




## MİMARİ YAPILARDA 3 BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI

Seval Özgel Felek<sup>a\*</sup> 

<sup>a</sup> Ordu Üniversitesi, Ünye MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, TÜRKİYE

\* Sorumlu Yazar: [sevalozgelfelek@odu.edu.tr](mailto:sevalozgelfelek@odu.edu.tr)

(Geliş/Received: 07.10.2019; Düzeltme/Revised: 28.10.2019; Kabul/Accepted: 22.11.2019)

### ÖZET

Bu makale, mimari yapılarda 3B (3 Boyutlu) baskı teknolojinin kullanımı ve teknolojisinin kapsamı hakkındadır. 3B baskı teknolojisi, 3B yazıcının icadıyla başlayan yeni bir yapım tekniğidir. Bu teknolojinin maliyet ve üretim zamanını azaltma, çevre kirliliğini en aza indirme, inşaat alanındaki yaralanma ve ölümleri azaltma gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Geleneksel yapım teknikleri ile karşılaştırıldığında, 3B baskı tekniğiyle çok daha karmaşık geometrik yapıların üretilmesi sağlanmaktadır ve sınırsız olanaklar sunmaktadır. 3B baskı teknolojisi sadece mimarlık ve tasarım konularını değil, malzeme bilimi ve robotik gibi mühendislik alanlarının da içinde bulunduğu disiplinler arası bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu çalışmalar sayesinde 3B baskı ile çimento karışımlı malzemelerin basılabilmesi sağlanmıştır. Makale kapsamında bu teknolojiye olanak sağlayan yazıcılar ve malzemeler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 3B Baskı, 3B Yazıcı, Mimari Yapı, Mimarlık

### ABSTRACT

This article is about the use of 3D printing technology in architectural structures and the scope of the technology. 3D printing technology is a new construction technique that started with the invention of 3D printer. This technology has many advantages, such as reducing cost and production time, minimizing environmental pollution, and reducing injuries and fatalities on the construction site. Compared to traditional construction techniques, 3D printing technique enables the production of more complex geometric structures and offers unlimited possibilities. 3D printing technology requires interdisciplinary work, not only in architecture and design, but also in engineering such as materials science and robotics. Thanks to these studies, it is provided to print cement-mixed materials with 3D printing. In this article, printers and materials that enable this technology are examined.

**Keywords:** 3D Printing, 3D Printer, Architectural Building, Architecture

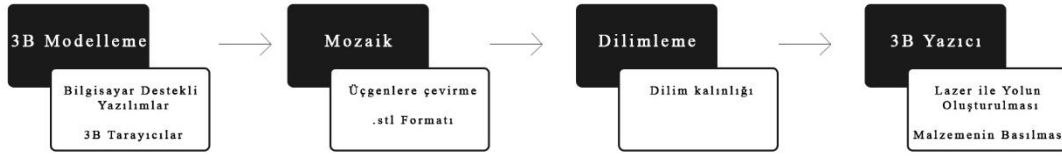
### 1. GİRİŞ

1983 yılında ilk 3B yazıcının icat edilmesiyle 3B baskı teknolojisi son yıllarda en hızlı büyüyen ve gelişen teknolojilerden biri haline gelmiştir. İcat edildiği ilk zamanlarda hem daha pahalı hem de daha karmaşık bir yapıya sahipken, yıllar içerisinde günlük yaşamda bile kullanılabilir hale gelmiştir. Yazıcılar endüstrinin her türlü alanında özellikle tıp, otomotiv ve havacılık sektöründe başarıyla kullanılmıştır. Açık kaynaklı sistemler sayesinde, özellikle yeni bir ürünün prototipinin yapılması aşamasında kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan baskı malzemelerinin ve yazıcıların da geliştirilmesiyle inşaat sektöründe, 2014 yılında bir devrim gerçekleşmiştir. Bu tarihte 3B yazıcı ile ilk mimari yapının basılması gerçekleşmiştir ve bina yapım teknolojisinde yeni bir çağ başlamıştır.

## 2. 3B BASKI TEKNOLOJİLERİ

3B baskının temel çalışma prensibi bilgisayar ortamında modellenmiş üç boyutlu nesnenin katmanlara bölünerek, her katmanda eritilen hammaddenin dökülüp üst üste gelecek şekilde oluşturulması işlemidir. Bu işlemi gerçekleştiren cihazlara 3B yazıcı adı verilmektedir.

3B baskı işlemi, bilgisayar destekli yazılımlar veya 3B tarayıcıdan elde edilen dijital model ile başlamaktadır. Bir sonraki adımda 3 boyutlu model üçgenlere ayrılır ve stl formatına dönüştürülür. Mozaikli (üçgenleştirilmiş) model daha sonra 2.5 boyutlu dilimler dizisine dönüştürülmektedir. Şekil 1'de aşamaları gösterildiği gibi 3B baskı teknolojisinde, 3B tasarım sürecinin ardından oluşturulan modeller, STL formatında yazıcıların arayüzlerine aktarılırlar. Açılımı "Stereolithography" olan .stl uzantısı, üç boyutlu tasarlanmış modelin yüzeylerinin matematiksel bir dizi içerisinde çok sayıda üçgene bölünmesiyle yaratılan bu üçgenlerin kendi normali ve üç adet noktasıyla 3B modeli temsil ettiği bir formattır. Üçgenlerin sayısı arttıkça 3B modelin detay seviyesi de aynı oranda artmaktadır [1].



Şekil 1. 3B baskı aşamaları [1].

3B yazıcıların ilk ve en önemlileri incelenmiştir: SLA (Stereolitografi), DLP (Dijital Işık İşleme), SLS (Seçici Lazer Sinterleme), FDM (Eriyik Yığılma Modelleme) ve LOM (Lamine Nesne Üretimi).

### 2.1. SLA (Stereolithography)- Stereolitografi

3B baskı fikri, 1983 yılında Charles W. Hull' un masa kaplamalarını UV ışığı ile sertleştirme fikriyle ortaya çıktığı zaman doğmuştur. 3B Baskı teknolojisinin kaynağı olan stereolitografinin icadına sebep olmuştur. Stereolitografi yani reçine kürlenme teknolojisi, bilgisayar destekli öğelerin hızlı, hassas ve tekrarlanabilir üretimi anlamına gelen ilk hızlı prototipleme teknolojisidir [2]. Stereolitografi, yüksek hassasiyete ve son derece karmaşık bir geometriye sahip nesnelere oluşturabilen ve tıp, otomotiv ve uçak endüstrisi, hatta sanat ve tasarım gibi birçok alanda kullanılan bir teknolojidir. Bu teknolojiye süreç, fotopolimer sıvı reçinenin bir tankın içine doldurulması ve hareketli platformun sıvı reçine yüzeyinin hemen altında yer alması ile başlamaktadır. Bilgisayar kontrollü sistem sayesinde sıvı reçine daha önceden yazılımla dilimlenmiş kesitlere göre dökülür. Böylece her katman birbirinin üzerine eklenir, malzemenin yapışkanlığı sayesinde katmanlar birbirine yapışır ve UV ışığı ile katılaşmaktadır. Parça oluşturulurken eğer ki boş kısımlar var ise destekler (support) ile inşa edilir ve işlem sonrasında destekler parçadan ayrılmaktadır [3].

### 2.2. DLP (Digital Light Processing) - Dijital Işık İşleme

SLA gibi sıvı reçine ile baskı alma yöntemidir. DLP, yani dijital ışık işleme, yüksek çözünürlüklü mikro ürünlerin üretimi için bir metottur. Bu süreçteki işlem, saydam reçineye milyonlarca optik UV ışığı gönderilmesiyle geleneksel projeksiyon işlemine benzemektedir. Bu şekilde tüm reçine katmanı bir kerede sertleştirilebilmektedir, böylece üretim zamanı önemli ölçüde azalmaktadır. DLP, geleneksel bir ışık kaynağı olan ark lambası ile sıvı kristal ekran panelinin ya da deforme olabilen bir aynanın (DMD) kullanıldığı bir sistemdir. Tek geçişte bütün fotopolimer reçine üzerine uygulandığı için Stereolithografi'den daha hızlıdır. DLP ile yapılan üretimlerde Stereolithografi'deki gibi yüksek çözünürlükte hassas parçalar üretilebilmektedir [4].

### 2.3. SLS (Selective Laser Sintering)- Seçici Lazer Sinterleme

3B baskı aşamasında kullanılan bir diğer teknoloji ise SLS yani seçici lazer sinterleme işlemidir. Bu teknoloji Dr. Carl Deckard ve Austin, Teksas Üniversitesi'ndeki akademik danışman Dr. Joe Beaman tarafından 1980'lerin ortalarında, DARPA sponsorluğunda geliştirilmiş ve patentlenmiştir. Deckard ve

Beaman sonrasında SLS cihazlarını üretmek ve geliştirmek amacıyla DTM isimli şirketi kurmuşlardır. Bu işlemde kullanılan malzemeler yüksek mukavemet ve esnekliğe sahip olan çoğunlukla naylon ve polistirendir [5].

Üç boyutlu modelin basılabilmesi için katmanlarına ayıran yazılımlar kullanılmaktadır. Her katman granül halinde bulunan tozları sinterleyerek lazerin ilerleyeceği yolu belirlemektedir. Lazer, katman üzerinde hızlı ışınlar yaparak hareket eder ve malzeme tozlarını eriterek yani sinterleyerek birbirine yapıştırır. Her katman bu şekilde oluşturulmaktadır. Bütün katmanlar bittiğinde üretilen model, üretim tablası üzerinde sinterlenmemiş tozların içerisinde yer almaktadır. Bu tozlar geri dönüştürülmek üzere temizlenir ve model elde edilmektedir [6].

#### **2.4. FDM (Fused Deposition Modelling)- Eriyik Yığıma Modelleme**

Dünyadaki en popüler ve yaygın olarak kullanılan yöntem ise FDM'dir. FDM, 1988 yılında S. Scott Crump tarafından icat edilmiş bir teknolojidir. Model, sıcaklık kontrollü bir nozul vasıtasıyla termoplastik malzemenin katman katman üretim tablasına serilmesiyle oluşturulmaktadır. Model tamamlandığında eğer destek yapıları varsa el veya özel bir karışım vasıtasıyla kolaylıkla sökülebilmektedir. FDM teknolojisinde kullanılan malzemeler filamentler olarak adlandırılır ve yazıcılarda ABS veya PLA gibi bir termoplastik malzeme rulosu kullanılmaktadır. Bu teknolojiye de modelin basılabilmesi için katmanlarına ayıran yazılımlar kullanılmaktadır. Nozul, filamenti, katmanları oluşturmak için meme boyunca kolayca akmasına izin veren, uygun erime noktasında tutan, dirençli ısıtıcılar içermektedir. Diğer teknolojilerde olduğu gibi, bir katman oluşturulduktan sonra, platform indirilir ve bir sonraki katman oluşturulur. Bu işlem tüm model oluşuncaya kadar tekrar edilmektedir. ABS ve PLA dışında son yıllarda, çeşitli özellikler sunan ve uygulama alanını arttırmaya izin veren ve baskılara ahşap (ahşap lifli PLA), metal (bronzlu PLA), kumtaşı (öğütülmüş tebeşirli PLA) görünümünü veren geniş malzeme yelpazesi geliştirilmiştir [7,8].

#### **2.5. LOM (Laminated Object Manufacturing)- Lamine Nesne Üretimi**

Lamine nesne üretimi, Helisys Inc. tarafından geliştirilen, çeşitli türlerde nesnelere 3 boyutlu basmanın çok hızlı ve ucuz bir prototipleme sistemidir. İçinde yapışkan kaplı kağıt, plastik veya metal laminat katmanlar bulunmaktadır. Yapışkan bantlar bir çözücü ile püskürtülmektedir. Kullanılan solvent yani çözücü, bantları bir araya getirerek yapışmalarını sağlamaktadır. Isıtılmış bir silindir de bantları ısıyla sıkıştırarak birbirlerine daha iyi tutunmalarını sağlamaktadır. Modelin enine kesitlerini lazerle keserek tek tek katmanları oluşturmaktadır. Katmanlar sırayla birbirine yapıştırılarak model oluşturulmaktadır [9,10]. Bu sistem, aslında prototipleme için kullanılmakta, üretim için kullanılmamaktadır. Diğer baskı yöntemlerinden farklı bir prensibe sahiptir.

### **3. 3B YAZICILARIN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANILMASI**

3B yazıcıların ticari uygulaması 1980'lerde hızlı prototipleme şeklinde başlamıştır ve bu teknoloji inşaat endüstrisine girmeden önce çok yol kat etmiştir. Havacılık, savunma ve otomotiv sanayi 3B baskıyı en yaygın olarak kullanan endüstrilerdir. Ancak inşaat sektöründe kullanımı bu sektörler nazaran çok daha yenidir ve bu konuda çok az akademik çalışma ve araştırma yapılmıştır.

Bir öğrenci projesi olarak beton malzeme ile baskı sistemlerinden ilk kez bahseden yayın, Joseph Pegna tarafından 1977 yılında basılmıştır. Bu yayın kum/çimento karışımı oluşturma tekniğine odaklanmıştır ancak hiçbir zaman gerçekleştirilememiştir [11]. KuaShang Tengda, WinSun ve Apis Cor gibi firmalar da bu inşaat yönteminden ilham alarak çeşitli mimari yapıların 3B yazıcılar ile oluşturulmasını sağlamıştır.

Bu alanda yapılan ilk çalışmalardan bazıları:

- “Canal House” ilk tam ölçekli 3B inşaat projesidir.
- 3B teknolojisini kullanılarak inşa edilen ilk konut binası, 298,5 m<sup>2</sup> alana sahip Rusya'da bulunan “Yaroslavl” konut projesidir.

- Institute of Advanced Architecture Catalonia dünyanın ilk 3B baskı ile oluşturulan yaya köprüsünün tasarım ve yapımını üstlenmiştir.
- 3D Printhuset tarafından Kopenhag'da Avrupa'da resmi düzenlemelere uygun ilk ofis-otel binası inşa edilmiştir.
- MX3D adlı şirket, destek yapılarına ihtiyaç duymadan metal malzeme kullanarak havada asılı duran bir köprü oluşturmak için 3B baskı teknolojisi ile çalışmıştır.
- Çin'de bulunan Huazhong University of Science and Technology'deki araştırmacılar, üç boyutlu tarama ve çimento harcı bazlı 3B yazıcı teknolojisinin bir birleşimini geliştirmiş ve tarihi bir bina süsleme bileşenini çoğaltmak için kullanılmıştır [12,1,8,13].

### 3.1. Yapıda Kullanılan Yazıcılar

Bu bölümde, inşaat sektöründe büyük elemanlardan bütün bir binaya kadar yazdırabilen 3B yazıcılardan bahsedilecektir. Her bir yazıcı farklı zamanlarda, farklı alanlarda denemeler yaparak bu sektörün gelişmesine katkıda bulunmuştur. Bu yazıcılar hem kullandıkları teknoloji hem de baskı için kullandıkları malzemeler açısından farklılık göstermektedir. Bu alanda şimdiye kadar kullanılan dört farklı yazıcı incelenecektir. Bu dört yazıcının yazdırma aşamaları aslında iki teknolojiden oluşmaktadır. Birincisi baskı malzemesinin bir veya daha fazla nozulden doğrudan dökülmesini sağlayan sistemdir. Kamer Maker, Contour Crafting ve Win Sun sistemleri bu teknoloji ile yazdırmaktadır. İkinci yazdırma şekli ise düzgün bir yatay katmanın granül malzemeden (kum) oluşturulmasıdır. Sonrasında bu katman üzerine bağlayıcı olması için sıvı püskürtülmektedir; bu aşamada katılma işlemi gerçekleşirken, fazla kum, yapı içine gömülmemiş destek olarak işlev görmektedir. Sürecin sonunda, bu fazlalık kaldırılarak gelecekteki binalarda tekrar kullanılabilir. Bu sistemi D-Shape yazıcısı kullanmaktadır [14].

#### 3.1.1. D-Shape

Enrico Dini tarafından 2007 yılında icat edilmiştir. Dünyada ezilmiş dolomit kireçtaşını sağlam bir malzemeye çevirerek yapımı sağlayan, inşaat sektöründeki ilk üç boyutlu yazıcı olduğu belirtilmektedir. Sistem, toz parçacıklarının lazer ışını kullanılarak bağlandığı Lazer Sinterleme metoduna benzer şekilde toz esaslı malzeme kullanmaktadır. Şekil 2'de gösterilen D-Shape yazıcının şu anki sürümü 6 metreye 6 metrelik alüminyum bir çerçeveye oturmaktadır. Çerçeve, belirli bir uzunluğu tekrar tekrar hareket ettirmek ve daha sonra her bir kiriş üzerinde yukarı doğru hareket etmesini sağlayan motorlar vasıtasıyla baskı işlemini gerçekleştirmektedir. 300 nozulden oluşan bir yazıcı kafasına sahiptir. Yazıcı kafası tabana, kafaya dik çalışan alüminyum bir ışınla bağlanmaktadır. Yapı alüminyum olduğu için oldukça hafiftir ve kolayca taşınabilmektedir. Böylece birkaç saat içerisinde iki işçi tarafında alanda monte edilebilmektedir. Sistem kum ve inorganik bağlayıcılar kullanarak basım işlemini gerçekleştirmektedir [8, 14, 15].

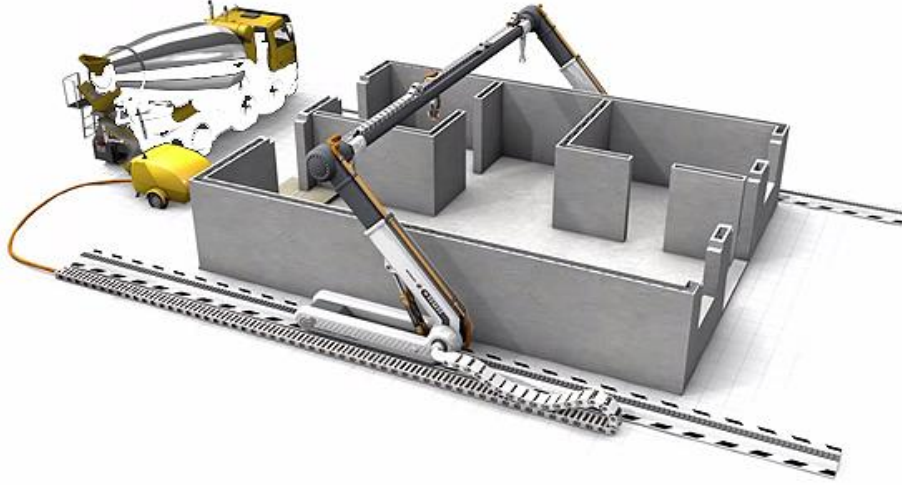


Şekil 2. D- Shape [16]

#### 3.1.2. Contour Crafting

Contour Crafting, Southern California Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Enstitüsü'nde Behrokh Khoshnevis tarafından ortaya konulmuştur. Daha az el emeği ile hızlı ve verimli bir yapı oluşturmak için

bilgisayar kontrollü bir vinç veya makas kullanan bina baskı teknolojisidir. Başlangıçta endüstriyel parçalar için kalıp inşa etmek amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 3’de gösterilen ürün, Khoshnevis tarafından doğal afetler sonrası hızlı bir şekilde bina inşa etmenin bir yolu olarak yeniden düzenlenmiştir. Binanın duvarları katman katman oluşmaktadır. Malzeme olarak beton benzeri bir karışım kullanılmaktadır. Donatı olarak cam veya karbon fiber ile denemeler yapılmaktadır [15,17].



Şekil 3. Contour Crafting [18].

### 3.1.3. Kamer Maker

KamerMaker, dünyanın ilk portatif 3B Baskı makinası olarak lanse edilmiştir. KamerMaker (RoomBuilder) odaları üç boyutlu olarak basabilmektedir. 3B baskı teknolojisi, büyütülmüş bir 'Ultimaker' baskı makinesine dayanmaktadır. Ultimaker, PLA'yı (mısırdan üretilen biyo-plastikler) kullanarak 3B nesnelere basabilmektedir. Gelişmiş versiyonu olan KamerMaker ise, 2,0 m (genişlik) x 2,0 m (uzunluk) x 3,5 m (yükseklik) boyutlarına kadar küçük odalar yazdırabilmektedir.

Canal House, DUS mimarları tarafından geliştirilen ve tüm iç mekanları 2 x 2 x 3,5 metre boyutlarına sahip büyük, taşınabilir bir 3B yazıcı olan Şekil 4’de gösterilen KamerMaker (RoomMaker) ile basılmıştır. Her bir oda ayrı ayrı basılarak inşaat alanında bir araya getirilmektedir. Sistem termoplastik malzeme kullanılarak baskı işlemini gerçekleştirmektedir. Şu anda, %80’i bitkisel yağ olan bir biyoplastik; Macromelt’i kullanmıştır. İçi boş elemanlar baskı makinası ile yazdırılmaktadır; katılaşınca beton ile doldurulabilmektedir [12,14].



Şekil 4. Kamer MakerContour Crafting [12].

### 3.1.4. Win Sun

Win Sun şirketinin 3B baskı sektörüne girmesi, ilk ve halen yaygın olarak kullanılan 3B yazıcının temel bileşenlerinden biri olan püskürtme başlığını (sprey nozul) icat etmesiyle 2005 yılında başlamıştır. Püskürtme başlığı, çimento ve diğer gelişmiş malzemelerle deney yapmak için kullanılmıştır. Malzeme mühendisi olan Başkan ve Kurucu Ma Yihe tarafından yönlendirilen şirket, sonuçları iyileştirmek,

malzeme toplama ve çıktı kontrolünü sağlamak için teknolojiyi ve malzeme kompozisyonunu geliştirmeye devam etmiştir.

Win Sun, dünyanın en büyük 3 boyutlu inşaat yazıcısını geliştirmiştir. Bu yazıcı 10 metre genişliğinde, 6,6 metre yüksekliğinde ve 150 metre uzunluğunda baskı alabilmektedir. 2013 yılında, malzeme ve tecrübe konusundaki uzmanlığı sayesinde Win Sun, ilk kez bir konut evi ile 3B baskı işini gerçekleştirmiştir. Teknik, özel bir katkı maddesi ile çimento, kum ve elyaftan yapılmış özel bir malzeme kullanmaktadır. Şirket, prefabrik konut imalatı gibi fabrikada duvarları basmaktadır ve binayı sahada monte etmektedir. Temel süreç müşterinin tasarımıyla başlar (Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) 3B modeli şeklinde). Püskürtme başlığı, malzeme katmanını tabaka halinde ekler, her tabaka istenen şekil ve büyüklükteki duvar tamamlanana kadar basım işlemini gerçekleştirmektedir. Duvarlar 0.6 ila 3 santimetre kalınlığı arasında olabilmektedir. Basımı tamamlanmış duvar parçaları şantiyeye taşınarak geleneksel temellere monte edilmektedir. Yapılar bölgesel yapı düzenlemelerine uygun olarak geleneksel çelik yapılar veya çimento ile güçlendirilmektedir. Boyanmamış duvarlar daha sonra müşteri tercihlerine göre çeşitli finingler veya son katlarla desteklenebilmektedir. Malzeme olarak geri dönüştürülmüş inşaat atıklarından (yani kum, beton, cam elyafı), endüstriyel atıklardan ve tortudan oluşturulan bir aglomerat kullanılmıştır [19].

### 3.2. Yapıda Kullanılan Malzemeler

Beton malzeme ile 3B baskı yapılabilmesi için malzemenin çeşitli şartları yerine getiriyor olması gerekmektedir. Kullanılacak beton özel bir karışım olmak zorundadır. Beton karışımı bir macun gibi akıcı olmalı ve nozulden çıktıktan sonra hızlıca sertleşebilmelidir. Yazdırma işlemi sırasında sertleşmemelidir, aksi takdirde nozulün tıkanmasına sebep olacaktır. Betonun fiziksel özellikleri değişmeden karıştırıcıdan nozule doğru ilerleyerek katmanları oluşturması gerekmektedir. Freek Bos tarafından ortaya konulan çökmeyen beton (zero slump concrete) sayesinde bu malzeme karışımı katmanlar halinde üst üste konulabilmektedir. Betonun donma süresinin ayarlanabilmesi için bazı kimyasallar katılmaktadır. Kullanılan kimyasal katkı maddeleri içerisindeki su miktarını azaltan, hava geçişini sağlayan, ya da su miktarını geciktirip hızlandırmaya sebep olmaktadır. Eğer mimari detaylar fazla ise yazıcının hızının da buna göre ayarlanması gerekmektedir. [20].

Canal House'da kullanılan "Fused Deposition Modeling" teknolojisinin basılacak malzemeyi geliştirmesi gerektirmekteydi. Bu teknoloji için uygun malzeme bulmak, 3B baskı ile projeler inşa etmede en büyük zorluk olmaya devam etmiştir. Hollanda Projesinde Henkel tarafından geliştirilen termoplastik biyo bazlı bir malzeme kullanılmıştır. Bununla birlikte, Henkel, basılan parçaların basınç dayanımını arttırmak için Canal House Projesi'nin sonraki aşamalarında kullanılacak yeni geliştirilmiş eko-beton ile bazı testler uygulamaktadır. Projenin bu aşaması için, bir araya getirilmesi kolay, içindeki petek şeklinde boşluklarla birlikte bina bileşenleri, hava sirkülasyonu ve binanın yalıtımını sağlayan özel hafif beton ile doldurulacak şekilde tasarlanmıştır [12].

Çin WinSun Projesinde stereolitografi baskıda endüstriyel atık, cam elyafı, çimento ve sertleştirmeyi sağlayan bir malzeme karışımı kullanılmıştır. Geliştirilen bu malzeme, sıradan 3B baskı teknolojisinde olduğu gibi yapı bileşenlerini katman katman oluşturabilmeye izin vermiştir. İstenilen karışımın, tabakalara kolayca yerleştirilebilmesi için maksimum işlenebilirliğe ve maksimum akışkanlığa sahip olması gerekmektedir. Katmanlar aynı anda sıradaki katmanlarla bağlanmayı sağlamak zorundadır. Sıkıştırma dayanımı gerektiğinden, uygun akışkanlık korunurken su içeriği de en aza indirilmelidir. Sıvı haldeki malzeme bir sonraki katman döşenmeden önce sertleşmek zorundadır. Mühendisler, yazıcının nozulünden dışarı pompalanacak kadar idare edilebilecek ve betonarme kadar güçlü olacak, hızlı ayarlı beton için en iyi karışımı bulmak adına testler ve denemeler yapmaya devam etmektedir [19].

Contour Crafting basılacak ürünlerin yüzey kalitesini etkilemeden beton karışımını donatı olarak cam veya karbon fiber ile test etmektedir [15, 17].

D-Shape 3B yazıcının mucidi Dini 2009 yılında çevreye zarar vermeyen ve nispeten daha ucuz bir hammadde arayışı sonucunda ağırlıklı olarak kum, oksit ve deniz suyundan elde edilen kloritleri kullanmıştır ve bu konuda patent almıştır [21].

Yapı bileşenlerinin 3B baskısı için olası malzeme çözümleri için çeşitli kompozit malzemeler denenmektedir. Bunlardan bir tanesinin de kükürtlü beton olduğu savunulmaktadır. Karışım, kükürtün erime noktasının üstünde ısıtılır. 140 °C'ye soğuduktan sonra normal beton gibi uzun süre kürlenmeden istenilen mukavemete ulaşmaktadır. Sülfürlü beton potansiyel bir yapı malzemesi olarak kabul edilebilmektedir [8].

#### 4. SONUÇ

Makale kapsamında 3B yazıcıların mimari alanda kullanılmasının teknikleri ve kullanılan malzemeler araştırılmıştır. Bu teknolojinin gelişmesini sağlayan 3B yazıcıların teknik farklılıklarına da yer verilmiştir. Bu teknoloji ile basılmış olan ilk ve önemli mimari yapılar örnek olarak belirtilmiştir. Bu yazıcılardan baskı alabilmek için uygun malzeme çözümleri denenmekte ve her geçen gün malzeme bilimiyle yapılan ortak çalışmalarla daha verimli bir hale gelmektedir. Sonuçta küçük bir prototip nesne değil, bina oluşturulmaktadır.

3B yazıcılarda kullanılan beton içeriği ile malzeme, maliyet ve işçilik düzeyleri azalmaktadır. . Araştırmalara dayanarak betonun 3B yazıcılarda kullanılmasının güvenli ve çevre dostu olduğu görülmektedir. İnşaat sektöründe 3B baskıda betonu bu sürece adapte edebilmek için çeşitli kurum ve üniversiteler sürekli çalışmalar yapmaktadır. Özellikle harcanan enerjide büyük oranda düşüş meydana gelmektedir. Robotlar bütün işlemleri yapabilmektedir. Bu sebeple de çok daha kısa sürede ve daha ekonomik yapılar oluşmaktadır. İnşaat sektöründe 3B yazıcıların kullanılabilmesinin en büyük avantajı hızlı üretimdir. Özellikle konut sıkıntısı çekilen ülkelerde, afet sonrasında barınma ihtiyacı için, geleneksel yöntemlerle üretilmeyecek geometriye sahip binaların üretiminde ve hatta dünya dışında yaşam formu oluşturabilmek için 3B yazıcılar kullanılacaktır. 3B baskı teknolojisi farklı alanlarda ve çok sayıda uygulamaya sahiptir. Daha ileri düzeyde uygulanabilme olasılığı her zaman bulunmaktadır. Bu yazıcılarda basılabilecekler sadece hayal gücümüzle sınırlıdır.

#### KAYNAKLAR

1. T. Anjum, P. Dongre, F. Misbah, and V. P. S. N. Nanyam, "Purview of 3DP in the Indian Built Environment Sector," *Procedia Eng.*, vol. 196, no. November, pp. 228–235, 2017.
2. İnternet: Google Patent, "Method for production of three-dimensional objects by stereolithography", <https://patents.google.com/patent/US4929402A/en>, October 2, 2019.
3. Akpek, A., "Analysis of biocompatibility characteristics of stereolithography applied three dimensional (3D) bioprinted artificial heart valves", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol. 33, Issue 3, Pages 929-938, 2018.
4. Mu, Q., Wang, L., Dunn, C., Kuang, X., Duan, F., Zhang, Z., Qi, H., Wang, T., "Digital light processing 3D printing of conductive complex structures". *Additive Manufacturing*. Vol 18, Pages 74-83, 2017.
5. İnternet: Formlabs "What is Selective Laser Sintering?", <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering>, October 2, 2019.
6. Wadea A., Atef M. G., Moath A., Hisham A., Abdulrahman A., "An overview of selective laser sintering and melting research using bibliometric indicators, Virtual and Physical Prototyping", Vol. 13, Issue 4, Pages 282-291, 2018, DOI: 10.1080/17452759.2018.1489973
7. Dudek, P., "FDM 3D Printing Technology in Manufacturing Composite Elements". *Archives of Metallurgy and Materials*. Vol. 58, Issue 4, 2013.

8. Nadarajah, N., "Development of Concrete 3D Printing", Master Thesis, Aalto University School of Engineering Building Technology, Finland, 2018.
9. Faguo, Z., Fan, Z., Bingru, Y., "Research on short text classification algorithm based on statistics and rules", Third International Symposium on Electronic Commerce and Security, Pages 3–79, 2010.
10. Mekonnen, B.G., Bright, G., Walker, A., "A Study on State of the Art Technology of Laminated Object Manufacturing (LOM)"; Springer: Berlin, Germany, 2016.
11. Pegna, J., "Exploratory Investigation of Solid Freeform Construction", Automation in Construction, Vol. 5, Issue 5, Pages 427-437, 1997.
12. Internet: Canal House "3dprintcanalhouse", <https://3dprintcanalhouse.com>, October 2, 2019.
13. Houcai, L., Jianhua, M., Haitao, L., "A Review of Three Dimensional Printing Technology and Its Application", Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, Vol. 9, 2008.
14. Oberti, I., Plantamura, F., "Is 3d Printed House Sustainable?", International Conference on Future Buildings and Districts, Lausanne, EPFL Solar Energy and Building Physics Laboratory, Pages 173-178, 2015.
15. Tay, Y. W. D., Panda, B., Paul, S., Tan, M.J., Qian, S., Leong, K. F., Chua, C., (2016). "Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing", Materials Science Forum 861, Pages 177-81, 2016.
16. Internet: D-Shape, "The Vision", <https://d-shape.com/the-vision/>, October 2, 2019.
17. Khoshnevis, B., "Automated Construction by Contour Crafting Related Robotics and Information Technologies", Automation in Construction, Vol.13, Issue 1, Pages 5-19, 2004.
18. Internet: Contour Crafting, "Introducing Contour Crafting Technology", <http://contourcrafting.com/>, October 2, 2019.
19. Winsun: "Demonstrating the Viability of 3D Printing at Construction Scale", World Economic Forum, <https://futureofconstruction.org/case/download>
20. Freek B., Rob W., Zeeshan A., Theo S., "Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing", Virtual and Physical Prototyping, Vol. 11, Issue 3, Pages 209-225, 2016. DOI: 10.1080/17452759.2016.1209867
21. Gardiner, J., "Exploring The Emerging Design Territory Of Construction 3D Printing - Project Led Architectural Research", Architecture and Design, RMIT University, 2011.