirdi” (WASP, 2021) olarak ifade ediyor. Aynı zamanda yapının formu ve çatı açıklığı sayesinde yapay ışığa olan ihtiyacı azaltmakta ve doğal havalandırmanın sirkülasyonunu kolaylaştırmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12: Tecla House 2021, İtalya (WASP, 2021)

4.1. Bulgular

Konut krizine karşı bir çözüm fikriyle ortaya atılan ve geliştirilen 3d baskı yapıları şu anda dünyanın en hızlı büyüyen teknolojilerinden biridir. Bununla birlikte yaşam alanlarının ve iç mekan tasarımlarının değişmesi, seçeneğe göre 3d baskı ile uyum sağlayacak mobilyalar, aydınlatma elemanları, dekoratif nesnelere ve çeşitli aksesuarların üretilmesi ile sürdürülebilirlik ve kişiselleştirme deneyimi artırılabilir. İncelenen yapılar üzerinden elde edilen bulgular hem yapının hem de kullanılacak elemanların yapı ile uyum içerisinde olması yönündedir.

İç mekan tasarımlarında çeşitliliğin, detayların, karmaşık formların, farklı malzeme ve renklerin kullanımı 3d baskı ile en hızlı şekilde mümkün olmakta, tasarım aşamalarında üretilen prototiplerle tasarımı özgünleştirmekte ve geliştirmektedir. İnşaat ve mimaride olduğu kadar iç mimaride ve ürün tasarımında kullanılan bu teknoloji ile farklı ifade şekilleri de ortaya koymaktadır.

Tablo 1. 3d Baskı Yapılarının Analizi

Yapısal Planlama ve İç Kurgu
<p>-Baskı dönüşlerinden dolayı formlar genellikle eğrisel olup, kenar bitişler yuvarlatılmıştır.</p> <p>-Çoğunlukla düşey yüzeyler (duvarlar, iç bölücüler) baskı ile çatı ve döşemeler geleneksel yöntemler ile inşa edilmiştir.</p> <p>- Düşey düzlemlerin eğrisel formları sayesinde sirkülasyon alanlarında geçişler daha yumuşak ve yönlendirilmeye müsaittir.</p> <p>-Düşey yüzeylerde bırakılan açıklık genişlikleri az olup, yatay kayıtlarla desteklenmiştir.</p> <p>-Birincil malzeme çimento bunun yanında metal, plastik, kil, toprak ya da ahşap ilavelerle sağlamlaştırılmıştır.</p> <p>-Kimi alanlarda yüzeyler baskı işleminden dolayı katmanlı bir dokuya sahip olduğu gibi, gerekli alçı işlemleri yapılarak pürüzsüz bir yüzey de elde edilebilir.</p> <p>-Yapılarda ham bırakılan 3d beton görünümünden dolayı alanlarda ahşap kullanımı ile sıcaklık hissiyatı verilmiştir.</p> <p>-Yapıların kimisi tek seferde yerinde inşa edilmiş, kimi ise farklı boyutlardaki modüllerden oluşarak yerinde birleştirilmiştir.</p>

5. SONUÇ

Farklı yıllara ve farklı firmalara ait incelenen genel veriler sonucunda küresel konut ihtiyacına cevap verme amacıyla üretilen 3d baskılı yapıların çoğunluğunun tek ailelik müstakil konutlar olduğu görülmektedir. Bunun yanında mağaza, idari binalar, sergileme yapıları, oteller, barınaklar, ofisler, mobilya ve dekorasyon alanlarında da üretimler gerçekleştirilmektedir. Yapıların çoğu tek katlıdır, yükseklik arttığında üretim şekillerinde, yapısal sistemlere teknolojik destekler ilave edilmektedir. Baskının tek seferde inşa edilmesinin yanı sıra farklı hacimlerin yerinde bir araya getirilip, birleştirilmesi de mümkündür ancak yapıların geniş yüzeylere sahip olan duvarları genellikle yerinde oluşturulmaktadır. %100 beton baskı üretiminin mümkün olmadığı durumlarda çoğunlukla düşey hacimlere (cephe, dış ve iç duvarlar, sütunlar vb.) diğer elemanlara göre daha fazla yer verilir. Örneklerin çoğunda çatı bulunmamaktadır, olanlarda ise farklı malzemelerde üretildikleri görülmektedir. 3D beton baskı uygulamasının çatılardaki eğimli formları üretmede ve dayanıklılık sağlamada gelişme aşamasında olduklarını söyleyebiliriz. Kullanılan birincil malzeme çoğunlukla çimento olup farklı yüzeylerde plastik, kil ve toprak da uygulanmıştır. Farklı plan tiplerindeki yapıların çoğunda eğimli köşeler ve kavisli yüzeyler hakimdir. Yüzeylerin katmanlı ve kavisli görünümü pürüzsüz yüzeylerin aksine daha az bakım gerektirdiği gibi sağlamlık ve doğal bir doku hissiyatı verir. Geleneksel yöntemlerle inşa edilmesi zor geometrilerin 3d baskı ile duvarlarda veya cephe tasarımlarında yer aldığını görebiliriz.

Üç boyutlu baskı teknolojisinde sürecin, inşa edilen yapı ya da herhangi bir tasarıma zaman, güvenlik ve çeşitlilik sunmasının yanı sıra eklemeli tasarımların saha dışında üretilebilmesine, taşınabilir olmasına ve yerinde kurulumuna da olanak sağladığını görmekteyiz. Eklemeli üretim yöntemi ile inşa edilen bu yapıların kullanımı giderek artmakta ve 3d baskıda kullanılan malzemelere göre kullanım alanları farklılaşmaktadır. 3D baskının en büyük avantajı değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilmesi ve doğal afetlere karşı dayanıklı olmasıdır. Özellikle Kovid salgınında ilgi gören bu teknoloji ortaya çıkan

küresel çapta barınma sorunlarına da bir cevap niteliğindedir. Ortaya çıktığı andan itibaren gelişmekte olan ve ölçeğini büyüten 3d baskı geleneksel inşaat sistemlerine alternatif sürdürülebilir malzemeleri araştırır. Bu uygulamalarda farklı disiplinlerin iş birliği (mimarlar, mühendisler, yazılımcılar, malzeme bilimciler) ile inşaat sektörünün olumlu yönde ilerlemesi yüksektir.

KAYNAKÇA

- 3DHousing05. (2018, 04). 04 30, 2024 tarihinde CREATIVITY SUSTAINABILITY FLEXIBILITY AFFORDABILITY RAPIDITY: <https://www.3dhousing05.com/> adresinden alındı
- Barandy, K. (2022, 03 02). Design Boom. why 3D print a house? step inside the completed 'house zero' to find out: <https://www.designboom.com/architecture/3d-printed-house-zero-icon-lake-flato-austin-texas-01-02-2022/> adresinden alındı
- Barba, J. J. (2022, 03 03). Metalocus. 04 30, 2024 tarihinde INSIDE CURVING 3D PRINTED HOME. HOUSE ZERO BY LAKE|FLATO / ICON: <https://www.metalocus.es/en/news/inside-curving-3d-printed-home-house-zero-lakeflato-icon> adresinden alındı
- Dunn, N. (2012). Digital Fabrication in Architecture. London: Laurence King Publishing.
- Fratello, R. S. (2020). Rael San Fratello. Casa Covida: <https://www.rael-sanfratello.com/made/casa-covida> adresinden alındı
- Gramazio, F., & Kohler, M. (2014). Architectural Design - Made by Robots: Challenging Architecture at the Large Scale. Italy: Printer Trento Srl.
- Harrouk, C. (2019, 12 24). Archdaily. Dubai Municipality to Become the World's Largest 3D-Printed Building: <https://www.archdaily.com/930857/dubai-municipality-to-become-the-worlds-largest-3d-printed-building> adresinden alındı
- J. R.C. Dizon, A. H. E. Jr, , Q. Chen, & R. C. Advincula. (2018). Mechanical characterization of 3d-printed polymers. Additive Manufacturing(20), 44-67.
- Malone, D. (2019, 12 10). Building Design and Construction. 05 02, 2024 tarihinde 6,888-sf Dubai Municipality building is the largest 3D printed building to date: <https://www.bdcnetwork.com/6888-sf-dubai-municipality-building-largest-3d-printed-building-date?page=1> adresinden alındı
- Moretti, F. (2021, 11 08). WASP. WASP 3D prints a unique concept store in collaboration with Dior: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-pop-up-store-wasp-dior/> adresinden alındı
- Morris, A. (2018, 05 20). Dezeen. 04 30, 2024 tarihinde CLS Architetti and Arup use a portable robot to 3D print a house in Milan: <https://www.dezeen.com/2018/04/20/cls-architetti-arup-use-portable-robot-3d-print-house-milan/> adresinden alındı
- Morris, A. (2018, 04 20). Dezeen. 04 30, 2024 tarihinde CLS Architetti and Arup use a portable robot to 3D print a house in Milan: <https://www.dezeen.com/2018/04/20/cls-architetti-arup-use-portable-robot-3d-print-house-milan/> adresinden alındı

- Nadarajah, N. (2018). Development of concrete 3D printing masters in Building Technology. Finlandiya: Aalto University.
- PERI. (2024). D Printing Solutions. 04 30, 2024 tarihinde PERI: <https://www.peri3dconstruction.com/en> adresinden alındı
- Salvo, S. D. (2024). Insights into New Trends and Contemporary Challenges in 3D Printing in Architectural Sector. *Engineering Innovations*(8), 43-61.
- Salvo, S. D. (2024). Insights into New Trends and Contemporary Challenges in 3D Printing in Architectural Sector. *Engineering Innovations*(8), 43-61.
- Schumacher, P. (2019). The ‘Digital’ in Architecture and Design. *AA Files*(76).
- Shuangyu, H. (2023). Traditional House of the Future / Lidia Ratoi + John Lin. 05 02, 2024 tarihinde Archdaily: https://www.archdaily.com/1002291/traditional-house-of-the-future-lidia-ratoi-plus-john-lin?ad_source=search&ad_medium=projects_tab) adresinden alındı
- W. Haoa, Y. L. (2018). Preparation and characterization of 3D printed continuous carbon fiber reinforced thermosetting composite. *Polymer Testing*(65), 29–34.
- W. Xin, J. Man, Z. Zuowan, G. Jihua, & H. David. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B*(110), 442-458.
- WASP. (2021). TECLA. 05 02, 2024 tarihinde WASP: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/> adresinden alındı
- Why You Should Consider 3D Printing Ceramic for Your Next Projects. (2023, 08 19). 04 30, 2024 tarihinde At-machining: <https://at-machining.com/3d-printing-ceramic/#:~:text=Ceramic%203D%20printing%20is%20an,to%20build%20the%20desired%20shape.>) adresinden alındı