

**ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR VE GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE  
KULLANIMI**

**MUSTAFA BORA TÜMER**

**IŞIK ÜNİVERSİTESİ**

**2020**

Mustafa Bora Tümer

Yüksek Lisans Tezi

2020

**ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR VE GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE  
KULLANIMI**

**MUSTAFA BORA TÜMER**

**Işık Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi İç Mimarlık Yüksek Lisans 2020**

**Bu Tez Işık Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi'ne Yüksek Lisans (MA)  
derecesi ile sunulmuştur.**

**IŞIK ÜNİVERSİTESİ**

**2020**

İŞIK ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR ve GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANIMI  
MUSTAFA BORA TÜMER

ONAYLAYANLAR:

Doç.Dr. Serpil Özker

İşık Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Birol Köseğlü

İşık Üniversitesi

Doç. Dr. Saadet Aytis

MSGÜ

ONAY TARİHİ: 09.04.2020

# THREE DIMENSIONAL PRINTERS AND ITS USE IN ARCHITECTURE

## **Abstract**

Today, the changes, technological advances and innovations in different sectors make it an indispensable element of our age. Especially in the field of architecture, which constantly renews itself with technology, three-dimensional printers have an important place. Three-dimensional printers help eliminate the shortcomings in the industry by eliminating the requirements in different areas. The “printerobject” seen on paper with two-dimensional printers have become “touchable three-dimensional objects” thanks to the three-dimensional printer. Different manufacturing techniques are used to make objects producible with three-dimensional printers. After the reduced production, which is included in the manufacturing techniques, has been transformed into additive manufacturing, many methods and techniques have come along. Three-dimensional printer technologies have emerged as a result of additive manufacturing. The methods and techniques used in additive manufacturing have enabled the product to be produced digitally with computer modeling. This technology is one of the indispensable components of Industry 4.0, which is considered as the new industrial revolution. With three-dimensional printer technology, architecturally effective solutions are implemented thanks to large-scale three-dimensional printers. In this way, it is an undeniable fact that three-dimensional printers make a great contribution to the field of architecture as well as in every field. While models such as model making, product and space design, interconnection, and transition elements can be easily produced by three-dimensional printers, larger size, free and complex structures can be produced by large-scale three-dimensional printers. With the use of large-scale printers in architecture, sample applications have been realized in many countries. Buildings that serve different purposes, such as home and office, have been built with three-dimensional printers by companies originating from Russia, the United States (USA) and China. Studies are carried out on this subject in order to automate the rapidly advancing construction applications in the world. In this regard, the history of writing and two-dimensional printers, the concept of manufacturing, types, basic principles, additive manufacturing technology

and methods, the emergence of three-dimensional printers, computer modeling and the use of three-dimensional printers in today's architecture are discussed. It is aimed to analyze the functionality of three-dimensional printers in the manufacturing industry with computerized design and modeling systems, their place and importance in the fields of use with developing material technology, what kind of structures will be related to the future in the architectural field. In this study, two and three dimensional printers and their usage areas are examined. As a result, it has been determined that three-dimensional printers have a positive contribution to today's architecture.

Key words: Two-dimensional printer, three-dimensional printer, printers in architecture, large-scale three-dimensional printers, three-dimensional printer materials.

# ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR VE GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANIMI

## Özet

Günümüzde farklı sektörlerde yaşanan değişimler, teknolojik ilerleme ve yenilikleri çağımızın vazgeçilmez unsuru haline getirmektedir. Özellikle teknoloji ile birlikte kendini sürekli yenileyen mimarlık alanında üç boyutlu yazıcılar önemli bir yer tutmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar, farklı alanlardaki gereksinimleri ortadan kaldırarak, sektörde varolan eksikliklerin giderilmesine yardımcı olmaktadır. İki boyutlu yazıcılarla kağıt üzerinde görülen “çıktı sonuçları” üç boyutlu yazıcı sayesinde “dokunulabilir üç boyutlu objeler” haline gelmiştir. Üç boyutlu yazıcılarla objeleri üretilebilir hale getirmek için birbirinden farklı imalat tekniklerinden faydalanılmaktadır. İmalat teknikleri içerisinde yer alan eksiltmeli imalatın eklemeli imalata dönüşmesinin ardından birçok yöntem ve teknik de beraberinde gelmiştir. Üç boyutlu yazıcı teknolojileri eklemeli imalatın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Eklemeli imalatta kullanılan yöntem ve teknikler bilgisayarlı modelleme ile birlikte ürünün dijital ortamda üretilebilmesine olanak sağlamıştır. Bu teknoloji, yeni endüstri devrimi olarak kabul edilen Endüstri 4.0’ın vazgeçilmez bileşenlerinden birisidir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılar sayesinde mimari anlamda etkili çözümler uygulanmaktadır. Bu sayede üç boyutlu yazıcıların her alanda olduğu gibi mimarlık alanına da büyük katkı sağladığı yadsınamaz bir gerçektir. Maket yapımı, ürün ve mekan tasarımı, ara bağlantı, geçiş elemanları gibi örnekler üç boyutlu yazıcılar tarafından rahatlıkla üretilebilmekteyken büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılar tarafından ise daha büyük ebatlı, serbest ve karmaşık yapılar üretilebilmektedir. Büyük ölçekli yazıcıların mimaride kullanılmasıyla birlikte birçok ülkede örnek uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Rusya, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Çin menşeli firmalar tarafından üç boyutlu yazıcılarla ev ve ofis gibi farklı amaca hizmet veren yapılar inşaa edilmiştir. Dünyada hızla ilerleyen inşaat uygulamalarının otomasyon altına alınabilmesi için bu konuyla ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Bu doğrultuda çalışmada, yazının ve iki boyutlu yazıcıların tarihçesi, imalat kavramı, çeşitleri,

temel prensipleri, eklemeli imalat teknolojisi ve yöntemleri, üç boyutlu yazıcıların ortaya çıkışı, bilgisayarlı modelleme ve üç boyutlu yazıcıların günümüz mimarisinde kullanımları ele alınmıştır. Üç boyutlu yazıcıların imalat sektöründe işlevselliği bilgisayarlı tasarım ve modelleme sistemleriyle entegrasyonu, gelişen malzeme teknolojisiyle kullanım alanlarındaki yeri ve önemi, mimari alanda geleceğe yönelik ne tür yapılarla ilişki içerisinde olacağının irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda çalışmada iki ve üç boyutlu yazıcılar ve kullanım alanları irdelenmiştir. Sonuç olarak üç boyutlu yazıcıların günümüz mimarisine olumlu bir katkısı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İki boyutlu yazıcı, üç boyutlu yazıcı, mimaride yazıcılar, büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılar, üç boyutlu yazıcı malzemeleri.

## Teşekkür

“Üç Boyutlu Yazıcılar Ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı” başlıklı çalışmada Tez Danışmanım Sayın Doç.Dr. Serpil ÖZKER’e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

“Bu tez çalışmasında görüşülen yardım alınan kişilere” çalışmama verdikleri destek ve paylaştıkları samimi bilgi ve katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Yaşamını sadece çocuklarının başarılarını görmeye adanmış canım annem’e, yaşasaydı başarılarımı görmekten onur duyacak olan babam’a, beni sürekli motive ederek çalışmama katkıda bulunan kayın pederim Emin Kocasakal’a, ve kayın validem Menekşe Kocasakal’a, bu tez çalışmasına başlamama vesile olarak beni teşvik edip cesaretlendiren Veysel Haktan Ekinci’ye, hoşgörüsünü üzerimden hiç eksik etmeyen, her ne olursa olsun yanımda olan eşim Ayşe Tümer’e ve tez çalışmam süresi içerisinde sabır ve anlayışını üzerimden eksik etmeyen sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.



## Önsöz

Teknolojik değişikliklerin günümüz iş dünyası üzerinde kayda değer bir etkisi vardır. Üç boyutlu baskı, son otuz yılda eklemeli üretimdeki yeni teknolojik gelişmelerle birlikte gelişmiştir. Üç boyutlu baskı teknolojileri tasarım optimizasyonunu mümkün kılmakta ve geleneksel üretim yöntemlerine göre avantajları bulunmaktadır. Tüm endüstriler, hızla değişen bir rekabet ortamında var olabilmek için yeni dönemi benimsemektedir. Mimarlık da alanında teknolojik gelişmelerden doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle, üç boyutlu baskı teknolojisi yeni bir stratejik zorluk olarak mimarlık sektöründe büyük ilgi görmektedir. Mimarlık sektörü, üç boyutlu baskıyı yeni bir bina ve iç mimari teknolojisi fikri olarak görmektedir. Üç boyutlu yazıcılarla yapılan çalışmaların çeşitliliği arttıkça ortaya çıkan ürünlerin mimarlık alanında da kullanılması hız kazanmış, bu sayede yazıcılar ve mimarlığın işbirliği artmıştır. Teknolojinin her alanda ilerlemesi mimarlık ile birlikte inşaat sektöründe de kendini göstermiştir. Bu sayede yazıcıların ortaya çıkışından günümüze üç boyutlu yazıcıların mimarlık alanındaki üretimi hissedilir derecede artmıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda üç boyutlu yazıcıların kullanımı ve kullanım alanları ile ilgili yapılan projelerin ortaya çıkması da kaçınılmaz olmuştur. Yazıcıların çeşitli alanlarda tercih edilmesine rağmen mimaride kullanımı hakkında sınırlı çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda ele alınan tez çalışmasında üç boyutlu yazıcılar ve kullanım alanları çalışmanın içeriği oluşturulmuştur.

## İçindekiler

Abstract

Özet

Teşekkür

Önsöz

İÇİNDEKİLER

TABLolar LİSTESİ

ŞEKİLLER LİSTESİ

RESİMLER LİSTESİ

KISALTMALAR LİSTESİ

1. Giriş	1
2. İki Ve Üç Boyutlu Yazıcılar	7
2.1 İki ve Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi	7
2.2 Üç Boyutlu Yazıcılar ve Eklemeli İmalat Teknolojileri	12
2.2.1 Vat Polimerizasyonu (Stereolitografi)	17
2.2.2 Eriyik Malzeme Şekillendirme (Material Extrusion)	19
2.2.3 Malzeme Jeti (Material Jetting)	22
2.2.4 Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat (Binder Jetting)	23
2.2.5 Toz Yataklı Lazer Eritmeli (Powder Bed Fusion)	25
2.2.6 Doğrudan Enerji Biriktirme (Directed or Focused Energy)	27
2.2.7 Lamine Nesne İmalatı (Sheet Lamination)	28
2.3 Üç Boyutlu Yazıcıların Ortaya Çıkışı ve Günümüz Teknolojisine Yansımaları	30
3. Bilgisayarlı Modelleme Ve Üç Boyutlu Yazıcılar	33
3.1 Bilgisayarlı Modelleme	34
3.1.1 Model Üretimi	34
3.1.2 Dilimleme	35
3.1.3 Yazdırma	37
3.2 Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler	41
3.2.1 Plastik Bağlamda	44
3.2.2 Metal Bağlamda	48
3.2.3 Diğer Bağlamda	49

3.3	Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları	51
3.3.1	Endüstriyel Ürün	53
3.3.2	Mimari	55
3.3.3	Tıbbi Malzeme	60
3.3.4	Eğitim	63
3.3.5	Diğer	64
4.	Üç Boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı	68
4.1	Üç Boyutlu Yazıcıların Mimaride Kullanım Alanları	68
4.2	Üç Boyutlu Yazıcılarla Yapılmış Mimari Örnekler	69
4.2.1	Dünya’da Üç Boyutlu Yazıcı Uygulamaları	69
4.2.2	Geri Dönüşümlü Malzemeler Kullanarak Üç Boyutlu Yazıcı Uygulamaları	79
4.2.3	Üç Boyutlu Yazıcılar ve İç Mimaride Kullanım Alanları	84
4.2.4	Türkiye’de Üç Boyutlu Baskı ile Mimari Modelleme Örnekleri	87
4.3	Bölüm Değerlendirmesi	93
5.	Sonuç	97
	KAYNAKLAR	102

## Tablolar Listesi

Tablo 3.1. Kullanılabilir üç boyutlu yazıcıların türleri	42
Tablo 3.2. Filament tipleri ve özellikleri	46
Tablo 3.3. Üç boyutlu yazıcılarla ve kullanılmış malzemelerle üretilen yiyecekler	52
Tablo 3.4. Üç boyutlu yazıcı kullanımının öğrenci anlayışını geliştirdiği konular	63
Tablo 4.1. Üç boyutlu yazıcı kullanan firmalar ve kullanılan üç boyutlu yazıcılar	102
Tablo 4.2. Medikal firmaları ve kullanılan üç boyutlu yazıcılar	104

## Şekiller Listesi

Şekil 2.1: Üç boyutlu yazıcı sistem şematiği	9
Şekil 2.2: Fotopolimerizasyon ile imalat işlemi	17
Şekil 2.3: Malzeme şekillendirme yöntemi	18
Şekil 2.4: Ekstrüzyona dayalı katkı üretimi için farklı tipler ve yaklaşımlar	19
Şekil 2.5: Malzeme püskürtme imalatının şematiği	21
Şekil 2.6: Yapıştırıcı ile katmanlı imalat (binder jetting) imalat süreci	22
Şekil 2.7: Toz yataklı lazer eritme sistemleri	25
Şekil 2.8: Doğrudan enerji depolama imalat yöntemi	26
Şekil 2.9: LOM sistem şematiği	28
Şekil 3.1: Üç boyutlu baskı işlemi	33
Şekil 3.2: Sol şekil: Besleyici, Bowden borusu ve sıcak kısımda bulunan bir Bowden ekstruder. Sağ şekil: Doğrudan sıcak kısmının üzerinde besleyiciye sahip doğrudan tahrikli bir ekstruder	39
Şekil 3.3: Bir portaldaki kontur işçiliği kullanan bir binanın inşaatı	54
Şekil4.1: Modelin ayrışması	89

## Resimler Listesi

Resim 2.1: Üç boyutlu yazıcı ile imal edilmiş parçalar	9
Resim 2.2: LOM sistemi ile imal edilmiş parçalar	28
Resim 3.1: Kartezyen-xz kafa yapılandırması olan bir kartezyen hareket sistemi	37
Resim 3.2: Hepsi z eksenli boyunca hareket eden üç eksenli bir delta yazıcı	37
Resim 3.3: Somut bir nervürü tabakalı beton baskılı nesne	56
Resim 3.4: Beton baskılı duvarın kesit görünüşü	56
Resim 3.5: a. Yapıştırıcı için hazır biriktirilmiş bir malzeme katmanı; b. modelin henüz basılmış bir kesit	57
Resim3.6: D şekilli baskı, Kontur işçiliği ve Beton baskı işleminin başarabileceği bir ürün örneği	59
Resim 4.1: Winsun'un Çin'deki üç boyutlu basılı projeleri	69
Resim 4.2: Winsun'un Çin'deki konut projesinin modeli	70
Resim4.3: Hollanda'da CyBe inşaat laboratuvarı	71
Resim 4.4. Apis Cor. şirketi tarafından inşa edilen evin basım aşaması	73
Resim 4.5. ApisCor evinin inşasında kullanılan üç boyutlu yazıcı	74
Resim 4.6: Apis Cor'un Rusya'da Moskova'da bulunan üç boyutlu baskılı yapısı	75
Resim4.7: 3 m yüksekliğindeki mağara yapısı	76
Resim 4.8: Andrey Rudenko'nun ABD'de üç boyutlu baskılı eseri	76
Resim 4.9: Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri'nde üç boyutlu beton baskılı ofisi	77
Resim 4.10. Dubai'deki üç boyutlu ofisin içinden bir görünüm	78
Resim 4.11. Dubai'deki üç boyutlu ofisin içinden bir görünüm	79
Resim 4.12: Fransa'da Vinci inşaat ve XtreeE tarafından üretilen üç boyutlu beton baskılı eserler	80
Resim 4.13: Loughborough University, İngiltere'de 3DBB modeli	81
Resim 4.14: Hollanda'da MX3D ile devam eden üç boyutlu çelik baskılı köprüsü	82
Resim 4.15: Londra Belediye Sarayı'nın üç boyutlu modelleri	83

Resim4.16: Kanopi kılıfı	84
Resim 4.17. Winsun şirketinin çok katlı projelerinden örnek	85
Resim 4.18 Atık betondan yapılmış üç boyutlu basılmış ev	86
Resim 4.19. Winsun geri dönüşüm atıklarından inşa ettiği bir ev örneği	86
Resim 4.20: Huashang Tengda şirketi tarafından basılan iki katlı villa ve dev üç boyutlu yazıcının yeni nozulu	88
Resim 4.21: Projenin genel görünümü	89
Resim 4.22. DUS tarafından üç boyutlu yazıcılar tarafından basılan bazı iç mimaride kullanılan eşyalar	90
Resim 4.23 Tokyo Ginza'daki yeni Loft Flagship mağazasının iç mimarisinde kullanılan üç boyutlu eşyalar	91
Resim 4.24 Üç boyutlu basılan bir masa ve sandalye	92
Resim 4.25 Üç boyutlu olarak basılan sehpa ve lambalar model örnekleri	94
Resim 4.26: Basılan mimari model örnekleri	96
Resim 4.27: Bitmiş bir Cami ve Banka Binası Modeli	97
Resim 4.28. PC kontrollü 3D Yazıcı (FDM)	99
Resim 4.29. Lazer destekli direkt metal parça imalat sistemi (LADMPP)	99
Resim 4.30. Bir test kısmında 1 mm gözeneklerde sıkıştırılmış toz	100
Resim 4.31. Testten önce bakır kaplı stereolitografik elektrot	100
Resim 4.32: SLA Viper'dan gümüş yüzük modelleri	101
Resim 4.33. Arızalı kafatası (SenSable Serbest Biçimi) ve İmplant modeli (gri kısım)	102

## Kısaltmalar Listesi

ENIAC:	Electronic Numerical Integrator and Computer
UNIVAC:	Universal Automatic Computer
IBM:	International Business Machine
SLA:	Stereolitografi
FDM:	Eriyik Malzeme Şekillendirme
MIT:	Massachusetts Institute of Technology
CLIP:	Düzenli Sıvı Arageçişli Üretim
AM:	Additive Manufacturing (Eklemeli İmalat)
ASTM:	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
DLP:	Dijital Işık İşleme
MEAM:	Malzeme Şekillendirme Katkı Maddesi Üretimi
DoE:	Deney Tasarımı
PMMA:	Poli-Metil Metakrilat
LENS:	Lazerle İşlenmiş Net Şekillendirme
CAM:	Bilgisayar Destekli Üretim
CAD:	Bilgisayar Destekli Tasarımlı
CNC:	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
POM:	Hassas Optik İmalat
DMD:	Doğrudan Metal Biriktirme
2D:	İki Boyutlu
MOSFET'ler:	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistörler
ABS:	Akrlonitril Butadien Stiren
PLA:	Polilaktik Asit
PET:	Polietilen Tereftalat
EBM:	Elektron Işını Eritme



SHS:	Seçici Isı Sinterleme
SLS:	Seçici Lazer Sinterleme
LOM:	Lamine Nesne Üretimi
PETT:	T-Cam
TPU:	Termoplastik Poliüretan
BT:	Bilgisayarlı Tomografi
KIBT:	Koni Işın Bilgisayarlı Tomografi
FDA:	Gıda ve İlaç İdaresi
3DBB:	Üç Boyutlu Beton Baskı
BAE:	Birleşik Arap Emirliği



# BÖLÜM 1

## Giriş

Geçmişten günümüze yazı ile başlayan tarihsel süreç, bilgisayar ortamında yazının kullanılması ve çıktı olarak alınmasına kadar devam etmiştir. Yazı; başlangıcından günümüze her türlü ilerlemeye imkân sağlamış, iletişimden toplumlar arası ilişkiye kadar birçok yeniliğin mimarı sayılmıştır. İletişimin, haberleşmenin, sosyalleşmenin ve birçok etmenin birleştiricisi olmakla birlikte bu sürecin devamında iletişimin kolay sağlanabilmesi amacıyla yardımcı araçlar da kullanılmaya başlamıştır.

“Yazı; en basit tanımıyla, düşüncenin belli işaretlerle tespit edilmesi, konuşma dışındaki muhabereye imkân sağlayan belli manalara sahip işaret ve şekillerden meydana gelmiş ifade aracıdır” (URL1). Önceleri okka, divit vb. basit yazım araçları kullanılırken değişen zaman ile birlikte kolay yazma imkanı tanıyan matbaalar da beraberinde ortaya çıkmıştır. Günümüzde teknolojik gelişmelerin ivme kazanması, bilgisayar kullanımının yazı yazmaktan daha çok tercih edilmesine neden olmaktadır. Bilgisayar kullanımı beraberinde üç boyutlu nesnelerin üretiminde de etkili olan üç boyutlu yazıcılara gereksinimi oldukça artırmaktadır.

Üretim, insan ihtiyacının zorunlu bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilim ve teknolojinin oldukça hızlı bir şekilde ilerleme göstermesi bireysel ve kitlesel ihtiyaçlar için doğru ve kesin çözümler üretmesine olanak sağlamıştır. Üretim için hedeflenen, insan ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. Bu nedenle, mal ve hizmetlerin üretilmesi dışında, depolanması, taşınması ve satılması da, insan ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik üretim faaliyetleri kapsamındadır. Bu bağlamda üretim, “insan ihtiyaçlarını gideren mal ve hizmetleri elde etmek amacıyla yapılan her türlü çaba ya da faaliyet” olarak da tanımlanmaktadır (URL2). Üretim için gerekli olan imalat yöntemleri teknoloji merkezli olduğundan çağın getirdiği yeniliklere uyum sağlamak durumundadır. İlerleyen zaman içerisinde elde edilen yöntem ve teknikler birbiri ardına değişim göstermektedir. I.Sanayi Devrimi ile başlayan bu değişimler su ve buhar gücü ile makineleşmeyi ön plana çıkarmış, insan gücünün etkisini geri planda bırakmıştır. II.Sanayi Devriminde ise buhar gücünün yerini elektriğin almasıyla birlikte seri üretim ortaya çıkmış ve III.Sanayi devrimi ile birlikte üretimde

otomasyon sistemi kullanılarak tüketicilerin tercihleri ön plana çıkarılmıştır. IV.Sanayi devriminde ise makineler insan gücüne ihtiyaç duymadan kendi gereksinimlerini yerine getirebilecek hale gelmiştir (Gabaçlı ve Uzunöz, 2017). Sanayi devrimleri zamanla insan gücünün yerini bilgisayar teknolojisine bırakmıştır. Sanayi devrimleri, dijital imalatın daha etkin ve hızlı bir yöntemle gerçekleştirilmesine olanak sağlamış, bilgisayarların gelişimiyle birlikte iki boyutlu yazıcı işlemleri uygulanmaya başlamıştır. Dijital sistemlerdeki gelişimlerle birlikte üç boyutlu yazıcılar ortaya çıkmış, başlangıçta ev tipi yazıcı olarak kullanılmakta iken zamanla endüstride reform teşkil edecek bir boyut kazanmıştır. Üç boyutlu yazıcılar sanayi devriminden sonra “Endüstri 4.0” teknolojisinin bir bileşeni olarak kabul edilmiştir. Üç boyutlu yazıcılar Endüstri 4.0’la birlikte adından söz ettiren on teknoloji faktöründen birisidir (Gabaçlı ve Uzunöz, 2017). Üç boyutlu yazıcıların ilk kullanım alanı olan prototipleme ile nesnenin kopyalanması mümkün hale gelmiştir. Üç boyutlu yazıcılar ile prototipleme üzerine ilk çalışmalar Rep-Rap projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Rep-Rap “Kendini kopyalayabilen hızlı prototipleyci”projesi ile birçok kullanıcı hobi olarak üç boyutlu yazıcıları kullanmaya başlamıştır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi 2006 yılında Rep-Rap projesi ile geniş kitlelere ulaşmıştır (URL3). Rep-Rap projesi sonrasında birçok şirket üç boyutlu yazıcı üretimi ve teknolojisinin geliştirilmesi amacıyla yatırımlar yapmaya başlamıştır. Yatırımın hızlı bir şekilde ivme kazanmasıyla birlikte imalat eklemeli imalat teknolojisi ortaya çıkmıştır. Özellikle üretimin temel yapısını değiştiren eklemeli imalat teknolojisi üç boyutlu yazıcıların birçok sektörde kullanımını artırmıştır. Bu bağlamda imalat sektöründe üç boyutlu yazıcılar farklı ad ile bilinmektedir. Üç boyutlu yazıcılar endüstride ‘Eklemeli İmalat’ olarak kabul görmektedir (Özsoy ve Duman, 2017). Eklemeli imalat geleneksel yöntemlerin dışında farklı bir uygulama ile ürün imalatı gerçekleştirmektedir. Eklemeli imalat teknolojisinde üründen eksilterek ürün ortaya çıkarmak yerine ürünü yoktan var ederek katman katman üzerine eklenmesiyle ürün oluşturulmaktadır (Çalışkan, 2015).Eklemeli imalatta genel prensip olarak katman üstüne katman prensibini kullanmaktadır. Bu prensip ile malzemenin israf edilmeden verimli bir şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Üç boyutlu yazıcıların diğer üretim yöntemlerine kıyasla malzemeyi verimli kullanması, sınırsız çeşitlilikteki ürünü tek makinede yapabiliyor olması üç boyutlu yazıcıların avantajları olarak gösterilmektedir (Karaarslan, 2015).

Üç boyutlu yazıcılar bu bağlamda maliyet ve işlevsellik açısından birçok imkan sunmaktadır. İmalattageleneksel yöntem olan eksiltmeli imalat ile üretilen ürünlerde büyük ebat ve kompleks şekiller üretimde sorun oluştururken sonrasında üç boyutlu yazıcılar ile bu şekilleruygulanabilir hale gelmektedir. Üç boyutlu yazıcılar geleneksel yöntemlerle üretilemeyen karmaşık objeleri üretebilen bir teknolojidir (Çelik, 2015). Bu bağlamda üç boyutlu yazıcıların üretimde karşılaşılan sorunların giderilmesinde önemli rolü bulunmaktadır. Üç boyutlu yazıcıların imalat süreci bilgisayarlı tasarım ve modelleme programları ile başlamaktadır. Bilgisayarlı tasarım ve modelleme programları ile hayal ürünü olan tasarım dijital ortama entegre edilerek daha hızlı ve etkin olarak kullanılmaktadır. Bilgisayarlı tasarım ve modelleme programları ile oluşturulan nesne fotogerçekçi bir görüntü kazanarak üretime hazır hale getirilmektedir. Üretim için hazırlanan nesne nihai sonuca üç boyutlu yazıcılar ile ulaşmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar, üretimi mümkün olmayan nesnelere bilgisayarlı tasarım ve modelleme programlarıyla hesaplamalar yaparak üretilir hale getirmektedir. Bu bağlamda imalatta üç boyutlu yazıcılar ürün yelpazesini genişletmekte ve varolan imalat sorunlarının giderilmesinde çözüm aracı olarak görülmektedir.

Üç boyutlu yazıcılarda malzemeler çok çeşitlilik göstermektedir. Üç boyutlu yazıcılarda plastik, metal, seramik, çimento ve kum gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Üç boyutlu yazıcılarda yaygın olarak kullanılan malzemeler ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ve PLA (Polylactic Acid) malzemeleridir. ABS petrol bazlı PLA ise bitki bazlı malzemedir (Karaarslan, 2015). Kullanılan malzemelere göre sektörde birçok değişik alan bulunmaktadır. Bu alanlardan bazıları mimarlık, gıda, inşaat, otomotiv, uçak sanayi, savunma sanayi, eğitim, sağlık ve e-alışveriş siteleridir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi her alanda olduğu gibi mimari alanda da etkisini her geçen gün artırmaktadır. Özellikle yapılan üç boyutlu paneller, mobilya imalatı, tesisat parçaları, aydınlatma, aksesuar ve dekoratif ürünlerüç boyutlu yazıcı ile üretilen yaygın ürünlerdir. Üç boyutlu yazıcılar bu alanların dışında yapı sektöründe de etkisini sürdürmektedir. Üç boyutlu yazıcılar yapı sektöründe daha özellikli olanbüyük ölçekli üç boyutlu yazıcıları kullanarak ev, ofis, köprü, kale ve sergi salonları gibi büyük yapıların inşasını da gerçekleştirmektedir. Büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılar; sahada kaldırılması zor ve büyük ebatlı kalıcı yapıların inşası için geliştirilmiş yazıcılardır (Al Jassmi, 2018).Büyük ölçekli üç

boyutlu yazıcılar robot teknolojisini kullanarak mimaride ön plana çıkmaya başlamıştır. Robotik kollar inşaat sektöründe büyük kolaylık sağlamaktadır. Robotik kollar teknolojiyle birlikte büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılar inşaat sektöründe işçi sayısını azaltarak ve iş güvenliğini artırarak düşük maliyette kısa sürede yapının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı üç boyutlu yazıcı teknolojisine yapılan yatırımlar her geçen gün artmaktadır. Türkiye’de birçok firma ve üniversiteler üç boyutlu yazıcılar üzerine Ar-Ge çalışmalarına başlamıştır. Uzayda yaşamın sağlanabilmesi amacıyla NASA bünyesinde bir yarışma düzenlenmiş ve üç boyutlu yazıcılarla yeni yaşam alanları oluşturulmaya çalışılmıştır. Uzayda hem inşaat malzemelerinin yetersiz olması hem de inşaat makinelerinin kısıtlı olması habitatların üç boyutlu yazıcılar ile oluşturulmasını gerekli kılmıştır. NASA bu yarışmada Mars’ta oluşturulacak habitatlar için modellemeler yaptırmıştır (Roman ve diğerleri, 2016). Bu çalışmayla üç boyutlu yazıcıların geleceği nasıl şekillendireceği konusunda fikir sahibi olmayı amaçlamaktadır.

Yapı endüstrisinde üç boyutlu yazıcılarla yapılan mimari projeler araştırıldığında uygulanan örneklerin sınırlı sayıda olduğu bilinmektedir. Günümüz ve gelecek mimarisine yön verecek bu çalışmaların çeşitliliği arttıkça bu yöndeki ilerlemelerin hızlanması beklenmektedir. Bu anlamda çalışmada konu ile ilgili literatür incelenmiş, üç boyutlu yazıcıların tarihsel süreci, kullanım alanları, yazıcı tipleri ele alınmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde; amaç, yöntem ve kapsam ikinci bölümünde; iki ve üç boyutlu yazıcıların tarihsel gelişimi ve eklemeli imalat teknolojileri üçüncü bölümünde; bilgisayarlı modelleme, üç boyutlu yazıcılarda kullanılan malzemeler ve üç boyutlu yazıcıların kullanım alanları dördüncü bölümde; üç boyutlu yazıcıların mimaride kullanım alanları ve üç boyutlu yazıcılarla yapılmış mimari örnekler ele incelenmiştir.

Bu doğrultuda üç boyutlu yazıcıların imalat sektöründe işlevselliği, bilgisayarlı tasarım ve modelleme sistemleriyle entegrasyonu, gelişen malzeme teknolojisiyle kullanım alanlarında yeri ve önemi, mimari alanda geleceğe yönelik ne tür yapılarla ilişki içerisinde olacağını irdelemesi amaçlanmıştır. Üç boyutlu yazıcıların inşaat otomasyonunda tam anlamıyla yer bulmasının ardından geleceğin mimari yapılarında daha kompleks yapıların uygulanabilirliğine dikkat çekmek, daha az insan gücü ile daha kontrollü ve güvenli yapıların yapılabilirliğini göstermek, konuya ilişkin sınırlı kaynak bulunması ve sonraki çalışmalara yön vermesi amacıyla

üç boyutlu yazıcıların mimaride kullanımı önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda Üç boyutlu yazıcıların imalattaki yerinin incelenmesi, dijital sistemlerle mimari tasarım ve modelleme programlarının gelişiminin mimariye etkisi, üç boyutlu yazıcılarda tercih edilen hammaddelerin ilgili sektörlerde kullanım alanlarının tespiti, üç boyutlu yazıcılar ile uygulamaların mimariye kazandırdıkları uygulanmış örneklerle değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Bu doğrultuda öne çıkan problem başlıkları şu şekildedir:

- Üç boyutlu yazıcılar tarihsel süreçte nasıl gelişim göstermiştir?
- Eklemeli imalat nedir?
- Eklemeli imalat yöntemleri nelerdir?
- İmalat sektöründe üç boyutlu yazıcıların işlevi nasıl gerçekleşmektedir?
- Bilgisayarlı tasarım ve modelleme programları nelerdir?
- Bilgisayarlı tasarım ve modelleme programlarıyla üç boyutlu yazıcı kullanımı arasındaki ilişki nasıldır?
- Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan malzemeler nelerdir?
- Üç boyutlu yazıcılar sektörde hangi alanlarda kullanılmaktadır?
- Üç boyutlu yazıcıların mimari alanda kullanımı nasıl gerçekleşmektedir?
- Üç boyutlu yazıcıların mimari alanda etkileşimde olduğu endüstriyel ürün ve tasarımlar nelerdir?
- Üç boyutlu yazıcılarla mimari alanda yapılan çalışmaların yapı sektöründeki teknik ve yöntemleri nelerdir?
- Üç boyutlu yazıcılar ile yapılmış projelerin mimariye kazandırdıkları nelerdir?

“Üç Boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı” başlıklı tez çalışmasında, ilgili literatür, arşiv, internet ortamında araştırma, ilgili kişiler ve yerinde görüşmeler yapılmıştır. Bu doğrultuda, üç boyutlu yazıcıların mimari üzerindeki etkileri ve kullanım durumları örnekler aracılığıyla incelenmiştir. Çalışma örneğini üç boyutlu yazıcılar ve günümüz mimarisine etkileri oluşturmuştur. Sonuç olarak, yapılan analizlerde üç boyutlu yazıcıların günümüz mimarisindeki örnek çalışmaların mimariye olumlu yönde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda Üç boyutlu yazıcıların mimaride olumlu etkilerinin devam edeceği öngörülmüştür.

Bu doğrultudaüç boyutlu yazıcılarla yapılmış yapı örnekleri araştırılmıştır.Bu anlamda, dünyada bulunan “konut, ofis, ev, köprü, etkinlik salonları” mimari yapıları ele alınmış, yapıların durumu incelenmiştir. Üç boyutlu yazıcılarla yapılmış 14 örnekten 3 adedi detaylı bir şekilde ele alınarak üç boyutlu yazıcıların mimarideki kullanımının gelecekte olası etkileri tespit edilmiştir.



## BÖLÜM 2

### İki Ve Üç Boyutlu Yazıcılar

#### 2.1 İki ve Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi

Tarihsel süreçte insanın kendini söz dışında görsel ve sanatsal ifade edebilmesinin bir çok yolu olmuştur. Yazı, bunlardan en önemlisi sayılmaktadır. Günümüzde yazı yazma ve yazdırmanın pratik yollarından faydalanılmakta, teknolojinin getirdiği imkanlar kullanılmaktadır. Yazı, dilsel iletimleri işitilebilirlikten okunabilirliğe dönüştüren ve böylece onu kalıcı hale getiren bir araçtır. Yazı, ilk olarak İÖ 3500'lerde Sümerlerde ortaya çıkmıştır (Tez, 2008). Yazının icadıyla başlayan tarihsel süreç ilk matbaalar ile devam etmiş, daktilo ve bilgisayarların ortaya çıkmasıyla yazılar hızlı veri işlemine dahil olmuşlardır. Teknolojinin ilerlemesiyle baskı makinelerinin ortaya çıkması yazıların kağıt düzlemine işlenmesini sağlamıştır. Üç boyutlu yazıcıların ortaya çıkmasıyla üç boyutta nesne imalatı gerçekleşmeye başlamış, baskı teknolojisinde yazı ile başlayan tarihsel süreç günümüzde üç boyutlu yazıcılar ile devam etmiştir.

Yazının icadıyla kilden tabletlerle başlayan süreç matbaa, daktilo ve günümüzün ilkel sayılabilecek araç ve gereçlerinin de kullanılmasıyla zamanla gelişmiştir. Önemli buluşlardan biri olan matbaada, Gutenberg madenî harfler dökerek bazı baskı denemelerinde bulunmuştur. 1450-1455 yılları arasında Johann Fust ve Peter Schöffer lâtince bir din kitabı basmış, harflerin kalıplarını hakkâklara yada dakuyumculara kazdırmış ve dökümlerini yapmıştır (URL4). Matbaada yapılan yazım işleri seri üretim disiplini oluşturmuş, yazılı kaynakların kısa sürede sayıları artmaya başlamıştır. Bu yazım tekniği, tüm dünyada etkisini göstermiş, kaynak basımı ve çoğaltılması konusunda yaşanan sorunlar hafifletilmiştir.

Dünyada genelinde klavye ilk daktilo makinesi ile uygulanmaya başlamıştır. İlk yazı makinesinin icadı Henry Mill tarafından 1714 yılında yapılmıştır. Birçok farklı tasarım arasında ilk modern daktilo, Amerikalı Christopher Latham Sholes ve Carlos Glidden'ın tarafından geliştirilerek 1868 yılında patenti alınmıştır (Silfverberg, 2007:6). Bu buluşa elektriğin dahil edilmesiyle elektrikli daktilolar ait olduğu dönemin faydalı buluşlarından birisi olmuştur. 1872 yılında Thomas Edison



elektrikli daktiloyu icat etmiş ve klasik daktilo ile aynı yöntem kullanılmıştır (URL5).

Daktilo sonrasında ortaya çıkan en önemli buluş bilgisayarlar olmuştur. 1939 yılı Aralık ayında, Atanasoff Berry Computer'ın (ABC) ilk prototipi hazırlanmıştır. ABC, bilgisayarın potansiyel özelliklerinden bazılarını göstermiş ve üniversiteyi hayrete düşürmeyi başarmıştır. 1939 yılında Dr. Atanasoff ve asistanı Clifford Berry dünyanın ilk elektronik dijital bilgisayarını kurmayı başarmıştır (Boyanov, 2003). 1943 yılında Colossus adlı bilgisayar askeri amaç için kullanılan ilk bilgisayar olmuştur. İlk gelişmiş bilgisayar ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)'tır. 1951 yılında bilgisayarların ilk ticari kullanımı UNIVAC 1 (Universal Automatic Computer) adlı bilgisayar ile başlamıştır. 1953 yılında IBM (International Business Machine) adlı bilgisayar 100'ün üzerinde programlama dilinin geliştirilmesiyle hafıza ve operasyon işlemlerini uygulayabilecek kapasiteye ulaşmıştır. Teyp, disk ve yazıcıların gelişimi bu dönemde ortaya çıkmıştır. 1980 yılında MS-Dos (Microsoft Disk Operating System) ortaya çıkmıştır. 1981 yılında IBM'in (International Business Machine) geliştirdiği kişisel bilgisayarlar (PC) hem ofis hem ev tipi olarak kullanılmaya başlamıştır (URL6). Bilgisayarların tarihçesi 19.yüzyıl ile başlayıp günümüze kadar gelişim göstererek devam etmiştir. Bilgisayarlar ilk askeri alanda kullanılmış ve zamanla evlerde ve iş yerlerinde kullanılmaya başlamıştır.

Bilgisayar teknolojisiyle birlikte çok sayıda yazı ve görsellerin dijital ortamda depolanması zamanla bu bilgilerin kağıt üzerinde baskı alınma gereksinimini artırmıştır. Bilgisayarların ortaya çıkmasıyla birlikte baskı teknolojileri de gelişmeye başlamıştır. İlk anlamda ortaya çıkan baskı teknolojisi iki boyutlu yazıcılardır. İki boyutlu yazıcılar elektronik biçimde yığılmış çeşitli dökümanların genellikle kağıt üzerine basılı kopyasının alınması için kullanılan bir makinedir. Birçok yazıcı modeli bilgisayara bir USB kablo aracılığıyla kablosuz Wifi ya da ağ üzerinden ethernet arayüzü sayesinde bağlanmaktadır (URL7). Bilgiye ulaşma ve bilgilerin kısa sürede kağıda aktarılması bilgisayar ve iki boyutlu yazıcıların işbirliği ile ortaya çıkmıştır.

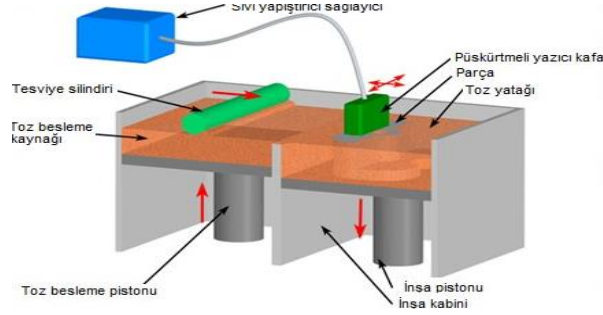
İki boyutlu yazıcılar birçok işlemin uygulanabildiği baskı teknolojisidir. Modern tipteki iki boyutlu yazıcıların "All in one" denilen herşey dahil sistemi ile iki boyutlu yazıcılar fotokopi, fax ve tarayıcı olma özelliklerini bünyesinde barındırmaktadır (Yıldırım ve diğerleri, 2018). Yazıcıların icadıyla ilgili kesin bir

bulgu olmamasına rağmen bu alanda bilinen ilk çalışmalar, 1938 yılında Chester Carlson'ın elektrofotografi ya da Xerox da denilen bir tür kuru baskılama tekniğini bulmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu teknik 1969 yılında Xerox Palo Alto araştırma merkezinde geliştirilerek 1971 yılının Kasım ayında Ears adı verilen yeni ürünlerin temelini oluşturmuştur (URL8). 20. yüzyıl ile başlayan iki boyutlu yazıcılar, günümüze kadar farklı çeşit ve özelliklerde üretilmiş, zamanla günlük hayatımızın vazgeçilmez nesnelere haline dönüşmüştür. Teknolojik gelişmelerin yeni buluşları beraberinde getirmesiyle birlikte hızlı ve kaliteli baskı yapabilen türde yazıcı teknolojileri de üretilmiştir. Birbirinden ayrı yazdırma ihtiyacına göre farklı çeşit ve özellikte yazıcı tipleri bulunmaktadır. Genel olarak iki boyutlu yazıcılar yedi kategoride incelenmektedir. Bunlar; karakter yazıcılar (papatya çarklı yazıcılar), nokta vuruşlu yazıcılar, mürekkep püskürtmeli yazıcılar, lazeryazıcılar, ısı yazıcılar, ultraviyole (uv) yazıcılar ve kalemli yazıcılardır. İki boyutlu yazıcı çeşitlerinde genel prensip yazdırma işlemini tek bir düzlem üzerinde sağlamasıdır. İki boyutlu yazıcı çeşitleri kullanılan teknolojiler ve kaynaklar iki boyutlu yazıcılara çeşitlilik kazandırmıştır.

Teknolojik gelişmelerle iki boyutlu yazıcılardan sonra üç boyutlu yazıcılar ortaya çıkmıştır. Üç boyutlu yazıcılar bir nesnenin üretimini sağlayan yazıcı türüdür. Üç boyutlu yazıcılar iki boyutlu yazıcıların işlevinden farklı olarak daha çok üretim ya da imalatta kullanılmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar tanım olarak şöyle ifade edilmektedir;Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar ortamında dijital olarak üç boyutlu çizimlerin katı halde nesnelere üretme sürecini sağlayan baskı makineleridir (Çelik, 2015). Üç boyutlu yazıcıların baskı teknolojisiyle üretim yapması sektörde önem kazanmasını sağlamıştır. Sektörün bir çok alanında üç boyutlu yazıcılar yaygınlaşmaya başlamış ve üç boyutlu yazıcılarla Ar-Ge çalışmaları da gerçekleştirilmiştir.

Üç boyutlu yazıcıların tarihi 1974 yılında David Jones'un New Scientist dergisindeki makalesi ile başlamıştır. Makalede sıvı haldeki plastik polimerin üzerine lazer tutularak lazerin geçtiği noktalarda katılma görülerek sıvı materyalin içerisinden istenilen formda katmanlı ürün ortaya çıkarılabileceği savunulmuştur. 1977 yılında ise Wyn Kelly Swainson aslen Jones'a ait olan bu fikrin patentini almıştır (Bradshaw ve diğerleri, 2010). Üç boyutlu yazıcı ile polimer malzeme lazer ışını ile etkileşime girmiş ve katılma ile nesne ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda üç

boyutlu yazıcılarda ilk katı nesne, lazer kaynağı ile polimer bazlı malzemenin etkileşimi sayesinde oluşmuştur. Sonrasında ortaya çıkan birçok kaynak ve üretim teknikleri üç boyutlu yazıcıların çeşitliliğini arttırmış ve teknolojiye farklı tipte yazıcı üretimine olanak sağlamıştır.



Şekil 2.1: Üç boyutlu yazıcı sistem şeması (URL 9)



Resim 2.1: Üç boyutlu yazıcı ile imal edilmiş parçalar (URL 9)

Teknolojik gelişmeler arasında önemli bir unsur olarak belirtilen üç boyutlu yazıcı 1980 yılında hızlı prototipleme tekniği ile Japon bilimadamı Dr.Kodama tarafından ortaya atılmıştır. Dr.Kodama imalatta Stereolitografi (SLA) yöntemi olarak bilinen katman üzerine katman ekleme yöntemi yaklaşımını kullanan ilk bilim insanıdır. Sonrasında Fransız araştırma grubu Stereolitografi tekniği ile ilgilenmiş, ama patenti kabul görmemiştir (URL10). Üç boyutlu yazıcılar için çalışmalara bu yıllarda başlanmış ama başarılı olunamamıştır. İlk olarak 1984 yılında üç boyutlu yazıcılar Charles (Chuck) Hull tarafından üç boyutlu sistem adlı firmanın öncülüğünde Stereolitografi (SLA) tekniği ile ortaya çıkmıştır (Çalışkan, 2015). Üç boyutlu yazıcıların tarihsel gelişiminde stereolitografi tekniği ile katman üzerine katman yöntemi uygulanmıştır. Üç boyutlu yazıcıların tarihsel süreci zamanla ortaya çıkan yeni yöntem ve tekniklerin eklenmesiyle birçok alanda uygulanarak devam etmiştir.

Üç Boyutlu yazıcıların tarihsel süreci ise şu şekilde ilerlemiştir:

- 1986 yılında Charles Hull Stereolitografi (SLA-1) adıyla ilk patenti almıştır. Üç boyutlu Systems Corporation kurucusu Charles Hull üç boyutlu yazıcıyı piyasa süren ilk biliminsandır.
- 1988 yılında Carl Deckard adlı bilimadamı toz taneciklerini lazer vasıtasıyla birleştirme tekniğini kullanarak Stereolitografi yöntemine katkıda bulunmuştur. Aynı zamanda Stratasys Inc. adlı firmanın kurucusu Scott Crump, Eriyik Malzeme Şekillendirme (FDM) tekniğini ortaya çıkarmıştır.
- 1992 yılında Stratasys Inc firması Eriyik Malzeme Şekillendirme (FDM) tekniğinin patentini alarak üç boyutlu yazıcıları hem profesyonel hem bireysel olarak geliştirmiştir.
- 1993-1999 yılları arasında Arcam MCP technology ve ZCorp gibi firmaların yanı sıra Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemli bilgisayar programları ortaya çıkmıştır (URL10).Bilgisayar destekli programların işbirliği ile birçok üç boyutlu yazıcı firmaları sektörde öncü olmaya başlamıştır.
- 1995 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT) mürekkep püskürtmeli yazıcı içerisine toz ve yapıştırıcı ekleyerek gerçekleştirdiği üretim yöntemini “Üç Boyutlu Yazıcı” olarak adlandırmıştır (Güneş, 2017) Genel kullanım ve endüstriyel kullanım alanlarında farklı adlarla ifade edilen üç boyutlu yazıcıların yaygın kullanımını MIT tarafından ortaya atılmıştır.
- 2004 yılında Dr Bowner tarafından Rep-Rap “Kendin Yap Kendin Geliştir”konseptli kendi makine aparatlarını üreten üç boyutlu yazıcı tasarlanmıştır.
- 2006 yılında Rep-Rap projesi ile üç boyutlu yazıcılar geniş kitlelere ulaşmıştır.
- 2008 yılında Makerbot adlı firmanın Thingiverse adlı internet sitesinde üç boyutlu yazıcı modellerinin içerisinde yer aldığı üç boyutlu nesnelere sanal ortamda tanıtılmıştır.
- 2009 yılında Reprap konseptiyle kit şeklinde oluşturulan ilk ticari üç boyutlu yazıcılar satışa sunulmuştur.
- 2011 yılında Kor Ecologic firması tarafından üç boyutlu yazıcı ile Urbee adıyla araba üretilmiştir.
- 2012 yılında LayerWise adlı firma üç boyutlu yazıcılar ile insan çenesi yapmıştır.

- 2015 yılında ABD Başkanı Barack Obama, ulusa sesleniş konuşmasında üç boyutlu yazıcı teknolojisinin geleceğin sanayi devrimini yaratacağını söylemiştir.
- 2016 yılında Daniel Kelly's Laboratuvarı üç boyutlu yazıcı ile kafatası yapmıştır.
- Carbon3D üç boyutlu yazıcılarda Düzenli Sıvı Arageçişli Üretim (CLIP) teknolojisi ile mevcut teknolojinin 25-100 kat daha yüksek hıza ulaştırdıklarını duyurmuştur (URL11).

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinde gelişmeler arttıkça dünya genelinde yapılan yatırımlar da her geçen gün artmaktadır. Wohlers Raporu'na göre üç boyutlu yazıcılara yapılan yatırımlar 2013 yılında 3.07 milyar ve 2018 yılında 12.8 milyar dolardır. 2020 yılında ise 21 milyar dolar olabileceği öngörülmektedir (Wohlers Associates, 2017). Üç boyutlu yazıcılar metal, tekstil, organik ve birçok sektörde yer almaktadır. Sculpteo raporuna göre tüketici ürünlerinin %17'si, sektörel ürünlerin %17'si, teknolojik ürünlerin %13'ü, hizmet sektörünün %9'u ve sağlık sektörünün %7'si üç boyutlu yazıcı teknolojisini kullanmaktadır (URL12). Bu bağlamda üç boyutlu yazıcıların geleceğe etkisi her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda firmalar geleceğe yönelik yatırımlarını ve araştırmalarını öncelik olarak üç boyutlu yazıcılar üzerinde yapmaya başlamışlardır.

## 2.2 Üç Boyutlu Yazıcılar ve Eklemeli İmalat Teknolojileri

İmalat Latince manus (el) ve factus (yapma) kelimelerinden ortaya çıkmaktadır. Kelime anlamı "El Yapımı" olarak ifade edilmektedir (Groover, 2012). Geçmişten günümüze imalatta seri üretim, montaj hattı, elektroniklerin kullanımı ve Bilgi Teknolojileri'nin gelişmesiyle üretim, geleneksel eksiltmeli imalat gibi gelişmeler yaşanmış, endüstri 2.0, endüstri 3.0 ve endüstri 4.0 gibi dönüm noktalarının oluşmasını sağlamıştır. Herbir dönüm noktası devrim niteliğinde görülmüş ve o günün şartlarında imalat sektöründe hızla kullanılmaya başlamıştır. Eksiltmeli imalattan sonra eklemeli imalat teknolojileri imalat sanayini baştan aşağı değiştirmeye aday bir teknoloji olmaya başlamıştır. Eklemeli imalat yöntemlerinden birisi olan üç boyutlu yazıcıların hayata entegre olması sayesinde dijital ortamda örnek olarak kullanılacak modeller somut nesnelere halinde üretilebilmekte ve

kullanıma sunulmaktadır. Teknik anlamda üç boyutlu yazıcılar, dijital ortamda mevcut olan bilgisayar destekli tasarım dosyalarının kullanılması sayesinde üretilmesi planlanan fiziksel nesnelere ince katmanlar şeklinde üretebilmektedir (Olla, 2015).

Tarihsel süreçte imalatın ilk gelişimi zanaatkarlıktır. (Altın, 2012). Zanaatkarlar el işçiliği ile sanatsal birçok ürün ortaya koymuşlardır. Kullandıkları el aletleri ile ürün imalatında çeşitli ürünler ortaya çıkarma imkanı bulmuşlardır. Bu bağlamda el işçiliği ile birlikte ortaya çıkan aletler zanaatkarların imalatın etkin rol oynamasında katkı sağlamıştır. Zanaatkarlığın sonrasında gelişen teknolojiler makineleşme ile başlamış, seri üretimle devam etmiş ve sonrasında gelişen kitlesel özelleştirmeyle devam etmiştir. Arseven'e göre zanaat; el veya makine ile yapılan işlere denmektedir. Mesela çilingirlik veya kunduracılık birer zanaat olarak görülmektedir (Arseven, 1975: 448). Zanaatkarlar ilk aşamada üretimde yaşadığı sıkıntıları makinelerle çözümlenmişlerdir. Bu sıkıntılar makineleşmenin zanaatın önüne geçmesine neden olmuştur. Seri üretimin zamanla fabrikalarda çok daha hızlı ve ucuz üretilmesi zanaatkarların üretimde geri kalmasına neden olmuştur. Zamanla kullanıcıların da üretime dahil olması kitlesel özelleştirmeyi ortaya çıkarmıştır. Bu üretim şekli teknolojinin özellikle bilgisayarların kullanıldığı esnek bir üretim modelini ifade etmektedir. Tasarlayan ile üretenin aynı kişi olması zanaatkarların etkin rol oynadığı el ile üretim modelindeki tasarımcı-üretici ilişkisini ifade etmektedir. Seri üretimle birlikte bu üretim modeli zamanla tasarım ve üretimin ayrı kişiler tarafından yerine getirildiği verim odaklı bir sisteme dönüşmüştür. Esnek üretimle gelişen bu ayrışma, bilgisayar kontrollü üretim cihazları ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerle tüketicinin de tasarım ve üretimi içine dahil olduğu farklı bir tasarımcı-üretici-tüketici ilişkisi ortaya çıkarmıştır (Altın, 2012). Üretimde söz sahibi olan zanaatkarların zamanla yerini makineler almış ve bilgisayarların ortaya çıkmasıyla birlikte ürün imalatı kontrollü sistemler üzerinden sağlanmaya devam etmiştir. Kitlesel özelleştirmenin ortaya çıkmasıyla tüketicilerin bilgisayar üzerinden üretime dahil olması sağlanmış, tasarım ve üretimde rol oynayan kullanıcı sayısını arttırmıştır. Esnek üretimle ortaya çıkan üretici ve tüketicinin bir arada olduğu üretim yöntemi üç boyutlu yazıcılarda uygulanan bir sistemdir. Üç boyutlu yazıcıların ilk evlerde kullanıma uygun olarak tasarlanması kullanıcıların üretime dahil olmasını sağlamıştır. Üç boyutlu yazıcıların zamanla sektörde kullanılması ile

imalatta yöntem ve tekniklerde değişime neden olmuştur. Kullanıcıların tasarımlarının üretimde değerlendiriliyor olması hem üretici hem tüketicinin birarada olmasını sağlamıştır. Tasarlayanın ve üretenin üç boyutlu yazıcılar ile uygulamaları gerçekleştirebiliyor olması üç boyutlu yazıcıların önemini artırmıştır (Çiftçi, 2018).

Eklemeli üretim (Additive Manufacturing [AM]), üç boyutlu bir model verisinin genellikle katman katman materyallerin bir araya gelme işlemidir. Ayrıca bu işlem, hızlı üretim (rapid manufacturing), üç boyutlu baskı ya da hızlı prototipleme (rapid prototyping) olarak da bilinmektedir (Huang ve diğerleri, 2013). Hızlı prototipleme sektörde üretim öncesi imalat aşamalarında kullanılan ve hızlı işlem gerçekleştiren bir tekniktir. Ortaya çıkan prototip ürün oluşturmada kullanılmaktadır. Hızlı prototipleme tekniği dijital model ile prototipler oluşturmaktır. Hızlı prototipleme terimi yeni çıkan teknolojilerle birlikte yetersiz kalmaya başlamıştır. Son yıllarda birçok farklı alanda kullanılan Eklemeli İmalat (Eİ) teknolojisi ile geleneksel yöntemlere kıyasla kompleks formdaki üç boyutlu parçaların daha kolay, düşük maliyetli ve hızlı üretimi mümkündür (Günther ve diğerleri, 2014). Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM International) AM'yi eksiltici imalat yöntemlerinin aksine, üç boyutlu model verilerinden nesnelere oluşturmak için genellikle katman üzerine katmanlı malzeme birleştirme işlemi olarak tanımlamaktadır (ASTM, 2012). Eklemeli imalat teknolojisinin temel prensibi CAD programlı üç boyutlu tasarım ile bir model oluşturmaktır. Eklemeli imalat teknolojisi ile karmaşık objelerin tasarımı kolaylaşmıştır. Diğer imalat teknolojilerinde dikkat ve detay gereklidir. İlave parçaların üretimi, işlem türü ve parça seçimi tasarımı tamamlamak için gerekli bilgilerdir. Eklemeli imalatta ise genel bilgiler üç boyutlu yazıcı makinelerin çalışmasında ve malzeme seçiminde yeterli görülmüştür (Gibson ve diğerleri, 2015)

Geleneksel imalat yöntemlerinde malzemenin eksiltilerek şekillendirilmesi söz konusu iken bu metotların aksine, eklemeli imalat, ürünün ana malzemesinin arttırılarak katman üzerine katman şeklinde imalatı esasına dayanmaktadır (Emmelmann ve diğerleri, 2013). Üç boyutlu yazıcılar endüstride uygulanan geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla farklı teknikler kullanır. Üç boyutlu yazıcılar geleneksel üretim yöntemlerindeki gibi nesnelere keserek, bükerek veya delerek şekillendirmekten ziyade, dijital tasarımı katmanlar halinde lazer sinterleme, üst üste yağma, polimer sertleştirme gibi teknikler kullanarak nesnelere şekillendirir.

Günümüzde üç boyutlu baskı makinalarıyla imal edilen parçaların %20'sinin ürüne takılan nihai parça olduğu hesaplanmıştır. Bu oranın 2020 yılına kadar %50'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir (URL13).Bu bağlamda üç boyutlu yazıcılar geleneksel üretim yöntemlerinde kullanılan tekniklerden bağımsız hareket eder ekimalat sürecine katkıda bulunmaktadır.

Makinede işleme ya da presleme gibi ürün imalatı sırasında daha büyük bir materyalden asıl ürünü elde etmek için materyallerin bir kısmını uzaklaştırmak yerine katman ekleyerek malzemenin son halini almasını eklemeli imalat sağlamaktadır. Eklemeli imalat ile hammadde verimli bir şekilde kullanılmakta ve minimum malzeme kaybıyla ürün ortaya çıkartılmaktadır (Huang ve diğerleri, 2013). Ortaya çıkartılacak ürün için her bir katmanın bir diğerinin üzerine yığın oluşturacak şekilde eklenmesi beraberinde firesiz imalatı getirmiştir. Hammaddenin atıksız olarak kullanılmasını sağlayan bu yöntem ekonomik olarak da üretime fayda sağlamaktadır.Eklemeli imalatta başlangıçta hiçbir ürün yokken model zamanla tıpkı mimari yapı inşası gibi ortaya çıkmakta ve tamamlanmaktadır. Eksiltmeli imalatta ise varolan blok malzemedan azar azar malzeme eksilterek ortaya çıkan nihai ürün oluşturulmaktadır (Bayer ve Aziz, 2018). Bu anlamda ürün oluşumunda eksiltmeli imalatta malzemedan kayıp yaşanırken eklemeli imalatta malzemedan fire verilmeden verim kazanarak ilerleme gerçekleşmektedir.

Hod Lipson ve Melba Kurman'ın 2013 yılında yayımlamış olduğu "Fabricated the New Word of 3D Printing" adlı kitabındaüç boyutlu yazıcıların üretim alanına sunduğu olanakları şu şekilde sıralamıştır:

1. Üç Boyutlu yazıcıların karmaşık geometrilerin üretimi için ek maliyete ihtiyacı yoktur. Geleneksel üretimde ürünün geometrik karmaşıklığı arttıkça, üretim maliyeti de artar ancak üç boyutlu yazıcı teknolojisinde maliyet geometrik karmaşıklık ile bağlantılı değildir. Karmaşık bir süslemenin ya da çift eğrilikli geometrinin üretimi, bir dikdörtgen prizmasının basılmasından daha fazla zaman, işçilik ve maliyet gerektirmemektedir.
2. Çok çeşitli geometrilerin tek bir makine ile üretilmesi mümkündür. Geleneksel imalat sistemleri belirli bir ürünün seri üretimini yaparken bir üç boyutlu yazıcı birbirinden çok farklı ürünler üretebilir.
3. Üretim sonrası montaj gerektirmemektedir. Kitlesele üretim (mass production) anlayışında parçalar halinde üretilen parçalar bir üretim bandında ek bir



işlem ya da işçilikle monte edilir. Ancak üç boyutlu yazıcılarda montaj üretim aşamasında tek işleminde gerçekleşir.

4. Yerel alanda anlık üretim ve teslim imkânı sunar. Üç boyutlu yazıcı ile ihtiyaç olduğu zaman üretim yapılabilir.
5. Sınırsız tasarım alanı sunar. Bir zanaatçının form üretme kapasitesi elindeki alet seçenekleriyle orantılıdır. Örneğin geleneksel bir ahşap torna yalnızca silindirik objeleri, bir kalıp makinesi yalnızca kalıbının şeklinde objeleri üretebilir. Bir üç boyutlu yazıcıda ise pek çok çeşit aracın üretim kapasitesi bir araya gelmiştir.
6. Özel bir yetenek gerektirmemektedir. Geleneksel bir zanaatçının ihtiyacı olan yetenekleri edinmek için yıllarca çalışması gerekir. Bu özel yetenek ihtiyacını üç boyutlu yazıcılar minimum düzeye indirmiştir.
7. Kompakt, taşınabilir fabrikasyon olanağı sunar. Nick Dunn 2012 yılında hızlı prototiplemenin en büyük sorununun üretilen ürünlerin küçük boyutları olmasıyla ilgili olduğunu belirtir. Endüstriyel anlamda kullanılan üst düzey üç boyutlu yazıcıların bir metreye kadar üretimi yapılabilmektedir. Eğer baskı kafası, üretim yatağının dışında da serbest hareket edebilecek bir düzeneğe kavuşursa fiziksel üretim hacminin boyutsal bir sınırlılığı da kalmamaktadır.
8. Çok çeşitli malzemelerle üretim yapılabilir. Pek çok çeşit plastik ve metal malzeme ile üretim yapılabilir.
9. Yüksek hassasiyette üretim olanağı sunar. Üç boyutlu yazıcıların çözünürlüğü mikron hassasiyetine kadar inmiştir. Üç boyutlu yazıcılar masaüstü kompakt modellerden, büyük endüstriyel boyuttaolanlara kadar geniş bir çeşitlilik gösterir. Bu teknolojilerde en yaygın kullanılan dosya formatı “.stl” dir (Lipson ve Kurman, 2013).

Eklemeli imalat teknolojisinin teori olarak uygulanmaya başlamasının ardından yapılan çalışmalar yeni tekniklerin de önünü açmıştır. Yeni yöntemlerin uygulanması hızlı bir ilerleme sürecinde beraberinde getirmiştir. Eklemeli imalat (Additive Manufacturing) teknolojisi birçok farklı üretim şekline sahiptir. 2012 yılı Ocak ayında, ASTM International Committee F42'nin “Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies” adı altında yayınladığı listede, Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing) teknolojilerini süreçlere göre kategorize etmiştir (Bedir ve diğerleri, 2018). Esas olarak, ASTM eklemeli imalat grubu, bu dinamik

yapıya ve yüksek teknolojiye sahip imalat metodunu, ASTM F42 standardı altında yedi kategoriye ayırmıştır (Annual Book of ASTM Standards, 2012). Bunlar, fotopolimerizasyon (photopolimerization), malzeme püskürtme (material jetting), bağlayıcı püskürtme (binder jetting), malzeme ekstrüzyon (material extrusion), toz yataklı eritme (powder bed fusion), levhalı sac yöntemi (sheet lamination process) ve direkt enerji depolama (directed energy deposition) olarak ifade edilmektedir (URL14).

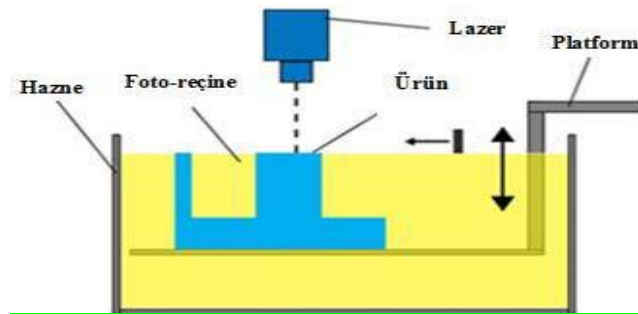
### **2.2.1 Vat Polimerizasyonu (Stereolitografi)**

Özel baskı karmaşık nesnelere kalıplama ve işleme gerektirmeden imal etmek amacıyla 1980'lerde üç boyutlu baskı teknikleri (başka bir şekilde ek üretim, hızlı prototipleme veya katmanlı üretim olarak da bilinir) tanıtılmıştır (Jungst ve diğerleri, 2016). Çok yönlü polimer kimyasına bağlı olarak yenilikler, fotopolimerizasyona dayalı üç boyutlu baskı teknikleri polimer kimyacılarından, malzeme bilimcilerinden ve mühendislerden özel ilgi görmüştür (Layani ve diğerleri, 2018). Stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve CLIP gibi üç boyutlu fotopolimerizasyona dayalı teknikler bulunmaktadır. Kontrol edilebilir optik, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip karmaşık çok işlevli malzeme sistemlerinin bulunması üç boyutlu üretimini mümkün kılmaktadır (Ligon ve diğerleri, 2017). Düşük boyuttaki (mikrometre aralığında) yüksek çözünürlük bu teknikleri kullanarak da elde edilebilir (Zarek ve diğerleri, 2016). Bu amaçla, mikroakışkanlar, biyomedikal cihazlar, yumuşak robotik, cerrahi, doku mühendisliği, dişçilik ve ilaç dağıtımı gibi çeşitli alanlarda yeni yönelimler bu teknolojiyi kullanmaya başlamıştır (Rusling, 2018).

Üç boyutlu fotopolimerizasyonun arkasındaki strateji (foto-kürleme veya foto-çapraz bağlama olarak da bilinir), belirli bir dalga boyuna sahip ışık kaynağına maruz kaldığında ve termosetler oluşturan sıvı halde monomerler/oligomerler kullanılmasına dayanır (Fu ve diğerleri, 2018). Bir foto başlatıcı sistemi (nispeten yüksek emme katsayıları olan) fotolitik enerjiyi, radikal veya katyonik mekanizma yoluyla zincir büyümesini hızlandırabilecek reaktif türlere (radikal veya katyon) dönüştürmek için gereklidir. Tipik olarak, kısa dalga boyunda (çoğunlukla UV <400 nm) yüksek molar sönme katsayısına sahip foto başlatıcılar fotokimyasal tepkimeyi başlatmak için kullanılır (Mondschein ve diğerleri, 2017). Bu UV-bazlı sistemler üç boyutlu baskı teknolojisinde iyi kurulmuş olmasına rağmen, yüksek enerjili ışıklara

maruz kalma açısından bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bunlar; (i) UV fotonları düşük penetrasyon derinliği sunar ve bu nedenle erişilebilir katman kalınlıkları genellikle düşük kalır (~100 µm altında), bu da yavaş üç boyutlu baskı oranına (özellikle büyük nesnelere için) neden olur; (ii) üç boyutlu biyolojik baskı alanında, UV ışığının kullanılması, hücrelerde kromozomal ve genetik dengesizlikle sonuçlanan hücresel fotodama riskini de ortaya çıkarmaktadır, (iii) yüksek enerjili UV ışığına uzun süre maruz kalması reaktan ve ürünlerin bozunması gibi yan etkilere neden olabilir (Kabb ve diğerleri, 2018). Bu nedenle, uzun ışınlama dalga boyları altında etkinleştirilebilen üç boyutlu fotopolimerizasyon sistemlerinin geliştirilmesi, üç boyutlu fotopolimerizasyon teknolojilerinde aktif araştırma alanlarından biri olmuştur: (i) hafif ve güvenli çalışma koşulunu elde etmek, (ii) fotopolimerizasyon hızının artmasıyla sonuçlanan (tabaka kalınlığı) daha yüksek penetrasyon derinliğine ulaşmak ve (iii) üç boyutlu biyo-baskı uygulamaları (yani, doku mühendisliği) için canlı hücrelere iyi huylu sistemler sağlayan (yani, doku mühendisliği) (Zhang ve diğerleri, 2015a). Ayrıca yakın kızılötesi (NIR) kaynaklı fotopolimerizasyon olarak ortaya çıkmıştır. Üç boyutlu yapıların doğrudan fotoğraflanabilir malzemelerin hacminde çizilmesini sağlayan yeni bir strateji mevcuttur (Hudson ve diğerleri, 2013; Rocheva ve diğerleri, 2018).

Üç boyutlu fotopolimerizasyonda tipik olarak kullanılan geleneksel serbest radikal polimerizasyonun kimyası “canlı” değildir; bu, polimer zincirinin sonlandırıldığı ve sonuç olarak, basılı malzemelerin yeniden başlatılamadığı anlamına gelir. Son zamanlarda, fotoredoks katalizli geri dönüşümlü ilave-parçalanma zinciri transferi (RAFT) fotopolimerizasyonu yoluyla, üç boyutlu baskıda uygulanabileceği gösterilmiştir. Bu teknik, yaşam özelliklerine sahip üç boyutlu malzemelerin geleceği için önemlidir (Chen ve diğerleri, 2017).



Şekil 2.2: Fotopolimerizasyon ile imalat işlemi (URL15).

Strateji, fotoküre edilebilir malzemelerle doldurulmuş bir rezervuar (kap) yoluyla ışık ışımasına dayanır ve sonuçta sıvı monomerlerin / oligomerlerin önceden belirlenmiş bir yerde, doğrudan bina platformunda fotopolimerizasyonu ile sonuçlanır. Bu strateji iki akışa çevrilir: SLA ve DLP (Zorlutuna ve diğerleri, 2018). CLIP (Carbon 3D Inc), yakın zamanda DLP ve SLA tekniklerine kıyasla 100 kat daha hızlı üç boyutlu baskı hızları sunan yeni bir reçine banyosu tekniği olarak geliştirilmiştir (Tumbleston ve diğerleri, 2015).

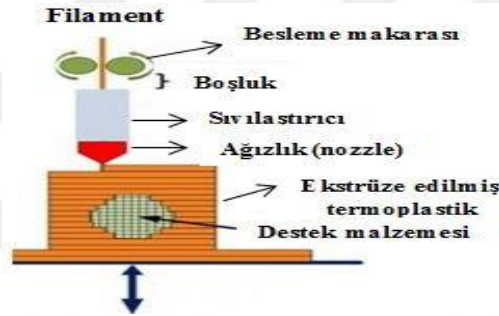
Stereolithography. Chuck Hull, 1986 yılında ilk SLA üç boyutlu baskı örneğini sunmuştur (Hull, 1986). SLA, fotoküre edilebilir reçinenin fotopolimerizasyonunu aktive etmek ve sırayla katı tabakaları birbirinin üzerine basmak için hareketli foton kaynağı kullanan bir yöntem ve aparatır (Hull, 1986). İlk foto-kürlenebilen malzemeler (SLA uygulaması için kullanılanlar), küçük bir akrilik asit fraksiyonu olan bir üretan dimetakrilattan (UDMA), fotoini başlatıcı olarak benzofenon ve metil etil hidrokinon/trialil fosfattan (erken polimerizasyonu inhibe etmek için) oluşturulmuştur (Hull ve diğerleri, 1991). Farklı uygulamalarda kullanılacak bir SLA üç boyutlu baskı işleminde çeşitli foto-iyileştirilebilir malzemeler geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Elomaa ve diğerleri, 2015). SLA kullanarak, 10 asm kadar düşük bir çözünürlükte yüksek kaliteli nesnelere de elde edilebilir (Wang ve diğerleri, 2017). Örneğin, SLA tabanlı bir üç boyutlu yazıcı, doku mühendisliği için insan kulağı gibi yüksek çözünürlüklü ve karmaşık bir mimari yapı oluşturmak için kullanılmıştır (Palaganas ve diğerleri, 2017). SLA tekniği, aynı zamanda ferromanyetik olarak duyarlı formülasyon gibi organik – inorganik hibrid yapılara sahip üç boyutlu nesnelere üretmek için de kullanılabilir (Credi ve diğerleri, 2016).

### **2.2.2 Eriyik Malzeme Şekillendirme (Material Extrusion)**

Malzeme şekillendirme katkı maddesi üretimi (MEAM), bir malzemeyi yumuşatmak ve bir üç boyutlu yapı oluşturmak için bu malzemeyi katmanlar halinde biriktirmek için bir delikten içeri itmekten ibarettir (Turner ve diğerleri, 2014). Şekillendirmeye dayalı katkı üretim prosesleri, özellikle polimerler ve termoplastik kompozitler ile çalışırken, en yaygın kullanılan AM prosesleri arasındadır (Caffrey ve diğerleri, 2016). Diğer AM işlemleriyle karşılaştırıldığında, MEAM için

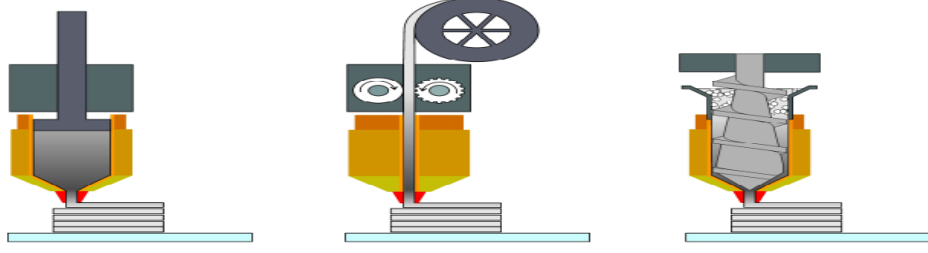
kullanılan ekipman ucuz ve kullanımı çok kolay olabilir (Gao ve diğerleri, 2015). Bu nedenle MEAM'ın ana avantajı, düşük erime sıcaklığı metalik alaşımlarda bile standart bileşenlerin veya prototiplerin çeşitli polimerik malzemelerle hızlı veya ucuz şekilde üretilmesidir (Mireles ve diğerleri, 2012).

Diğer AM tekniklerinin aksine, şekillendirme bazlı katkı üretim teknikleri çok malzemeli biriktirme için çok uygundur ve çok çeşitli termoplastik malzemeler için kullanılabilir (Gao ve diğerleri, 2015). Genelde, MEAM makinelerinin çoğu, tek bir şekillendirme başlığına sahiptir, ancak çok malzemeli üretime izin vermek için iki veya daha fazla şekillendirme ünitesi ekleme olasılığı vardır (Caffrey ve diğerleri, 2016). Katkı maddesi imalatına duyulan ilginin artması, yeni malzemeler ve fabrikasyon parçaların yeni uygulamalarını geliştirip doğrularak teknolojinin yüksek değerini yaratmaya odaklanmaktadır.



Şekil 2.3: Malzeme şekillendirme yöntemi (URL16)

Malzeme şekillendirme katkı teknolojisinin temel prensibi, malzemenin yüklenmesini ve sıvılaştırılmasını, malzemenin bir nozul veya delikten kuvvet veya basınç uygulayarak hareket ettirilmesini, sıvılaştırılmış malzemenin önceden belirlenmiş bir yola göre kontrollü bir şekilde çizilmesini ve kat katmanı içermesini içermektedir. Tutarlı bir katı yapı oluşturmak için malzemenin kendisine ya da bir ikincil yapı malzemesine yapışması gerekmektedir (Gibson ve diğerleri, 2013). Bir tabaka tamamlandıktan sonra, yapı platformu aşağı doğru hareket eder ya da şekillendirme kafası yukarı doğru hareket eder, yeni bir malzeme tabakası önceki tabakaya biriktirilir ve yapıştırılır. Gerekliğinde, karmaşık geometrik özelliklerin üretilmesini sağlamak için sürece destek yapıları dahil edilir. Bu temel prensip, genellikle yuvarlak olan basit bir geometriye sahip bir kalıptan başka bir şekillendirme aleti olmadan karmaşık parçaların üretilmesini sağlar. Şekil 2.4'te şematik olarak gösterilecek olan farklı tiplerde üretim tiplerini sınıflandırmak mümkündür (Valkenaers ve diğerleri, 2013).



Şekil 2.4: Ekstrüzyona dayalı katkı üretimi için farklı tipler ve yaklaşımlar  
(Gonzalez-Gutierrez ve diğerleri, 2018)

ABD merkezli iki şirket Desktop Metal Inc. ve Markforged Inc (URL17; URL18), şu anda termoplastik bir bağlayıcı sisteme sahip metal veya seramik tozdan yapılmış özel profiller (çubuklar) kullanan MEAM makineleri üretmektedir. Desktop Metal, işlemlerine bağlı metal biriktirme ve Markforged, onların atomik difüzyon katkı maddeleri (ADAM) olarak bilinmektedir. Profiller kartuşlara yerleştirilir ve daha sonra çok doldurulmuş termoplastik kompozitin şekillendirme için yeterince yumuşak olduğu plastikleştirme ünitesine beslenir. Yumuşak malzeme bir rezervuarda birikir ve son olarak mekanik bir tahrik sistemi (örn. Piston) yumuşak malzemeyi iter ve kat platform şeklinde inşaat platformuna biriktirir (Schuh ve diğerleri, 2016). Bu makinelerin, robot yapımında kullanılan makinelere çok benzer olduğu görülebilir (Martínez-Vázquez ve diğerleri, 2018), inşaat malzemelerinin bağlayıcı olarak bir termoplastik materyale sahip olması dışında, robocasting suda bağlayıcı olarak kullanıldığı görülebilir. Bir başka özel fark ise makinenin patentli olmasıdır (URL19).

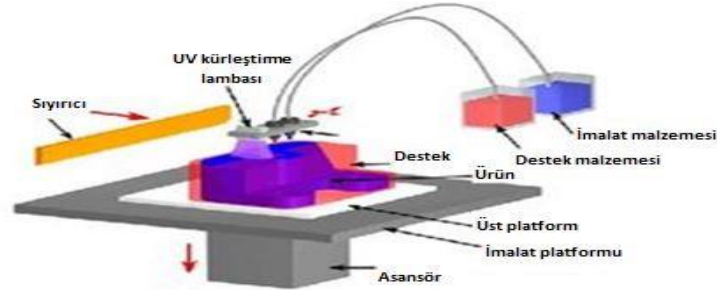
Desktop Metal Inc. tarafından, bir yapı malzemesini daha önce biriken tabakalara ultrasonik olarak bağlamak için yeterli enerjiye sahip bir ultrasonik vibratör bulunmaktadır (URL20). Alternatif olarak, Markforged Inc. firmasının makinesi, doğru boyutların yazdırıldığından emin olmak için işlem içi bir denetim aracı olarak işlev gören, baskı kafasında bir lazer tarama yer değiştirme sensörüne sahiptir (Schuh ve diğerleri, 2016).

Genel olarak, kartuşlu şekillendirme makinelerinin, sonunda yalnızca metal ya da seramikten yapılacak parçaları biçimlendirmek için kullanılması amaçlanmaktadır, bu nedenle çubuklar, büyük miktarda toz ihtiva eder ve basılı parçalar, yoğun bir parça elde etmek için sinterlenir. Çubuklar, iyi bilinen toz enjeksiyon kalıbı işleminde kullanılan benzer malzemeler kullanır (Gonzalez-Gutierrez ve diğerleri, 2012). Web sitelerinde, Markforged Inc. paslanmaz çelik tozu (316L ve 17-4PH) ile kendi tescilli ciltleme sistemini sunmaktadır ve Inconel (625),

titanyum alaşımı (Ti-6Al-4V), alet eliği (A-2 ve D-2) ve alüminyum (6061 ve 7075) ile geliştirilmekte olan yüz beslemeleri tanıtmaktadır (URL19). Markforged Inc. bağlayıcı, sinterlemeden önce termal olarak ayrılır (URL17). Desktop Metal Inc., paslanmaz elik, yüksek performanslı elik, bakır, takım çeliği, karbür, alüminyum, ağır alaşımlar, titanyum, magnetik, düşük genleşmeli metallere ve süper alaşımların tozları ile hammadde malzemelerinin geliştirilmesini ilan etmektedir(URL18). Desktop Metal Inc. tarafından kullanılan bağlayıcı, termal bağlama ve sinterleme yapılmadan önce çözücünün çözücüsüdür (URL18).

### 2.2.3 Malzeme Jeti (Material Jetting)

Malzeme jeti sistemi inkjet baskı kafasına benzer bir parça ile birlikte çalışmaktadır. Yapı malzemesinin bir veya birçok baskı kafasıyla seçili alan üzerine damlatılarak katmanlı olarak yığılması yöntemine malzeme jeti denilmektedir. Damlalar bir veya daha fazla baskı kafasıyla seçim yapılan alan üzerinde nesne oluşturulmaktadır. Malzeme olarak fotopolimer ya da mum tabanlı malzeme kullanılmaktadır (Bedir ve diğerleri, 2018).



Şekil 2.5: Malzeme püskürtme imalatının şematiki (Sign, 2017)

Malzeme jeti katkı maddesi üretimi veya özellikle inkjet üç boyutlu baskı tekniği, piezo baskı kafaları sıvı fotopolimer damlacıkları ve ultraviyole lambaları kullanarak fotopolimerleri sertleştirerek parçalar oluşturabilen yerleşik bir AM işlemidir (Chua ve diğerleri, 2005). Stratasys'ten PolyJet ve üç boyutlu Sistemlerden MultiJet gibi Inkjet üç boyutlu yazıcılar, çok malzemeli parçaları üretmek için aynı anda birden fazla foto-kürlenebilir polimer reçineyi seçici olarak biriktirme yeteneğine sahiptir. Sacrificial destek malzemeleri, taşan yapıları desteklemek için fotopolimerlerle birlikte otomatik olarak üretilir ve depolanır. Inkjet üç boyutlu baskı teknolojisi, yalnızca prototipleri değil, aynı zamanda hafif petekleri (Dikshit ve

diğerleri, 2017), yaşam tarzı giyilebilir ürünleri (Yap ve diğerleri, 2014), özel anatomik modelleri (Yap ve diğerleri, 2016) ve doku mühendisliği iskelelerini (Yeong ve diğerleri, 2005) üretme kabiliyetine sahiptir. İşlevsel ürünler üretmek için PolyJet inkjet baskı teknolojisinin benimsenme oranının artırılması, böylece materyal özellikleri karakterizasyonu (Cazón ve diğerleri, 2014), boyutsal ve geometrik karakterizasyonu (Meisel ve Williams, 2015) ve 4D baskı gibi yeni uygulamalar (Tibbits, 2014) ve çok malzemeli takviyeli yapılar (Brooks ve Molony, 2016) uygulamalar yapılabilir.

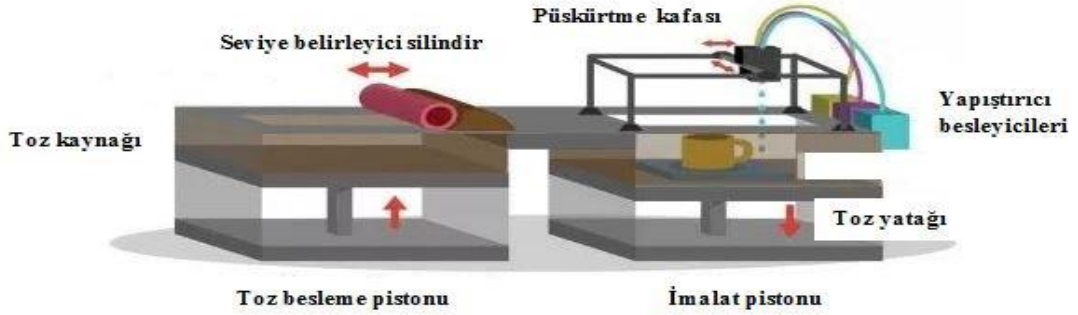
Inkjet üç boyutlu baskıda, baskı yönü boyutsal doğruluğu, yüzey kalitesini ve mukavemet özelliğini belirlemek için kritik işlem parametrelerinden biridir. Bununla birlikte, malzemeleri ve yapım süresini en aza indiren eğilim, bu etkileri ihmal ederken daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Cazón ve diğerleri, 2014). Parça pozisyonu, baskı yönü, nozül temizliği ve makine hazırlığı gibi proses parametrelerinin etkileri deney tasarımı (DoE) tasarlanarak sistematik olarak incelenmektedir (Barclift ve Williams, 2012).

#### **2.2.4 Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat (Binder Jetting)**

Yapıştırıcı ile katmanlı imalat, farklı uygulamalar için farklı endüstrilerde benimsenmesi için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojinin biyomedikal (Farzadi ve diğerleri, 2014), havacılık (Moon ve diğerleri, 2001), dişçilik (Miyanaşi ve diğerleri, 2016) ve dökümhane (Snelling ve diğerleri, 2014) gibi farklı uygulamalarda uygulanmasına ilişkin çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Geometrik model üretiminde sıvı bağlayıcı kullanılması nedeniyle, Binder Jetting katkı maddesi üretimi, renkli bağlayıcılar yoluyla renkli nesnel oluşturma yeteneğine sahiptir. Binder Jetting düşük maliyet, genellikle daha yüksek hız, ısı kaynaklı kusur eksikliği, metaller, kumlar ve seramikler gibi çeşitli malzemelerin baskısını yapma potansiyeline sahiptir (Bai ve Williams, 2015). Ek olarak, Binder Jetting işlemi, tüm AM süreçleri arasında en fazla ölçeklenebilir olarak kabul edilir; bu sayede, baskı kafasının ve yapı platformunun üzerinde hareket ettiği aksenal mesafeleri genişleterek yapı boyutunun gerektiği gibi teorik olarak genişletilebilir (Günther ve Mögele, 2016). İlk olarak 1990'ların başında MIT'de geliştirilen Binder Jetting katkı üretim teknolojisi, dijital bir üç boyutlu modelden elde edilen belirlenmiş



bölgelerdeki bir sıvı bağlayıcı birikimine dayanan bir katkı üretim prosesidir (Sachs ve diğerleri, 1993).



Şekil 2.6: Yapıştırıcı ile katmanlı imalat (binder jetting) imalat süreci (URL21)

Z Corporation'ın ilk olarak 1990'ların ortalarında, ilk ürettikleri malzemeler nişasta bazlı ve standart bir su bazlı bağlayıcı kullanılmıştır. Halen, üç boyutlu sistemlerden ticari olarak temin edilebilen toz alçı esaslı (kalsiyum sülfat hemihidrat) ve bağlayıcı su bazlıdır. Basılı parçalar oldukça zayıftır, bu nedenle tipik olarak başka bir malzeme ile sızmıştır. Üç boyutlu sistemler üç dolgu maddesi sağlar; akrilat esaslı ve üst yapıya benzeyen ColorBond dolgu maddesi, iki parçalı filtre maddesi olan StrengthMax filtre maddesi, çevre dostu ve tehlikesiz bir filtre maddesi olan tuzlu su kürüdür. Bu sızıntı maddelerle üretilmiş parçalar için üç boyutlu Systems'in web sitesinde güç, sağlamlık ve uzama verileri verilmiştir. Genel olarak, sızdıran maddeye sahip parçalar, tipik termoplastiklerden veya VP reçinelerden çok daha katı ancak daha az güçlü ve kırılma sırasında çok düşük uzamalara sahiptir (Ford, 2015).

ExOne, sırasıyla metal parçalar veya kum döküm kalıpları için metal veya kum tozu kullanan metal alanında 3,166 paslanmaz çelik ve bronz, 420 paslanmaz çelik (tavlanmamış), 420 paslanmaz çelik (tavlanmış), bronz ve Inconel 625'i satmaktadır. Paslanmaz çelik malzemeler için, bronz bir dolgu maddesidir. Metaller için polimer bağlayıcılar kullanılır. Metal bir parçanın imal edilmesi için yeşil kısım, AM makinesinden çıkarılır, daha sonra üç fırın döngüsüne tabi tutulur. İlk döngüde, polimer bağlayıcıyı yakmak için birkaç saat boyunca düşük sıcaklık kullanılır. İkinci döngüde, metal parçacıklarını hafifçe sinterlemek için yüksek sıcaklık kullanılır, böylelikle parçanın sağlam bir kuvveti olur. Bu döngü çok uzunsa, metal parçacıklar tamamen erir. Parçanın boyutsal hassasiyetini ve istenen şeklini kaybetmesine neden olur. Bu döngüden sonra, kısım yaklaşık % 60 yoğundur. Son döngüde, fırına,

parçaya temas eden bronz bir külçe yerleştirilir, böylece bronz parçanın gözeneklerine sızarak% 90–95 yoğunluğa neden olur (Yao ve diğerleri, 2018).

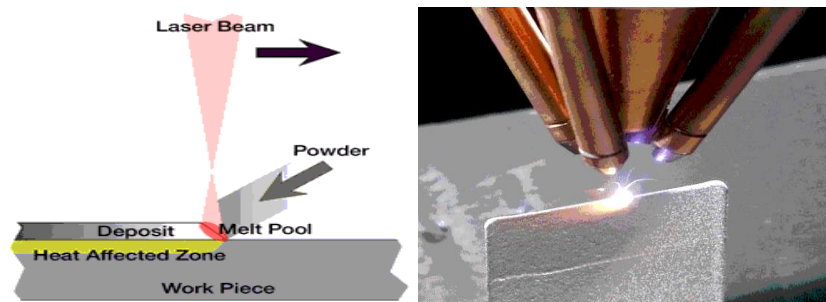
Diğer taraftan Voxeljet, bir PMMA (poli-metil metakrilat) tozu sağlar ve oda sıcaklığında reaksiyona giren bir sıvı bağlayıcı kullanır. Bağlayıcının tamamen kürlenmesini sağlamak için parçaların birkaç saat boyunca toz yatağında kalmasını önerilir. Yatırım döküm kalıbı üretimi için, PMMA tozu ile kullanım için partikül büyüklüğünde parçalar için kullanılan tozdan biraz daha büyük olan balmumu bazlı bir bağlayıcı sunar (Derakhshani ve diğerleri, 2018).Frykholm ve diğerleri (2016), standart Dijital Metal işleme kullanarak SS 316L'yi basmış ve yüzeyden Cr kaybını önlemek için kısmi Ar basıncıyla vakum altında 1380°C'de sinterlenmiştir. Şirket parça üretim hizmeti sağlamasına karşılık makinelerin satışını yapmamaktadır. Yapıştırıcı ile katmanlı imalat teknolojisinin farklı varyasyonları geliştirilmeye devam etmektedir. Örnek olarak, HP Multi Jet Fusion teknolojisi, toz haldeki termoplastik hammaddeye uyguladıkları birleştirici madde ile çalıştırılmaktadır. Birleştirici hammaddenin uygulandığı yerler üzerinden sonrasında bir enerji kaynağı geçerek o bölgelere nüfuz etmekte ve katılaşmayı sağlamaktadır (Sandalcı,2016).

### **2.2.5 Toz Yataklı Lazer Eritmeli (Powder Bed Fusion)**

Toz Yataklı Lazer Eritmeli işleme termal enerjinin, toz yatağı üzerinde seçili alanlar üzerinde nüfuz etmesiyle çalışmaktadır. Termal enerji, toz haldeki materyali eriterek biraraya getirmekte ve ardından oluşan parça soğuyarak katı bir model halini almaktadır. Bu tip katmanlı üretim yöntemi için kullanılan diğer terimler şunlardır: Lazerli Sintirleme, Seçili lazer sintirleme (SLS), Doğrudan Metal Lazer Sintirleme ve Elektron ışınli eritmedir. Toz eritme için kullanılan enerji bir lazer veya elektron ışını tarafından üretilir (Udroui, 2014). Polimer malzemenin üretimi sırasında, parça meydana gelirken onu çevreleyen toz granüllerin destek olması nedeniyle ekstra bir destek atanmasına gerek kalmamaktadır. Ancak, yapı alanının maruz kaldığı termal enerji nedeniyle, işlenmemiş haldeki toz hammadde her işleme sırasında hafifçe bozulmaya başlar. Bu sebeple, sinterlenmemiş haldeki toz hammadde ancak birkaç döngüde kullanılabilir. Son işlem olarak, parçanın toz yataktan veya yapım platformundan çıkarılmasından oluşur. Metal parçalar 'inşa edilmiş' olarak tedarik edilebilir veya çeşitli işleme ve son işlem teknikleri kullanılarak tamamlanabilir.

Kullanılan malzemeye bağı olarak, püskürtme ve metal parlatma gibi mevcut çeşitli bitirme formları vardır (URL22).

Metal parçaların üretiminde, parçayı üretim tablasına bağı tutabilecek ve destek görevi görece bağılayıcılara gereksinim vardır. Bu durum metal tozlarının eriyebilmesi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duymasından dolayı gereklidir. Üretim hacmi içerisindeki termal değışim derecesi yüksek olduğı için parçayı sabitlemek için kullanılan bağılayıcıların kullanılmaması, parçada termal stresin oluşmasına ve çarpımalara neden olabilmektedir. Kalın üretim tablası, sıcak bir küvet görevi görmektedir. Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme tabanlı teknolojilerde, odaklanan termal enerji, malzemeleri (toz veya tel form) biriktirilirken eriterek kaynatmak için kullanılır (SLM, 2011). Bu teknolojiye kullanılan enerji kaynağı bir lazer ya da elektron ışımıdır. Lazer enerji kaynağıyla çalışan “Toz Yataklı Lazer Eritmeli” sistemleri, elektron ışını ile çalışanlara nazaran daha iyi bir yüzey kalitesi ve parça özellikleri sunar. Toz yataklı lazer eritmeli ve/veya sinterlemeli sistemlerde; toz malzemeyi eritmek veya sinterlemek için lazer veya elektron ışını kullanılmaktadır (Karakılınç ve diğçerleri, 2019). Birçok şirket toz yataklı lazer eritmeli sistemlerini önermektedir. 3D Systems yıllarca seçiçi lazer sintirleme (SLS) adını verdiğı sistemini satmıştır. Yaygın olarak kullanılan SLS sistemleri sPro adını verdikleri sistemlerdir. EOS adlı firma da bu teknolojiyle çalışan, parça yapımında kum, metal ve plastik kullanılan sistemlerin üretimindeki öncülerden biridir. Her bir makine spesifik bir materyal tipine göre adanmıştır. Formiga P ve EOSINT P modelleri plastik tozlarının kullanıldığı sistemler için, EOSINT M modeli ise özel olarak sadece metal tozlarının kullanıldığı sistemler için üretilmiştir (EOS, 2010).



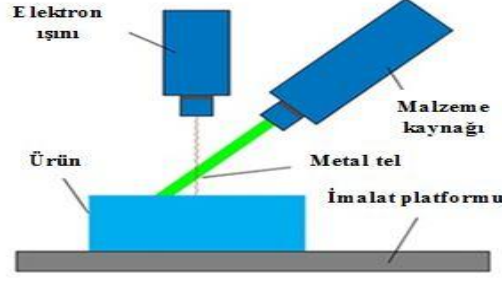
Şekil 2.7: Toz yataklı lazer eritme sistemleri (Yılmaz, 2015)

Toz Yataklı Lazer Eritmelisistemleri, lazer eritme yöntemleri olarak bilinir ve direkt metal lazer sinterleme (DMLS), lazer eritme(Laser Cusing) ve seçici lazer eritme(SLM) olarak ticari isimlerle anılırlar (Karakılınç ve diğçerleri, 2019). Concept Laser firması ise bu teknoloji ile çalışan ürünlerine LaserCUSING ismini vermiştir.

3D Systems ise 2013 yılının ortalarında bu sistemi “phenix sistemleri” olarak piyasaya sürmüştü, sonrasında ise üst modeli olan ProX serisini çıkarmıştır. ARCAM; EBM işleminde (Udroui, 2012), tamamen yoğun metal parçalar, vakumla, manyetik olarak yönlendirilmiş bir elektron ışını enerji kaynağı tarafından eritilen tabaka tabaka metal tozu katılır. EBM için Arcam ASTM F75 CoCr alaşımlı toz (URL23) gaz atomizasyonu ile üretilir ve kimyasal bileşim ASTM F75 standardının şartnamesine uygundur. Diğer katmanlı üretim yöntemlerine kıyasla, “Toz Yataklı Lazer Eritmeli” sistemleri göreceli olarak daha pahalı ve karmaşıktır, özellikle metal ham maddeyle olan işlemlerde işletme maliyetleri ham madde maliyetlerine göre daha yüksektir. Polimer toz ham maddenin belirli aralıklarla değiştirilmesi gerekmekte ve güvenlik için inert gazı takviyesine gereksinim duyulmaktadır. Bu teknolojiyle üretilen parçalar çoğunlukla final ürünler olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle üreticiler, kalite ve süreklilik koşullarını sağlayabilmek için proses kontrol kapasitesini de makinelere dahil etmiştir (Sandalcı,2016).

#### **2.2.6 Doğrudan Enerji Biriktirme (Directed or Focused Energy)**

Termal enerji tarafından malzemenin eritilerek bir araya getirilmesi yöntemidir. Bu işlemin diğer bir adı “Blown powder AM” ve “Laser cladding” olarak da bilinmektedir (Bedir ve diğerleri, 2018). Doğrudan Enerji Biriktirme teknolojisinde, termal enerjinin odaklanarak malzemeyi eriterek bir araya getirmesi söz konusudur. Bir lazer, enerji kaynağı olarak kullanılmakta ve ham madde metal tozları halinde kullanılmaktadır. Bu işlem aynı zamanda “Şişirilmiş Toz Eklemeli İmalat”ve “Laser Kaplama” olarak da bilinmektedir. Bu yöntem özel kabiliyetlere sahip olmasına rağmen, eklemeli imalat pazarında limitli bir yer edinebilmiştir. Örnek olarak, birden fazla materyal eş zamanlı olarak basılarak, fonksiyonel üstün parçalar üretebilmektedir. Ayrıca “Doğrudan Enerji Laminasyonu” makinesi 4-5 ekseninde hareket sistemine ve baskı kafasını yönlendirecek bir robotik kola sahiptir. Dolayısıyla, üretim prosesi sadece yatay birleşimli birbirine paralel katmanlara bağlı değildir. Bu teknoloji sayesinde, var olan bir parçaya malzeme eklenmesi de mümkün olabilmektedir (Gill, 2002). Örneğin, aşınmış bir parçayı ya da aracı tamir etmek, yüzeyini iyileştirmek de mümkündür.



Şekil 2.8: Doğrudan enerji depolama imalat yöntemi (URL24)

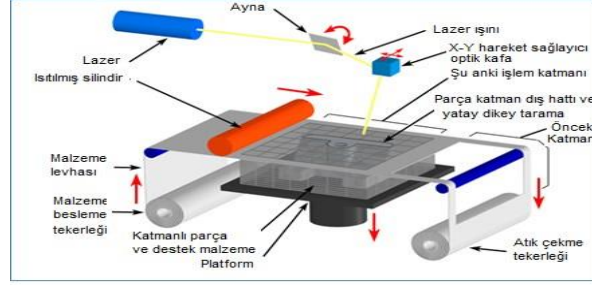
Lazerle işlenmiş net şekillendirme (LENS), Sandia National Laboratories USA tarafından geliştirilen ve ABD'ye Optomec Design Company tarafından ticarileştirilmiştir. İşlem, metal parçaları ve yüksek güçlü bir lazer ışını tarafından oluşturulan bir erimiş havuza enjekte edilen bir metal tozu kullanarak doğrudan Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) katı modellerinden üretmektedir (URL25). Lazer kaplama olarak bilinen lazer destekli bir yüzey işleme dayanan POM (Hassas Optik İmalat), bugün Doğrudan Metal Biriktirme (DMD) olarak bilinen serbest formlu metal parçalar oluşturmak için uyarlanmıştır (URL26). DMD, yaygın olarak kullanılan beş teknolojinin karışımıdır: lazerler, bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli imalat, sensörler ve toz metalurjisidir. Başlıca uygulamalar gaz türbini bıçak gıcırıtılı uçlarının restorasyonu, Z çentikli kaynakta aşınmaya dayanıklı kaplama uygulaması ve kabarcıkların restorasyonudur.

CLAD teknolojisi, lazerle eritilmiş metalik toz ile işlevsel parçaların üretilmesinden oluşur (URL27). CLAD teknolojisi, aşağıdakiler için geniş bir çalışma esnekliği sağlar: çarpık parçalarda tortu, üç boyutlu direkt üretim, mevcut parçalarda fonksiyonların eklenmesi, ilave onarım ve çok katmanlı yapı gibi. Doğrudan Enerji Biriktirme sistemleri oldukça pahalıdır. Metal materyal işleme kabiliyeti, çoklu materyal opsiyonu, çoklu eksen hareketi ve işlem kontrolü gibi etkenler bu sistemin pahalı olma nedenlerindedir (Sandalcı,2016).

### 2.2.7 Lamine Nesne İmalatı (Sheet Lamination)

Lamine Nesne İmalatı, kağıt formundaki malzemelerin katmanlı sistem vasıtasıyla bir araya getirilerek oluşturulması yöntemiyle çalışmaktadır. Yapışkanlı kağıt metal şerit ya da folyolar kullanılan malzemelerdir (Bedir ve diğerleri, 2018). Polimer ya da metal bazlı materyallerin ince katmanları kesme ve birleştirme işlemlerine lamine nesne imalatı denilmektedir (Dolhan, May 2013). İlk ticarileşen

“Lamine Nesne İmalatı” teknolojisi Helisys tarafından geliştirilmiştir. İlk yapılan obje, bir tarafı yapışkan maddeyle kaplı craft kağıtlarının, ısıtılmış bir merdaneyle lamine edilerek katman katman bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu yöntem ayrıca, “Laminasyonlu Obje İmalatı” (LOM) olarak da bilinmektedir (Feygin ve Hsieh, 1991).



Şekil 2.9: LOM sistem şematiği (URL28)



Resim 2.2: LOM sistemi ile imal edilmiş parçalar (URL28)

Ayrıca 1999 yılında Solidica (şimdi Fabrisonic) adlı bir ABD şirketi, LOM'a benzeyen ancak ultrasonik titreşimler kullanılarak birleştirilen metal bantları ve filmleri kullanan yeni bir hibrit yöntemi patentini almıştır (White, 2003). Daha sonra geleneksel çıkarıcı üretim yöntemlerinde bir CNC makinesi ve 2005 yılında Japon şirketi Kira, PLT-20 KATANA adlı, LOM'a benzer kağıt tabanlı bir makinenin üretimine başlamış, ancak lazer yerine çelik kesici kullanılmıştır. 2008 yılına kadar Mcor Technologies, LOM veya Kira gibi kağıt rulolarından ziyade münferit A4 kâğıt yaprak bırakan ve daha sonra çelik bir kesici kullanılarak kesilmiş kâğıtları yapıştırılmış Matrix adlı ilk SDL makinesini piyasaya sürmüştür. Bu işlem Mcor'un daha sonra yapıştırılmadan önce kağıda basılarak tam renkli parçalar geliştirmesine izin verilmiştir (Upcraft ve Fletcher, 2003).

Diğer bir Lamine Nesne İmalatı teknolojisi olan “Ultrasonik Eklemeli İmalat” (UAM), Fabrisonic tarafından geliştirilmiştir. UAM, ham madde olarak kullanılan ince metal kağıtlarının, ultrasonik kaynakla katman katman birleştirilmesiyle

çalışmaktadır. Katmanlar, ultrasonik enerji kaynağı olan ikiz yüksek frekanslı transduser ve dönen sonotrode'un meydana getirdiği sıkıştırma kuvveti kombinasyonuyla bir arada kaynatılmasıdır. Fabrisonic firması, UAM ve CNC işleme kabiliyetini bir arada sunan bir sistemi piyasaya sürmüştür (Sandalcı,2016).

### **2.3 Üç Boyutlu Yazıcıların Ortaya Çıkışı ve Günümüz Teknolojisine Yansımaları**

Eklemeli üretim teknolojisinin gelişmesi 1980'li yıllarda başlamıştır. 1980'lerden günümüze gelişim gösteren bu teknolojinin, geniş alanda sağladığı yararlarla birlikte üretim endüstrisinde devrim yapacağına dair beklentiler oluşmuştur (Huang ve diğerleri, 2013). Son dönemlerde üç boyutlu yazıcılardaki gelişmeler üretim sistemlerinde de önemini artırmıştır. Özellikle sanayide kullanımının her geçen gün artması üretim sistemlerinde etkin role sahip olmasını sağlamıştır. Üç boyutlu yazıcıların üretimde talep edilen, kitlesel üretimin kişisel üretime dönüştüğü ve merkezi olması yerine daha yerel üretilebilme imkanı üç boyutlu yazıcıların üretimde daha esnek ve sürdürülebilir olmasını sağlamıştır (Ford, ve diğerleri, 2015). Üç boyutlu yazıcılarda kullanıcıların üretime dahil olmasıyla üretim sistemlerinin işleyiş şekli değişmiştir. Kişisel kullanıcıların dahil olmasıyla üretimin yalnızca fabrikalarda yapılmasının dışında evlerde ve iş yerlerinde de yapılabiliyor olması üretimde esnekliği sağlamıştır. Üç boyutlu yazıcıların üretim sistemlerinin işleyişini değiştirmesinin yanında üretimin unsurlarını da değiştirdiği bilinmektedir. Özellikle tasarımda özgür olabilmeyi ve herhangi bir makine teçhizatına ihtiyaç duymadan esnek bir üretim şekli sunmaktadır. Bu etmenlerle birlikte kişilerin tasarımda söz sahibi olması da üç boyutlu yazıcıların ekonomik açıdan avantajlı görülmesini sağlamıştır. (Ford ve diğerleri, 2015). Üç boyutlu yazıcılar endüstride Hızlı Prototiplemeyi yaygın olarak kullanmaktadır. Üç boyutlu yazıcılarda kullanıcılar tarafından tasarlanan nesnenin üretiminin fabrika ortamının dışında da gerçekleştirebiliyor olması, tasarımın teçhizat kurulumu olmadan kolaylıkla üretime aktarılabilmesi üç boyutlu yazıcıların ekonomik olmasını sağlamıştır.

Üç boyutlu yazıcıların imalattaki teknolojileri ve bu teknolojilerin verimliliğini ortaya çıkarmasında henüz bir olgunluğa erişilememiştir. Özellikle üç boyutlu yazıcı teknolojisi için bir standardın belirlenmesi, donanımlı kişilerin

üstlenmesi, eğitimin her zaman ön planda tutulması ve sertifikalı olarak bu üretimin gerçekleştirilebiliyor olması gerekmektedir (Ford ve diğerleri, 2015). Bu bağlamda üç boyutlu yazıcılar halen gelişimsel süreçte olan bir teknolojidir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin verimli kullanılabilmesi için kullanıcılarının teknik açıdan donanımlı olması gerekmektedir.

Üç boyutlu yazıcılar ilk prototipleme üzerine üretim sağlarken zamanla üretimin birçok alanında etkisini göstermeye başlamıştır. Enson teknoloji olan Endüstri 4.0 teknolojisi içerisinde yer alan üç boyutlu yazıcı teknolojisi, üretimi dijital hale getirerek her türlü talebe karşılık verebilecek üretim imkanına sahip, az maliyetli ve hızlı üretimle yeni geometrik şekilleri ortaya çıkaran bir teknoloji olmaktadır(URL29). Üç boyutlu yazıcılar dijital sistemleri kullanarak üretimde etkin rol kazanmıştır. Üretimi zor olan karmaşık şekillerde başarı sağlayan maliyeti düşük ve hızlı üretim yapabilen son teknolojilerden birisidir. Üretimin dijital sistemler tarafından destekleniyor olması imalatta birçok nesneyi üç boyutlu yazıcılar tarafından üretilebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Tüketicilerin dijital sistemleri üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile birlikte kullanması gündelik ihtiyaçlarını üretimle bağdaştırarak yaşamlarına entegre etmesinde fayda sağlamaktadır (URL24).Dijital sistemlerin tasarıma dahil olmasıyla başlayan sonrasında nesne imalatına dönüşen üretim sürecinde tüketicilerin tasarımda aktif rol alması üç boyutlu yazıcı teknolojisinde üretici ve tüketiciyi bir araya getirmiştir. Tüketicilerin tasarımlarıyla üretime dahil olması tüketici ihtiyaçlarının üretimle giderilmesine olanak sağlamıştır.

Üç boyutlu yazıcılara talep her geçen gün artmaktadır. Üç boyutlu yazıcı üretimini yapan firmaların sayısı başlangıçta az iken zamanla artmaya başlamıştır. Günümüzde dünyada üç boyutlu yazıcı üretimi yaygın olarak yapılmaktadır. Üç boyutlu yazıcı üretiminde öncü olan başlıca ülkeler; Amerika, Almanya, Danimarka, İtalya, Hollanda, Çin, Tayvan, İngiltere, Hindistan,Fransa, Polonya, Japonya, Brezilya, Güney Kore, Kanada, Singapur, İspanya ve Finlandiya'dır (Karakılınç, 2019). Dünyada üç boyutlu yazıcı üretimini yapan başlıca firmalar; Makerbot, Ultimaker, Stratays, Tinkerine Studio, Batbot, Carbon, Zortax, 3D Systems, Shapeways, Protolabs, Formlabs, Sculpteo, Autodesk, Materialise, Hewlett-Packard, Eos GmbH, Prodways Group, Exone ve Ge Additive'dir (Gao ve diğerleri, 2015). Üç boyutlu yazıcılar doğrudan parça üretiminde, mobilya ve ev dekorasyonunda, cihaz parça üretiminde, cihaz kılıflarında, sanatsal nesnelere, görsel araçlarda, mimari maket, fonksiyonel parça, kalıp üretiminde, araştırma ve eğitim amaçlı projelerde



kullanılmaktadır (Dolhan, May 2013). Üç boyutlu yazıcılarda ilk olarak yazıcı imalatı yapan üreticiler ortaya çıkmıştır. Zamanla üç boyutlu yazıcılar sektörde de etkisini göstermeye başlamıştır. Firmaların sektörde birçok alandaki yatırımları ve üniversite kuruluşlarındaki Ar-Ge çalışmaları üç boyutlu yazıcılarda gelinen son nokta olarak örnek gösterilmektedir. Üç boyutlu yazıcıların sektördeki uygulamaları üretimde her geçen gün etkisini artırarak devam etmektedir.



## BÖLÜM 3

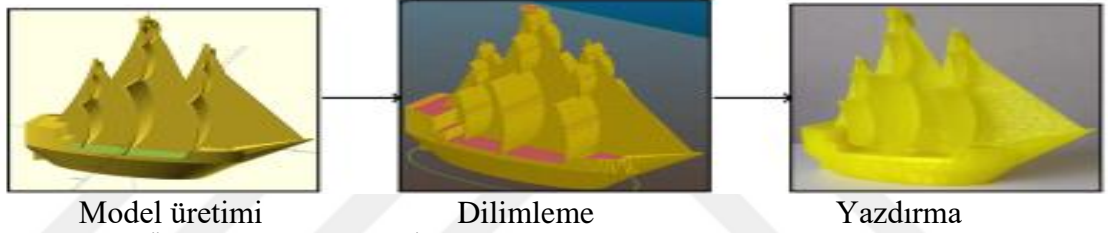
### Bilgisayarlı Modelleme ve Üç Boyutlu Yazıcılar

Günümüz mimarlık ortamında bilgisayar genellikle bir temsil aracı olarak; bilgisayar ortamında çizim, üç boyutlu modelleme ve animasyon gibi tekniklerin geleneksel tasarım ve üretim sürecine destek verebilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Bilgisayarlı modelleme ile gerçekleştirilen tasarım üretilmesi istenen ürünler için öncü, elde yapılan çizim tekniklerine göre çok daha hızlı ve doğru sonuçlar alınmasına da yardımcıdır. Bilgisayar destekli tasarımın (CAD) bilgisayar destekli üretime (CAM) dönüşmesi tasarımın dijitalden üretime olan sürecini de başlatmıştır. Üretimi yapılacak olan nesnelere önceleri bilgisayarlı nümerik kontrol (CNC) makineleri ile sağlanırken sonrasında üç boyutlu yazıcılar tarafından imal edilmiştir.

Üç boyutlu yazdırma işlemi; sanal olarak oluşturulan dijital çalışmaların üç boyutlu elle tutulabilir nesnelere dönüştürülmesi işlemidir (Çelik ve Çetinkaya, 2016). Üç boyutlu yazdırma farklı hammaddeleri kullanarak birbirinden bağımsız objeleri ortaya çıkmasını sağlar (Balcıoğlu, 2014). Bilgisayar ortamında elde edilen tasarımların ürün bağlamında nihai sonuca dönüşmesi amacıyla üç boyutlu yazdırma işlemi gerçekleşir. Bilgisayar destekli tasarım programlarının etkin rolü sayesinde başlangıç aşamasındaki ürün için esnek çözüm olanakları sunulurken hammadde tüketimi de asgari düzeye indirgenmektedir. Üç boyutlu yazdırma işlemi iki aşamada sağlanmaktadır; birinci aşamada yazılım yardımı ile model verileri yazıcıya aktarılır, ikinci aşamada yazıcının kafası hareket ederek yığılma yöntemiyle modeli meydana getirmektedir. Üç boyutlu yazdırma sürecinde CAD tarafından tasarlanan obje bilgisayar tarafından sanal olarak dilimlere ayrılmaktadır. Bu dilimler üç boyutlu yazıcı yardımı ile katmanları oluşturmaktadır (Lu ve Reynolds, 2008). Tasarımın modellemesiyle başlayan süreç üç boyutlu yazdırma işlemi bitine kadar sıralı bir bağlantı ve düzen içerisinde devam etmektedir. Yapılan işlemler sırasında ortaya çıkartılacak ürünün hatasız ve en doğru şekilde olması planlanmaktadır.

### 3.1 Bilgisayarlı Modelleme

Üç boyutlu yazdırma, İki Boyutlu (2D) yazdırmaya benzemektedir. Sadece dokunsal nesnelere üretme aşamasında üçüncü boyutu eklemektedir. Kağıt baskıda olduğu gibi, dijital verileri bilgisayardan gerçek bir fiziksel nesneye dönüştürmektedir. Genellikle üç boyutlu baskı olarak adlandırılan bir terim katkı üretimidir (Ahlers, 2018). Üç boyutlu baskı uzun sürede üretilecek ürünlerin daha kısa zamanda üretilmesini sağlamaktadır. Üç boyutlu baskı, planlama ve geleneksel üretim işlemleri olmadan nesnelere seri üretimi için de kullanılabilir. Üç boyutlu baskı, karmaşık planlama yapmaksızın üretim yapmaya imkan tanır ve süreci daha esnek hale getirir, ancak bu basit olduğu anlamına gelmemektedir (Ahlers, 2018). Bu durumda, üretim yapan firmaların sadece üç boyutlu yazıcı alması yetmemekte, ham madenin temini, yazılımın temini gibi başka yatırımlar da yapması gerekmektedir.



Şekil 3.1: Üç boyutlu baskı işlemi. İlk olarak, model üretilir. Sonra bir dilimleme yazılımıyla dilimlenir ve son olarak, nesne bir üç boyutlu yazıcıya yazdırılır. (Ahlers, 2015)

Üç boyutlu yazdırma işlemi “model üretimi, dilimleme ve yazdırma” (Şekil 3.1) olarak üç aşamaya ayrılabilir. Model üretimi için modelin tasarlanması, indirilmesi ya da taranması gerekmektedir. Dilimleme, yazdırma talimatlarının yazıcının modeli yazdırabileceği şekilde oluşturulması anlamına gelmektedir. Son adım, modelin üç boyutlu yazıcıdaki gerçek baskısıdır.

#### 3.1.1 Model Üretimi

Model oluşturma sürecindeki ilk adım, neyin modellenmesi gerektiğini tanımlamaktır. Model, üç boyutlu model paylaşım platformundan da indirilebilir veya müşteri gibi harici bir tedarikçi tarafından gönderilebilir (Gootjes, 2017). Farklı uygulama alanları için model üretimi yapılabilir ancak her firma bu olanaklara sahip değildir. Farklı alanlar için çok çeşitli CAD araçları vardır. Her CAD yazılımı üç boyutlu yazdırılabilir modeller üretme yeteneğine sahip değildir ancak üç boyutlu

baskı son yıllarda önemli bir konu olması nedeniyle firmalar bu özelliği yazılımlarına eklemektedir. Yaygın kullanılan araçlar OpenSCAD, Tinkercad, Autodesk Inventor veya Blender'dır. OpenSCAD, kod benzeri talimatların modelini oluşturan açık kaynaklı bir araçtır. Tinkercad, fare merkezli bir tasarım yaklaşımında “sürükle ve bırak” özelliğine sahiptir. Autodesk Inventor, basılabilir parçalar oluşturma ve ayrıca farklı parçalar monte etme veya stres testleri gerçekleştirme yeteneğine sahip mühendislik merkezli bir araçtır. Blender, sanatçılar ve oyun tasarımcıları tarafından sıkça kullanılan görsel bir programdır. Çoğu üç boyutlu dilimleme programının işleyebileceği formatlar STereoLithography (STL), OBJ ve Additive imalat dosya formatıdır (AMF). OBJ ve AMF, benzer bir yapıya sahip STL gibi faset tabanlı formatlardır. Renk hakkında daha fazla bilgi eklenebilir ve farklı parçalara sahip modelleri kullanabilir.

### 3.1.2 Dilimleme

Yazıcılar modeli doğrudan yazdıramadığından, yazıcının uygulayabileceği bir forma aktarılması gerekmektedir. Bu, yazdırılması gereken metin veya görüntünün, yazıcı kafası ve hareketleriyle ilgili talimatlara çevrildiği kağıt baskıya oldukça benzemektedir. Üç boyutlu baskıda, bu modelden yazıcının yazdırabileceği bir forma dönüştürülmesine dilimleme denir. Dilimleme sırasında oluşturulan talimatlar G kodu olarak adlandırılmaktadır (Gordeev ve diğerleri, 2018). G kodu, üç boyutlu baskı yazıcının içindeki parçaları hareket ettirmek için komutlar içerir ve model üretiminin önemli adımlardan birisidir.

FDM baskısındaki yaygın dilimleme araçları Cura, Slic3r ve Simplify3D'dir. FDM yazıcılar için çok çeşitli dilimleme yazılımı bulunmaktadır. Bazıları belirli bir yazıcı üreticisi için yapılmış, bazıları genel amaçlıdır. Genel amaçlı dilimleyiciler, üç alt gruba ayrılabilir: ücretli, ücretsiz ve açık kaynaklar. Ücretli ve ücretsiz dilimleyiciler, erişilemeyen kaynak kodları olduğundan, düzlemsel olmayan katmanlar eklemek için değiştirilememektedir. Geriye kalan açık kaynak dilimleyiciler Cura ve Slic3r aktifolarak geliştirilen ve son teknoloji olarak adlandırılacak tek açık kaynaklı dilimleyicilerdir. Skeinforge modası geçmiş ve artık gelişmemiş ve diğer dilimleyiciler dilimleme için çoğunlukla Slic3r veya Cura

Motorunu kullanmakta ve sadece farklı bir kullanıcı arayüzü sağlamaktadır. Cura ve Slic3r, sadece iki ilgili açık kaynaklı dilimleyici olarak adlandırılabilir (URL30).

## **Cura**

Cura, Ultimaker B.V. tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir dilimleme yazılımıdır. Yazılım Küçük Genel Kamu Lisansı (LGPL) altında lisanslıdır (URL30). Lisanslı olmasının yanında açık kaynak kodlu olması sebebiyle hem firma tarafından hem de herhangi biri tarafından da geliştirilebilmektedir. Ultimaker ana geliştirmeyi yapar ve böylece dilimleyici Ultimaker yazıcıları için optimize edilir. Diğer yazıcılar da desteklenir ve bazıları Cura ile birlikte gönderilen önceden tanımlanmış profillere sahiptir. Bir yazıcı önceden tanımlanmadığında, özel bir yazıcı yapılandırılabilir. Cura, hem markalı hem de jenerik filament için farklı malzeme profilleri de içermektedir. Gelişme, her 1-3 ayda bir yeni sürüm ile oldukça aktiftir (URL30). Cura, farklı özelliklerin eklenebileceği kendi eklenti altyapısına sahiptir. Özellikler ve kullanılabilirlik son teknoloji olarak adlandırılabilir. Cura, kullanıcının yalnızca beş farklı ayar yapabileceği ve 200'den fazla farklı yazdırma ayarıyla özel bir modu ayarlayabileceği önerilen bir moda sahiptir. STL, üç boyutlu İmalat Formatı (3MF) ve OBJ dosyalarını Cura'ya yüklemek mümkündür. Detaylı bir kullanıcı dokümantasyonu online olarak mevcuttur (URL30). Cura yazılımı bu özellikleri sayesinde model üretimi için kullanılan önemli bir unsurdur.

## **Slic3r**

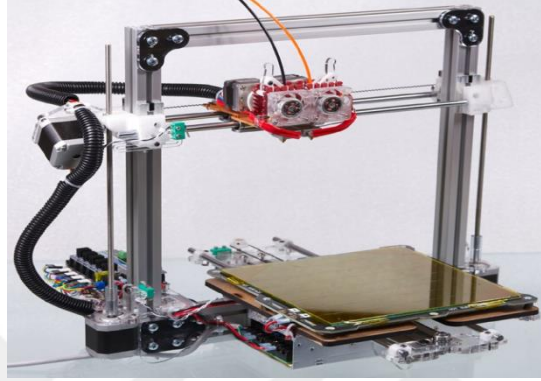
Slic3r, Alessandro Ranellucci tarafından başlatılan açık kaynaklı bir dilimleyicidir. Herhangi bir şirket tarafından desteklenmez veya geliştirilmez (URL31). Bu durum, belirli bir şirket tarafından değil, yazılım geliştiricileri tarafından geliştirildiğini göstermektedir. GNU Affero Genel Kamu Lisansı (AGPL) altında lisanslanır. Günümüzde temel özelliklerin çoğu, temel olarak performans iyileştirmeleri nedeniyle C++'a taşınmaktadır. İki dilin bu birleşimi, kaynak kodunun anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Slic3r, STL, OBJ, AMF ve 3MF dosya formatındaki modelleri desteklemektedir (URL31). Çok çeşitli dosya formatlarını desteklemesi yazılımın avantajlarından birisidir. Yazıcı profilleri genellikle yazıcı üreticilerinden sağlanmakta, ancak yapılandırma sihirbazına sahip bir yazıcı için de oluşturulabilmektedir. Karmaşıklığından dolayı Slic3r başlangıç seviyesine uygun olmamakla birlikte zengin özelliklere sahiptir. Kullanıcı dokümantasyonu eski,

geliştirme aktif, yeni özellikler sürekli eklenmekte, ancak ana sürüm iki yılın üzerindedir (URL31). Ana geliştirici firma tarafından ana sürümün geliştirilmemesi ciddi bir dezavantaj haline gelmektedir.

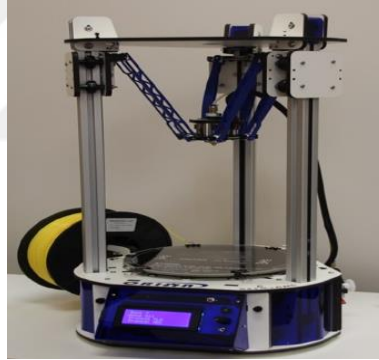
### 3.1.3 Yazdırma

G kodu, dilimleyici tarafından oluşturulduğunda, istenen nesneyi elde etmek için yazıcıda yürütülmesi gerekmektedir. G kodunu çalıştırmak için, yazıcıya gönderilmesi gerekmektedir. OctoPrint gibi bir baskı sunucusu ya da dilimleme yazılımına entegre edilmiş bir G kodu göndericisi ile USB üzerinden aktarılabilir (Kim ve diğerleri, 2018). USB üzerinden aktarım yapılması üretim yapabilmek için ciddi kolaylık sağlamaktadır. G kodu ağ üzerinden yazıcıya gönderilebilir ya da daha sonra yazıcıya yerleştirilen bir SD kartında saklanabilir. Yazıcı G kodu komutlarını, G kodu dosyasında görüldükleri sırayla birbiri ardına yürütmektedir. Tüm yazdırma işlemi otomatik olarak gerçekleştirilir ve yardıma ihtiyaç duymamaktadır. Hatalar her zaman olabileceği gibi, yazdırma sırasında makineyi izlemek oldukça yararlıdır. Baskıyı başlatırken, yazıcı baskı işine hazırlanmaktadır (Sultana ve diğerleri, 2016). Firmalar entegre bir sisteme sahip olsa da yazdırma sırasında oluşan hatalara anında müdahale etmek için üç boyutlu yazdırma sürecini izlemeleri faydalıdır. Öncelikle konumlarını sağlamak için tüm eksenler ana konumlarına sürülmektedir. Yazıcı baskı yatağı seviyelendirmesini desteklediğinde, seviyeleme işlemi gerçekleştirilir. Yazıcı daha sonra baskı yatağını ve nozülü ısıtmaktadır. Bazı yazıcılar, baskıya başlamadan önce baskı kafalarını doldurmaktadır. Ardından, yazıcı gerçek nesneyi basan G kodu komutlarının yerine getirilmesiyle başlar (Sultana ve diğerleri, 2016). G kodlarının yerine getirilmesi çok basit bir işlem değildir. Çok sayıda kod olduğu için hatalar verebilir. Genellikle, bir baskının birkaç yüz bin talimat satırı vardır. Yazdırma talimatlarının miktarı nesnenin boyutuna ve karmaşıklığına bağlıdır. Yazıcı genellikle yazdırırken kullanıcıya geri bildirim verir. Baskı tamamlandığında, yazıcı memesini, baskı yatağını kapatır ve baskı kafasını bir kenara bırakır. Tamamlanan nesne kullanıcı tarafından baskı yatağından çıkarılabilir (Kim ve diğerleri, 2018). Yazdırma işlemi boyunca hata verse de sonuç olarak model üretilmiştir.

FDM Yazıcılar, özellikle düşük maliyetli segmentte yer alan çok yaygın yazıcılardır. Bu yazıcıların donanımı, hareket sistemine ve ekstrüzyon sistemine ayrılabilir. Ekstrüzyon sistemi malzemeyi bırakırken, hareket sistemi baskı kafasını üç boyutlu yazıcıda istenen konuma taşımaktadır (Polak ve diğerleri, 2017). Bu basit yapısı sayesinde FDM yazıcılar üç boyutlu yazıcılar içinde en çok tercih edilen yazıcı olma özelliğine sahiptir.



Resim 3.1: Kartezyen-xz kafa yapılandırması olan bir Kartezyen hareket sistemi(Horvath, 2014)



Resim 3.2: Hepsi z eksenini boyunca hareket eden üç eksenli bir delta yazıcı (Horvath, 2014)

### **Hareket sistemi**

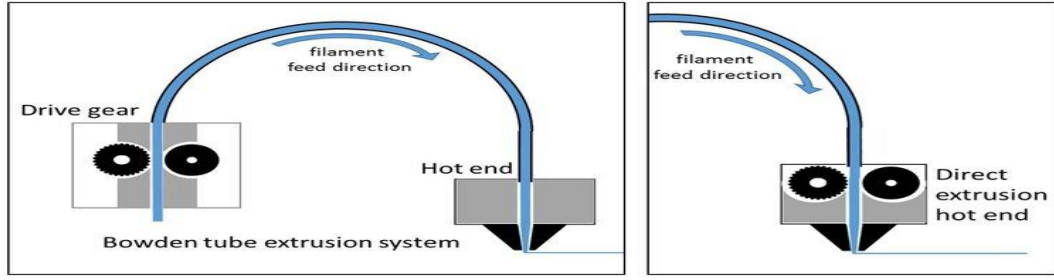
Frezeleme, lazerle kesme, toplama ve yerleştirme makineleri ve robotik gibi diğer CNC uygulamaları, üç boyutlu yazıcıların hareket sistemlerinden ilham almıştır. Üç boyutlu yazıcıların en yaygın hareket sistemi kartezyendir. Bu yazıcılar, baskı kafasının her eksenini ayrı bir motorla hareket ettirmektedir (Kun, 2016). Farklı motorlar sayesinde hareketi sağlaması daha hızlı baskı yapma imkanı sağlamaktadır. X eksenini genellikle sol ve sağ, y eksenini ön ve arkadır ve z eksenini yukarı ve aşağı hareket ettirmektedir. Kademeli motorlar, döner hareketi eksen boyunca doğrusal harekete aktarmak için kayışları ya dakurşun vidaları hareket ettirmektedir. Bant sistemleri biraz daha hızlı olduğu için, bunlar genellikle x ve y

eksenleri için kullanılırken, kurşun vidaları çoğunlukla z eksenini için kullanılmaktadır (Jin ve diğerleri, 2017). Z eksenini boyunca da hareket imkanı sağlaması ciddi bir avantajdır. İki ortak kartezyen yapılandırması vardır. Birincisi, yazıcı yatağının y eksenini boyunca ileri geri hareket ettirildiği sırada baskı kafasının x ve z eksenini boyunca hareket ettiği kartezyen-xz kafasıdır. İkincisi, baskı yatağının z eksenini boyunca yukarı ve aşağı hareket ederken baskı kafasının x ve y eksenini boyunca hareket ettiği kartezyen-xy kafa yapılandırmasıdır. Delta yazıcılar, başlangıçta toplama ve yerleştirme uygulamalarında kullanılan başka bir hareket sistemidir (Jin ve diğerleri, 2017). Delta yazıcılar FDM yazıcılardan farklı bir yapıya sahiptir. Baskı kafası, z eksenini boyunca ayrı ayrı hareket eden üç adet bağlı kolu olan bir taşıyıcıya monte edilmektedir. İstenilen koordinata ulaşmak için, bireysel kolların pozisyonu ters kinematik ile hesaplanmaktadır. Baskı kafası yuvarlak bir baskı yatağının üstündeki her konuma erişebilir (Kun, 2016). Bu durum, diğer yazıcılara göre delta yazıcıların sunduğu avantajlardan birisidir. Kademeli motorlu kayışlar veya kurşun vidalar genellikle münferit kolları konumlandırmak için kullanılmaktadır. Bu konfigürasyonun ana avantajı, gerçek uç efektörün çok az ağırlık taşımasıdır, böylece daha hızlı hareket edebilir (Jin ve diğerleri, 2017). Daha hızlı hareket etmesi avantajdır fakat daha az ağırlık taşıması da bir dezavantajdır. Bir delta yazıcıyı kalibre etmek, bir kartezyen yazıcıdan biraz daha zordur, bu nedenle tüm eksenlerin bir kerede değil, bir diğerinde kalibre edilmesi gerekmektedir.

### **Ekstrüzyon sistemi**

Bir FDM yazıcısının ekstrüzyon sistemi, genellikle filamentini ısıtılmış bir ağızlıktan iten aşamalı bir motordur. Filamentini ileri doğru hareket ettiren kısma besleyici, ısıtılmış ağız bloğu sıcak kısma denmektedir. Besleyiciye itme, filament dizisine baskı yapan bir tahrik dişlisi tarafından yapılmaktadır (Kozior ve Kundera, 2017). Tahrik dişlisinin bu sistemdeki önemi büyüktür. Tahrik dişlisi, itme kuvvetini arttırmak için doğrudan step motordan ya da bir transmisyon dişlisi ile tahrik edilmektedir. Filament, sabit çaplı çok uzun bir plastik ipten oluşmaktadır. Yaygın filament ebadı 1.75 ve 2.85 mm'dir. Filament doğrudan sıcak kısmın (hot end) içine veya aradaki bir Bowden tüpü ile beslenebilir (Kozior ve Kundera, 2017). İki farklı sistemde aynı görevi yerine getirmektedir.





Şekil 3.2: Sol şekil: Besleyici, Bowden borusu ve sıcak kısımda bulunan bir Bowden ekstruder. Sağ şekil: Doğrudan sıcak kısmın üzerinde besleyiciye sahip doğrudan tahrikli bir ekstruder (URL32)

Bowden sisteminin avantajı, step motorun doğrudan baskı kafası üzerinde olmak zorunda olmamasıdır. Bu, taşıyıcının ağırlığını azaltır ancak filament yolunda ekstra esneklik sağlamaktadır. Bu esneklik ekstrüzyonda özellikle esnek filamentlerde sorunlara neden oluşturmaktadır (URL32). Uygulama alanına göre seçim yapmak gerekmektedir. İki sistemde farklı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Sıcak kısmın amacı, filamenti ısıtmak ve yazdırırken sürekli bir filament yolu elde etmek için belirli bir genişliğe getirmektir. Isıtma, bir termistör tarafından izlenen bir ısıtma elemanı tarafından yapılmaktadır. Isıtıcı, termistör ile kapalı bir döngü sistemi oluşturan Oransal Bütünleyici Türev kontrolörü tarafından kontrol edilmektedir. Filamenti tanımlanmış bir genişliğe getirmek için ısıtılmış bir pirinç nozülünden itilmektedir. Bir meme koniktir ve sivri ucunda çok hassas bir çapa sahip bir deliğe sahiptir. Ortak çaplar 0,25 mm ile 1,0 mm arasındadır. Uzun çapı, hız ve yazdırılabilir ayrıntılar arasında bir denge oluşturur; çünkü daha geniş baskılar daha büyük çaplar oluşturmaktadır. Baskı izin genişliği, bir memeden daha fazla veya daha az filament iterek biraz değiştirilebilir (URL32). Baskı izin genişliğindeki bu değişim esneklik sağlamaktadır.

Filament ekstrüzyonunun ilk tabakası baskı yatağı üzerine serilmektedir. Bir baskı yatağı, baskı yapılacak nesnenin üzerine yerleştirildiği düz bir yüzeydir. Baskının yapışkanlığını artırmak ve baskıların bükülmesini azaltmak için baskı yataklarının çoğu ısıtılabilir (Llewellyn-Jones ve diğerleri, 2016). Isıtma işlemi model üretiminde daha düzgün nesnelere üretilmesine yardımcı olmaktadır. Yapışma ayrıca, özel baskı yüzeyleri, bir yapışkan çubuk tabakası veya boyacı bandı ile artırılabilir. Yazıcı elektroniği, tüm motorları ve ısıtıcıları kontrol etmektedir. Step motor sürücüleri step motorları çalıştırmakta, ısıtıcılar Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistörler (MOSFET'ler) tarafından kontrol edilmekte ve sıcaklıklar termistörler tarafından okunmaktadır. 8 bitlik Arduino tarzı bir mikro denetleyici

çoğu FDM yazıcıyı çalıştırmaktadır. Bazı yeni modeller 32 bit mimariyi kullanmaktadır. Mikro denetleyici, G kodu komutlarını okumakta ve bunları ekli donanım ile yürütmektedir. G kodu komutları bir kontrol yazılımı tarafından seri arayüz üzerinden gönderilir veya takılı bir SD kartından okunmaktadır.

### 3.2 Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler

Üç boyutlu yazıcıların özelliklerinin yanında diğer önemli bir konuda üç boyutlu yazıcılarda kullanılan malzemelerdir. Baskısı yapılan nesnenin kalitesini üç boyutlu yazıcının kalitesi kadar kullanılan malzemenin kalitesi de etkilemektedir. Hornick ve Roland (2013), üç boyutlu baskı için mevcut malzemelerin listesine dikkat çekmekte ve katkı maddesi üretimi hızla büyümektedir. FDM tipi yazıcılar için malzeme besleme stoklarının çoğu, Akrilonitril Butadien Stiren (ABS) veya Polilaktik asit (PLA) termoplastiklerini temel almaktadır (Hornick ve Roland, 2013). Bu durum, ABS ve PLA'ya olan ilgiyi arttırmıştır. Başlangıç seviyesindeki öğrenciler için düşük kaliteli yazıcılara erişim sağlayan kütüphaneler mevcuttur. FDM yazıcıları için malzemelerin hızlı bir şekilde genişlediğini ve STEM sınıflarının Taulman Naylor, Polietilen tereftalat (PET), Alaşım 910, Karbon Fiber PLA, NinjaFlex ve SemiFlex ve hatta bronz dolgululu bir PLA / PHA kullandığını belirtilmektedir (Hughes ve diğerleri, 2017). ABS ve PLA haricinde başka malzemelerin kullanımı erişilebilirlik açısından kolaylık sağlamaktadır. FDM yazıcılar çeşitli metal baskılarda kullanılmakta, filamentin dış kaplaması bağlayıcı olarak işlev görmektedir (Malladi, 2017). Metal baskıların yapılması farklı alanlarda da üç boyutlu yazıcıların kullanılmasına imkan tanımaktadır. Çelik, bronz, titanyum, alümina, nikel alaşımları ve Inconel çeşitleri şu anda katkı üretiminde kullanılan metallerdir (Mu, 2016). Birbirinden farklı metallerin malzeme olarak kullanılması esneklik sağlamaktadır.

Malzemeler ve yeni baskı işlemleri çeşitli endüstrileri kapsamaktadır. Örneğin; inşaat yapım şirketi WinSun, çimento, çelik, cam elyafı ve diğer inşaat atıklarının kombinasyonundan 3 boyutlu basılmış paneller hazırlamıştır. İnce, esnek güneş panelleri basmak için malzeme mevcuttur (Ross ve diğerleri, 2016). Günümüzde önceden tahmin edilmesi mümkün alanlarda üç boyutlu yazıcıların kullanılması durumu, gelecekte çok farklı alanlarda kullanılacağına göstergesidir.

SLA ve SLS yazıcılarında, cam dolgulu reçinelerden monomer ve polimerlere kadar çok çeşitli plastikler kullanılmaktadır (Gonzalez, 2017; Yang ve diğerleri, 2017). Metal malzemelerin yanında plastik malzemelerin de kullanımı farklı alanlara uygulanabilirlik imkanı sunmaktadır. Cam, kil ve seramik malzemedan oluşan nesnelere oluşturmak için bir macun formunda sıkılabilir (Malladi, 2017; Yang ve diğerleri, 2017). Camın kullanılabilmesi için macuna dönüşmesi durumu, maliyeti artırmakta, fakat kullanılabilir olmasına imkan tanımaktadır. Brown (2017)'a göre, biyo-baskı kemik maddesi, replasman organları, insan hücreleri ve dokusu, üç boyutlu baskı için potansiyel olarak bir sonraki büyük uygulamadır. Son zamanlardaki gelişmeler biyolojik malzemelerinde yapılabileceğine imkan sağlamıştır. Diş endüstrisi cerrahi modeller için implantlar, köprü yapımı ve kuronlar için üç boyutlu baskı kullanılmaktadır (URL33). Hücre dokusu üretimi gibi konular gerçekleştirilemese de tıbbi malzemeler üretilmektedir. Tıbbi ve dental kullanım durumlarında, malzeme listeleri ışıkla sertleşmiş reçineler, naylonlar, elastomerler ve kompozit termoplastikleri içermektedir. Bu tıbbi uygulamalarda kullanılan metal alaşımları kobalt krom, çelik ve titanyum içermektedir (Dawood ve diğerleri, 2015).

Jenkins (2017), malzeme maliyetlerinin yüksek olduğunu, çünkü üç boyutlu baskı cihazları için özel malzemelerin gerekli olduğunu belirtmiştir. Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında üç boyutlu baskıda kullanılan malzemeler daha yüksek maliyete yol açmaktadır. Endüstri genişledikçe, kimyasal ve metal şirketleri hammadde ve bitmiş sarf malzemelerini tedarik etmeye başladığında, kullanılacak malzemelerin kullanılabilirliği de artmaktadır. Farklı fiyat tipleri, geleneksel imalattan farklı olan malzemeye ısı ve basıncın nasıl uygulanabileceğinin dikkate alınmasını gerektirmektedir (Jenkins, 2017). Bu durumun esas sebebi, geleneksel imalatta kullanılan malzemedan farklı malzeme kullanılmasıdır. Üç boyutlu metaller, uygulama için özel tozlar ve inceltmeler gerektirmektedir. ALCOA, 2015 yılında özellikle üç boyutlu baskı için metal tozları yapmak amacıyla bir işleme tesisi kurmuştur (Albright, 2016). Bu işleme tesisi sayesinde kullanılan malzemelere erişim imkanı artmıştır.

Katkı maddesi üretimindeki daha etkili ve bilgilendirici anketlerden biri Wohlers Şirketi tarafından yürütülmüş ve yıllık rapor olarak yayınlanmıştır. 2016 yılı Wohlers Raporu, bir önceki yılda örneklenen sağlayıcıların %84'ünün katkı maddesi imalatından elde edilen gelirlerde bir artış gördüğünü belirtmiştir (Wohlers Associates, 2017:4). Bu durumun sebebi ise üç boyutlu yazıcıların kullanımının

artmasıdır. Ankete katılanlar, müşterilerinin üç boyutlu baskılı parçaları, tüm uygulama türlerinin %29 oranında fonksiyonel parçalar olarak kullandıklarını belirtmiştir (s.10). Fonksiyonel parçaların kullanımı modüler sistemler tasarladıklarını göstermektedir. Özel olarak üretilen ek parçaların büyümesine bakıldığında, 2016 yılında %20,3, 2015 yılında %20,5, 2014 yılında %20,9 ve 2013 yılında %19,9 oranında büyüme gerçekleşmiştir (s.11). Ek parçaların üretiminin artması farklı nesnelerin üretiminde aynı parçaların kullanılmasıyla elde edilmiştir. Ankete cevap verenler, operasyonlarına üç boyutlu baskı ekipmanı ekleme eğiliminde olduğunu söylemiştir. 2016 yılında, anket örneğinin %98'i bir tür ilave üretim ekipmanı eklediklerini ve 2013-2015 yılları arasında bu sayı %70 olduğunu belirtmiştir (s. 19). 2009 yılı başlarında, ankete katılanların yalnızca %22'si ekipman eklemiştir veya eklemeyi amaçlamıştır (Wohlers Associates, 2017). Yıllar içerisindeki bu artış gittikçe üç boyutlu yazıcıların kullanımının yaygınlaştığını göstermektedir.

Wohlers Raporu, üç boyutlu baskıda parça üretimi uygulamalarının ve hizmet sağlayıcılarda ilave üretim uygulamalarının 2012'den 2016'ya kadar ikiye katlandığını göstermiştir. Ankete cevap verenler, operasyonlarına üç boyutlu baskı ekipmanı eklemek için çok eğilimlidir. 2016 yılında, anket örneklerinin %98'i bir çeşit ilave üretim ekipmanı eklediklerini ve 2013-2015 yılları arasında bu sayı %70 olduğunu belirtmiştir. 2009 yılı başlarında, ankete katılanların yalnızca %22'si ekipman eklemiştir veya eklemeyi amaçlamıştır (s. 19). Bu artış önümüzdeki yıllarda üç boyutlu yazıcıların parça üretiminde daha sık kullanılacağına işaret olarak anlaşılabilir.

Piyasada birçok tipte üç boyutlu yazıcı vardır (Tablo 3.1). Dünyada en sık görülen ve kullanılan yazıcıların bazıları daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

**Tablo 3.1** Kullanılabilir üç boyutlu Yazıcıların Türleri (URL34)

Türleri	Teknolojileri	Malzemeler
Sıkma	FDM	Termoplastik (örneğin, PLA, ABS), Ötektik metaller, Yenilebilir malzemeler.
Granül	Doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS)	Neredeyse tüm metal alaşımları
	Elektron ışını eritme (EBM)	Titanyum alaşımları
	Seçici ısı sinterleme (SHS)	Termoplastik tozlar
	Seçici Lazer sinterleme (SLS)	Termoplastik, Metal tozu, Seramik tozu.
	Toz yatak ve mürekkep püskürtmeli kafa üç boyutlu baskı, Alçı bazlı üç boyutlu baskı (PP)	Alçı
Katmerli	Lamine nesne üretimi (LOM)	Kağıt, Metal folyo, Plastik film
Işık Polimerize	Stereolitografi (SLA)	Fotopolimer
	Dijital ışık işleme (DLP)	Sıvı Reçine

Tablo 3.1’de üç boyutlu yazıcıların kullandıkları malzemeler yer almaktadır. Bu bilgilerden yola çıkarak kullanılan malzemeleri plastik, metal ve diğer olmak üzere üç başlık altında ele alınmıştır.

### 3.2.1 Plastik Bağlamda

FDM teknolojisinde üç boyutlu yazıcının çalışma prensibi oldukça basittir. Nozzle adı verilen uçta plastik eritilerek dökülür ve tıpkı bir bina inşa eder gibi obje katman katman oluşturulur. Eritilerek dökülen bu plastik malzeme filament olarak adlandırılır. Filamentler, üç boyutlu yazıcılarda model oluşturmak için kullanılan hammaddelerdir. Üç boyutlu yazıcıların ticari kullanımları için mevcut olan en çok kullanılan filament tipleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir. (URL35; URL36; URL37; URL38). Kullanılan filament türlerinden yola çıkarak hangi nesnelerin üretildiği hakkında bilgi sahibi olunabilir.

- **Politikik Asit (PLA):** Poliaktik asitler yaygın olarak kullanılan filamentlerdir, çünkü kullanımı kolay ve kolayca temin edilebilir. Aynı

zamanda biyobozunur, çevre dostu bir malzemedir. Bitki bazlı yapılar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen termoplastik alifatik polyesterdir. Sıvıdan katıya hızlı bir şekilde geçiş yapar, kendiliğinden yapışır, böylece yüksek hızlı baskı için kullanılabilir (URL37). PLA'nın bahsi geçen özelliği sayesinde birçok malzemenin sağlamadığı avantaj sağlanır ve yüksek hızlı baskı gerçekleşmiş olur. Hemen hemen her yatak yüzeyine yapışma özelliğine sahiptir. PLA'lar, dış mekanlarda uzun süre kullanılan yüksek sıcaklıktaki ortamlar için ideal değildir. Hem 1.75 mm hem de 3 mm ebatlarında piyasada bulunmaktadır. Biyo bozunur maddelerden oluştuğu için geleneksel plastiğe kıyasla daha az enerji harcamaktadır. Hem kokusuz hem de düşük sargılıdır. Bu malzeme için yaygın olarak kullanılan ekstrüzyon ayarı: 175- 200°C ekstrüzyon sıcaklığı ve 20-75°C yatak sıcaklığıdır (URL37). Bu durum, yüksek sıcaklıklardaki ortamlarda kullanılmasını engellemektedir ve bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

- **Akrilitit Butadyeni Stren (ABS):** ABS, pazarda kullanılan yaygın filamentlerden biridir ve termoplastiktir. Tasarımcının bu malzemeyi herhangi bir model için filament olarak kullanmasına yardımcı olan ısıya karşı yüksek dirence sahip olmasıdır (Mkhemer ve diğerleri, 2014). Bu durum, sıklıkla kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Çoğunlukla bu malzemeler, çocuk oyuncakları, müzik aletleri ve bazı otomotiv bileşenlerinin yapım için kullanılmaktadır. Hafif bir aseton / ABS üst kat ile PET filmde iyi baskı yapma özelliğine sahiptir. ABS iyi yapışır, bu yüzden yüksek hızlı baskıda kullanmak mümkündür. Üç boyutlu yazıcı ayarları: Ekstrüzyon sıcaklığı 225-230°C. Birim filament kütlesi başına en çok uçucu organik bileşik ve ultrafine parkitül salınımı ABS türü filamentte, en az salınım ise PLA tür filamentte ölçülmüştür (Mkhemer ve diğerleri, 2014). Bu durum, ABS için bir dezavantaj fakat PLA için bir avantajdır.
- **Laybrick:** Laybrickler, PLA gibi basılması kolay mineral bazlı filamentlerdir. Ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak, dokusu düz veya pürüzlü olarak değişebilir. Laybrickler ince öğütülmüş tebeşir içermektedir ve diğer filamentlere kıyasla kırılındır (Bhandari ve Regina, 2014). Basılması kolay ama kırılabilir olması sebebiyle hassas üretimlerde kullanılmaktadır. Gri

taşların görünüm ve izlenimini verirken plastiğin özelliklerini korumaktadır, malzemeyi mimari modeller için ideal kılmaktadır. Laybrick'te basılan modeller boyanabilir ve öğütülebilir durumdadır. Baskı için önceden ısıtılmış yatağa ihtiyaç duymamaktadır. Bu malzemenin üç boyutlu ayarı 185-215°C ekstrüzyon sıcaklığıdır (Bhandari ve Regina, 2014). Bahsi geçen özelliklerin tümü dikkate alındığında mimari modeller ve manzara inşalarında kullanılmaktadır.

- **Yüksek Etkili Polistiren:** Yüksek etkili polistirenlerin yazdırılması kolaydır ve düşük sargı özelliğine sahiptir. Bu filamentlere basılan modellerin boyanması ve yapıştırılması kolaydır. Yüksek boyutsal kararlılığından dolayı bu filamentler üretim öncesi prototipler için kullanılır (URL36). Yüksek Etkili Polistirenler, hafif parçaları yazdırmak için idealdir. ABS ile benzer özelliklere sahiptir, uygun fiyatlı ve çok yönlüdür. Üç boyutlu baskı ayarları, 220-230°C ekstrüzyon sıcaklığı ve 50-60°C yatak sıcaklığıdır (URL36). Prototip üretiminde sıklıkla kullanılması sebebiyle yaygın olarak kullanılan malzemelerden birisidir.
- **T-Cam (PETT):** T-Cam geniş ve düz yüzeylerin baskısı için ideal olan şeffaf ve esnek malzemelerdir. Bu filamentlerin etkileyici köprüleme yetenekleri vardır. T-Camlar yüksek mukavemetli polietilen tereftalat polimerden (PETT) yapılmış ve plastik şişe yapımında kullanılan malzemelerle neredeyse aynıdır (Bethany ve diğerleri, 2010). Bu benzerlik sayesinde plastiklerin kullanıldığı her yerde kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. T-camlar akrilik, cam ve PET film üzerine kolayca baskı yapabilir ve ekstrüzyon sıcaklığında bozulmamaktadır. Baskı hızı, ekstrüzyon sıcaklığına açıkça bağlıdır, eğer sıcaklık 212°C kadar düşükse, hız 25 mm/sn hızda daha temiz parçalar üretmektedir. 230°C'de sıcaklık 50-60mm/sn hıza izin vermektedir. Üç boyutlu yazıcı ayarı, ekstrüzyon sıcaklığı 212°C ile 230°C arasındadır (Bethany ve diğerleri, 2010). Belirtilen sıcaklık ve hız limitlerine uyulursa, elde edilen nesnelerin daha düzgün ve pürüzsüz olması sağlanır.
- **Laywood-D3:** Laywood-D3, üç boyutlu yazıcılarda filament olarak kullanılan ahşap benzeri bir malzemedir. Bir lif levhasının hem görünüşünü hem de hissini, aynı zamanda ahşap malzemenin kesilme, boyanması ve

zımparalanması gibi nitelikler vermektedir (Garcia, 2014). Ahşap malzemeye sağladığı yeni nitelikler bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Laywood-D3, üç boyutlu yazıcılarda eritilip ekstrüde edilmelerini sağlayan polimer bağlayıcılarla birleştirilen geri dönüştürülmüş ahşap parçacıklarından oluşmaktadır. Ekstrüder sıcaklığı değiştirilerek, Laywood-D3'te basılan parçaların simüle edilmiş alternatif açık/koyu ahşap tahıl görünümü elde edilmesi mümkündür. Her iki boyutta da 1,75 mm ve 3 mm kalınlık mevcuttur. Ekstruder ayar sıcaklığı 175-200°C ve yatak sıcaklığı 30°C'dir (Garcia, 2014). Bu durum, ahşap nesne üretiminde kullanılmasını ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

- **Ninja Flex / Termoplastik Poliüretan (TPU):** Termoplastik Poliüretan elastik, yağa/grese dayanıklı ve aşınmaya dayanıklı bir malzemedir. Kıyı sertliği 95A'dır (Günther ve diğerleri, 2012). Bu durum, diğer filamentlerden farklı bir özelliğe sahip olduğunu göstermektedir. Yağa/grese ve aşınmaya karşı direnç gösterme özelliğinden dolayı, Ninja Flex çok sayıda uygulamaya sahiptir, ancak genellikle mobil kasa yapımında kullanılmaktadır. Ekstrüder sıcaklığı 240-260°C ve yatak sıcaklığı 40-60°C'dir (Günther ve diğerleri, 2012). NinjaFlex esnek filament, poliüretan olmayan malzemelere kıyasla üstün esneklik ve uzun ömürlülüğü sayesinde sektöre öncülük etmektedir.

Tablo 3.2'de piyasada bulunan filamentlerin mekanik özellikleri ve kullanımları açıklanmaktadır (URL36).



**Tablo 3.2** Filament Tipleri ve Özellikleri (URL36)

Filamentler	Temeli	Avantajları	Dayanıklılık	Kullanım	Print Temp. Range (°C)	Heat Bed Required (°C)	Baskı zorluğu
ABS	Akrilonitril Butadien Stiren	Yüksek güç	Hareketli parçalar	Yüksek	210 - 250	50-100	Orta
PLA	Polylactic Asit	Kullanıcı dostu	Tüketici ürünleri	Kullanıma uygun	180-230	Hayır	Kolay
HIPS	Yüksek Etkili Polistiren	ABS ile Çift Ekstrüzyon	Destek Yapısı Yüksek	210-250		50-100	Orta
PETT (T-Cam)	PolyEthyleneTrimethylene Terefitalat	Yüksek güç	Hareketli parçalar	Yüksek	210-230	Hayır	Orta
Ninja Flex/TPU	Termoplastik Elastomer	Elastik	Giyilebilir	İyi	225-235	Hayır	Yüksek
Laywood	PLA + Ahşap	Ahşap kaplama	Ev dekoru	Kullanıma uygun	195-220	Hayır	Orta
Laybrick	Ko-Polyester + Kumtaşı	Kumtaşı tamamlama	Mimari	Düşük	165-210	Hayır	Orta
PVA	Polivinil alkol	PLA ile çift ekstrüzyon	Destek Yapısı	İyi	180-230	Hayır	Kolay
Naylon	Poliamid	Yüksek güç	Hareketli parçalar	Yüksek	220-260	50 - 100	Orta
Metal	Metal + PLA	Metal kaplama	Takı	Yüksek	195-220	Hayır	Yüksek
Manyetik	Demir + PLA	Manyetik	Hareketli parçalar	Yüksek	195-220	Hayır	Yüksek
İletken	Karbon + PLA	İletken	Elektronik	Düşük	215-230	Hayır	Kolay
Sıcaklık Değişimi	PLA	Renk Değişimi	Yenilik	Kullanıma uygun	215	Hayır	Kolay
Karbon fiber	Karbon Fiber + PLA	Yüksek güç	Hareketli parçalar	Yüksek	195-220	Hayır	Orta
Karanlıkta Glow	PLA	aydınlık	Yenilik	Kullanıma uygun	215	Hayır	Kolay
Amfora	Eş Polyester		Hareketli parçalar	Yüksek	220-250	Hayır	Orta

### 3.2.2 Metal Bağlamda

Metal üç boyutlu baskı hizmetlerinin sayısı tüm dünyada hızla artmaktadır. Aynı zamanda, metal üç boyutlu yazıcılar üç boyutlu baskı hizmetlerinde daha yaygın hale gelmektedir. Büyük firmaların metal üç boyutlu baskıya ilgi

göstermesinin nedeni, topolojik olarak optimize edilmiş parçalar oluşturmak için kullanılabilmesidir. Bu, yalnızca daha fazla gerilime dayanması gereken yerlerde daha kalın hale getirmek için malzemenin bir bileşen içinde mükemmel bir şekilde dağıtılmasını mümkün kılmaktadır. Böylece yapısal bütünlüğü koruyarak ağırlığı önemli ölçüde azaltmaktadır (Ho ve Ng, 2015). Üç boyutlu baskı için yararlı bir malzeme olmasına rağmen bazı zorlukları vardır. Metal üç boyutlu baskı için özel CAD tasarımlar gerekmektedir.

Günümüzde metal bazlı malzemelere yönelik çalışmalar fazladır. Bunun sebebi metallerin ve alaşımların üç boyutlu baskısı esnasında bu malzemeler özellikle yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında bir dizi mikroyapısal değişiklik oluşmaktadır (Bose ve diğerleri, 2013). Metallerin üç boyutlu yazıcılarda kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir:

- Paslanmaz çelik: suyla temas edebilecek mutfak eşyaları, pişirme kapları ve diğer eşyalar
- Bronz: Vazo ve diğer demirbaş
- Altın: Basılı yüzükler, küpeler, bilezikler ve kolyeler
- Nikel: Madeni para basımı
- Alüminyum: İnce metal nesnelere için idealdir.
- Titanyum: Güçlü, sağlam fişürler için tercih edilen seçenek (Gupta, 2017).

Yazıcılarda kullanılan metal malzemeler ve bazı uygulama örnekleri incelendiğinde farklı nesnelere basılmasında kullanıldığı görülmektedir. Metal malzemelerin dışında farklı malzemelerde üç boyutlu yazıcılarda kullanılmaktadır.

### 3.2.3 Diğer Bağlamda

**Karbon fiber:** Bu gibi kompozitler üç boyutlu yazıcılarda plastik malzemeler üzerine son kat olarak kullanılır. Amaç, plastiği daha güçlü hale getirmektir. Üç boyutlu baskı endüstrisinde metale hızlı ve uygun bir alternatif olarak karbon elyafın plastik üzerine kombinasyonu kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda üç boyutlu karbon fiber baskının daha yavaş karbon fiber döşeme sürecinin yerine geçmesi beklenmektedir. İletken karbomorf kullanımıyla, üreticiler elektromekanik cihazları monte etmek için gereken adım sayısını azaltabilir (Sezer ve diğerleri, 2019). Bu özellikleriyle karbon fiber metallerde yaşanan sıkıntılardan dolayı tercih edilen bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Reçine:**Üç boyutlu baskıda daha sınırlayıcı ve bu nedenle daha az kullanılan malzemelerden biri reçinedir. Diğer üç boyutlu uygulanabilir malzemelerle karşılaştırıldığında reçine sınırlı esneklik ve güç sunmaktadır. Sıvı polimerden yapılmış olan reçine, UV ışığına maruz kaldığında son şeklini almaktadır. Reçine genel olarak siyah, beyaz ve şeffaf çeşitlerde bulunur, ancak bazı basılı öğeler turuncu, kırmızı, mavi ve yeşil renklerde de üretilir (Borello ve diğerleri, 2018).

Reçine malzemeler üç kategoriye ayrılabilir:

- **Yüksek detay reçineler:** Genellikle karmaşık detaylar gerektiren küçük modeller için kullanılır.
- **Boyanabilir reçine:** Bazen düz yüzeyli üç boyutlu baskılarda kullanılır, bu sınıftaki reçineler estetik çekicilikleri için tercih edilmektedir. Estetiksel özellikleri yüksek işlenmiş yüz ayrıntılarına sahip figürler genellikle boyanabilir reçineden yapılmaktadır.
- **Şeffaf reçine:** En güçlü reçine sınıfıdır ve bu nedenle bir dizi üç boyutlubaskılı ürün için en uygun olandır. Genellikle dokunuşta yumuşak ve görünüşte şeffaf olması gereken modeller için kullanılır (Finnes, 2015).

**Tozlar:**Toz formunda, çelik, bakır ve diğer metal türleri gibi malzemelerin istenen şekillerde taşınması ve kalıplanması daha kolaydır. Üç boyutlu baskıda kullanılan çeşitli plastik türlerinde olduğu gibi, metal tozun, tamamlanmış bir şekil oluşturmak için kat-tabaka olarak dağıtılabileceği noktaya kadar ısıtılması gerekmektedir. Yazıcının içinde toz, istenen kalınlık, doku ve desenler yapılıncaya kadar eritilir ve tabaka halinde dağıtılır (Guoqing ve diğerleri, 2019). Farklı malzemeler üç boyutlu yazıcılarda toz haline getirilerek kullanılabilir.

Tozlar çeşitli kaynaklardan ve malzemelerden gelebilir, ancak en yaygın olanları aşağıdaki gibidir:

- **Poliamid (Naylon):** Dayanıklılığı ve esnekliği ile poliamid, üç boyutlu baskılı bir üründe yüksek düzeyde ayrıntıya izin vermektedir. Materyal özellikle üç boyutlu baskı modelinde parçaları birleştirmek ve parçaları birbirine bağlamak için uygun yapıya sahiptir. Poliamid, tutturucu kollardan oyuncak arabalara ve şekillere kadar her şeyi basmak için kullanılır (Shirazi ve diğerleri, 2015).

- **Alumid:** Polyamid ve gri alüminyum karışımından oluşan alumid tozu, en güçlü üç boyutlu baskı modellerinden bazılarını oluşturmaktadır. Grenli ve kumlu görünümüyle tanınan toz, endüstriyel modeller ve prototipler için güvenilirdir (Guoqing ve diğerleri, 2019). Normal formlarından daha farklı özelliklere sahip olması istenen malzemeler toz formunda üç boyutlu yazıcılarda kullanılmaktadır.

**Kağıt:** Tasarımlar, düz bir çizimden çok daha gerçekçi bir prototip elde etmek için üç boyutlu teknolojisine sahip kağıda basılabilir. Bir tasarım onay için sunulduğunda, 3 boyutlu baskı modeli, sunum yapan kişinin tasarımın özünü daha fazla ayrıntı ve doğrulukla aktarmasını sağlamaktadır. Kağıt, tasarımları mühendislik gerçeklikleri hakkında daha canlı bir his vermektedir. Bundan dolayı kağıttan yapılmış tasarım, projeyi çok daha çekici göstermektedir (Tay ve diğerleri, 2017). Sınırlı bir uygulama alanı olsa da kağıt malzemenin üç boyutlu yazıcılarda kullanılması bazı avantajlar sunmaktadır.

### 3.3 Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları

Chuck Hull 1983 yılında üç boyutlu baskı teknolojisini geliştirmiştir. Hull, UV teknolojisini kullanarak çalışma prototipleri oluşturmak için bilgisayar tasarımlarını kullanmış ve uzun süre denemiştir. Çalıştığı UV ışığı, sıvı akrilik bazlı maddelerin anında katı olmasını sağlamıştır. Sonunda StereoLithography (SLA) adlı bir süreç geliştirmiştir. Bir tabaka halinde serilmiş erimiş fotopolimer reçinenin bir kabının kullanılmasını içermektedir. UV lazer çok ince olan her katmanı iyileştirmiştir (Matthew ve Glass, 2014). İnce katmanlarda sağladığı iyileşme sayesinde adının duyurmuştur.

Üç boyutlu baskı teknolojisi, daha kısa sürede üretim yapmak isteyen inşaatçılar ve tasarım mühendisleri tarafından talep edilmiştir. Son olarak, matbaacıların maliyeti azaldıkça, üç boyutlu yazıcıların olanakları görülmüştür (URL 39). Farklı alanlarda sağladığı avantajlar sayesinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Seramik, gıda, metal alaşımları, saf metaller, termoplastikler ve termoplastik kompozitler dahil daha fazla malzemenin kullanılmasıyla birçok nesneyi üç boyutlu olarak basmak mümkündür (Barnatt, 2016). Üç boyutlu baskı için

çok sayıda yaklaşım geliştirilmiştir. Üç boyutlu yazıcıların temel kategorileri, malzeme ekstrüzyonu, Vat foto-polimerizasyonu, malzeme püskürtme ve bağlayıcı püskürtmedir (URL40). Her bir kategori kendi içerisinde büyük öneme sahiptir.

Malzeme ekstrüzyon yazıcıları genellikle, termoplastik tabakalarını erimeye kadar ısıtılan ince, katı filamentler halinde bırakmaktadır. Üreticiler, karbon fiber, karbon nanotüpler, metaller ve diğer malzemeleri kullanarak karışımlar geliştirmiştir. Bu yazıcılar ayrıca somut ve yenilebilir malzemeler de çıkarabilir. Eriyik (Fused) Filament İmalatı, termoplastik ekstrüzyon, plastik jet, eriyik filament metodu ve eriyik filament fabrikasyonu olarak da adlandırılan bu makineler en yaygın olanlarıdır. Üreticiler hem kullanımı kolay modeller hem de iş makineleri üretmektedir (URL41). Bu özelliklerinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır.

Vat foto-polimerizasyon yazıcıları, Hull tarafından geliştirilenlere benzer şekilde, mekanik bir konumlandırma sistemi kullanmaktadır, bir güç kaynağını bir sıvı reçine tepsisine yönlendirmekte ve bir nesnenin her katmanını izlemektedir. Bir lazer veya başka bir ışık kaynağı, bir sıvı fotopolimer tankında çalışmaktadır. Işık, sırayla, yüzeyde veya kazanın tabanında sertleşmektedir (Hod ve Kurman, 2013). Bu yazıcılar için ışığın farklı katmanlarında sertleşmesi diğer yazıcılardan farklı olmasını sağlamaktadır. Stereolitografi yöntemiyle bir nesne oluşturmak için, sıvı polimerin hemen altında bir delikli platform bulunmaktadır. Lazer, basılan nesnenin enine kesitini çizmekte ve bu da altındaki sertleştirilmiş kısma anında bağlanmaktadır. Platform her seferinde küçük bir parça batırmaktadır, çünkü nihai nesnelere platform üzerinde yapılmaya kadar sert katmanlar eklenmektedir. Vat foto-polimerizasyonu ile elde edilen öğelerin kalitesinin yanısıra, yazıcının işletim maliyeti de yüksektir (Hausman ve Horne, 2014). Bu özellikleri sebebiyle her alanda kullanımı günümüz için mümkün değildir.

Malzeme püskürtme yazıcıları, mürekkep püskürtmeli yazıcılara çok benzer şekilde çalışmaktadır. Yazıcı kağıda mürekkep uygulamak yerine, sıvı tabakaları püskürtmekte onu güçlendirmek için UV ışığını malzemenin üzerinden geçirmektedir. Katmanlar daha sonra birikim oluşturmaktadır. Bazı makineler, çoklu uçlu baskı kafalarını kullanarak bir işlemde farklı renkleri veya birkaç malzemeleri basabilir (Hausman ve Horne, 2014). Farklı malzemeleri, farklı renklerde basması ve UV ışığı sayesinde püskürtülen malzemeyi sertleştirilmesi bu yazıcıları diğer yazıcılardan ayıran özelliktir. Binder püskürtme yazıcıları, bağlayıcıları veya yapıştırıcıları püskürtmek için baskı kafaları kullanmaktadır. Bu cihazlar, ince kağıt,

plastik ya da metal levhaları birlikte bükme (Hod ve Kurman, 2013). Birbirinden farklı malzemeleri birlikte bükmesi üretim esnasında esneklik sağlamaktadır.

### 3.3.1 Endüstriyel Ürün

Üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen endüstriyel ürünlerden birisi de gıda ürünleridir. Gıda endüstrisi küresel ekonomi için büyük öneme sahiptir. Bu sektör, perakende satışlarında 4 trilyon ABD dolarını aşmaktadır (Hod ve Kurman, 2013). Bu özelliği sebebiyle üç boyutlu yazıcıların uygulama alanları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Geleneksel gıda üretim sistemleri, üç boyutlu gıda yazıcıları uygulanarak basitleştirilebilir. Ayrıca, bu tekniğin genel uygulaması, üretim faaliyetlerini yavaş yavaş müşterilerin ihtiyacına daha yakın bir hale getirmesi planlanmaktadır. Azalan nakliye miktarı ve hacmi yönlendirilerek, bu durum yüksek paketlenme maliyetlerini ve dağıtımını azaltabilir (Ganganath ve diğerleri, 2016). Üç boyutlu yazıcılar farklı ürün isteklerine hızlı bir üretim kapasitesiyle cevap vermeye olanak sağlamaktadır.

Gıda endüstrisinde, farklı çalışma prensiplerine sahip gıda yazıcıları bulunmaktadır. Gıda üç boyutlu numunesi genellikle çok çeşitli materyaller (yarı katı, sıvı, tabaka veya toz) kullanılarak CAD çizimlerden aşağıdan yukarıya doğru tabaka halinde kurulmaktadır. Bu çizim programı tasarımcıların dijital tasarım ortamında serbestçe çalışmalarını sağlamaktadır (Fok ve diğerleri, 2016). Bu çizim programının kullanımı kolaydır ve tasarımların birçoğu karmaşık hale gelmektedir, üretim teknolojisinin onları fiziksel bir gerçeklik için nasıl dönüştürebileceğini düşünmesi gerekmektedir (Volpato ve diğerleri, 2013; Wojcik ve diğerleri, 2015). Bu durumda yazılan G kodlarının yazıcı tarafından hayata geçirilme süresinin uzamasına neden olmaktadır. Gıda ürünlerinin yapımında üç boyutlu yazıcı teknolojisi: kaynaşık biriktirme, ekstrüzyon biriktirme ve lazer sinterlemesidir. Ayrıca bunlar, farklı gıda yapıları oluşturmak için kullanılan üç boyutlu baskı teknolojileridir (Volpato ve diğerleri, 2013; Wah ve diğerleri, 2002). Her bir yöntem farklı gıda ürünlerinin üretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca üç boyutlu yazıcı teknolojisinde birçok farklı patent vardır. Yazıcılarla gıda üretimi ilk önce iki boyutta (x ve y eksenleri) test edilmiştir (Lechowicz ve diğerleri, 2002). Fakat yeterli olmadığı görülmüştür. Üç boyutlu (x, y ve z) prototipleri daha sonra kullanılmaya

başlanmıştır. Bu patentlerde, üç boyutlu yazıcı ile gıda üretimine veya türüne uygun yazıcı tasarımları gibi araştırmalar bulunmaktadır. Gıda işlemeye uygun bir formatta bazı üç boyutlu yazıcılar da mevcuttur. Üç boyutlu yazıcılarla üretilen yiyecekler ve kullanılan malzemelerin örnekleri Tablo 3.3’ te verilmiştir.

Tablo 3.3. Üç boyutlu yazıcılarla ve kullanılmış malzemelerle üretilen yiyecekler

Yazıcı türü	Yemek türü	Kullanılan malzemeler
Ekstrüzyon tabanlı	Çikolata, peynir, hamur ve et püresi gibi yumuşak yiyecekler	Polimerler, hidrojeller, biyo jeller
Mürekkep püskürtmeli yazıcı	Meyve püresi ve pizza sosu gibi düşük viskoziteli malzemeler	Sıvı / katı faz (mürekkep, meyve konsantresi, meyve suyu)
Binder Jetting	Şeker, nişasta ve un gibi toz halinde malzemeler	Şeker ve nişasta karışımları
Seçici Lazer Sinterleme	Yağlı çikolata ve şeker gibi toz malzemeler	Toz malzemeler yapışkan değildir ve topaklanma eğilimi gösterir

Kaynak: (Ganganath ve diğerleri, 2016; Matai ve diğerleri, 2010)

Bazı malzemeler, bir şırınga yapısının kullanımıyla kolayca püskürtülmüştür. Bu malzemelerin örnekleri humus, çikolata, hidrojel ve peynirdir. Nihai ürünler farklı tat, besin değeri ve doku ile üretilmektedir. Bununla birlikte, bu malzemelerin hiçbiri ana yemek olarak servis edilmemektedir. Bazı yazdırılabilirlik testleri, yazdırılabilir malzemelerin belirli özelliklerini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Matai ve diğerleri, 2010). Bunun sebebi uygulamaya geçmeden önce yapılan testler maliyetleri azaltmaktadır. Bu testler viskozite, tutarlılık ve katılaşma özelliklerinden oluşmaktadır. Araştırmaların sonunda makarna hamuru en başarılı basılabilir malzeme olarak bulunmuştur. Aksine, çoğunlukla tüketiciler tarafından tüketilen et, pirinç meyvesi ve sebzeler gibi yiyecekler basılamamaktadır. Bu malzemelere ekstrüde etme yeteneği vermenin bazı yolları bulunmaktadır. Hidrokolloidler bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu amaçla, katı maddelere ekstrakte edilebilir bir karakter vermek için bazı sakızlar ve hidrokolloidler eklenmektedir (Cook, 2010). Bu sayede farklı malzemelerden farklı ürünler farklı tatlarda üretilmektedir.

### 3.3.2 Mimari

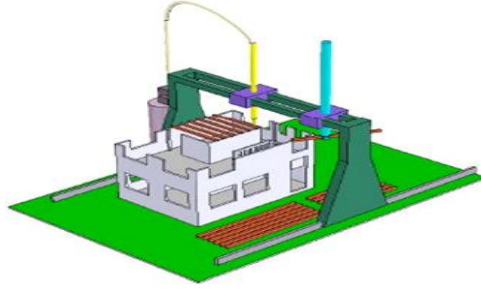
Lim (2012)'ye göre, inşaatı otomasyona iten çok sayıda itici vardır: güvenlik, işgücünde azalma, şantiyede inşaat süresini azaltma, üretim maliyetleri ve mimari özgürlüğü artırma çabasıdır. Bu gibi faktörler sebebiyle inşaat sektöründe üç boyutlu yazıcıların kullanımı artmıştır. Bu, Vähä (2013) tarafından, kalite, güvenilirlik, yaşam döngüsü maliyet tasarrufları ve işgücünün basitleştirilmesigibi farklı unsurlar eklenmiştir. Bu eklenen unsurlar inşaat sektöründe üç boyutlu yazıcıların kullanımını daha da zorunlu hale getirmektedir. Şantiyelerde otomatik tuğla döşeme, püskürtme beton ve prekast teknikleri şeklinde sayısız otomasyon örneği bulunmaktadır (Lim, 2012). Bu örneklerde göstermektedir ki inşaat sektörünün çok fazla bölümünde üç boyutlu yazıcılar kullanılmaktadır.

İnşaat sektöründeki kullanım alanlarından birisi de inşa edilen binalarda, üç boyutlu baskılı beton bileşenleri kullanılmaktadır. Baskı prosedürü, çelik inşaat demiri çubuklarının takılmasını sağlamak için düzenli olarak kırılmalıdır çünkü beton, güçlenmeden yükleri taşıyacak kadar sağlam değildir. Üç boyutlu baskılı beton, biyotik-mesh-çelik elyaf (BMSF) donatı uçları potansiyeli ile devrim yaratmıştır. Gelecekte yazıcıyı geliştirerek hem beton hem de elyaf takviyesi aynı anda katmanlı olabilir (URL42). Aynı katman içinde elyaf ve betonu kullanma olanağı çok daha az zamanda daha fazla özelliğe sahip üretme imkanı sağlayacaktır.

### **Kontur işçiliği**

Kontur işçiliği, bazı alt bileşenlerini içeren küçük yapıların otomatik yapımında büyük potansiyele sahip katmanlı bir üretim teknolojisidir. Buluş sahibi tarafından, bu işlem kullanılarak, her birinin farklı bir tasarıma sahip olması mümkün olduğu halde, bütün bir ev yapısının inşa edilebileceği iddia edilmektedir (Khoshnevis, 2004). Bu işçilik türü binlerce küçük ve birbirine benzemeyen parçanın üretilebileceğini iddia etmektedir.





Şekil 3.3: Bir portaldaki kontur işçiliği kullanan bir binanın inşaatı (Bosscher ve diğerleri,2007)

Uygulanabilir bir bina sistemi olarak kontur işçiliği birkaç yıldır geliştirilmektedir. Bir malaya karşı çimento bazlı bir macunun çoklu katmanlarının yayılması fikrine dayanmakta ve bu da pürüzsüz bir yüzey elde edilmesini sağlamaktadır (Lim, 2012). Bu durum insan eliyle inşa edilen yapıların artık üç boyutlu yazıcılarla daha düzgün şekilde inşası anlamına gelmektedir. Bina yapımında kontur işçiliği uygulaması, nozül taşıyan bir portal sistemin şantiyeye monte edilmiş iki paralel ray üzerinde hareket ettirilmesidir (Şekil 3.3) (Khoshnevis, 2004).

Bilgisayar kontrollü portal, küçük boyutlu bir üç boyutlu yazıcıyla aynı şekilde çalışmakta ve kalın sıvı beton, bir seferde nozülden dışarı itilerek sıkılmaktadır. Kısmen sertleşmesi için zaman verilen alt tabakalar, taze katmanlı çimentoların ağırlığını taşıyabilecek kadar sertleştirilmektedir (Smith, 2012). Bu sertleşme sayesinde inşa edilen yapıların sağlamlığı sağlanmaktadır. Bu sebepten ötürü kontur işçiliği yöntemi, diğer üç boyutlu yazıcı yöntemlerinden farklıdır; temel özellik, imal edilen nesne üzerinde son derece yumuşak ve doğru bir yüzey oluşturmak için iki mala kullanılmasıdır (Khoshnevis, 2004). Mala kontur işçiliği için kullanılan üç boyutlu yazıcıların önemli özelliğidir. Kat-tabaka üretim metodu nedeniyle, kontur işçiliği sistemleri, duvarlar içinde faydalı kanallar oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu, sıhhi tesisat, elektriksel ve yapısal çelik ağların otomatik yapısını yapı içinde mümkün kılması (Khoshnevis, 2003) kontur işçiliğindeki gelişme olarak anlaşılabilir. Bu nedenle, kontur işçiliğinin 20 saniyeden kısa bir sürede bir metre kare duvar, bir saatte bir odanın tamamı ve bir günde 200m<sup>2</sup> tek katlı bir ev inşa edebileceği iddia edilmektedir (Smith, 2012). İnsan işgücüyü bu kadar zamanda inşaatı zor olan bir yapı üç boyutlu yazıcılar sayesinde hayata geçirilmektedir. Bu yöntemde dahil olan otomasyonun başarı seviyesi çok yüksektir. Örneğin; işçiler tarafından kurulması gereken tek şey, cihazın özelleştiremediği kapı ve pencere parçalarıdır (Khoshnevis, 2003). Kapı ve pencere dışındaki her parçanın üç boyutlu yazıcılar sayesinde üretilmesi büyük bir gelişmedir. Düz ve doğru

yüzeyler oluşturmak için kontur işçiliğinde kullanılan malaların üstün biçimlendirme kabiliyetleri nedeniyle, yöntem neredeyse hiç sınırlama olmaksızın geometrik şekiller oluşturabilir (Smith, 2012). Bu durum insan gücüyle oluşturulamayacak şekillerin yapılması anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, yerinde malzemelerin kullanımını ve hızını nedeniyle kontur işçiliğinin iki alanda potansiyeli olduğu iddia edilmektedir: (1) düşük gelirli konut veya acil korunaklı konut; ve (2) geleneksel yöntemlerle inşa edilmesi pahalı olan karmaşık şekiller içeren mimari yapılar (Khoshnevis, 2003). Bahsi geçen bu iki uygulama alanında üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşması durumunda önemli gelişmeler sağlanmış olacaktır.

### **Beton baskı**

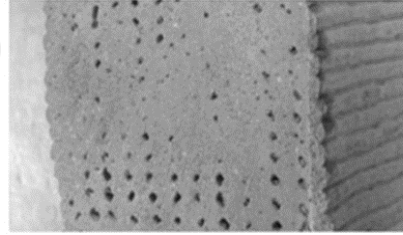
Kontur işçiliğinde olduğu gibi, beton baskısı ayrıca çimento harçının kat-tabaka işleminde ekstrüzyonuna dayanmaktadır. Bu baskı işlemi, yoğun emek isteyen kalıplar kullanılmadan gerçekleştirilebilir ve fonksiyonel boşlukları yapıya dahil etme yeteneğine sahiptir (Lim ve diğerleri, 2011). Kalıplar kullanmadan bina inşa etmek maliyetleri ciddi oranda düşürmektedir. Bununla birlikte, proses, kontur işçiliğinde kullanılan malalar olmadan geliştirilmiş, böylece daha yüksek üç boyutluluk seviyeleri elde etmek için daha küçük bir tortu çözünürlüğü gerekmiştir. Ancak bu daha küçük baskı çözünürlüğü, iç ve dış geometrilerin daha iyi kontrol altına alınmasına yol açmıştır (Lim, 2012). Bu durum maliyetleri önceki duruma göre yükseltmektedir.

Kontur işçiliğine kıyasla, beton baskının bitirme ve işlem sonrası işlemleri farklıdır. Bunun nedeni, doğası gereği, beton baskının (Resim 3.3) karakteristik yivli kaplamayı üretmesidir; bu etkiyi kullanmak için kontrol edilebilir. Bununla birlikte, istenen yüzey pürüzsüz olacaksa, inşaat işlemi sırasında ıslak malzemenin malalanmasını ya da daha sonra baskı yüzeyinin pürüzsüz bir yüzeye taşlanması gerektirmektedir. Bu işlem manuel olarak yapılmalıdır, çünkü henüz otomatik hale getirilmesi mümkün değildir (Lim, 2012). Bu durum kontur işçiliğine göre bir dezavantajdır.



Resim 3.3: Somut bir nervürü tabakalı beton baskılı nesne (Austin ve diğerleri, 2012)

Katmanlı yapının, yapısal kabiliyetini zayıflatan (Resim3.4) çimento hamurunun ayrı ayrı filamentleri arasında boşluklar oluşabileceği için, anizotropik olacağı muhtemeldir. Ayrıca, Le ve Austin (2012) filamentler ve katmanlar arasındaki bağın, beton bileşenlerin sertleşmiş özelliklerini etkilediğine dikkat çekmektedir. Bu nedenle, gerilme bağının yanı sıra sıkıştırma ve esneme yüksek mukavemet bu yaklaşımın ana özelliğidir. Ek olarak, serbest biçimli bileşenler kalıpta yapıldığından betonda suyun buharlaşmasını hızlandıran çatlamaya neden olan düşük bir büzülme esastır (Le ve Austin, 2012). Standart altı inşaat malzemelerindeki tehlikeleri telafi etmek amacıyla katmanlı bileşenlerin zayıf yapısı için iç mekanlarda yüksek performanslı bir “çimentolu” malzeme (sıkıştırma sırasında yaklaşık 100 ~ 110 MPa) geliştirilmiştir(Lim ve diğerleri, 2011).



Resim3.4: Beton baskılı duvarın kesit görünüşü: Filamentler arasında oluşan boşluklar bulunmaktadır (Le ve Austin, 2012)

### **D-şekilli İşlem**

D şekilli işlem, diğer yöntemlerde kullanılan çimento benzeri macun yerine toz ve yapışkan tabakaları kullanmaktadır. Bu, tozun bir bağlayıcı kullanarak seçici biçimde sertleştirildiği, her zamanki üç boyutlu yazıcı işlemiyle aynı şekilde bir toz biriktirme işlemi içermektedir. Her bir malzeme tabakası istenen kalınlığa döşenir, sıkıştırılır ve daha sonra bir portal çerçeveye monte edilmiş nozüller parçanın katı olacağı bağlayıcıyı biriktirir. Bir parça tamamlandığında, gevşek toz yatağından (Resim3.5) çıkarılır (Lim, 2012) bunun sonucunda nesne üretilmiş olur. Taş benzeri serbest formulu yapılar oluşturmak için kum ve bağlayıcı kullanan bu otomatik bina

sistemi, tam boyutlu kumtaşı binaların insan müdahalesi olmadan yapılmasına olanak sağlamaktadır (Tibaut ve Rebolj, 2014). Bu sayede bina sadece üç boyutlu yazıcılar vasıtasıyla üretilmiş olur.



Resim3.5: Soldaki resim: Yapıştırıcı için hazır biriktirilmiş bir malzeme katmanı; Sağdaki resim: modelin henüz basılmış bir kesiti (Cesaretti ve diğerleri, 2014)

Sistem, geleneksel biçimlendirme işlemlerine (beton ile kalıp kullanımı) ve diğer inşaat üç boyutlu yazıcı işlemlerine göre birçok avantaja sahiptir. Herhangi bir kum benzeri malzeme kullanabilmekte ve çok az atık üretebilmektedir. Nesneye yapışmayan kalan kum başka yerde tekrar kullanılabilir. Kullanılan malzemelerin tümü, imalat işlemiyle kullanılmadan önce işlem gerektiren doğal oluşan maddelerdir. Bu da doğal taşla çok benzeyen bir son ürün ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Tibaut ve Rebolj, 2014). Bu durumdan dolayı doğal taşla benzeyen binalar inşa etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

### Üç tekniğin karşılaştırılması

Kontur işçiliği, beton baskı ve D şekilli üç boyutlu yazıcı tekniklerinin her biri farklı bireysel avantajlara sahip olacak şekilde sonuçlanan farklı uygulamalar ve malzemeler için geliştirilmiştir (Lim, 2012). Bu nedenle birbirine rakip olmaktan ziyade farklı tasarımlar için kullanılmaktadır. Başlıca farklılıklardan biri, kafa montajının (malzemeyi nesneye fiilen birleştiren kısım) çerçeve, robot veya vinç monteli olup olmadığıdır. Kontur işçiliği, yerinde uygulamalar için vinç montajlı bir cihaz olarak geliştirilmiştir. Hem D şekilli hem de beton baskısı portal tabanlı tesis dışı üretim süreçleridir, ancak uygun miktarda değişiklik yapıldığında her iki işlemin de yerinde kullanılmaması için bir nedeni bulunmamaktadır (Lim, 2012). Genellikle tesis dışında kullanılması sebebiyle büyük yapıların bir bütün olarak inşasında kullanılmamaktadır.

Bu teknikler arasındaki diğerk önemli fark ise yapı üzerinde bir çıkma kısım olacağı durumları nasıl ele aldıklarıdır. İnşaatta kullanılan üç boyutlu yazıcıları, aşağıdan yukarıya doğru bir nesne oluşturmaya dayandığından, çıkıntılar binanın bir bölümü için destek gerektiğinde bu teknikler için özel bir zorluk yaratmaktadır (Öztürk, 2018). Bu zorlukları aşmak için günümüzde bir yöntem bulunmaktadır. Üç boyutlu yazıcı yöntemlerinin çıkıntıları ele almasının iki ana yolu vardır. Birincisi, artık destek gerekmediğinde kırılacak çok ince bir iskele bölümü oluşturmak için boşlukta başka bir malzemenin basıldığı yerdir. İkinci yol, toz bazlı bir uygulama olduğundan sadece D şekilli sistem tarafından kullanılmaktadır. Bu, destek sağlayan ve kurutma işlemi tamamlandıktan sonra çıkartılan konsolide olmayan malzemenin yerleştirilmesini içermektedir (Lim, 2012). Tekniklerdeki son önemli fark ise baskı çözünürlüğüdür. Bu, cihazın her geçişinde belirtilen malzeme miktarıyla ilgilidir. Beton baskı ve D-şekilli ile her geçiş için 4-6 mm malzeme yerleştirme, el yapımı kesici uçları çevreleyen 13 mm'ye kıyasla - esas ticaret, yapı hızına karşı katman derinliğidir (Lim, 2012). İkisi arasında önemli bir hız farkı olması önemlidir. İstenen yüksekliğe ulaşmak için uzun bir süre gereksinim bulunmaktadır; bununla birlikte, daha az miktarda malzeme döşenmesinin, detay ve bitirme üzerinde daha hassas bir kontrolü olmaktadır (Resim 3.6).



Resim 3.6: D şekilli baskı, Kontur iççiliği ve Beton baskı işleminin başarabileceği bir ürün örneği (Lim, 2012)

### 3.3.3 Tıbbi Malzeme

Medikal ve sağlık sektörü de üç boyutlu baskıda erken kullanım ile başarı elde edilmiştir. Kullanım alanları dental ve çene-yüz cerrahisi, protez, işitme cihazı, eklem ve uzuv protezi, cerrahi model olarak ve biyo materyal baskıdadır (Brown, 2017; Dawood ve diğerleri, 2015). Üç boyutlu baskı uygulamalarının çoğu, ek üretim yoluyla sunulan benzersiz, tek seferlik doğanın avantajlarından oluşmaktadır. Tack ve diğerleri, (2016) tarafından yapılan sistematik bir literatür taraması, tıbbi baskıda

üç boyutlu baskının avantajlarını tartışan 227 makaleyi incelemiştir. Bulgular, ameliyatta harcanan zamanın azalması, daha iyi tıbbi veya hasta sonuçları ve radyasyona daha az maruz kalma gibi sonuçların elde edildiğini ifade etmektedir. Taramalar ve üç boyutlu baskı parçaları gibi ürünler için genellikle ek maliyetler olsa da, bu metodoloji geleneksel cerrahi veya tıbbi bakım ile iyi bir şekilde bütünleşmiştir. Bahsedilen önemli bir dezavantaj, parça kalitesinin tedarikçiden tedarikçiye değişmesidir. Bu farklılık, herhangi bir kalite türünü, numuneler ve tedarikçiler arasında bağımsızlık analizini önlemektedir (Tack ve diğerleri, 2016).

İşitme cihazı endüstrisi, üç boyutlu baskının kullanımını açısından diğer uygulama alanlarına nazaran daha yüksek bir hızda kullanılmaya başlanmıştır. 2013 yılında başlayarak, tüm işitme cihazı endüstrisi 500 gün içinde %100 katkı maddesi üretimine geçmiştir (D'aveni, 2013; Kwok ve diğerleri, 2017). Bu oran çok yüksektir ve endüstriyi tamamen domine etmiştir. Bazı hesaplara göre, geçişi yapmayan şirketler, rekabetçi kalamadıkları için artık operasyonda yer almamaktadır (D'aveni, 2013). Yüksek oranda özelleştirilmiş parçaların seri üretimine duyulan ihtiyacı işitme cihazı endüstrisinde önemli bir ihtiyaçtır (URL43). Bunun sebebi seri üretimin maliyetleri ciddi oranda düşürmesidir. Bireyselleştirilmiş parçalar yapmak, tasarım ve üretim yöntemlerinde esneklik sağlamaktadır. Bireyselleştirme, çeşitlilik ve özelleştirmenin yapıldığı kitlesel kişiselleştirme olarak da bilinmektedir (Kwok ve diğerleri, 2017). Bireyselleşmiş cihazların seri üretimle üretilmesi şirketler için ciddi bir rekabet avantajı sağlamaktadır. Brown (2017), üç boyutlu baskının sağlık ve tıp endüstrisinde devrim yaratacağını ifade etmektedir. Doktorlar, üç boyutlu kompleks tümör modellerini cerrahi yardımcı olarak kullanmakta ve ameliyat sonrası komplikasyonları sınırlamanın yanı sıra ameliyatta zamanın azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Blomberger ve Kelly, 2017). Bu avantajlar sayesinde doktorların üç boyutlu yazıcıları kullanımı gittikçe sıklaşmaktadır. ABD şirketi Organovo, insan hücrelerini ve deri örneklerini biyo-baskı yapmak için üç boyutlu yazıcılar kullanmıştır. Şirket ayrıca, özellikle ilaçların toksisite seviyesini test etmek için kullanılan bir insan böbrek ve karaciğerini de basmıştır (Brown, 2017).

Diş Hekimliği, hem model binasında hem de iç mekân uygulamalarında üç boyutlu baskıyı hayata geçirmiştir. Aracılık faktörlerinden biri, Bilgisayarlı Tomografi (BT) veya Koni Işın Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) verilerinin CAD/CAM dosyalarının oluşturulmasında kullanım kolaylığıdır (Brown, 2017). Bu kolaylık sayesinde üç boyutlu yazıcıların diş hekimliğinin uygulama alanlarına

entegrasyonu hızlanmaktadır. BT ve KIBT, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Brown, 2017). Diş hekimliğinde üç boyutlu baskının uygulanması şunları içerir: (a) özellikle oral cerrahi için tıbbi modelleme; (b) sondaj ve kesme kılavuzları, kısmi olarak yapılan sterilizasyon ve dezenfeksiyona dayanabilmesi için ihtiyaç duyulan kısımlardır; (c) taç kopyaları ve kısmi protez çerçeveleri; (d) dental implantlar ve oral-maksillofasiyal (OMF) implantlar; (e) ürün ve cihaz üretimidir. Üç boyutlu baskının tıbbi kullanımının daha önce gözden geçirildiği gibi, dişhekimleri genel bir denetim eksikliği bulunmaktadır (Brown, 2017). Bu baskı uygulamaları çok farklı diş hekimliği alanlarında hayata geçirildiğini göstermektedir. Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), tıp ve dişhekimliği uzmanlarının üç boyutlu baskıya yönelmesi ile ilgili 2016 yılında endüstri için bir taslak doküman yayımlamıştır. FDA onayına sunulmadan önce bir ürün geliştirilirken göz önünde bulundurulması muhtemel konulara ayrıntılı şekilde yer verilmiştir. Bu sayede baskı sürecinde dikkat edilmesi gerekenler hakkında bilgi sahibi olunmuştur. FDA, teknik değerlendirmeler tartışmasını tasarım ve üretim değerlendirmesini ve cihaz test değerlendirmelerini içeren iki bölüme ayırmıştır. Dokümantasyonda verilen özellikler, malzeme kontrolünden, parçaların kaliteli işlenmesini sağlamanın, boyutsal kontrolün, biyoyuumluluğun ve daha pek çok şeyin tümünü içermektedir (URL44).

Protez, üç boyutlu baskıdan olumlu yönde etkilenen bir tıbbi ve sağlık alanıdır. Üç boyutlu Systems Şirketi, özel olarak üretilmiş yapay uzuvlar üretmeye adanmış bir üç boyutlu baskı şirketi olan BeSpoke Products adlı bir alt bölüme sahiptir (Koten, 2013). Yapay uzuvların imalatta kullanılan boyutsal taramalara ve hassas ölçümlere dayanarak kullanıcı için mükemmel bir fiziksel uygunluk olduğu belirtilmiştir (URL43). Tipik olarak, yapay uzuvlar iki haftadan daha kısa sürede üretilir. Açık kaynaklı geliştirme topluluğu, protez cihazlarına olan ihtiyacı karşılamak için tüketici düzeyinde FDM yazıcıların kullanılması konusunda da aktif hale gelmiştir (Nardone, 2017). FDM yazıcıların kullanılması daha düşük maliyetli yapay uzuvların üretilmesine imkan sağlamaktadır. Açık kaynaklı myoelektrik kol protezi için bir model sunulmuş ve toplamda 250 \$ veya daha düşük bir maliyet öngörülmüştür. Bu durumda, protez el çeşitli nesnelere tutma yeteneğine sahiptir ve ırklararası amputasyonu olan insanlar için uygundur (Slade ve diğerleri, 2015).

### 3.3.4 Eğitim

Üç boyutlu anatomi, insan anatomisi eğitiminde öğrencilere kemik kitleri yazdırmak için ucuz bir yöntem olarak desteklemektedir. İnsan anatomisi sınıflarındaki üç boyutlu baskının, öğrenme yoluyla teşvik edilmiş bir nesne iletişiminin alınmasına vurgu yaptığı ifade edilmiştir (Van Epps ve diğerleri, 2015). Üç boyutlu baskı biyolojide öğretici bir araç olarak görülmüş hücre biyolojisindeki mevcut malzemenin gerçekçi olmadığını bildirilmiştir. Üç boyutlu baskı, düz görüntüler yerine gerçek benzeri modelleri tanıtmak ve böylece morfolojinin hücrelerin işlevlerinin anlaşılmasına yardımcı olmak için değerli bir araçtır. Üç boyutlu basılı hücrelerin bir başka avantajı da görme engelliler tarafından kullanılabilir olmalarıdır (Augusto ve diğerleri, 2016). İstenilen şekil ve ölçekte 3 boyutlu nesnelere üretmek ders ortamları için ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Üç farklı yaklaşım kullanarak altı farklı kan hücresi türü için üç boyutlu modeller geliştirilmiştir.

Ehud ve Dror (2011) havacılık mühendisliği bölümünde rüzgar tüneli modelleri oluşturmak için üç boyutlu baskı kullanmıştır. Ehud ve yaptığı çalışmada, mühendislik öğrencilerine müfredattaki dördüncü yıl projelerinin bir parçası olarak rüzgar tünellerinin test için hızlı prototiplenmesinin ve üç boyutlu baskı ile ilgili zorluklarla yüzleşmek için farklı yaklaşımları nasıl kullanabileceklerini irdelemiştir. Prototipler, ses altı bir rüzgar tüneline test edilmiş ve araştırmanın sonuçları, analitik tahminlerle karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır (Ehud ve Dror, 2011). Ayrıca, üç boyutlu baskı işleminin mekanik yönleriyle ilgili olarak avantaj ve dezavantajları hakkında bir katalog da hazırlanmıştır.

Tarihi eserlerin üç boyutlu yapımının öğrenciler tarafından uygulanabilmesi ve bunun değerli bir görselleştirmesini sunabilmek için MIT müzesiyle işbirliği yapılmıştır (Hovarth, 2014). Bu uygulama farklı disiplinlerin bir arada ele alınması açısından önemlidir (Tablo 3.4).



Tablo 3.4. Üç boyutlu Yazıcı Kullanımının Öğrenci Anlayışını Geliştirdiği Konular (Ford, ve Minshall, 2019)

Konu	Başlık(lar)	Eğitim Seviyesi	Referanslar
Biyoloji	Biyolojik moleküller	Lise	(Letnikova ve Xu, 2017)
Kimya	Atomun yapısı	Lise	(Chery ve diğerleri, 2015)
	Protein yapıları	Lisans	(Meyer, 2015)
Tasarım	Ortak tasarım ve sürdürülebilirlik	Lisans	(Loy, 2014)
Mühendislik	Mühendisliğin temelleri	Lisans	(Perez ve diğerleri, 2015; Perez ve diğerleri, 2016; Perez ve diğerleri, 2017)
	Malzeme özellikleri	Lisans	(Zhang ve diğerleri, 2015b)
	CAD ve tasarım	Lisans	(Bailey, 2015)
	MEMS tasarımı	Lisans	(Dahle ve Rasel, 2016)
Matematik	Geometri	Ortaokul	(Stansell ve Tyler-Wood, 2016; Huleihil, 2017)
Eczacılık	Enzim ve ligand yapıları	Lisans	(Hall ve diğerleri, 2017)

### 3.3.5 Diğer

Otomotiv endüstrisi, otomobil parçalarının prototiplerini ve aynı zamanda yeni konseptlerin ölçek modellerini oluşturmak için üç boyutlu baskıyı ilk kullananlardan birisidir (Hornick ve Roland, 2013). Otomotiv endüstrisinin bu öncü oluşu günümüzde de devam etmektedir. Ford üç boyutlu yazıcıları erken kullanan firma olmasına rağmen, BMW çalışanlara yardımcı olmak ve montaj hattı araçları yapmak için üç boyutlu baskı kullanmaya başlamıştır (URL45; Hornick ve Roland, 2013). Bu durum, tüm firmalar tarafından üç boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanılmaya başlandığının göstergesidir. Otomotiv endüstrisindeki üç boyutlu baskı, 2019 mali yılı sonunda yaklaşık 1,2 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (URL46). Motorlu taşıt kategorisinde üç boyutlu baskı ve katkı maddesi üretiminin kullanımı incelendiğinde, Arizona'da bulunan Local Motors'un kurucu ortağı Jay Rodgers, tüm arabaları üç boyutlu baskı yaparak üretimde devrim yaratma misyonları olduğunu ifade etmiştir. Local Motors, 48 saatlik bir süre boyunca bir endüstri fuarındayken Strati adı verilen dört kişilik bir roadster modeli bastırmıştır. Local Motors'un belirtilen hedefi, otomotiv endüstrisini bozmaktır (URL47).

Albright (2016), Local Motors Strati ile ilgili en dikkat çekici şeyin, basılan her aracın, alıcının gereksinimlerine göre kolayca değiştirilebileceğini söylemesidir. Yapılan her otomobilin kişiselleştirilebilmesi ile birlikte, otomobil gövdesinin tasarımı, dış gövde panellerinin yapısal olarak çarpışma etkisini absorbe edebileceği ve böylece güvenliği artırabileceği şekilde değişebilir olmasıdır (Albright, 2016). Tüm bu avantajlar sayesinde üç boyutlu yazıcılara olan ilgiyi artırması beklenmektedir.

Üç boyutlu baskıda prototipleme için diğer kullanımlarda olduğu gibi, Toyota da Ubox adlı konsept otomobilde üç boyutlu baskı kullanmıştır. Bu konsept otomobil, müşteri seçimi tarafından değiştirilebilen üç boyutlu basılı bir Kontrol Paneli içermektedir (Albright, 2016). Bu durum, kişiye özel üretimin önünü açmaktadır. Solvay Şirketi, “tamamen plastik içten yanmalı bir motorun üç boyutlu yazdırılması” hedefi olan Polymotor2 adlı bir projede yer almaktadır (Jenkins, 2017:15). Bir Formula 3 yarışçısı için hava giriş planını oluşturmuş ve daha hafif, yüksek performanslı bir yarış motoru oluşturmak için mühendislik ve kimya alanında çalışmıştır (Jenkins, 2017).

Otomotiv imalatında ilave üretimin nasıl kullanılabileceğinin anlaşılması için ortak bir geliştirme projesi yakın zamanda gerçekleştirilmiş ve Local Motors tarafından bir otomobilin üç boyutlu baskısının hayata geçirilme çabalarına benzetilmiştir (URL48). Bahsi geçen projeler sayesinde otomotiv endüstrisinde üç boyutlu baskının kullanımı yaygınlaştırılmaya ve dezavantajları giderilmeye çalışılmaktadır. Altair, APWorks, CSI Entwicklungstechnik, EOS GmbH ve Heraeus dahil olmak üzere birçok şirket, bir Volkswagen Cabriolet’in ön ucuna, üç boyutlu baskı teknolojileri kullanılarak özel olarak tasarlanmış ve daha sonra basılmış bir destek alt yapısıyla uyum sağlamak için birlikte çalışmıştır. İlave üretim platformu, daha az parçalı, daha yapısal bütünlük ve daha hafif ağırlık ile daha karmaşık bir tasarıma izin vermiştir. Yeni montaj iyi ısı dağılımı özelliklerine sahiptir ve elektrikli taşıtlarda kullanım için bir model olarak yüksek değeri ortaya çıkarmıştır (URL48). Local Motors’a benzer olarak, Divergent Microfactories ve Koenigsegg, her iki üretim modelinde ölçülen en yüksek performansın bir kısmını veren ilave üretim kullanarak supercars üretmiştir (URL45). Koenigsegg süper arabalarının şasesi, süper güçlü karbon fiberden yapılmış ve gerçek üretim sırasında çevresel atıklarını azaltmayı başarmıştır. Christian Von Koenigsegg tarafından tasarlanan değişken turbo üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak yapılmış ve geleneksel bir üretim

ortamında kullanılmamıştır (URL45). Divergent Microfactories CEO'su Kevin Czinger, bir kamyonetin komple şasisinin 2.000 \$ 'ın altında kalacağı tahmin edilmektedir (URL49). Brüt üretim ve uzmanlaşma için bir ana fabrika kullanan ve daha esnek, daha küçük bir fabrika tesisi ile eşleştirerek kullanan iki bölümlü bir yaklaşım bulunmaktadır. Gerekli olan parçayı yaratma esnekliğine sahip olan daha küçük katkı üretim tesisleri kullanılarak dağıtılmış yedek parça üretimi, bazı temel zorlukları çözmüş bu süreçte organizasyon yapısı da değişmiştir (Durão ve diğerleri, 2017). Audi, yedek parçalarda metal katkı maddesi üretimine doğru ilerlerken, ikili üretim konseptini devreye sokmuştur. Audi, yedek parçaların aşırı üretimini, birçok olumlu sonuç vererek azaltmış, ancak tüm tedarik zincirinde bir ayarlama gerektirmiştir (URL45). Bu durum, zamanla otomotiv endüstrisinin yaygın şekilde üç boyutlu yazıcıları kullanıma sokacağını göstermektedir. Takım çalışması üzerinde, üç boyutlubaskı özellikle damgalama veya biçimlendirme işleminde kullanılmak üzere modeller veya nesnelere yapmak için metal malzemelerde yer almaktadır.

Üç boyutlu baskıda daha yüksek maliyetler ve daha uzun parça oluşturma süreleri, otomotiv endüstrisinin ek üretime girmesini geciktirmiştir (URL43). Havacılık endüstrisi, tam olarak düşük hacimli üretim çalışmaları ve tipik olarak parça başına maliyetler nedeniyle üç boyutlu baskı teknolojilerinden yapılmış, kullanılabilir parçaların en büyük ilk uygulayıcılarından birisi olmuştur (Petrick ve Simpson, 2013; URL50). Yeni malzemelerin ve işlemlerin ortaya çıkmasının, havacılık endüstrisindeki üç boyutlu baskı uygulamalarının sayısını arttırdığı belirtilmiştir. Türbin diskleri, rotor kanatları düzenekleri, yanma odaları ve yakıt memeleri gibi bazı parçaların tasarım karmaşıklığı üç boyutlu baskı ile mümkün olabilmektedir (Wimpenny ve diğerleri, 2016). Tüm bu parçaların tek bir cihaz tarafından üretilmesi farklı cihazlar yardımıyla üretilmesine göre daha az maliyet gerektirmektedir. Bazı havacılık firmaları, parça tasarımındaki küçük gelişmelerin bile yakıt verimliliği, azalan işçilik ya da parça sayımı yoluyla büyük miktarda para tasarrufu sağlayabileceğini ortaya koymuştur (URL50).

Stratasys şirketi, geleneksel döküm veya kalıplamadan ziyade DMLS teknolojisini kullanan üç boyutlu metal baskının kullanımından elde edilen en önemli yararın zaman tasarrufu olduğunu vurgulamıştır (URL51). Endüstriler için ise zaman tasarrufu en önemli maliyet azaltma kaynaklarından birisidir. Bir çalışmada Stratasys şirketi, bir havacılık uygulaması için karmaşık bir yakıt enjektör bölümünün kalkmasını ayrıntılı olarak açıklamıştır. DMLS baskısını kullanarak, test geleneksel

yöntemlere göre azaltılmış geri dönüş süresini%90'dan fazla olacak şekilde gerçekleştirmiştir. Orijinal montaj parçası 150 parçadan oluşmakta ve inşaatı dört ile altı ay sürmektedir. Üç boyutlu baskının esnekliğine dayalı parçaları yeniden tasarlayıp birleştirerek, DMLS sürümü sadece iki bölümden oluşmuştur ve on gün içinde tamamlanmıştır (URL51). Bu avantaj sayesinde daha kısa sürede aynı ürünler üretilmektedir.

Havacılık ve uzay şirketleri, gerekli ham maddeleri sınırlarken verimliliği ve güvenilirliği sağlamanın bir yöntemi olarak ağırlığı düşünmektedir. Daha fazla dayanıklılık sağlamak için katkı maddesi imalatının avantajlarını aramaktadırlar (URL43). Stratasys örneğinde olduğu gibi, Boeing şirketi bir uçak kanalı tertibatını yirmi parçadan tek bir parçaya indirmeyi başarmıştır. Bu, depolama gereksinimlerini ve montaj için çalışma saatlerini azaltmış, bakım gereksinimlerini kısaltmış ve yakıt açısından daha verimli bir çözüm olmuştur (Hornick ve Roland, 2013). Tüm bu gelişmeler üç boyutlu yazıcıların kullanımını artırmaktadır.

## **BÖLÜM 4**

### **Üç Boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı**

Robotik teknolojiler ve asgari insan emeği kullanarak bir yapı inşa etme kavramı yakın zamana kadar uzak bir fikir olarak bilinmektedir. Üç boyutlu yazıcıların uygulanabilir olması oldukça pahalı ve yüksek maliyetleri gerektirmektedir. Bu fikir, artık geçerliliğini kaybetmiş, aksine günümüzde üç boyutlu yazıcılar kullanılarak mimari yapıların inşası ucuz, ekonomik ve çevre dostu olarak karşımıza çıkmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar ile mimari yapıların inşa sürecinde bir yapının yapım maliyetini azaltarak üretim imkanı tanınmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar üretim maliyetini azaltmak amacıyla ihtiyaç duyulan manevraları en aza indirmekte, aynı zamanda yapının piyasaya sürülme hızını arttırmaktadır. Yapıyı inşa eden kişiler için daha hızlı bir kâr elde etmesini sağlayarak finansman maliyetini, yapım şirketleri için sigorta maliyetini düşüren geleneksel inşa tekniklerinden daha güvenlidir.

#### **4.1 Üç Boyutlu Yazıcıların Mimaride Kullanım Alanları**

Üç boyutlu yazıcılarla konut ve maket yapımı en yaygın uygulamalar içerisinde yer almaktadır. 2013 yılında Londra ve Amsterdam'da mimarlar ilk yaşanabilir evi üç boyutlu baskı olarak yazdırmak üzere bir yarışa girmişlerdir. Universe Architecture (Amsterdam) tarafından iki katlı bir ev tasarlamakla başlayan yarış, Softkill Design (İngiltere) mimarları tarafından Protohouse 2.0 isimli tek katlı ve parça parça üretilerek yerinde monte edilen bir ev tasarlanmasıyla devam ederken, yarışa yine Amsterdam'dan DUS Architects isimli takım da oda oda yazdırılıp monte edilen bir kanal evi tasarlamakla katılmıştır (Dapogny ve diğerleri, 2017).

Üç boyutlu yazıcılar ile maket yapımı mimaride üç boyutlu modelleme sunum açısından son derece önemli ve sık tekrarlanan bir uygulama türüdür. Çoğu zaman bizzat insanlar tarafından kağıt, karton gibi malzemeler kullanılarak ve bu malzemelerin elde kesilip birleştirilmesiyle elde edilen modeller artık mimaride üç boyutlu yazıcı kullanılarak çok kısa sürede ve kalitede üretilmektedir. Bu teknoloji

sayesinde birkaç saat içinde yazdırılıp test edilebilen modeller, farklı fikirlere, önerilere göre düzeltilip tekrar tekrar yazdırılabilmektedir (Sakin ve Kiroğlu, 2017).Bu teknolojinin sağladığı avantajlar model yapı yazdırma alanında etkin şekilde kullanılmaktadır.

Model yapı hazırlamada olduğu gibi şehir planlamasına hız kazandıran yeniliklerden biri de 3 boyutlu yazdırma teknolojilerinden faydalanmaktır.Karmaşık ve zor konseptlerin kolayca sunulabilmesi ve ilgilenenler tarafından anlaşılabilmesi, herhangi bir objenin yerinin veya büyüklüğünün kolayca değiştirilebilmesi gibi sebeplerden dolayı üç boyutlubaskı teknolojisi kullanılmaktadır. Mimaride üç boyutlu yazıcı kullanımışehir planlamacılığında da devrim yaratan bir yeniliktir (Ghawana ve Zlatanova, 2013). Farklı alanlarda emekleme aşamasında olsa da şehir planlaması alanında daha hızlı ilerleme kaydedilmektedir.

## 4.2 Üç Boyutlu Yazıcılarla Yapılmış Mimari Örnekler

Üç boyutlu yazıcılar kullanılarak yapıyı sürdürülen mimari yapılara örnekler vermek konuyu daha iyi anlamak için faydalı olmaktadır. Bunlar arasında dünyada üç boyutlu beton baskının projelerde kullanımı, geri dönüşümlü malzemeler üç boyutlu yazıcıların kullanım alanları ve Türkiye’ de üç boyutlu baskı ile mimari modelleme örnekleri şeklinde sıralanabilir.

### 4.2.1 Dünya’da Üç Boyutlu Yazıcı Uygulamaları

Bazı araştırma grubu ve kuruluşu, inşaat endüstrisi için büyük boyutlu üç boyutlu yazıcıların geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Geliştirilen teknolojiler baskı teknikleri ve materyalleri bakımından farklıdır. Çalışma kapsamında incelenenprojeler, dünya çapında çeşitli üretim birimleri ve akademik kurumlar tarafından Üç Boyutlu Beton Baskı (3DBB) üzerinde devam eden deneysel ve ticari projelerdir.

- **Winsun projeleri:** Winsun, ticari projelerde üç boyutlu baskı kullanan Çin kökenliyenilikçi bir inşaat şirkettir. Winsun,bir günde on adet üç boyutlu ev inşa etmiş ve ev başına 5000 dolar maliyet ortaya çıkarmıştır. Winsun ayrıca çok katlı apartman ve villa yapımı konusunda yeni projeler başlatmıştır

(URL52). Yeni başlanan projeler ile daha farklı mimari yapıların hayata geçirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak inşaat yöntemleri sahadaki üç boyutlu baskıdan farklıdır. Winsun, pencere ve kapıboşluklu duvar ve yerinde taşınan, monte edilen bölme duvarlargibi üç boyutlu öğeleri basmaktadır. Bu inşaat yönteminin daha az zaman alıcı ve daha etkili olduğu kanıtlanmıştır (URL52). Bu durumun kanıtlanması gerekli testlerin yapılması ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması sonucunda gerçekleşmiştir.



Resim 4.1: Winsun'un Çin'deki üç boyutlu basılı projeleri (URL53)

Winson şirketinin Yihe isimli CEO'su, yıkım atıklarının veya maden atıklarının % 50'sine kadar kullandıklarını ve inşaat sürecinde sıfır inşaat atığı ürettiklerini belirtmektedir. Yihe, iki katlı 1.100 metrekarelik konağı basmak için beş gün ve üç işçinin yeterli olacağını vurgulamıştır (URL53). Kısa zamanda az insan gücü ile mimari yapmak inşaat sektörü açısından geleneksel yöntemlere kıyasla önemli bir gelişmedir. Ayrıca, şirket müşterilerinin ziyaret etmeleri için geleneksel bir Çin evi ve altı katlı bir apartman binasından oluşan birkaç prototip üretmiştir. Şirketin prototip aşamasından daha ileriye gittiği ve bugüne kadar 100'den fazla ev sattığı belirtilmektedir (URL53). Prototipin ötesinde satış aşamasına gelmesi diğer projelere göre daha fazla ilerleme kaydettiklerinin bir kanıtıdır.



Resim 4.2: Winsun'un Çin'deki konut projesinin modeli (URL53)

- **CyBe Constructions:** CyBe Constructions, beton ve harç ile üç boyutlu baskı beton çözümleri sunan bir Hollanda şirkettir. CEO'su Berry Hendriks'tir. Şirket, ana inşaat uygulamalarında daha fazla otomasyon sürecine geçiş

yapmaya odaklanmaktadır. Şirket, 3DBB'yı(Üç Boyutlu Beton Baskı)kullanıcı dostu olmak ve mevcut beton baskı teknolojilerini geliştirmeye çalışmaktadır. Şirket, otomatik ve kullanıcı dostu olan sürdürülebilir bir üretim süreci olarak üç boyutlu baskı betonunu tanıtmak için Hollanda'daki diğer şirketler ve üniversitelerle projeler yapmıştır (URL55). CyBe Constructions'ın farklı şirket ve üniversitelerle işbirliği yapması üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır.

- CyBe Constructions, CyBe RC 3Dp adlı caterpillar pistlerde hareket edebilen ilk mobil üç boyutlu beton yazıcısı geliştirdiği belirtilmektedir. Mobil 3DBB(Üç Boyutlu Beton Baskı), yüksek bir baskı hızına ve 4.50 metre yüksekliğe kadar genişletilmiş bir baskı aralığına sahiptir. Yazıcı binaları, duvar elemanları, kanalizasyon çukurları, kentmobilyaları vb. gibi çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır (Korolev ve diğerleri, 2018). Şirket tarafından satılan üç boyutlu beton yazıcısı CyBe RC 3Dp 349.000 € tutarındadır. Prefabrik fabrikalarda büyük oranda üretimin bir parçası olarak kullanılan şirket dışı çözüm yazıcıları da bulunmaktadır. Şirket, CyBe harcı adı verilen üç boyutlu baskı beton için özel bir harç üretmektedir (URL54). Özel bu üretilen harç inşaat sektörü için önemli yenilikler getirmekte ve farklı avantajlar sağlamaktadır.



Resim 4.3: Hollanda'da CyBe inşaat laboratuvarı (URL55)

CyBe harcı, üç boyutlu baskı betonu için özel olarak tasarlanmıştır. Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında çok uygun özelliklere sahiptir. Harç, ekstrüzyondan beş dakika sonra, bir sonraki katın çökmeden üste yerleştirilmesini mümkün kılan ve yerleştirme işleminden bir saat sonra yapısal mukavemeti sağlayan sette yer almaktadır (Paolini ve diğerleri, 2019). Bu sayede inşa sürelerinde ciddi oranda kısaltmalar sağlanması beklenmektedir. Harcın susuz kalma süresi geleneksel beton ile 28 güne



kıyasla 24 saattir. Bu hızlı dehidrasyon süresi, duvarın 24 saat sonra sıva ile bitmesini sağlamakta ve bu da projenin bitiş aşamasını önemli ölçüde kısaltmaktadır (Bos ve diğerleri, 2018). Bu büyük avantaj sayesinde kısa zamanda daha fazla mimari yapı inşası mümkün olmaktadır.

- **Apis Cor:**Rus özel sermaye fonu Rusnano Sistema Sicar, inşaat endüstrisi için üç boyutlu baskı teknolojisi tasarlayan Sibirya kökenli bir start-up firması olan Apis Cor'a 6 milyon dolar yatırım yapacağını açıklamıştır (URL56). Apis Cor, üç boyutlu yazıcısı özel katkı maddeleri içeren ince taneli fiber beton kullanarak binalar inşa edebilen mobil bir robot olarak adlandırılmaktadır. Çok kısa sürede herhangi bir tasarımda duvarlar inşa edebilme yeteneğine sahiptir. Geliştirilen üç boyutlu yazıcı normal bir kamyon kullanılarak kolayca taşınabilir ve yapımına başlamak için uzun bir hazırlık prosedürü gerektirmemektedir. Diğer bir avantajı, inşaat atığının olmamasıdır. Tek bir yerde kalarak Apis Cor üç boyutlu yazıcı, beton karışım malzemesini kullanarak katman duvarlar oluşturabilir, toplam 132m<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır. Bileşimine dahil edilen bazı katkı maddeleri ile ortak bir kum-çimento karışımı kullanılmaktadır (URL57). Karışımın sertliğini ve viskozitesini arttırmaktadır. Bununla birlikte, alçı ve jeo-polimer bazlı bir karışım da kullanılmaktadır. Fona göre, bu teknolojinin dünyada eşdeğeri bulunmamaktadır. "Rekabetçi bir maliyetle" geleneksel inşaat teknolojilerini hız ve inşa kolaylığı açısından daha iyi hale getirmektedir.

Rusnano Sistema Sicar, Apis Cor teknolojisinin yaptığı inşaatların maliyet açısından köpük beton evlerden %19 daha ucuz hale getirilmesi planlanmaktadır (URL58). Bunun yanında %30'a varan daha fazla potansiyel maliyet azalması beklediğini belirtmektedir. Apis Cor, Moskova'da sadece 24 saat içinde sıfırdan inşa edilmiş 400 metrekarelik bir ev yapmıştır. Türünün ilk örneği, Moskova bölgesi Stupino kasabasında üç boyutlu baskı teknolojisi ile inşa edilmiştir. Apis Cor ve PIK şirketleri, evi Aralık 2016'da başarıyla tamamlanan bir araştırma projesi olarak inşa etmişlerdir. Apis Cor, tüm evin 24 saat baskı süresi içinde inşa edildiğini söylemektedir (URL58). Diğer mimari yapı inşalarında olduğu gibi 24 saat içerisinde bina üretimi bu projede de hayata geçirilmiştir. Ev, tamamen sonuçları etkileyici kılan mobil bir üç

boyutlu yazıcı dışında hiçbir şey kullanmadan sahada inşa edilmiştir. Bu yapının tüm duvarları ve temelleri betonarme bir karışımla hazırlanarak inşaat sonrası ilave edilen pencereler, demirbaşlar ve mobilya gibi diğer parçalar basılmıştır (URL58). Bu projede evin tamamı tek seferde inşa edilmemiş, bazı parçaları sonradan basılmıştır. Şirket, yazıcının eksi 35°C'ye varan sıcaklıklarda çalışabileceğini belirtmektedir. Yazıcının tasarımı, yazıcının hem içinde hem de dışında baskı işlemini gerçekleştirmesini sağlayan bir kule vinci hatırlatan bir özelliktir. Tüm projenin son maliyeti toplamda 10,134 ABD Dolarıdır ve beş katlı boyası yapılan bir bina bitirilmiştir (URL57). Boyası ile birlikte beş katlı binanın bitirilmesi üç boyutlu yazıcıların uygulamaları açısından önemli bir katkı sağlamıştır. Bu yazıcının geliştiricisi Apis Cor şirketinin kurucusu ve CEO'su Nikita Cheniun-tai'dir. Chen-yun-tai, evin inşaatının maliyetinin 10134 dolar olduğunu, metrekare başına yaklaşık 275 dolar olduğunu belirtmektedir. Şirket, kare şeklindeki bir evin metrekare başına yaklaşık 223 dolar daha ucuza mal olacağını söylemiştir. Nikita, üç boyutlu baskı tekniğini kullanarak ev inşa etmenin geleneksel inşaat yöntemleriyle karşılaştırıldığında inşaat malzemesinin %70'ine kadar tasarruf ettiğini belirtmektedir (URL58).



Resim 4.4: Apis Cor'un Rusya'da Moskova'da bulunan üç boyutlu baskılı yapısı (URL58)



Resim4.5. Apis Cor. şirketi tarafından inşa edilen evin basım aşaması (URL57)

Rusya pazarının ötesinde, şirket, devlet destekli önemli inşaat programlarının başlatıldığı Asya ve Ortadoğu'nun yanı sıra orjinal ve son derece karmaşık mimari ev ve yazlık tasarımları için talebin yüksek olduğu ABD ve Avrupa'ya da hedeflemektedir (URL57). Apis Cor, önümüzdeki yıllarda üç boyutlu yazıcı filosuyla birkaç milyon dolar gelir elde etmeyi planlamaktadır.

Irkutsk kökenli Apis Cor, Moskova ve San Francisco'da ofislere sahiptir. 2017 yılında firma birkaç Rus start-up yarışmasında derece almış ve Moskova'da bulunan uluslararası teknoloji merkezi Skolkovo'dan 3 milyon ruble (yaklaşık 50.000 dolar) bağış toplamıştır. Apis Cor, Rusnano Sistema Sicar'ın ilk portföy şirketi olmuştur. Bu fon, 2016 yılında bir Rus şirketi Sistema ve devlet destekli nanoteknoloji yatırım şirketi Rusnano tarafından kurulmuştur. Ortaklar fonun 100 milyon dolarlık varlıkları yönetmesini ve işlemleri finanse etmek için aşamalı olarak nakit fonlar tahsis etmesini beklemektedir (URL58).



Resim4.6. ApisCor evinin inşasında kullanılan üç boyutlu yazıcı (URL58)

- **Y-Box Pavilion (Mağarası):** Supermachine Studio ve Siam Çimento Grubu (SCG) arasındaki işbirliğinin sonucunda son zamanlarda Tayland'da 4 m yüksekliğindeki BIGDELTA WASP yazıcı kullanılarak "Y-Box Pavilion, 21. Yüzyıl Mağarası" adı verilen (Resim4.7) 3 m yüksekliğindeki bir mağara yapısı inşa edilmiştir. Mağaranın bileşenleri SCG fabrikasında üç boyutlu olarak basılmış ve tüm bileşenler bir araya getirilmiştir. Mağaranın imalat maliyetinin yaklaşık 28.000 \$ olduğubelirtilmiştir (URL59). Mimari özellikleri bulunan bir mağaranın üç boyutlu baskı tekniğiyle hayata geçirilmesi literatürdeki yerini almıştır. Tüm bileşenlerin tamamının tek seferde değil de ayrı ayrı basılması ve sonradan biraraya getirilmesi diğer birçok projeden farklı olarak karşımıza çıkmaktadır.



Resim 4.7: 3 m yüksekliğindeki mağara yapısı (URL59)

- **Total Kustom:** Kontur hazırlama teknolojisini uygulayan başka bir proje Andy Rudenko tarafından evinin bahçesinde hayata geçirilmiştir. Proje, RepRap üç boyutlu baskı açık kaynaklı teknoloji ve yazılım kullanılarak hayata geçirilmiştir. Yazıcıda kullanılan malzeme çimento ve kum karışımıdır. Kuleler ayrı basılmış ve binaya sonradan monte edilmiştir. Diğer parçaları tek seferde basılmıştır (URL60). Rudenko bu kale tasarımı için kendi beton karışımını geliştirmiştir. 50 cm yüksekliğe kadar olan elementlerin üzerine basılarak ve yardımcı elemanların fiziksel desteğiyle bir araya getirilerek bu kaleyi inşa etmek için geçen süre yaklaşık 6 aydır (URL61).



Resim 4.8: Andrey Rudenko'nun ABD'de üç boyutlu baskılı eseri (URL61)

- **Dubai'de Üç Boyutlu Baskılı Ofis:** Haziran 2016'da, dünyanın ilk üç boyutlu ofis binası Birleşik Arap Emirliği (BAE)'de açılmıştır. Üç boyutlu basılı ofis, Birleşik Arap Emirlikleri Ulusal Komitesi için Dubai Futures Vakfı'nın merkezi olarak tasarlanmıştır. "Geleceğin Ofisi" olarak adlandırılan yer, öncelikle tüm dünyadan partiler için bir buluşma alanı olarak hizmet vermektedir. Üç boyutlu basılı ofis, elektrik, su telekomünikasyon ve iklimlendirme sistemleri içeren tamamen işlevsel bir binadır (URL62). Günlük kullanıma uygun bir bina olarak basılması diğer üç boyutlu baskı uygulamalarından ayrılmaktadır. Yapı, Çin'deki Winsun şirketi tarafından inşa edilmiş ve basılan elemanlar monte edilmek üzere Dubai'ye

gönderilmiştir. Çin'de 36.5 metre uzunluğunda bir üç boyutlu yazıcı, 2600 metrekarelik bir ofis alanına sahip olan yapıyı basmıştır. Tasarım Dubai merkezli Gensler adlı mimarlık firması tarafından yapılmıştır. Bir çizgi film karakterinin Flintstone'daki Bedrock adlı tematik binası tasarıma ilham vermiştir. Gensler, ofise geleneksel inşaat yerine üç boyutlu baskının işçilik maliyetinde %80, inşaat atıklarında yüzde%60'a varan tasarruf sağladığını belirtmiştir (Shaunacy Ferro, 2016).



Resim 4.9: Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri'nde üç boyutlu beton baskılı ofis (URL63)

Ofisin baskısı 17 gün sürmüştü ve sadece iki gün içinde Dubai'nin merkezindeki Emirates Towers'ın altındaki bir yere kurulmuştur. İnşaat hizmetleri, iç mekanlar ve peyzaj ile ilgili müteakip çalışmalar yaklaşık üç ayda tamamlanmıştır. Vakıf, 250 metrekarelik binanın iç kısmının yaratıcı müzakereleri, sessiz sunum çalışmaları ve toplantıları bir araya getirmek için tasarlandığını söylemektedir (URL63).

Bina aynı zamanda enerji tasarruflu olarak tasarlanmıştır. Güneş enerjisiyle ısıtmayı en aza indirmektedir. Klima ve aydınlatma ihtiyacını azaltmaktadır. Diğer sürdürülebilirlik özellikleri arasında yüzde 100 LED aydınlatma, duyarlı bina sistemleri, yeşil peyzaj ve düşük enerjili klima ve soğutma bulunmaktadır (URL63).



Resim 4.10. Dubai'deki üç boyutlu ofisin içinden bir görünüm (URL64)

Her türlü üç boyutlu baskı için küresel pazarın 2023 yılına kadar yaklaşık 32.78 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Hükümetler bu yüksek teknoloji ile ilgili büyümeden paylarını kazanmak için yeterli çaba gösterip göstermediklerini kendilerine sormak zorundadır (URL64).



Resim 4.11. Dubai'deki üç boyutlu ofisin içinden bir görünüm (URL63)

Bina, 27 Nisan 2016'da başlatılan Dubai'nin üç boyutlu baskı stratejisinin bir girişimidir. Gelecekte üç boyutlu baskılı binaların geliştirilmesine odaklanarak, insanların BAE'deki yaşamlarını iyileştirmeye odaklanmıştır. Strateji, BAE'in binalarının % 25'inde 2030'a kadar üç boyutlu baskı kullanmasını hedeflemektedir (URL64).

- **Vinci İnşaat ve XtreeE:** Fransız inşaat firması Vinci inşaat, iklim kontrollü stadyumlardan siklonlara ve taşkınlara dayanacak şekilde tasarlanmış köprülere kadar uzanan geniş bir proje portföyüne sahiptir. Şirket, gelişmiş üç boyutlu baskılı beton yapılar üretmek için Fransız üç boyutlu baskı çözümleri başlangıcı olan XtreeE ile işbirliği yapmıştır (URL65). Fransızların üç boyutlu baskı uygulamaları açısından önemli bir projedir. Ortak çalışmalar sayesinde büyük üç boyutlu baskı konusunda uzmanlaşma sağlanmış ve şu anda etkileyici üç boyutlu baskı beton projeleri üretmek için Dassault Systems 3DExperience laboratuvarında çalışılmaktadır. Vinci inşaatları, XtreeE'nin üç boyutlu baskı uzmanlığından yararlanarak inşaat endüstrisine ileri teknoloji konusunda öncülük etmektedir (URL66).

Vinci inşaatlarının başkanı Jerome Stubler, üç boyutlu baskının inşaat sektörü için devrim niteliğinde bir potansiyel sunduğunu ve Vinci İnşaat'ın bunu tanıtmaya hamlesinin öncülüğünü yapmayı planladığını ve XtreeE ile olan bu ortaklığın inşaat sektöründe yenilik yapma dürtüsünün bir başka örneği olduğunu belirtmiştir (URL66).



Resim 4.12: Fransa'da Vinci inşaat ve XtreeE tarafından üretilen üç boyutlu beton baskılı eserler (URL65)

- **Loughborough Üniversitesi:** İngiltere'deki Loughborough Üniversitesi'nde Dr. Richard Buswell tarafından yürütülen araştırma ekibi, 2014 yılından beri tam ölçekli inşaat ve mimari bileşenlerin üretimi için patentli bir 3DBB (Üç Boyutlu Beton Baskı) teknolojisi geliştirmektedir. Teknoloji, beton elemanlarda mimari özellikler oluşturmakta ve inşaat atıkları ile düşük maliyetle karmaşık cephe panelleri üretmektedir (URL68). Diğer uygulamalar gibi bu projede İngiltere'de hayata geçirilen bir diğer üç boyutlu baskı uygulamasıdır.



Resim 4.13: Loughborough University, İngiltere'de 3DBB modeli (URL67)

Yüksek performansla basılan üç boyutlu beton elemanları,  $100 \text{ N/mm}^2$ 'ye kadar yüksek bir basınç dayanımına ve  $10 \text{ N/mm}^2$ 'lik doğal bir çekme dayanımına sahiptir. Beton üç boyutlu yazıcının baskı hızı saniyede 600 mm'dir. Baskı tekniği bazı prototiplerde test edilmiş ve sürekli artan karmaşık bina tasarımları ve hizmetlerini kolaylaştırmıştır (Gardiner, 2011). Yapılan testler sayesinde üç boyutlu baskısı yapılan parçaların çekme ve basınç dayanımı değerleri öğrenilebilmek ve farklı projelerde basılan parçalarla kıyaslanması mümkün olabilmektedir.

- **MX3D:** Hollandalı bir Robotik Katkı Maddesi Üretimi (RAM) geliştiricisi, Hollanda'nın Amsterdam kentindeki Oudezijds Achterburgwal kanalının üzerine 12 metre uzunluğunda üç boyutlu baskılı çelik köprü inşa etmektedir.

Şirket, köprünün yerinde inşa edileceği projekonusunda çalışmaktadır (URL69). Şirket köprüyü üç boyutlu olarak basmayı ve kanal boyunca birleştirmeyi tercih etmiştir. Proje türünün ilk örneği ve ince ayarlı metal kaplama teknolojisi süreci, daha büyük boyutlu katkı maddelerinin üretimini gerçekleştirmeyi başarmıştır (Shahrubudin ve diğerleri, 2019).



Resim 4.14: Hollanda'da MX3D ile devam eden üç boyutlu çelik baskılı köprüsü (URL70)

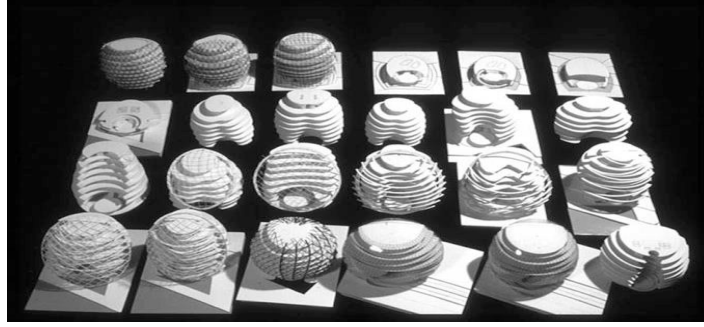
2019 yılının başlarında kullanılmaya başlanan bu projenin tasarım ve uygulamasında birçok kurum ve şirket birlikte çalışmıştır (URL70). Büyük boyutlu mimari yapıların daha kısa zamanda hayata geçirilmesi geleneksel yöntemlerle hedeflerin gerçekleşmesine imkan tanımaktadır.

#### **4.2.2 Geri Dönüşümlü Malzemeler Kullanarak Üç Boyutlu Yazıcı Uygulamaları**

İnşaat endüstrisinde, üç boyutlu yazıcılar, üç boyutlu modeller, prototipler, peyzaj tuğlaları dekoratif elemanlar gibi küçük yapı bileşenlerini oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu teknoloji ile uygulayıcılar, tasarımın her aşamasında ölçekleme modellerini daha hızlı ve ekonomik bir şekilde oluşturmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar, mimarlara daha iyi görselleştirme, ölçeklendirilmiş modellerde uygulanan rüzgar, ses, stabilite gibi testler yoluyla optimizasyon sağlamaktadır (URL71). Bu avantajları ile birlikte mimaride önemli ilerlemeler kaydedilmesini kolaylaştırmıştır.

Foster ve Partners tarafından tasarlanan London City Hall'ın üç boyutlu modelleri (Resim 4.15) form bulma sürecinde baskı teknolojilerinin ortaya koyan örneklerden biridir. Özellikle üç boyutlu yazıcıların tasarımcılara sunduğu kesintisiz üretim ve bu teknolojileri kullanmanın yenilikçi bir yolunu sağlamıştır (Oosterhuis, 2004). Geliştirilen teknoloji tasarımcılara üretim esnasında karşılaştıkları bazı zorlukların üstesinden gelmesini kolaylaştırmıştır.





Resim 4.15: Londra Belediye Sarayı'nın üç boyutlu modelleri (Abel, 2004)

Bu bağlamda çalışmada, üç boyutlu baskı teknolojileri ile ilgili örnekler aşağıdaki gibidir:

- **İngiltere'deki 6 Bevis Marks Binasının ETFE Plastik Çatı Kanopisi:** Londra'da 6 Bevis Marks ofis binasının çatısında gölgelik için dekoratif bir çelik kılıf (Resim 4.16) geliştirilmiştir. Projenin mimarı olan Priestman, bunun inşaat sektöründe belirli bir kullanım için dünyanın ilk üç boyutlu baskılı bileşeni olduğunu ifade etmiştir (URL72). Spesifik parçaların da üç boyutlu yazıcılar sayesinde üretilmesi yeni bir gelişme olarak karşımıza çıkmaktadır. Parçalar, binanın sütunları ve kanopinin kolları arasında karmaşık bağlantılar oluşturmaktadır (URL73).



Resim 4.16: Kanopi kılıfı (URL72)

Munn ve Soebarto (2004)'e göre çoğu malzeme geri dönüştürülebilir özelliktedir ve % 100 çelik ve alüminyumun geri dönüşümü mümkündür. Geri dönüşüm, çeliğin enerjisini %72, alüminyumun ise %95 azaltır (URL72). Bu açıdan, her tür erimiş metali kullanma kabiliyetlerinden dolayı, üç boyutlu yazıcılar inşaatta sürdürülebilirlik sağlama potansiyeline sahiptir.

- **Üç Boyutlu Baskılı Evler, Çin:** Winsun New Materials şirketinin Çin'deki bir tedarikçisi günde 10 ev basmanın bir yolunu geliştirmiştir (URL74). Atılan inşaat malzemeleri ve çimentodan katmanlı bir kombinasyon üreten özel bir

üç boyutlu yazıcı, bu teknolojinin geri dönüşüm için kullanılabilceğini göstermektedir. Oberti ve Plantamura (2015)'a göre, basılan her bina üç boyutlu baskılı duvarlardan ve temellerden yapılmış, çatıları ise metal konstrüksiyondan yapılmıştır. Tüm bu parçaların geri dönüşüm malzemelerinden basılması önemli bir farklılıktır. Winsun, 2002'den beri GRG, SRC, Crazy Magic Stone, FRP, inşaat baskı mürekkebi ve üç boyutlu baskı mimarisi gibi üç boyutlu baskı teknolojisini kullanan bir dizi yeni malzeme geliştirmiştir (URL75). Bunlar;

2002 yılında Winsun, Çin'de GRG'yi (Özel cam elyaf takviyeli alçıpan) ve Çin SRC'yi (Özel cam elyaf takviyeli çimento) ve FRP'yi (Özel cam elyaf kompozit malzeme) icat eden ilk şirkettir. 2007 yılında Winsun, dünyada üç boyutlu baskı çığırın sihirli taşı (doğanın ötesine geçen doğal taş) 2008 - 2014 yıllarında Winsun, dünyada 3D baskı evini inşa eden ilk şirketlerdir (URL75).



Resim 4.17. Winsun şirketinin çok katlı projelerinden örnek (URL75)

Winsun üç boyutlu baskı teknolojisi kentsel katı atık, çelik tesisi katı atık, enerji santrali katı atık, kömür kimyasal katı atık kullanmaktadır. Bu sayede doğayı korumayı amaçlamaktadır. Winsun üç boyutlu baskı teknolojisi, kentsel binalar, çelik tesisleri, kömür kimya endüstrisi ve enerji santrallerinden gelen katı atıkları sınıflandırabilir ve daha sonra granülasyon ile öğütebilmektedir. Üç boyutlu baskı yapı mürekkebiyle karıştırılabilmektedir. Basılı duvarın sıklığı, geleneksel beton C30 duvarından daha az değildir. Ayrıca, materyal, profesyonel kurumların çevresel değerlendirmesi yoluyla çevre dostu ve zararsız olarak adlandırılmıştır. Her binanın elemanları (Resim 4.17) bir fabrikada basılmakta ve ardından montaj için sahada taşınmaktadır. Mega projeleri ve yükselen gökdelenlere sahip olan Çin'in birçok şehrinde, ülke nüfusu hızla kentleşmeye devam

etmektedir. Bu çözüm kentleşme sorunu için umut vadetmektedir (URL75). Özellikle Çin gibi insan nüfusunun sürekli arttığı bir ülkede konut talebini, daha düşük maliyet ve insan gücüyle karşılamak önemli bir gelişmedir.



Resim 4.18: Atık betondan yapılmış 3 boyutlu basılmış ev (URL75)

Winsun, büyük tiyatro, stadyum, konferans salonu, ticaret kompleksi, üst düzey kulüp, otel, endüstri parkı gibi büyük ölçekli kamu binalarının inşaatı ve dekorasyonuna odaklanmaktadır.



Resim 4.19. Winsun geri dönüşüm atıklarından inşa ettiği bir ev örneği (URL76)

Bugüne kadar Winsun, çoğu Dubai’de olmak üzere çeşitli tiplerde 100’den fazla ev satmıştır. Dubai hükümeti ayrıca yakın zamanda üç boyutlu baskı kullanarak 17 ofis binası inşa etmek için Winsun ile sözleşme yapmıştır (URL76). Ancak, şirketin potansiyeline ulaşması için bazı kilit zorlukların ele alınması gerekmektedir. Birincisi, üç boyutlu baskının inşaatı benimsenmesinin önündeki temel engel tasarımcıların, proje geliştiricilerin, hükümetlerin ve son kullanıcıların şüpheciligidir. Örneğin, şirket, yaklaşık 200.000 metrekarelik bir alana sahip, Şangay yakınlarında 100 metreden daha yüksek bir gösteri binası inşa etmeyi planlamaktadır. Ayrıca, teknolojisinin güvenilirliğini artırmak için AECOM gibi birçok büyük anahtar teslimi inşaat şirketi ile ortaklıklar kurmaktadır (URL76). İkincisi, inşaat sektöründe üç boyutlu baskı için açık düzenlemelerin eksikliği bulunmaktadır. Endüstri, belirli bir dizi bina kodu ve tedarik standardına uymakta ve bu kod ve standartların çoğu üç boyutlu baskıdan bahsetmemektedir. Bu sorunu çözmek için Winsun, mevcut bina kodlarını değiştirmek için Çin’in ulusal inşaat departmanı ile yakın bir şekilde çalışmalar sürdürmektedir.

- **Huashang Tengda şirketi:** Pekin'deki Çin Huashang Tengda şirketi yakın zamanda, tesiste tüm 400 m<sup>2</sup>'lik bir villayı 45 gün içinde üç boyutlu (Resim 4.20) olarak basmayı başarmıştır. Winsun şirketinin aksine, Huashang Tengda şirketi, bir evin tamamını tek seferde basmayı sağlayan bir işlem kullanmaktadır. Konvansiyonel çelik donatı ve sıhhi tesisat borularını içeren evin çerçevesi ilk olarak dikilmiştir. Ardından, sıradan C30 sınıfı beton içeren kaba agregalar, yeni bir nozul tasarımı ve devasa üç boyutlu yazıcısı kullanılarak çerçeve üzerine ve inşaat demiri etrafına ekstrüze edilmiştir (URL76). Başka bir işlem gerektirmeden sadece üç boyutlu yazıcıların inşa ettiği bir ev ilk defa karşılaşılan bir durumdur. Huashang Tengda projesi, yapısal betonun üç boyutlu ile basılması halinde konvansiyonel çelik takviyelerin birleştirilmesinde Üç Boyutlu Beton Baskı (3DBB)'nin en büyük zorluklarından birini ortadan kaldırıyor gibi görünmektedir. Şirket, iki katlı villanın Richter ölçeğinde 8.0 seviyesindeki bir depremde dayanıklı olduğunu iddia etmektedir. Dev üç boyutlu yazıcılarında, aynı anda donatı demirlerinin her iki tarafına da beton döşeyen (Resim 4.20) donatı duvarları sıkıca kaplayan çatal uçlu bir ağız bulunmaktadır (Nematollahi ve diğerleri, 2017).



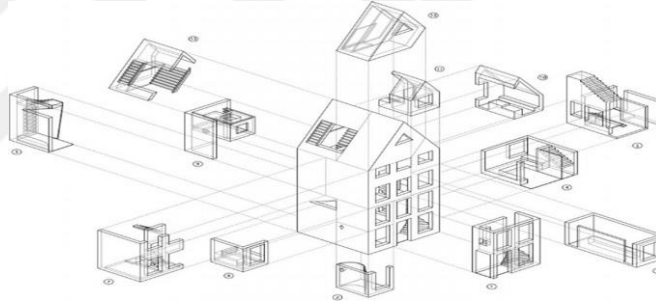
Resim4.20: Huashang Tengda şirketi tarafından basılan iki katlı villa ve dev üç boyutlu yazıcının yeni nozulu (URL76)

- **Üç Boyutlu Kanal Evi, Hollanda:** Print Canal House (Resim 4.21), Amsterdam'da, DUS Architects tarafından gerçekleştirilen ve mimaride üç boyutlu baskı olanaklarını inceleyen bir araştırma projesidir (URL77). Projelerin amacı 13 odalı bir gösteri evi oluşturmaktır. KamerMaker adlı özel bir üç boyutlu yazıcı, Canal yakınlarındaki bir nakliye konteynırı içine yerleştirilmiştir (Van der Veen, 2014). Projeye bilgi ve mali yollarla katkıda bulunan tüm ortaklar tarafından toplu olarak finanse edilmektedir (URL78). Finansmanın tüm ortaklar tarafından sağlanması gelişmenin daha hızlı olması için ciddi bir katalizördür.



Resim 4.21: Projenin genel görünümü (URL78)

Yazıcı, biyo-plastik elyaf ve %80 bitkisel yağ karışımından duvar bileşenleri oluşturulmuştur. Daha sonra duvar bileşenleri birbirine kenetlenir ve yapısal dayanım sağlamak için biyo-beton ile doldurulmuştur (Van der Veen, 2014). Projenin hayata geçirilmesi esnasında geri dönüşüm malzemelerinin üretimde kullanılıyor olması (Şekil 4.1) önemli bir katkı sunmaktadır. Projede kullanılan tüm malzemelerin geri dönüştürülebilir olması önemlidir. Girişimci bir bina projesi olarak, bina endüstrisinde dünya çapında yeni özel konut çözümleri sunma potansiyeline sahiptir (URL78; Van der Veen, 2014).

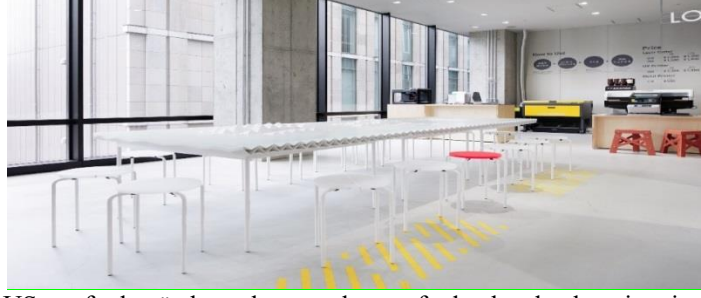


Şekil 4.1: Modelin ayrışması (URL79)

### 4.2.3 Üç Boyutlu Yazıcılar ve İç Mimaride Kullanım Alanları

Eklemeli üretim olarak da bilinen üç boyutlu baskı, dijital üç boyutlu modelleri katmanlar halinde oluşturarak katı nesnelere dönüştürmektedir. Üç boyutlu baskı teknolojisi ilk olarak 1980'lerde icat edilmiş ve o zamandan beri günlük hayatta, mimari ve iç mimari uygulama alanları bulmuştur. Mimari firma DUS, mimari üç boyutlu baskı konusunda geniş bir uzmanlığa sahiptir ve uzmanlığını günümüzde iç mekanlara ve perakende alanlarına uygulamaktadır. Bir mobilyanın işlevselliğini, perakende ortamında tüketici için yeni deneyimleri çerçeveleyen ifade parçaları, özel odak noktaları oluşturmak için farklı form özellikleriyle ilişkilendirebilir (URL79). Tokyo Ginza'daki yeni Loft Flagship mağazasının iç tasarımı, DUS'un özel, kamusal ve ticari iç mekanlar için üç boyutlu baskılı

çözümler tasarlamaya başladığını göstermektedir. Üç boyutlu baskı, farklı tasarım alternatiflerine örnektir.



Resim 4.22. DUS tarafından üç boyutlu yazıcılar tarafından basılan bazı iç mimaride kullanılan eşyalar (URL79)

Dijital tasarım ve üretim nedeniyle tasarım süreci hızlı ve esnektir. Müşteriyle dijital olarak paylaşılan ve daha sonra üç boyutlu nihai formlarında basılan türden ürünler hayata geçirilmektedir. Baskıların bir biyoplastik ile yapıldığı ve süreçte neredeyse hiç atık olmadığı için yüksek düzeyde sürdürülebilir üretim imkanı oluşmaktadır. DUS, her ürün kategorisinden öne çıkan 6 yeni mobilya tipolojisi geliştirmiştir. DUS, üç boyutlu baskıları geleneksel tekniklerden etkilenen yeni ve bilinen malzemelerle birleştirerek tamamen yeni işlevler ve dokunsal özellikler ortaya çıkarmaktadır.



Resim 4.23 Tokyo Ginza'daki yeni Loft Flagship mağazasının iç mimarisinde kullanılan üç boyutlu eşyalar (URL79)

Mimar Brian Peters, mimarlık stüdyosu Design Lab Workshop'un kurucu ortağıdır ve şu anda tam ölçekli yapılar yapmak için büyük bir üç boyutlu yazıcı oluşturmak için DUS Architects ile birlikte çalışmaktadır. İç mimari yapıların inşa edilmesine yardımcı olmak ve seramik tuğlalar üretmek için bir masaüstü üç boyutlu yazıcısı uyarlamıştır. Üç boyutlu yazıcıdan bazı mobilyalar tasarlamaya başlamıştır (URL80). İngiltere firması Cohda'nın kurucusu olan tasarımcı Richard Little, ikili bir mobilya koleksiyonunu üç boyutlu yazdırmıştır. Freedom of Creative

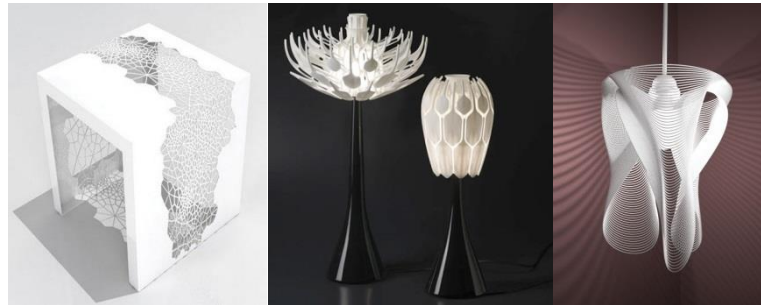
(FOC) tarafından basılan ikili masa, mobilya tasarım sürecinde 1960'ların Spirograph oyuncağının prensiplerini üç boyutlu baskı ile birleştirmektedir.



Resim 4.24 Üç boyutlu basılan bir masa ve sandalye (URL80)

İsveç 3D baskı tasarım stüdyosu Front, müşterilerin kendi mobilya tasarımlarının kaba bir taslağını yapmalarına ve bu kaba taslağı hayata geçirmelerine olanak tanıyan bir 'Sketch' mobilya hattı da oluşturmuştur. Eskizleri kaydederek, çizimler üç boyutlu dijital dosyalara dönüştürülür ve daha sonra üç boyutlu, sandalye gibi gerçek mobilya olarak yazdırılmaktadır. (URL81).

Üç boyutlu baskının ev mobilyası tasarımının estetikve tasarımını biraraya getirebilen özelliği de bulunmaktadır. Arktura için Chris Kabatsi tarafından tasarlanan Hive Side sehpaşı çelikten karmaşık, hücresel deseni oluşturmak için bir lazer kesim işlemi kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan derinlemesine tasarım süreci yerine tek parça olarak basılması, maliyet etkin, hızlı üretilen üç boyutlu baskılı prototiplerine uygun tasarım seçeneği olabileceği anlamına gelmektedir.



Resim 4.25 Üç boyutlu olarak basılan sehpa ve lambalar (URL81)

İç mimaride üç boyutlu eşyaların basıldığı bir diğer alan ise aydınlatmadır. Patrick Jouin tarafından tasarlanan ve Materialize tarafından üretilen Bloom aydınlatma tasarımı, geleneksel zanaat eserlerini modern teknolojiyle birleştirmektedir. Mafsalı gölge, çiçek açan bir lotus çiçeği gibi görünmek için açılmakta ve kapanmaktadır. Bloom, gölge dahil olmak üzere tek parça halinde üç boyutlu basılmıştır (URL82). Hyphae Lambaları, yapraklarda damarların nasıl

oluştduğundan esinlenen bir dizi üretken lambadır. Üç boyutlu baskı ile üretilmeden önce dijital olarak simüle edilen bir lamba tasarımıdır. Herhangi bir doğal şekli ya da deseni kopyalamadan doğal yaprak, mercan ve kökleri çağrıştırmaktadır (URL83).

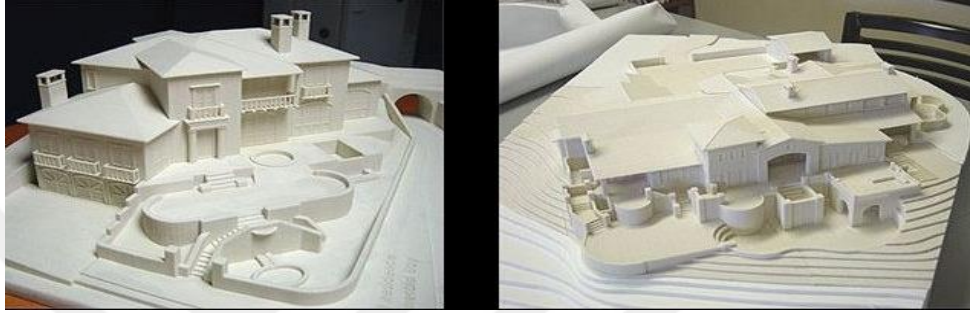
#### 4.2.4 Türkiye’ de Üç Boyutlu Baskı ile Mimari Modelleme Örnekleri

Türkiye’de üç boyutlu yazıcı kullanımı ev tipi olarak nitelendiren üç boyutlu yazıcı tipleri farklı modellerde ve niteliklerde üretilmeye başlamıştır (URL83). Önemli pazar araştırmaları ve sektörel analizler gerçekleştiren ReportsnReports’un yayınladığı çalışmalarda pazarın giderek büyüdüğü bu konuda oluşan talebin yükseldiğini belirtmektedir. Idtechex araştırmalarında, üç boyutlu yazıcılar ve katkı maddelerinin satış hacimleri değerlendirilmiştir. (URL84).2017 yılına kadar her yıl için yüzde %20 büyüme ile yılda yaklaşık 5 milyar dolar öngörülmektedir. Bu pazarda yeni teknolojilerin eklenmesi ve katkı malzemelerin fiyatlarındaki azalma pazar oranını yükseltmektedir. Üç boyutlu baskı hızlarının artmasını sağlayan teknolojik yeniliklerin doğrudan üretimi artıran bir unsur olarak görülmektedir (Şahin ve Turan, 2018). Diğer taraftan tüketici baskılarının da arttığını belirten raporda masaüstü üç boyutlu yazıcıların fiyatlarının azalması ile tüketicilerin, küçük işletmelerin, ev matbaacılarının satın alma eğiliminin artacağı da öngörülmektedir. Üç boyutlu baskı ile üretimini önümüzdeki yıllarda artarak devam edeceği kullanım oranının düşük olduğu ülkelerde ve bölgelerde pazar payında ciddi artışlar gözleneceği beklenmektedir (Şahin ve Turan, 2018). Bununla birlikte bu teknolojiyi sanayi kullanıcılarının yanı sıra ev tipi, masa üstü yazıcılar olarak kullanılabilmesi için yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Ham madde birim fiyatlarının, masa üstü tipi yazıcıların daha geniş kitlelere uygun fiyatlarla sunulmasının sağlanması pazar payında bahsi geçen ilerleme oranını artıracaklarını göstermektedir. Teknoloji transferi ve üretimi önemli olduğu kadar, teknolojinin kendisinin de geliştirilmesi ve üretilmesi üç boyutlu yazıcılarının kullanımının yanında teknik destek, servis ve bakım maliyetlerine de etkili bir katkı sağlamaktır (Şahin ve Turan, 2018). Cihazların tedariki ve Türkiye’de resmi olarak satışı için bir firmanın çalışma gerçekleştirdiği görülmektedir. Bazı firmalar sadece çevrimiçi ortamda üç boyutlu yazıcı satışı gerçekleştirirken bazı firmalar bu konuda özelleşmiş konsept mağazalar açarak konuya olan ilgiyi değerlendirme gayretindedir.



Bu tip firmalara örnek olarak 3bfab (URL85) ve 3Dörtgen (URL86) verilebilir. Yazıcıların üretim gücüne yönelik çeşitli girişimlerde bulunmaktadır. Bu girişimler sayesinde, kullanıcılar çevrimiçi ortam üzerinden üretimini istediklerini modellerin sayısal formattaki halini yollayıp üç boyutlu yazıcıdan üretim yaptırabilmektedir. Bu iş sürecini en iyi sayısal ortama aktaran örneklerden biri Formhane adlı projedir (URL87).Türkiye’de üç boyutlu yazıcı örnekleri çoğunlukla Zcorp üç boyutlu yazıcılar mimari modelleme için kullanılmaktadır.



Resim4.26: Basılan mimari model örnekleri (URL88)

Resim 4.31’deki modeller Yüksel Model tarafından tasarlanmıştır (URL88). Türkiye’deki üç boyutlu baskı uygulamaları günümüzde daha model yapı tasarımı aşamasında kalmıştır. Zamanla mimari yapı basma aşamasına gelmesi beklenmektedir. Resim 4.32’deki ve Resim 4.33’deki görülen modeller Erkan Kapucu tarafından tasarlanmış ve üretilmiştir (URL89). Model yapı tasarımı örnekleri Türkiye’de de üç boyutlu baskı projelerinin yapılabileceğini fakat şirketlerin bu konuda yatırım yapmaları gerektiğini göstermektedir.



Resim 4.27:Bitmiş bir Cami veBanka Binası Modeli (URL89)

Türk Devleti ya da Avrupa Topluluğu Projesi fonlarının desteğiyle, birçok teknik üniversite kendi üç boyutlu yazıcılarını kurmuştur. Her ikisi de endüstriyel eğitim, araştırma projeleri için kullanılmaktadır. Türkiye’de üç boyutlu baskı

teknolojileri, malzemeleri ve yazılımları hakkında çok az temel araştırma yapılmıştır. Ancak endüstrideki üç boyutlu baskı uygulamaları hakkında daha fazla çalışma yapılmaktadır.

Üç boyutlu yazıcıların eğitim alanında uygulanmasına yönelik olarak yurtiçinde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde bu teknolojinin eğitim ortamlarında kullanıldığı görülmektedir. ABD'nin Utah eyaletinde 2014 yılında düzenlenen Uluslararası Roket Mühendisliği Yarışması (IREC) için İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesinin ürettiği roketin yapımında bazı parçalar eksik kalmıştır. Bu eksik parçaların üretiminde ise üç boyutlu yazıcılardan faydalanılmış ve üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile geliştirilen roket fırlatılabilmektedir (URL90).

Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünde 2015 yılında üç boyutlu yazıcıların kullanım alanı ve üç boyutlu yazıcılar ile neler yapılabileceğine ilişkin bir seminer gerçekleştirilmiştir (URL91). Üç boyutlu yazıcının önemini vurgulayan bir diğer çalışma ise 2015 yılında Gedik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından gerçekleştirilen seminer etkinliğidir. Uludağ Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Çukurova Üniversitesi üç boyutlu yazıcıları eğitimleri sürecinde kullanan üniversitelerden bazılarıdır. Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu 2007 yılından beri öğrencilerin tasarımlarını üç boyutlu yazıcılar ile üretebilmelerine imkân sağlamaktadır (URL92). Üç boyutlu yazıcılar ile Makine Mühendisliği öğrencileri otomotiv yedek parça tasarımı, Mimarlık bölümü öğrencileri bina tasarımı, Şehir Bölge Planlama öğrencileri şehir tasarımı, harita mühendisliği öğrencileri coğrafik modelleri somut birer obje olarak üretebilmektedir (URL93).

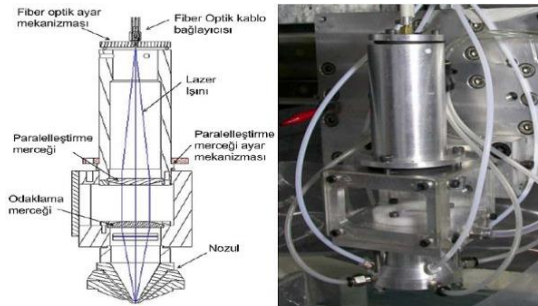
Türkiye'nin ilk üç boyutlu yazıcısı için modelleme yazılımı olan Cubinter ile 4-13 yaş arasındaki çocuklar üç boyutlu modelleme ve üç boyutlu yazıcı ile tanışmıştır. Böylece çocuklara sadece üç boyutlu modelleme yapmayı öğretmekle kalmayıp aynı zamanda, Cubinter ile modelledikleri objeleri üç boyutlu yazıcı aracılığıyla üreterek öğretim programı desteği sağlamayı hedeflemişlerdir. Cubinter çocukların Lego uygulamalarında olduğu gibi küp ekleyip çıkarma yöntemi ile modellemeyi öğrenmelerini sağlamaktadır. Böylece çocuklar, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle tanışırken üç boyutlu modellemeyi ve oyunla öğrenme imkânını da yakalamaktadır. Cubinter uygulamasına Özyeğin Üniversitesi girişim hızlandırma programı ile destek sağlanmıştır (URL94).

Doğa Koleji okulları tarafından da üç boyutlu yazıcıların Türkiye'de eğitim alanında kullanılması desteklenmiştir. Microsoft temsilcileri de Doğa Tuzla Kampüsü'ne gerçekleştirdikleri ziyaretlerde üç boyutlu eğitim sınıflarında üç boyutlu içerikli derslere katılmış ve üç boyutlu tasarım atölyelerinde öğrencilerin tasarımlarını üç boyutlu yazıcılar ile somut hale getirmeleri sürecini gözlemlemiştir. Microsoft temsilcileri bunun gibi üç boyutlu tasarım sınıflarının ülkenin geleceğine yapılan en iyi AR-GE (araştırma geliştirme) yatırımı olarak tanımlamışlardır. Bu sayede Microsoft temsilcileri tarafından da üç boyutlu yazıcıların eğitimde kullanılmasının önemi ve gerekliliği vurgulanmıştır (URL95). Ayrıca Bursa'da Endüstri Meslek Lisesi Makina Ressamlığı Bölümü öğretmenleri üç boyutlu yazıcı ile kişiye özel vücutla uyumlu olan dış protez üretmeyi başarmıştır. Üç boyutlu yazıcı örneği olarak Gaziantep Üniversitesi'nde eğitim amaçlı PC kontrollü FDM tipi üç boyutlu yazıcı üretilmiştir (URL96)



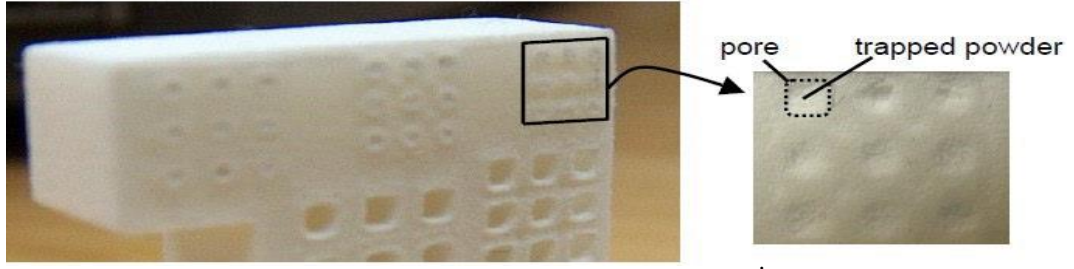
Resim 4.28:PC kontrollü 3D Yazıcı (FDM) (URL96)

Resim 4.29'da görülen model, devlet destekli bir araştırma projesi olarak Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde yapılmıştır (Ermurat ve diğerleri, 2006).



Resim 4.29:Lazer destekli direkt metal parça imalat sistemi (LADMPF) (Ermurat ve diğerleri, 2006)

Ankara'da Orta Doğu Teknik Üniversitesi tarafından SLS teknolojisi ile üretilen gözenekli yapılar üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır (İlkgün ve diğerleri, 2004; Erdal ve diğerleri, 2006).



Resim 4.30: Bir test kısmında 1 mm gözeneklerde sıkıştırılmış toz (İlkgün ve diğerleri, 2004)

Ankara’da Gazi Üniversitesi, askeri elektronik tasarım ve üretim şirketi ASELSAN’ın desteğiyle bakır kaplı stereolitografik EDM elektrotları üzerinde bazı araştırmalar yapılmıştır (Anıl ve diğerleri, 2006).



Resim 4.31: Testten önce bakır kaplı stereolitografik elektrot (Anıl ve diğerleri, 2006)

Türkiye, Avrupa’nın en büyük kuyumculuk tasarım ve imalat endüstrisinden birine sahiptir. İlk Solidscape sistemleri 1998 yılında mücevher şirketleri tarafından satın alınmıştır. Firmalara takı 3D CAD yazılımı (özellikle JewelCAD) benimsemek çok çaba harcamasına ve zaman almasına rağmen (6 yıl), bundan sonra birçok şirket üç boyutlu yazıcıları satın almıştır. Türk Takı Firmaları tarafından 3D Systems Viper, ThermoJet, Envisiontec/Perfactory ve Meiko LC 510 gibi diğer üç boyutlu yazıcı sistemleri de kullanılmaktadır. Kuyumculuk üreticilerinden ikisi GOLDAŞ ve Favori, en fazla kurulu üç boyutlu yazıcı ile Türk Kuyumculuk Sektörüne öncülük etmektedir. Tablo 4.1’ de iki firmanın sahip olduğu üç boyutlu yazıcılar özetlenmektedir.

**Tablo 4.1:** Üç boyutlu yazıcı kullanan firmalar ve kullanılan üç boyutlu yazıcılar

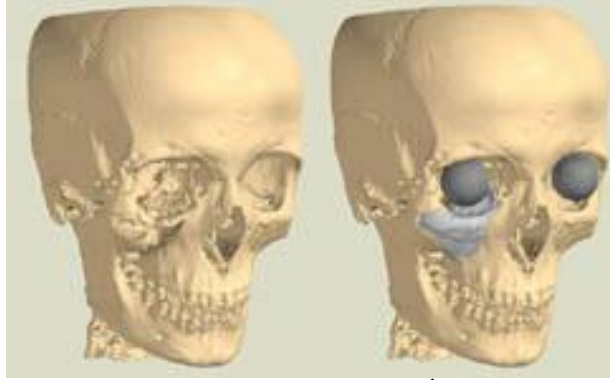
Şirket	Kullanılan üç boyutlu yazıcılar
Favori, İstanbul www.favori.com.tr	1 x Meiko LC 510 3 x Solidscape ModelMaker II 3 x Solidscape/ PatternMaster 2 x Solidscape/ T66 1 x 3D Systems ProJet
GOLDAS, İstanbul www.goldas.com www.molddsign.com	3D Systems SLA Viper 3D Systems ThermoJet Solidscape/ PatternMaster EOS EOSINT M 250 Xtended



Resim 4.32:SLA Viper'dan gümüş yüzük modelleri (URL97)

Resim 4.32 GOLDAŞ tarafından kendi 3D Systems Viper'ıyla yapılan modele aittir (URL97).

2003 yılında Amerikan Hastanesi'nden Cadem A.Ş. ve Opr Dr Sacit Karademir işbirliği ile yapılan ilk tıbbi kraniyofasiyal implant tasarımı, üretimi ve cerrahisi hayata geçirilmiştir (URL98). İmplantın tasarımında Duyarlı Serbest Biçimli Haptik arayüzlü üç boyutlu modelleme sistemi ve balmumu modellerinin üretiminde 3D Systems'in ThermoJet üç boyutlu yazıcısı kullanılmıştır. Titanyum investment dökümünden sonra, implant Dr.Karademir tarafından başarıyla yerleştirilmiştir.



Resim 4.33:Arızalı kafatası (SenSable Serbest Biçimi) ve İmplant modeli (gri kısım) (URL98)

Türkiye’de hızlı büyüyen tıbbi uygulamalar bulunmaktadır. Son yıllarda birçok şirket özellikle üç boyutlu baskı teknolojilerinin tıbbi ve dental uygulamaları için kurulmuştur. Bazıları Tablo 4.2’de listelenmiştir;

**Tablo 4.2:** Medikal Firmaları Ve Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcılar

Tıbbi hizmet büroları	Kullanılan üç boyutlu yazıcılar
4C Medikal www.4cmedikal.com.tr	Z Corp.
Hofmann Türk www.hofmannturk.com	Concept Laser GmbH M1 Kaynaştırma
Ay Tasarım / Medikal http://med.aytasarim.com	Envisiontec PERFACTORY
MedCAM www.medikalmodel.com	3D Systems SLA 250
ProMedART www.ProMedART.com	3D Yazıcılar dış kaynaklı
Yüksel Model Ltd. www.yukselmodel.com	Z Corp. Spectrum Z510 System

3D Baskı ve CAD/CAM teknolojilerinin tıbbi uygulamaları Türkiye’de son yıllarda hızla ilerlemektedir. Günümüzde birçok yönden benzer şekilde Avrupa veya ABD şirketleriyle kolayca rekabet edebilir hale gelmiştir.

### 4.3 Bölüm Değerlendirmesi

Üç boyutlu yazıcıların mimari alanda kullanılmasıyla birlikte robotik teknolojinin önemi daha da hissedilmeye başlamıştır. Üç boyutlu yazıcılar ve robotik

sistemler yardımıyla mimari alanda birçok yeni çalışma yapılmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi başlangıçta yüksek maliyet ve uzun zaman gerektirdiği için mimariye olumsuz etkisinin olabileceği söz konusu iken zamanla gelişen robotik sistemler ve teknolojilerle birlikte üç boyutlu yazıcıların mimari alandaki kazanımları artmıştır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi her geçen gün kısa sürede daha ucuz maliyetler ortaya koyarak avantajlı hale gelmeyi başarmış ve birçok mimari projede kullanılmaya başlamıştır. Geleneksel imalat yöntemlerine kıyasla meydana getirilen yapının daha kısa sürede ve makine gücünden faydalanılarak tamamlanması büyük avantaj olmasının yanı sıra insan sağlığı ve iş güvenliği açısından da olumlu yönde katkısının olduğunu söylemek mümkündür. Genel olarak üç boyutlu yazıcılar olumsuz düşüncelere rağmen mimariye farklı birçok çözüm ve alternatifler sunmaya devam etmektedir.

Üç boyutlu yazıcıların mimarideki uygulaması beton baskı şeklindedir. Beton baskı için gerekli olan tasarım ve modelleme uygulamada önemli yer tutmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar ile yapılan beton baskı uygulaması öncesi çizim, tasarım ve modelleme süreçlerindeki esneklik üretime doğrudan yansıtılabilmektedir. Modellemesi yapılan karmaşık formların üretiminde belli sınırlar dahilinde üç boyutlu beton baskı imalatı oldukça sorunsuz bir şekilde devam etmektedir.

Üç boyutlu yazıcıların mimari alandaki ilk gelişmelerinde basit tipteki yazıcılar kullanılmıştır. Basit tipteki üç boyutlu yazıcılar ile mimari maket yapımı alanında çalışmalar gerçekleştirilmiş yıllar içindeki gelişmelere paralel olarak daha büyük ölçekli beton baskı yapabilen yazıcıların varlığıyla birlikte bu alanda birçok farklı projeler gerçekleştirilmiştir. Bu süreç devam ederken düzenlenen üç boyutlu beton baskı tekniği ile üretilen yapılar için tasarım yarışmaları düzenlenmiş ve geleceğe yön verecek tasarım ve fikirlerin alt yapısına zemin hazırlanmıştır.

Üç boyutlu mimari beton baskı için geliştirilen teknolojiler, baskı teknikleri ve kullanılan materyaller birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Birbirinden farklı firmaların inşaat sektöründe yapmış olduğu çalışmalar incelendiğinde tasarım başta olmak üzere imalat süresi, imalat kolaylığı, imalat süreleri, işçi sayıları gibi konularda fayda sağlar sonuçlar elde edilmektedir. Beton baskıyla ilgili çalışmalar ilk olarak dünyada Çin'de yapılmış ve beraberinde ABD, Almanya, Hollanda, Fransa ve İtalya gibi ülkelerde devam etmiştir. İnsan hayatını kolaylaştırmak tasarruflu ve çevreci binalar ve yaşam alanları oluşturmak amaçlı yapılan bu projeler üreten-tüketen ilişkisinde oldukça olumlu sonuçlar ortaya çıkartmıştır. Dünyadaki farklı

firmalar tasarımsal olarak esnek üretim hakimiyetini kullanarak karmaşık ve serbest formdaki yapıların inşaa edilebilmesi için çalışmalar yürütmektedir.

Yakın zamanda Winsun New Materials isimli Çin firması üç boyutlu katmanlı üretim teknolojilerini çimento-cam yünü karışımı bir ham madde (flament) kullanarak 24 saat içerisinde 10 adet ev üretmiştir. CAD-CAM yazılımları, malzeme çeşitliliği ve kalitesi hem ticari hem de ev kullanıcısı için fiyat, kullanılabilirlik ve güvenilirlik açısından uygun alternatifler arttıkça bu teknolojiler ev ve ofisler için vazgeçilmez potansiyele sahip olabilecektir. Birçok kullanıcı için yapılması gereken sayısal veriyi internet ağı üzerinden indirerek yazıcıya göndermek ve ürünü elde etmektir. Beraberinde ise kullandıkları baskı malzemelerinde de yenilikler ilave etmeye çalışmaktadır. Bu konuda bazı öncü firmalar daha kısa sürede katılaşabilen beton katkı maddelerinin imalatını sağlamaktadır. Bu durum beraberinde beton katkı maddesi üretimine yardımcı olacak olan hammadenin üretimine olan talebi de artırmaktadır. Dünyadaki bazı imalatçı firmalar üç boyutlu beton baskı yapımında kullanılmak üzere yeni hammaddeler üretmektedir. Üç boyutlu beton baskı teknolojisinin bu durumdan olumlu yönde etkilenmesi beklenmektedir. Çevrecilik faktörü açısından değerlendirildiğinde bu yöndeki çalışmaların geri dönüştürülebilir hammaddeler olarak imal edilmesini mümkün kılan çalışmalar yapılmaktadır. Bu sayede doğaya daha az zarar veren karbon salınımı daha az olan ve çevre dostu hammaddeler bu yapının bir parçası olarak yer almaktadır. Bu durum üç boyutlu beton baskı teknolojileri açısından da olumlu olarak nitelendirilmektedir.

Üç boyutlu baskı teknolojilerinin iç mekan tasarımına etkileri incelendiğinde farklı ve üretilmesi zor formların üretiminde üç boyutlu yazıcıların önemli bir yeri olduğu tespit edilmiştir. Üç boyutlu yazıcıların iç mimari uygulamaları olarak sandalye, masa, aydınlatma elemanları sıklıkla görülür. Bu gibi uygulamalar üç boyutlu yazıcılar ile üretilince hem daha az maliyet, hem daha fazla esnek üretim imkanı tanımaktadır. Dijitalden nihai sonuca giden süreçte tasarımı yapılan iç mekan objelerinin biyoplastik malzeme ile basılması da geri dönüşümlü malzeme açısından avantaj sağlamaktadır.

Günümüzde üç boyutlu yazıcıların mimaride ilerlemesi için farklı ülkeler farklı projeler hayata geçirmektedir. Tüm projelerde yer alan farklı parametrelerde bir yarış olduğu görülmektedir. Çin, Fransa, İngiltere gibi ülkelerdeki farklı şirketler üç boyutlu yazıcılar ile daha az sorunla karşılaştıkları, daha az maliyetli, daha kısa sürede biten projeler hayata geçirmeye çalışmaktadır. Tüm bu ülkelerin yeni



başarıları diğer ülkelerde üç boyutlu yazıcılar ile mimari uygulamalar yapan şirketleri motive etmekte ve daha iyisini yapmaya teşvik etmektedir. Fakat ülkemiz bu konuda günümüz dünyasında biraz geri kalmaktadır.

Türkiye’de üç boyutlu yazıcıların mimari uygulamaları sayısı fazla değildir. Diğer ülkelerde kurulan laboratuvarlar ve firmalar sayesinde geliştirilen projeler göz önünde bulundurulduğunda Türkiye’ nin üç boyutlu yazıcı ile üretim yapma konusunda geride kaldığı görülmektedir. Farklı uygulama alanlarında diğer ülkelerle rekabet edebilir durumda olmak mimari alan uygulayıcıları için fırsata çevrilebilir. Devlet teşviki olarak ayrılan fonların miktarı artırılabilir. Üç boyutlu yazıcıların ve kullanılan malzemelerin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması özel şirketlerin büyük yatırımlar yapmasının önündeki en büyük engellerden birisidir. Teknokentlerdeki küçük şirketler (startup’lar) üç boyutlu yazıcıların mimari uygulamaları hakkında çalışsa da yeterli sayıda şirket ve yeterli sayıda uzman personel bu konuda çalışmamaktadır. Bu şirketlerin ve uzman personel sayısının artırılması için yeni projelerin ve teşviklerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Üç boyutlu yazıcıların mimarlık alanında kullanımıyla ilgili yapılan değerlendirmede; gelecek çalışmaların rekabetçi bir yapıyla hızla ivme göstermesi ve olumlu birçok gelişmenin inşaat sektöründe yer bulması, kişisel ve endüstriyel kullanımların son derece fayda sağlar nitelikte olduğu sonucuna varılmaktadır.

## BÖLÜM 5

### Sonuç

“Üç Boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı” başlıklı tez çalışmasında, üç boyutlu yazıcıların mimari üzerindeki etkileri ve kullanım durumları örnekler aracılığıyla incelenmiştir.

Tarihsel süreç incelendiğinde günümüzde kullanılan üç boyutlu yazıcıların kavramsal olarak başlangıcının yazının icadına kadar dayandığı düşünülmektedir. İnsanoğlunun kendisini en iyi ifade edebilme aracı olan yazı, beraberinde sayısız yenilik ve gelişmelerle birlikte uzun ve kalıcı bir öneme sahip olmuştur. Her aşamada farklı bir ifade biçimiyle karşımıza çıkan bu ifade tipi, basit yazım araçları ve iki boyutlu yazıcılar ile günümüz teknolojisinde kullanılan modern tekniklerle birlikte üç boyutlu yazıcıların temeline kaynak oluşturmuştur.

İnsanoğlunun bilinmezleri keşfetmek için harcadığı çaba sayesinde, devrim niteliği taşıyan buluşlar etkisini farklı alanlarda olduğu gibi endüstri alanında da göstermiştir. I. Endüstri Devriminden günümüze IV. Endüstri Devrimine kadar geçen süreç dahilinde yaşanan birçok önemli olay ve buluş gerçekleştirilmiştir. Bilgisayarlı teknolojilerin yaygın olarak kullanılmaya başladığı yıllarda yazım biçimindeki ifadenin yazıcılar sayesinde daha hızlı ve kontrol edilebilir hale gelmiş olması birçok yeniliğin de habercisi olmuştur. İki boyutlu yazıcılarla oluşturulan baskılama yöntemleri kağıt üzerinde sonuçlar alınmasına olanak tanırken, üç boyutlu yazıcılarla birlikte üç boyutlu nesnelerin baskısına imkan sağlamıştır. Böylelikle üç boyutlu yazıcıların tarihsel sürecini oluşturan yazı ve sonrasında gelişen baskı teknolojisi, dijital sistemler ile birlikte üretime geçişi hızlandırmış ve en son kullanılan IV. Endüstri Devriminde yeni teknolojik bir gelişme olarak yerini almıştır.

Üç boyutlu baskı teknolojisi ile nihai bir ürün olarak karşımıza çıkan üç boyutlu nesnelerin üretim şekli, sektörde varolan üretim yöntem ve tekniklerine göre farklılık göstermektedir. Önceleri eksiltmeli olarak malzemedен eksiltilerek nihai ürün ortaya çıkartılırken, eklemeli imalat yöntemi sayesinde malzemenin katman katman bir araya getirilerek oluşturulması sağlanmaktadır. Böylelikle eksiltmeli imalatta malzemedен fazla miktarda fire verilirken eklemeli imalatta bu durum firesiz gerçekleşmektedir. Eklemeli imalat, hızlı prototipleme ve üç boyutlu yazıcı teknolojileri aynı teknolojinin farklı isimleridir. Üç boyutlu yazıcılarla birlikte birçok

farklı amaç hedeflenmiş, kişisel kullanım ve endüstriyel alanda artan ihtiyaçların bir neticesi olarak üretimin daha az iş gücü, maliyet ve az zamanda üretilebilmesi sağlanmıştır. Üç boyutlu yazıcılarda üretim fabrika ortamının dışında kişisel kullanım olarak evlerde de gerçekleştirilebiliyor olması üretimde esnekliği ortaya çıkarmıştır.

Bilgisayar destekli tasarım ve modelleme programları etkin olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla daha tasarım aşamasındayken meydana getirilecek ürün en detaylı biçimde incelenmektedir. Bu süreç bilgisayarlı modelleme ile başlayıp yazıcıya baskısı yapılacak iş gönderilmeden önce dilimleme ve kodlama işlemlerinden geçerek imalat yapılmaktadır. Belli bir sistem dahilinde nihai sonuca en verimli şekilde ulaşılmaktadır. Baskı öncesi farklı programlar aracılığıyla son işlemler olan kodlama ve dilimleme işlemleri de bilgisayarlar aracılığıyla kolaylıkla yürütülebilmektedir. Böylelikle üç boyutlu yazıcı teknolojisinde bilgisayar destekli tasarım ve modellemenin yadsınamaz bir katkısı bulunmaktadır.

Üç boyutlu baskı işlemi için hammadde olarak kullanılan çok çeşitli malzemeler bulunmaktadır. Petrokimya esaslı ABS, PLA gibi plastik tipteki malzemelerden başka karbon fiber, reçine paslanmaz, bronz, altın, nikel alüminyum çimento gibi birbirinden farklı baskı hammadde kullanılmaktadır. Bu alanda çalışmalar yapan tasarımcı ve mimarlar, üretiminde zorlandıkları belli ölçeklerdeki yapı ve yapı bileşenlerini rahatlıkla meydana getirebilmektedir. Meydana getirilen yapının hammaddesi olarak kullanılan farklı materyaller bulunmaktadır. Bu alandaki eksiği kapatmak için endüstriyel alanda faaliyet gösteren irili ufaklı birçok firma tedarik zincirine katkıda bulunmaktadır. Bu durum ikincil bir sektöre de kaynak sağlamaktadır. Yapılan farklı çalışmalar sayesinde geri dönüşümlü ve çevreci hammaddeler kullanılarak doğa dostu yapılar inşaa edilmektedir. Bu işleyiş doğa dengesi açısından olumlu değerlendirmeleri de beraberinde getirmiştir.

Üç boyutlu yazıcıların farklı birçok alanda kullanıldığı bilinmektedir. Kişisel kullanım dışında gıda, otomotiv, uçak, savunma, tıbbi malzeme, eğitim ve mimari alanında da kullanılmaktadır. Mimari alandaki çalışmalar dünyanın gelişmiş ülkeleri tarafından 20 yıl öncesinden başlayarak inşaa edilmiştir. ABD, Çin, Almanya, Fransa, Hollanda, İtalya gibi ülkelerde bu konuya ilgi duyan birçok firma üretimlerini daha büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılar ve robotik kollar kullanarak gerçekleştirmişlerdir. İnşaatın otomasyon altına alınmaya başlanmasıyla birlikte kontrol, takip, yerinde ve zamanında müdahale, az işçi gücü ve düşük maliyet gibi

kavramların yönetilebilir olması istenmektedir. Bu sebepten inşaat otomasyonundaki en önemli araçlardan bir tanesi üç boyutlu beton baskı yapabilen yazıcılar ve robotik kollardır.

Üç boyutlu beton baskı kullanılarak farklı yöntem ve tekniklerde inşaa edilmiş ev, ofis, kamu binaları, fuar standları, köprü, dekoratif duvar çalışmaları ve bahçe mobilyaları bulunmaktadır. Bu yapılar incelendiğinde geleneksel imalat yöntemlerine kıyasla süre ve maliyet açısından daha kolay imal edilebildiği gözlenmektedir. Beraberinde hammadde olarak kullanılan malzemeler incelendiğinde gelecek dönemler içerisinde sayı ve çeşitliliğinin artacağı öngörülmektedir. Bu alanda faaliyet gösteren firmaların birbirleriyle rekabet halinde olmalarından dolayı mimarlık alanında her geçen gün yeni gelişmeler ortaya çıkmaktadır.

İç mimarlık alanında yapılan çalışmalarda farklı mimarlık büroları ve tasarımcılar tarafından iç mekanlarda kullanılmak üzere daha karmaşık formdaki aydınlatma, oturma elemanları ve aksesuarlar üretilebilmektedir. Bu durum tasarımda hayal edilen noktaya ulaşma yolunda oldukça büyük kolaylık sağlamaktadır. Dünyada ve Türkiye’de bu alandaki çalışmalar kıyaslandığında Türkiye’de henüz inşaat sektörüyle ilgili bir gelişme kaydedilmemiştir. Daha küçük ebattaki yazıcı tipleriyle tıbbi alanda medikal ürünler yazdırılmış, kuyumculuk ve takı sektöründe seri üretime geçilmiş, mimari maketler yapılmış ve birçok firma tarafından tercih edilmeye başlanmıştır. Ülkemiz tamamen kendi imalatı olan bir yazıcı kullanarak askeri faaliyetlerde kullanılmak üzere çalışmalar yürütmektedir.

Tüm bu gelişmeler ele alındığında üç boyutlu yazıcıların mimari uygulamalarının durumu ve geleceği olumlu olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte teknolojiadaki bilimsel ilerlemenin evresi son yıllarda cep telefonlarından yapay zekaya yükselmiştir. Bu yüzden gelecekte üç boyutlu baskı olumlu gelişmeler vadetmektedir. Bu teknolojilerin mimarinin geleceğini şekillendirme potansiyeli bulunmaktadır. Belli bir hızda geliştirilmeye devam ederse, inşaat sürecinde önemli değişiklikler yapılabilmesi söz konusudur. Başlangıç aşamasında olmasına rağmen, mimarlık sektörü için üç boyutlu baskının mevcut uygulamaları ve faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Fabrikalarda dosyadan yapıya ya da doğrudan baskıya imkan tanınması,

- Tasarımın üretilmesi için gerektiği kadar malzeme kullanılması, böylece daha az atık üretilmesi,
- Geri dönüştürülmüş plastik, biyoplastik, beton vb. gibi çeşitli hammaddeler kullanımı,
- Hassasiyetinin yüksek olması,
- Farklı inşaat yöntemlerini benimseyebilmesi,
- Çoklu malzemeleri ekstrüde edebilmesi,
- Nakliye ve işçilik maliyetlerinde azalma sağlaması,
- Geleneksel yapı ile mümkün olmayan karmaşık şekiller oluşturması,
- Sahada sağlık ve güvenlik risklerinin azalması.

Mimari anlamda mevcut zorlukların üstesinden gelinebilmesi için öneriler de şu şekildedir:

- Sınırlı ve pahalı bir teknoloji olması,
- Endüstrinin bu teknolojiye aşına olmaması,
- Beton konstrüksiyon gibi inşaat için üç boyutlu yazıcıların büyük olması ve sahaya ulaşımın pahalı olması.

Bu bilgiler, üç boyutlu baskının mimarının sürdürülebilirlik açısından bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, daha fazla uygulama ve deneyime sahip olmak gerekmektedir. Yapısal ve mekanik stabilite, malzeme ömrü, malzemelerin toksik etkisi gibi hala belirsiz noktalar üzerinde daha fazla araştırma yapılmalıdır. Özellikle, mimaride üç boyutlu baskının kullanımı gelişme döneminde olduğu için, yaşam döngüsü performansı ve basılı bina bileşenleri belirsizdir. Üç boyutlu baskıların bu zorluklara odaklanarak yakın gelecekte mimaride maksimum potansiyele ulaşabileceği beklenmektedir.

Üç boyutlu baskı teknolojisi hızlı prototip oluşturma ve hızlı üretim sağlayacağı, sonuç olarak bu teknolojiden en çok etkilenecek alanların ise sırasıyla motorlu taşıtlar, tüketici ürünleri, iş makineleri ve medikal ürünler piyasası olacağı tahmin edilmektedir. Kişisel kullanıcıların ise daha çok işlevsel modeller, sanatsal ürünler, ürün yedek parçaları, mobilya ve dekorasyon ürünleri gibi alanlarda üretim yapabileceği tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak, üç boyutlu yazıcıların günümüz mimarisine olumlu yönde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Üç boyutlu yazıcıların mimari uygulamalarında elde

edilen veriler dikkate alındığında, kısa sürede ve fazla sayıda mimari yapının yaşam alanı oluşturmada ve yaşam şeklini kolaylaştırmada etkin rolü olduğu tespit edilmiştir. Üç boyutlu baskı teknolojisinin gelecekte ortaya çıkacak mimari yapıların oluşturulmasında olumlu yönde ışık tutacağı öngörülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Abel, C. (2004), Architecture, technology and process. Elsevier, Oxford, s.145.
- Augusto I., Monteiro D., Girard-Dias W., dos Santos TO., Rosa Belmonte SL., Pinto de Oliveira J., et al. (2016), Virtual Reconstruction and Three Dimensional Printing of Blood Cells as a Tool in Cell Biology Education. PLoS ONE 11(8): e0161184.
- Ahlers, D. (2015). Development of a Software for the Design of Electronic Circuits in 3D-Printable Objects. Universitat Hamburg.
- Ahlers, D. (2018), 3D Printing of Nonplanar Layers for Smooth Surface Generation. Master's thesis. University of Hamburg.
- Akipek, F. & İnceoğlu, N.İ. (2007), Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları. YTÜ Mimarlık Fakültesi E-Dergisi Cilt 2, Sayı 4, s.238.
- Albright, B. (2016), How close are 3D printed auto parts? Aftermarket Business World, 7-8.
- Al Jassmi, H. (2018), Large-Scale 3D Printing: The Way Forward. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, s.2.
- Altın, M. (2012), Özgün İç Mekan Bileşenlerinin Üretiminde Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, s.12-19.
- Anıl, D. ASEL SAN-MGEO, (2006), Rapid Tooling of EDM Electrodes by Using Stereolithography Technique Ankara, Turkey Can COGUN, Gazi University, Ankara, Turkey The 12th International Conference on Machine Design and Production, 05-08 Sept. Kusadasi Turkey.
- Annual Book of ASTM Standards Book. (2012), Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. International, West Conshohocken, USA.
- Arseven, C.E. (1975), Sanat Ansiklopedisi, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul 5. Cilt 31. Fasikül.
- Austin, S., Lim, S., & Le, T. (2012), Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. Materials and Structures, 45(8), 1221.

- Bai, Y. and Williams, C.B. (2015), An exploration of binder jetting of copper, *Rapid Prototyping Journal* 177 - 185.
- Bailey, R.T. (2015), Using 3D Printing and Physical Testing to Make Finite-Element Analysis More Real in a Computer-Aided Simulation and Design Course, in: *ASEE Annu. Conf.Expo.*, ASEE, Seattle, USA, :p. 26.1646.1-26.1646.15.
- Balcioğlu, Y. (2014), Üç Boyutlu Yazıcı ve Sinemada Kullanımı. Yaşar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sanat ve Tasarım Anabilim Dalı , s.3.
- Barclift, MW and Williams, CB. (2012), Examining variability in the mechanical properties of parts manufactured via polyjet direct 3D printing. *International Solid Freeform Fabrication Symposium*. Austin, TX, USA.
- Barnatt, C. (2016), *3D Printing: Explaining the Future*, CreateSpace Independent Publishing Platform.Third Edition.
- Bayer, M., & Aziz, Z. (2018), *Rapid Prototyping And Its Role in Supporting Architectural Design Process*. American Society of Civil Engineer Case Study.
- Bethany C. Gross, Jayda L. Erkal, Sarah Y. Lockwood, Chengpeng Chen, and DanaM. Spence, (2010). "Evaluation of 3D Printing and its potential impact on Biotechnology and the Chemical Science", Department of Chemistry, Michigan State University, Michigan, United States, ACS Publications, Nov.10.
- Bedir, A., Çırıkka, C., & İsmayilov, E. (2018), Çift Başlı Üç Boyutlu Yazıcı İmalatı ile Mekanik Özellikleri ve İyileştirilmiş Kompozit Parça Üretimi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi. Makine Mühendisliği Bölümü. Bitirme Tezi. s. 28-32.*
- Bhandari, S. and Regina,B. (2014),3D Printing and It's Applications, *Intl. Journal CS and IT Research*, Vol.2 Issue 2, pp: (378-380), April- June 2014.
- Bos, F. P., Bosco, E., & Salet, T. A. M. (2018), Ductility of 3D printed concrete reinforced with short straight steel fibers. *Virtual and Physical Prototyping*, 14(2), 160–174.
- Bose, S., Vahabzadeh, S., Bandyopadhyay,A. (2013), Bone tissue engineering using 3D printing. *Mater. Today* 16, 496–504.
- Bosscher, P., Williams, R., & Bryson, S. (2007), Cable-suspended robotic contour crafting system. *Automation in Construction*, 17(1), 45-55.



- Boyanov, K. (2003), John Vincent Atanasoff: the inventor of the first electronic digital computing. International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'2003.
- Bradshaw, S., Bowyer, A., & Haufe, P. (2010), Intellectual Property Implications of Low Cost 3D Printing, Script-ed, Volume 7 Issue 1, s.7-8.
- Brooks, H., Molony, S. (2016), Design and evaluation of additively manufactured parts with three dimensional continuous fibre reinforcement. *Materials & Design.*;90:276-83.
- Brown, C. (2017), 3D printing set to revolutionize medicine. *Canadian Medical Association Journal*, 189(29), E973.
- Caffrey, T.; Wohlers, T.; Campbell, I. (Eds.) *Wohlers Report (2016), 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report; Annual Worldwide Progress Report; Wohlers Associates: Fort Collins, CO, USA.*
- Cazón A, Morer P, Matey L. (2014), PolyJet technology for product prototyping: Tensile strength and surface roughness properties. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture.*;228:1664-75.
- Cesaretti, G., Dini, E., & Kestelier, X. (2014), Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. *Acta Astronautica*, 93, 430 450.
- Chery, D. Mburu, S Ward, J. Fontecchio, A. (2015), Integration of the Arts and Technology in GK-12 Science Courses, in: 2015 IEEE Front. Educ. Conf., IEEE, El Paso, USA,,: pp. 1–4.
- Chua CK, Yeong WY, Leong KF. (2005), Rapid prototyping in tissue engineering: a state-of-the-art report. *Virtual Modeling and Rapid Manufacturing.*:19-27.
- Cook, W. (2009), History of the TSP. *The Traveling Salesman Problem*. Oct 2009. Georgia Tech.
- Credi, C.; Fiorese, A.; Tironi, M.; Bernasconi, R.; Magagnin, L.; Levi, M.; Turri, S. (2016), 3D Printing of Cantilever-Type Microstructures by Stereolithography of Ferromagnetic Photopolymers. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8, 26332–26342.

- Çalışkan, M. (2015), Üç Boyutlu Yazıcılar ve Gelecekte Yaratacağı Olası Fikri Haklar Çatışmaları. FMR Dergisi, Sayı 1, s.62.
- Çelik, D. (2015),Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, s.3.
- Çelik, D. ve Çetinkaya, K. (2016), Üç boyutlu Yazıcı Tasarımları, Prototipleri Ve Ürün Yazdırma Karşılaştırmaları. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5 (2), 0-0
- Chen, M.; Gu, Y.; Singh, A.; Zhong, M.; Jordan, A. M.; Biswas, S.; Korley, L. T. J.; Balazs, A. C.; Johnson, J. A. (2017), Living Additive Manufacturing: Transformation of Parent Gels into Diversely Functionalized Daughter Gels Made Possible by Visible Light Photoredox Catalysis. ACS Cent. Sci. 3, 124–134.
- Çiftçi, U. (2018),Üç Boyutlu Tasarım ve İmalat Teknolojilerinin İmalat için Tasarıma Olan Etkilerinin İncelenmesi, s.13-14 & s.28.
- Dahle, R. Rasel, R. (2016), 3-D Printing as an Effective Educational Tool for MEMS Design and Fabrication, IEEETrans. Educ. 59 210–215.
- Dapogny, Charles & Faure, Alexis & Michailidis, Georgios & Allaire, Grégoire & Couvelas, Agnes & Estevez, Rafael. (2017), Geometric constraints for shape and topology optimization in architectural design. Computational Mechanics.
- D'Aveni, R. (2013), 3D printing will change the world. Harvard Business Review, 91 (3), 4.
- Dawood, A., Marti, B., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015), 3D printing in dentistry. British Dental Journal, 219, 521-529.
- Derakhshani, M. Berfield,T. Murphy,K.D. (2018), Dynamic Analysis of a Bi-stable Buckled Structure for Vibration Energy Harvester, Springer International Publishing, Cham, pp. 199-208.
- Dikshit V, Nagalingam PA, Yap LY, Sing LS, Yeong YW, Wei J. (2017), Investigation of QuasiStatic Indentation Response of Inkjet Printed Sandwich Structures under Various Indenter Geometries. Materials.10.
- Dolhan, V. (2013), 3D Printing in Architecture a Current State of the Industry with Past and Future Perspective. Seventh Semester Dissertation Bsc of

Architectural Technology & Construction, Via University Collage, Horsens, Denmark, s. 2-13.

- Durão, Luiz Fernando C. S, Christ, A., Zancul, E., Anderl, R., & Schützer, K. (2017), Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93, 869-880.
- Ehud, K. and A. Dror (2011), Enhancing aerospace engineering students' learning with 3D printing wind-tunnel models. *Rapid Prototyping Journal* 17(5): 393-402.
- Elomaa, L.; Pan, C. C.; Shanjani, Y.; Malkovskiy, A.; Seppälä, J. V.; Yang, Y. (2015), Three-Dimensional Fabrication of Cell-Laden Biodegradable Poly(Ethylene Glycol-Co-Depsipeptide) Hydrogels by Visible Light Stereolithography. *J. Mater. Chem. B* 3, 8348– 8358.
- Emmelmann, C., Kranz, J., Herzog, D. & Wycisk, E. (2013), Laser additive manufacturing of metals, in: V. Schmidt, M.R. Belegatis (Eds.), *Laser Technology in Biomimetics*, Springer, Heidelberg, pp.143-161.
- EOS, (2010), *EOSINT M Technology for Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*, EOS GmbH Electro Optical Systems, pp.1-22.
- Ermurat, M. Erzincanli, F, Usta, M., Uzman, İ., Ecevit, N. (2006), Laser Assisted Metal Deposition Systems Gebze Institute of Technology Kocaeli University,- The 12th International Conference on Machine Design and Production, Kusadasi Turkey.
- Erdal, M., Ilkgun, Ö., Gokler, M. (2006), Effect Of Process Parameters On Density Of Porous Structures Manufactured by Selective Laser Sintering Middle East Technical Univ., Ankara - The 12th International Conference on Machine Design and Production, Kusadasi Turkey.
- Farzadi, A. Solati-Hashjin, M. Asadi-Eydivand, M. Abu Osman, N.A. (2014), Effect of Layer Thickness and Printing Orientation on Mechanical Properties and Dimensional Accuracy of 3D Printed Porous Samples for Bone Tissue Engineering, *PLOS ONE* 9(9) e108252.

- Feygin M. and Hsieh B.(1991), Laminated object manufacturing: A simpler process, in Proceedings of the 2nd Solid Freeform Fabrication Symposium (SFF), Austin, Texas, USA, 1991, pp. 123–130.
- Finnes, T. (2015), High Definition 3D Printing – Comparing SLA and FDM Printing Technologies, *The Journal of Undergraduate Research*: Vol. 13, Article 3.
- Fok,K. Ganganath, N. Cheng, C. and Tse, C. (2016), A 3D Printing Path Optimizer Based On Christofides Algorithm, *Consumer Electronics- IEEE International Conference on Taiwan (ICCE-TW)*.
- Ford, S., Mortara, L., & Minshall, T. (2015), The Emerge of Additive Manufacturing. Centre of Technology Management, Institute of Manufacturing, University of Cambridge, s.1-7.
- Ford, Simon & Minshall, Tim. (2019), Invited Review Article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing* 25, 131–150.
- Ford, S.L.M. (2015), Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness, *Journal of International Commerce and Economics* 1, 98571385.
- Frykholm, R.; Takeda, Y.; Andersson, B.-G.; Carlström, R. (2016), Solid state sintered 3-D printing component by using inkjet (binder) method. *J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall.* 63, 421–426.
- Fu, J.; Yin, H.; Yu, X.; Xie, C.; Jiang, H.; Jin, Y.; Sheng, F. (2018), Combination of 3D Printing Technologies and Compressed Tablets for Preparation of Riboflavin Floating Tablet-in-Device (TiD) Systems. *Int. J. Pharm.* 549, 370–379.
- Gabaçlı, N., & Uzunöz, M. (2017), IV.Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0 ve Otomotiv Sektörü. 3rd International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS), s. 151-153.
- Ganganath, N. Cheng, C. Fok, K. and Tse, C. (2016), Trajectory Planning for 3DPrinting: A Revisit to Traveling Salesman Problem” 2nd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR).
- Gao, W.; Zhang, Y.; Ramanujan, D.; Ramani, K.; Chen, Y.; Williams, C.B.; Wang, C.C.; Shin, Y.C.; Zhang, S.;Zavattieri, P.D. (2015), The status, challenges,

- and future of additive manufacturing in engineering. *Comput.-Aided Design* 69, 65–89.
- Garcia, C.R. (2014), 3D Printed Spatially Variant Anisotropic Metamaterials, Ph.D Dissertations, Dept. Electrical and Computer Engineering, Univ. of Texas, Paso, USA.
- Gardiner, J.(2011), Exploring the emerging design territory of construction 3D printing - project led architectural research, *Architecture and Design*, RMIT University.
- Ghawana, T. & Zlatanova, S. (2013), 3D printing for urban planning. *Urban and Regional Data Management*, pp.211-224.
- Gibson, I. Rosen, D., Stucker, B. (2015), *Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing Vol.2* Springer s.2.
- Gill, D., (2002), *Laser Engineered Net Shaping. Manufacturing Technologies*, contract DE-AC04-94AL85000, Sandia Corporation.
- Gonzalez, H. (2017), *Challenges in additive manufacturing of alumina* (Doctoral dissertation). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (1885003309).
- Gonzalez-Gutierrez, J.; Cano, S.; Schuschnigg, S.; Kukla, C.; Sapkota, J.; Holzer, C. (2018), Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives. *Materials* 11, 840.
- Gonzalez-Gutierrez, J.; Stringari, G.; Emri, I. (2012), Powder Injection Molding of Metal and Ceramic Parts. In *Some Critical Issues for Injection Molding*; Wang, J., Ed.; InTech: Rijeka, Croatia, pp. 65–86.
- Gootjes, D. (2017), *Applying feedback control to improve 3D printing quality*. Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3mE) Delft University of Technology.
- Gordeev E.G., Galushko A.S., Ananikov V.P. (2018), Improvement of quality of 3D printed objects by elimination of microscopic structural defects in fused deposition modeling. *PLOS ONE* 13(6): e0198370.

- Groover, M.P., (2012), Fundamentals of Modern Manufacturing, John Wiley & Sons, Inc., Vol.4, s.2.
- Guoqing, Z., Junxin, L., Jin, L., Xiaoyu, Z. Anmin, W. (2019), 3D metal printer dust filter structural optimal design and key performance research, Materials & Design, Volume 183, 108114, ISSN 0264-1275.
- Gupta, M. (2017), 3D Printing of Metals. Metals-Open Access Metallurgy Journal 7(10):403. 10.3390/met7100403.
- Güneş, N. (2017), Üç Boyutlu Yazıcılar için Test Modeli Geliştirilmesi. Yayınevis.3.
- Günther, D. (2012), Bastian Heymel, Johannes Franz Günther and Ingo Ederer, “Continuous 3D printing for Additive Manufacturing” Rapid Prototyping Journal(320-327), Emerald Group Publishing Limited.
- Günther, D. Mögele, F. (2016), Additive Manufacturing of Casting Tools Using Powder Binder Jetting Technology, New Trends in 3D Printing, InTech2016, p. 268.
- Günther D., Heymel B., Günther F. J. and Ederer I. (2014), Continuous 3D-Printing for additive manufacturing, Rapid Prototyping Journal, 20 (4): 320–327.
- Hall, S. Grant, G. Arora, D. Karaksha, A. McFarland, A. Lohning, A. Dukie, S. (2017), A pilot study assessing the value of 3D printed molecular modelling tools for pharmacy student education, Curr. Pharm. Teach. Learn. 9 723–728.
- Hausman, K. ve Horne, R. (2014), 3D printing for dummies. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2014.
- Ho, C.M.B.; Ng, S.H.; Yoon, Y.-J. (2015), A review on 3D printed bioimplants. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 16, 1035–1046.
- Hod, L. and Kurman, M. (2013), Fabricated: The New World of 3D Printing. John Wiley & Sons, 2013.
- Hornick, J., & Roland, D. (2013), 3D printing and intellectual property: Initial thoughts. The Licensing Journal, (August), 12–17.
- Horvath, J. (2014), Mastering 3D Printing. Apress, Berkely, 1st edition.
- Huang S.H., Liu P., Mokasdar A., Hou L. (2013), Additive Manufacturing and Its Societal Impact: A Literature Review, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, July 2013, Volume 67, Issue 5, p.1192,b.

- Hudson, D. E.; Hudson, D. O.; Winger, J. M.; Richardson, B. D. (2013), Penetration of Laser Light at 808 and 980 Nm in Bovine Tissue Samples. *Photomed. Laser Surg.* 31, 163–168.
- Hughes, B., Mona, L., Wilson, G., Seamans, J., McAninch, S., & Stout, H. (2017), Every day a new 3D printing material. *Journal of Technology and Engineering Teacher*, 76(5), 8.
- Huleihil, M. (2017), 3d printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications, in: 5th Glob. Conf. Mater. Sci. Eng., Taichung City, Taiwan.
- Hull, C.W. (1986), Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography. U.S. Patent 4575330.
- Hull, C. W.; Lewis, C. W. (1991), Methods and Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography. U.S. Patent 4999143.
- İlkgün, O., Erdal, M., Gokler, M. (2004), Manufacturing Of Porous Structures Using Laser Sintering Middle East Technical Univ., Ankara - The Eleventh International Conference on Machine Design and Production, Antalya, Turkey.
- Jenkins, S. (2017), 3-D printing for finished products. *Chemical Engineering*, 124(1), 14- 16.
- Jin, Y., Du, J., He, Y., and Fu, G. (2017), Modeling and process planning for curved layer fused deposition. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(1-4):273{285.
- Jungst, T.; Smolan, W.; Schacht, K.; Scheibel, T.; Groll, J. (2016), Strategies and Molecular Design Criteria for 3D Printable Hydrogels. *Chem. Rev.* 116, 1496–1539.
- Kabb, C. P.; O'Bryan, C. S.; Deng, C. C.; Angelini, T. E.; Sumerlin, B. S. (2018), Photoreversible Covalent Hydrogels for Soft-Matter Additive Manufacturing. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 10, 16793–16801.
- Karaarslan, M. (2015), Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojisi: Sosyoekonomik Etkileri İçin Yeni Ufuklar, Karabük Üniversitesi İşletme Fakültesi, Uluslararası İşletmecilik Bölümü, s. 198-199.

- Karakılınç U., Yalçın B. ve Ergene B. (2019), Toz yataklı/beslemeli eklemeli imalatta kullanılan partiküllerin uygunluk araştırması ve partikül imalat yöntemleri, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 801-810.
- Khoshnevis, B. (2004), Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in construction*, 13(1), 5-19.
- Khoshnevis, B. (2003), *Toward Total Automation of On-Site Construction An Integrated Approach based on contour crafting*. Los Angeles: University of Southern California.
- Kim, S., Chung, K., Yu, H. and Yang, S.O. (2018), G-code conversion from 3D model data for 3D printers on Hadoop systems, in: *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology, CAIPT 2017*.
- Korolev, Evgeniy & Inozemtcev, Aleksandr & Duong, Thanh. (2018), Analysis of existing technological solutions of 3D-printing in construction. *Monthly Journal of Construction and Architecture*. 863-876.
- Koten, J. (2013), A revolution in the making. *Wall Street Journal - Eastern Edition*. p. R1.
- Kozior T., Kundera C. (2017), Evaluation of the Influence of Parameters of FDM Technology on the Selected Mechanical Properties of Models. *Procedia Engineering*, Volume 192, 2017, Pages 463-468, ISSN 1877-7058.
- Kun. K. (2016), Reconstruction and Development of a 3D Printer Using FDM Technology. In *Procedia Engineering*, Volume 149, 2016, Pages 203-211, ISSN 1877-7058.
- Kwok, T., Ye, H., Chen, Y., Zhou, C., & Xu, W. (2017), Mass customization: Reuse of digital slicing for additive manufacturing. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 17(2).
- Layani, M.; Wang, X.; Magdassi, S. (2018), Novel Materials for 3DPrinting by Photopolymerization. *Adv. Mater.* 30, 1–7.
- Le, T., & Austin, S. (2012), Hardened properties of high-performance printing concrete. *Cement and Concrete Research*, 42(3), 558–566.



- Lechowicz, P., Koszalka, L. Pozniak-Koszalka, I. and Kasprzak, A. (2016), Path Optimization in 3D Printer: Algorithms and Experimentation System, 4<sup>th</sup>International Symposium on Computational and Business Intelligence (ISCBI).
- Letnikova, G. Xu, N.(2017), Academic library innovation through 3D printing services, *Libr. Manag.* 38.
- Ligon, S. C.; Liska, R.; Stampfl, J.; Gurr, M.; Mülhaupt, R. (2017),Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chem. Rev.* 117, 10212–10290.
- Lim, S. (2012), Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*, 21, 262–268.
- Lim, S., Buswell, R., & Le, T. (2011), Development of a viable concrete printing process. *International Association for Automation and Robotics in Construction*.
- Llewellyn-Jones, T., Allen, R., and Trask, R. (2016),Curved layer fused filament fabrication using automated toolpath generation. *3DPrinting and Additive Manufacturing*, 3(4):236{243.
- Loy, J. (2014), eLearning and eMaking: 3D Printing Blurring the Digital and the Physical, *Educ. Sci.* 4 108–121.
- Lu, K., & Reynolds, W. T. (2008),3D P Process for Fine Mesh Structure Printing. *Powder Technology*,Volume 187, Sayı 1, s.11.
- Malladi, A., & Sarma, S. B. S. (2017), 3D metal printing technologies: A review. *IUP Journal of Mechanical Engineering*, 10(1), 48-54.
- Martínez-Vázquez, F.J.; Pajares, A.; Miranda, P. (2018), A simple graphite-based support material for robocasting of ceramic parts. *J. Eur. Ceram. Soc.* 38, 2247–2250.
- Matai, R., Singh, S. and Murari Mittal L. (2010), Traveling Salesman Problem: An Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches, *InTech*.
- Meisel N, Williams C. (2015), An Investigation of Key Design for Additive Manufacturing Constraints in Multimaterial Three-Dimensional Printing. *Journal of Mechanical Design*. 137:111406.

- Meyer, S.C. (2015), 3D Printing of Protein Models in an Undergraduate Laboratory: Leucine Zippers, *J. Chem.Educ.* 92 2120–2125.
- Mireles, J.; Espalin, D.; Roberson, D.; Zinniel, B.; Medina, F.; Wicker, R. (2012), Fused Deposition Modeling of Metals. In *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, TX, USA, 6–8 August; pp. 836–845.
- Miyajima, H., Zhang, S. Lassell, A. Zandinejad, A.A. Yang,L.(2016), Optimal Process Parameters for 3D Printing of Porcelain Structures, *Procedia Manufacturing* 5 870-887.
- Mkhemer, S., Makhool, S., Samara, Q. (2014). 3DPrinting, Dept. Electrical and computer system, Birziet Uni.
- Mondschein, R. J.; Kanitkar, A.; Williams, C. B.; Verbridge, S. S.; Long, T. E. (2017), Polymer Structure-Property Requirements for Stereolithographic 3D Printing of Soft Tissue Engineering Scaffolds. *Biomaterials* 140, 170–188.
- Moon, J. Caballero, A.C. Hozer,L. Chiang, Y.-M. Cima,M.J. (2001), Fabrication of functionally graded reaction infiltrated SiC–Si composite by three-dimensional printing (3DP™) process, *Materials Science and Engineering: A* 298(1–2) 110-119.
- Mu, Y. (2016), 3D printing of metals (Doctoral dissertation). Available from ProQuestDissertations & Theses Global. (1853942158).
- Munn S, Soebarto V. (2004), The issues of using recycled materials in architecture. In: *The 38th international conference of architectural science association ANZAScA “Contexts of architecture”*, Launceston, Tasmania.
- Nardone, M. J. (2017), A feasibility study of fused filament fabrication for improving industrial manufacturing. Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (1906272669).
- Nematollahi, Behzad & Xia, Ming & Sanjayan, Jay. (2017), Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies. *34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017)*, At Taipei, Taiwan.
- Oberti I., Plantamura, F. (2015), Is 3D printed house sustainable? In: *Proceedings of international conference CISBAT 2015 future buildings and districts sustainability from nano to urban scale*, pp 173–178.

- Olla P. (2015), Opening pandora's three-dimensional printed box. *Technology and Society Magazine*, 34 (3), 74-80.
- Oosterhuis, K. (2004), File to factory and real time behavior in architecture, fabrication: examining the digital practice of architecture. In: *Proceedings of conference of the AIA technology in architectural practice knowledge community*, Cambridge, Ontario, pp 294–305.
- Özsoy, K., & Duman, B. (2017), Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği, *International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry*, 1:1, s. 37.
- Öztürk, G . (2018), The Future of 3D Printing Technology in the Construction Industry: a Systematic Literature Review. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2 (2) , 10-24.
- Palaganas, N. B.; Mangadlao, J. D.; De Leon, A. C. C.; Palaganas, J. O.; Pangilinan, K. D.; Lee, Y. J.; Advincula, R. C. (2017), 3DPrinting of Photocurable Cellulose Nanocrystal Composite for Fabrication of Complex Architectures via Stereolithography. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9, 34314–34324.
- Paolini, A., Kollmannsberger, S., & Rank, E. (2019), Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods. *Additive Manufacturing*.
- Perez, O.A Pitcher, M.T. Espinoza, P.A. Gomez, H. Hemmitt, H. Anaya, R.H. Golding, P. Nevarez, H.E.L.(2015), Analysis of 3D Technology Impact on STEM Based Courses; Specifically Introduction to EngineeringCourses, in: *ASEE Annual Conference Expo.*, ASEE, Seattle, USA,: p. 26.210.1-26.210.13.
- Perez, O.A. Espinoza, P.A. Gomez, H. Pitcher, M.T. Anaya, R.H. Hemmitt, H. Nevarez, H.E.L. (2016), Year Two:Analysis of 3-D technology Impact on STEM-based courses; Specifically, introduction to engineeringcourses, in: *ASEE Annu. Conf. Expo.*, ASEE, New Orleans, USA.
- Perez, O.A. Pitcher, M.T. Hemmitt, H. Gomez, H. Espinoza, P.A. Anaya, R.H. Nevarez, H.E.L. (2017), Year Three:Analysis of 3D technology impact on STEM based courses ; specifically introduction to engineeringcourses, in: *ASEE Annu. Conf. Expo.*, ASEE, Columbus, USA.

- Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013), 3D printing disrupts manufacturing: How economies of one create new rules of competition. *Research-Technology Management*, 56(6), 12-16.
- Polak, R.; Sedlacek, F.& Raz, K. (2017), Determination of FDM Printer Settings with Regard to Geometrical Accuracy, *Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium*, pp.0561-0566, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-11-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria.
- Rocheva, V. V.; Koroleva, A. V.; Savelyev, A. G.; Khaydukov, K. V.; Generalova, A. N.; Nechaev, A. V.; Guller, A. E.; Semchishen, V. A.; Chichkov, B. N.; Khaydukov, E. V. (2018), High-Resolution 3DPhotopolymerization Assisted by Upconversion Nanoparticles for Rapid Prototyping Applications. *Sci. Rep.* 8, 1–10.
- Roman, M., Eberly , E., Mueller, R., & Deutsch, S. (2016), NASA Centennial Challenge : Three Dimensional (3D) Printed Habitat. *Earth and Space*, 333.
- Ross, C., Crittenden, W., & Crittendon, V. (2016), 3-D printing: Big potential, little adoption. *Industrial Management*, 58(4), 12-16.
- Rusling, J. F. (2018), Developing Microfluidic Sensing Devices Using 3DPrinting. *ACS Sensors* 3, 522–526.
- Sachs,E.M. Haggerty,J.S. Cima, M.J. Williams, P.A. (1993), Three-dimensional printing techniques, patent/US5204055A.
- Sakin,M. ve Kiroglu,Y.C. (2017),3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM, *Energy Procedia*, Volume 134, 2017, Pages 702-711, ISSN 1876-6102.
- Sandalcı, N. (2016), Türkiye’de Endüstriyel Tasarımcıların 3 Boyutlu Yazıcıları Kullanımları Hakkında Bir İnceleme İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı Programı.
- Schuh, C.A.; Myerberg, J.S.; Fulop, R.; Chiang, Y.-M.; Hart, A.J.; Schroers, J.; Vereminski, M.D.; Mykulowycz, N.; Shim, J.J.; Fontana, R.R.; et al. (2016), *Methods and Systems for Additive Manufacturing*. International Patent PCT/US2016/067378, 16 December.

- Sezer, H. & Eren, O. & BÖRKLÜ, H. & Özdemir, V. (2019), Additive Manufacturing of Carbon Fiber Reinforced Plastic Composites by Fused Deposition Modelling: Effect of Fiber Content and Process Parameters On Mechanical Properties. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 34. 633-674. 10.17341/gazimmfd.416523.
- Shahrubudin, N. Lee, T.C. Ramlan R. (2019), An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications, *Procedia Manufacturing*, Volume 35, 2019, Pages 1286-1296, ISSN 2351-9789.
- Shirazi, S. F., Gharekhani, S., Mehrali, M., Yarmand, H., Metselaar, H. S., Adib Kadri, N., & Osman, N. A. (2015), A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering: selective laser sintering and inkjet 3D printing. *Science and technology of advanced materials*, 16(3), 033502.
- Sign. (2017), The digital eye: 3D print Technology. <https://sdgmag.com/features/digital-eye-3D-print-technology> (22.09.2017).
- Silfverberg, M. (2007), Historical Overview of Consumer Text Entry Technologies. I.S. MacKenzie and K. Tanaka-Ishii(Ed.), *Text Entry Systems* (pp. 3-27). Elsevier Inc., USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Slade, P., Akhtar, A., Nguyen, M., Bretl, T. (2015), Tact: Design and performance of an opensource affordable myoelectric prosthetic hand. *IEEE International Conference. Robot. Autom. (ICRA)*, pp. 6451-6456.
- SLM Solution GmbH. (2011), Discover the variety. SLM® Materials Non Ferrous Metals, Tool Steel, Stainless Steel and Light Alloys.
- Smith, D. (2012), Printed buildings: an international race for the ultimate in automation. *Construction Research and Innovation*, 3(2), 26-31.
- Snelling, D. H. Blount, C.A. Forman, K. Ramsburg, A. Wentzel, C. Williams, A. Druschitz, B. (2014), The Effects of 3D Printed Molds on Metal Castings, *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, TX.
- Sultana, N., Quader, R. and Rahman, H. (2016), SolidCAM iMachining ( 2D ): A Simulation Study of a Spur Gear Machining and G-code Generation for CNC Machine, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2016.

- Şahin, K., & Turan, B. O. (2018), Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.
- Tack, P., Victor, J., Gemmel, P., & Annemans, L. (2016), 3D-printing techniques in a medical setting: A systematic literature review. *Biomedical Engineering Online*, 15.
- Tay, Y.W.D., Panda, B., Paul, S.C., Mohamed,N.A.N., Tan, M.J. & Leong, K.F.(2017),3D printing trends in building and construction industry: a review, *Virtual and Physical Prototyping*, 12:3, 261-276.
- Tez, Z. (2008), Kağıdın ve Matbaanın Kültürel Tarihi. *Doruk Yayımcılık*, s.105.
- Tibaut, A., & Rebolj, D. (2014), Interoperability requirements for automated manufacturing systems in construction. *Journal of Intelligent Manufacturing*.
- Tibbits, S. (2014), 4D Printing: Multi-Material Shape Change. *Architectural Design*.84:116-21.
- Tumbleston, J. R.; Shirvanyants, D.; Ermoshkin, N.; Janusziewicz, R.; Johnson, A. R.; Kelly, D.; Chen, K.; Pinschmidt, R.; Rolland, J. P.; Ermoshkin, A.; Samulski, E. T.; DeSimone, J. M.(2015),Continuous Liquid Interface of 3D Objects. *Science* 347, 1349–1352.
- Turner, B.N.; Strong, R.; Gold, S.A. (2014), A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid Prototyp. J.* 20, 192–204.
- Udroui, R. (2014), Additive Manufacturing Technologies Used For Superalloys Processing. *Tehnologia Inovativă – Revista Construcția de mașini nr. 3-4 / 2014*.
- Udroiu, R., “Powder bed additive manufacturing systems and its applications”, *Academic journal of manufacturing engineering*, Vol. 10, Issue 4, 2012.
- Upcraft S. and Fletcher R., (2003), The rapid prototyping technologies, *Assembly Automation*, vol. 23, no. 4, pp. 318–330, Dec.
- Vähä, P. (2013), Extending automation of building construction — Survey on potential sensor technologies and robotic applications. *Automation in Construction*, 36, 168–178.

- Valkenaers, H.; Vogeler, F.; Ferraris, E.; Voet, A.; Kruth, J.P. (2013), A Novel Approach to Additive Manufacturing: Screw Extrusion 3D-Printing. In Proceedings of the 10th International Conference on Multi-Material Micro Manufacture, San Sebastian, Spain, 8–10 October 2013; Azcarate, S., Dimov, S., Eds.; Research Publishing: San Sebastian, Spain,; pp. 235–238.
- Van der Veen A.C. (2014), The structural feasibility of 3D-printing houses using printable polymers. Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology.
- Van Epps, A., Huston, D., Sherrill, J., Alvar, A., Bowen, A. (2015), How 3D Printers Support Teaching in Engineering, Technology and Beyond. Bulletin of the Association for Information Science and Technology, 42, 1.
- Volpato, N., Nakashima, R.T. Galvão, L.C. and Nunes, L.F. (2013), Reducing repositioning distances in fused deposition-based processes using optimization algorithms. High Value Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, Chapter 71, pp. 417–422, 2013.
- Wang, X.; Jiang, M.; Zhou, Z.; Gou, J.; Hui, D. (2017), 3D Printing of Polymer Matrix Composites: A Review and Prospective. Composites, Part B 110, 442–458.
- Wah, P. K., Murty, K. G., Joneja, A. ve Chiu, L. C. (2002), Tool path optimization in layered manufacturing, IIE Transactions, Volume 34, Issue 4, pp 335–347.
- White D. (2003), Ultrasonic object consolidation, U.S. Patent 6,519,500.
- Wimpenny, D. I., Pandey, P. M., & Kumar, L. J. (2016), Advances in 3D printing & additive manufacturing technologies. Singapore: Springer.
- Wojcik, M., Pozniak-Koszalka, I., Koszalka, L. and Kasprzak, A. (2015), MZZ-GA algorithm for solving path optimization in 3D printing, Proceedings The Tenth International Conference on Systems, ICONS'15, Barcelona, eds.: Leszek Koszalka and Pascal Lorenz, 2015, pp.30-35.
- Yang, L., Hsu, K., Baughman, B., Godfrey, D. G., Medina, F., Menon, M. (2017), Additive manufacturing of metals: The technology, materials, design and production. Cham, Switzerland: Springer.
- Yao, B. Imani, F. Sakpal, A.S. Reutzel, E.W. Yang, H. (2018), Multifractal Analysis of Image Profiles for the Characterization and Detection of Defects in

Additive Manufacturing, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 140(3) 031014-031014-13.

- Yap YL, Lai YM, Zhou HF, Yeong WY. (2014), Compressive strength of thin-walled cellular core by inkjet-based additive manufacturing. In: Chua CK, Yee YW, Jen TM, Erjia L, editors. *Proceedings of the 1st International Conference on Progress in Additive Manufacturing*. Singapore. p.333-8.
- Yap YL, Tan YSE, Tan HKJ, Peh ZK, Low XY, Yeong WY, et al. (2016), 3D printed bio-models for medical applications. *Rapid Prototyping Journal*.23.
- Yeong WY, Chua CK, Leong KF, Chandrasekaran M, Lee M-W. (2005), Development of scaffolds for tissue engineering using a 3D inkjet model maker. *Virtual Modelling and Rapid Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping Proc 2nd Int Conf on Advanced Research in Virtual and Rapid Pro*.115-8.
- Yıldırım, G., Yıldırım, S., & Çelik, E. (2018), Yeni Bir Bakış-3 Boyutlu Yazıcılar ve Öğretimsel Kullanımı: Bir İçerik Analizi. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(25), 163-184.
- Yılmaz, D. (2015), Katmanlı İmalat Teknolojileri ve Havacılık Uygulamaları. Sektör Değerlendirme Raporu, STM Mühendislik Teknoloji Danışmanlık, 1-22, Ankara.
- Zarek, M.; Layani, M.; Cooperstein, I.; Sachyani, E.; Cohn, D.; Magdassi, S. (2016), 3D Printing of Shape Memory Polymers for Flexible Electronic Devices. *Adv. Mater.* 28, 4449–4454.
- Zhang, M.Y. Wang, J. Mamadapur, M.S. (2015a), Understanding additive manufacturing part performance through modeling and laboratory experiments, in: *ASEE Annu. Conf. Expo.*, ASEE, Seattle, USA, 2015: p.26.1619.1-26.1619.13. doi:10.18260/p.24955.
- Zhang, J.; Dumur, F.; Xiao, P.; Graff, B.; Bardelang, D.; Gigmes D.; Fouassier, J. P.; Lalevee, J. (2015b), Structure Design of Naphthalimide Derivatives: Toward Versatile Photoinitiators for Near-UV/Visible LEDs, 3D Printing, and Water-Soluble Photoinitiating Systems. *Macromolecules* 2015, 48, 2054–2063.



Zorlutuna, P.; Jeong, J. H.; Kong, H.; Bashir, R. (2011), Stereolithography-Based Hydrogel Microenvironments to Examine Cellular Interactions. *Adv. Funct. Mater.* 21, 3642–3651.

## İNTERNET KAYNAKLARI

URL1.<https://www.turkcebilgi.com/yazı>, Erişim Tarihi: 10.02.2016.

URL2.[https://www.ekodialog.com/isletme\\_ekonomisi/temel\\_kavramlar.html](https://www.ekodialog.com/isletme_ekonomisi/temel_kavramlar.html), Erişim Tarihi: 10.02.2016.

URL3.<https://www.burakdursun.com/2015/06/24/reprap-prusa-i3-rework-taniyalim/>,Erişim Tarihi: 11.01.2017

URL4.<http://www.nkfu.com/basim-nedir-matbaanın-tarihcesi-nedir>,Erişim Tarihi:11.01.2017

URL5.<http://www.nkfu.com/daktilo-nedir-daktilonun-tarihcesi>,  
Erişim Tarihi: 11.01.2017

URL6.<http://people.bu.edu/baws/brief%20computer%20history.html>Erişim Tarihi: 14.02.2017

URL7.<http://e-bergi.com/2009/Subat/Yazici-Cesitleri-ve-Tarihcesi>,  
Erişim Tarihi: 14.02.2017

URL8.<http://b130606078-b120606058.weebly.com>, Erişim Tarihi: 14.02.2017

URL10.<https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3D-printing-3D-printing-technologies-from-the-80s-to-today>, Erişim Tarihi: 21.03.2019

URL11.<https://www.tripedia3D.com/Sayfalar/3-boyutlu-yazici-tarihi-16>,  
Erişim Tarihi: 25.03.2019

URL12. <https://3Dprinting.com/what-is-3D-printing/>, Erişim Tarihi: 25.03.2019

URL13.The Printed World, 2011. Special Technology Report, The Economist, 10 th February. retrieved from <https://www.economist.com/briefing/2011/02/10/the-printed-world>

URL14.Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. (2012).  
The 7 categories of

AdditiveManufacturing.<http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditive-manufacturing/> (29.09.2017).

URL17.Markforged Inc. Complete Metal Solution. Available online: <https://markforged.com/metal-x/> (accessed on 7 June 2017).

URL18.Desktop Metal Inc. Prototype and Mass Produce with the Same Alloys. Available online: <https://www.desktopmetal.com/products/materials/> (accessed on 29 March 2018).

URL19.Campbell, I.; Wohlers, T. Markforged: Taking a Different Approach to Metal Additive Manufacturing. Metal AM [Online]. 2017, pp. 113–115. Available online: <http://www.metal-am.com/wp-content/uploads/sites/4/2017/06/MAGAZINE-Metal-AM-Summer-2017-PDF-sp.pdf> (accessed on 11 July 2017).

URL20.Wohlers, T. Desktop Metal: A Rising Star of Metal AM Targets Speed, Cost and High-Volume Production. Metal AM [Online]. 2017, pp. 89–92. Available online: <http://www.metal-am.com/wp-content/uploads/sites/4/2017/06/MAGAZINE-Metal-AM-Summer-2017-PDF-sp.pdf> (accessed on 11 July 2017).

URL22.3T RPD Ltd, “Direct Metal Laser Sintering (DMLS)” available online: [www.3trpd.co.uk/dmls](http://www.3trpd.co.uk/dmls), 2011

URL23.Arcam, “ASTM F75 CoCr Alloy”, available online: [www.arcam.com](http://www.arcam.com), 2012

URL25.LENS, “Laser Powder Forming”, available online: <http://www.3D.com/lens.htm>, 2010

URL26.POM, “Direct metal deposition (DMD)”, available online: [http://www.pomgroup.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=15&Itemid=86](http://www.pomgroup.com/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=86), 2012

URL27.IREPA LASER, “Fabrication directe”, available online: <http://www.irepa-laser.com/index.php/fra/fabrication-directe>, 2011

URL29.<https://www.forbes.com/sites/sarahgoehrke/2018/11/09/3D-printing-is-a-manufacturing-solution-and-still-not-a-magical-one/#4522139d6098>.

URL30.<https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>.

URL31.<http://slic3r.org/>.

- URL33.Soomro, A. A., Faullant, R., & Schwarz, E. J. (2016). 3D printing for incumbent firms and entrepreneurs. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/303899208\\_3D\\_printing\\_for\\_incumbent\\_firms\\_and\\_entrepreneurs](https://www.researchgate.net/publication/303899208_3D_printing_for_incumbent_firms_and_entrepreneurs)
- URL34.Domain Group 3D printing Notes, (2007). Ministry of Education and Employment, European Social Fund, European Union, 2007-13
- URL35. 3D Filament Guide: Popular 3D Printing Filaments [online] Available: <https://pinshape.com/blog/popular-3D-printing-filaments-3Dprinter-filament-types/>.
- URL36.Yusuf, B. (2016). "17 Great 3D Printer Filament Types: A Guide" [Online], Available: <https://all3Dp.com/best-3D-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-woodmetal/>.
- URL37.Jack, (2015). 3D Printer Filament Types Overview [online], Available: <http://3Dprintingfromscratch.com/common/3D-printer-filament-types-overview/>.
- URL38.3D Printer Filament Compare [Online], Available: <https://www.matterhackers.com/3D-printer-filament-compare>.
- URL39.explainingthefuture.com/3Dprinting.html. Accessed 10 Des. 2016.
- URL40.Morrisette, M. (2015). " Comparing 3D Printing Processes." Xometry, 19 Oct. 2015, <https://www.xometry.com/blog/3D-printing-processes>. Accessed 15 Des. 2016.
- URL41.Adam, H. (2013). "Will 3D Printers Manufacture Your Meals?" Popular Mechanics, 25 Mar. 2013, [www.popularmechanics.com/technology/gadgets/a8816/will-3D-printersmanufacture-your-meals-15265101/](http://www.popularmechanics.com/technology/gadgets/a8816/will-3D-printersmanufacture-your-meals-15265101/). Accessed 14 Des. 2016.
- URL42.Alec. (2016)."Kai Parthy Makes Construction 3D Printing Viable with Scalable BMSF Steel Reinforcement Inserts," 3Ders.org, 10 Nov. 2016, [www.3Ders.org/articles/20161110-kai-parthy-makes-construction-3D-printingviable-with-scalable-bmsf-steel-reinforcement-inserts.html](http://www.3Ders.org/articles/20161110-kai-parthy-makes-construction-3D-printingviable-with-scalable-bmsf-steel-reinforcement-inserts.html). Accessed 14 Des.
- URL43.Bromberger, J., & Kelly, R. (2017). Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers. Retrieved from

<https://www.mckinsey.com/businessfunctions/operations/our-insights/additive-manufacturing-a-long-term-game-changer-for-manufacturers>.

URL44. Buenafe, M. L. (2016, May 19). FDA issues “Leapfrog” Draft guidance for 3D printing of medical devices. Retrieved from <https://www.morganlewis.com/pubs/fda-issuesleapfrog-draft-guidance-for-3d-printing-of-medical-devices>

URL45. Hall, N. (2016). Top 10 3D printed automotive industry innovations available right now. 3D Printing Industry. Retrieved from <https://3dprintingindustry.com/news/3dprinting-automotive-industry-2-82838/>

URL46. Smartechmarkets, (2016). Additive manufacturing opportunities in automotive - 2016: An opportunity analysis and ten-year forecast. Retrieved from <https://www.smartechpublishing.com/reports/additive-manufacturing-opportunities-in-automotive-2016-an-opportunity-anal>

URL47. Guyette, J. (2015, December). 3D printing viewed as viable strategy for global automotive production. Retrieved from <https://www.searchautoparts.com/aftermarketbusiness/market-trend-analysis/3d-printing-viewed-viable-strategy-global-automotiveprod>

URL48. Companies partner to fit VW caddy with 3D-printed structure. (October, 2017). Additive Manufacturing Magazine. Retrieved from <https://www.additivemanufacturing.media/news/companies-partner-to-fit-vwcaddywith-3d-printed-structure>

URL49. ForbesTech. (2015, June 24). The first 3D-printed supercar [video file]. Retrieved from [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=1&v=o8wFs1aipaE](https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=o8wFs1aipaE).

URL50. Wright, I., (2017). The age of additive manufacturing. Retrieved from <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/15253/The-AgeofAdditive-Manufacturing.aspx>

URL51. Stratasys. (2017). Getting the most out of metal 3D printing. Understanding design and process controls for DMLS. Retrieved from <https://www.stratasysdirect.com/resources/metal-3d-printing-white-paper/>

- URL52.Future of Construction Project, Boston Consulting Group, World Economic Forum, “Demonstrating the Viability of 3D Printing at Construction Scale” (PDF file), downloaded from Future of Construction Website, [https://futureofconstruction.org/case/winsun/], accessed November 2018
- URL54.Anderson, S. (2015), “Concrete Plans: CyBe’s Berry Hendriks Describes Plans to 3D Print with Mortar”, retrieved January 2015, from 3Dprint.com.
- URL56.3Ders. 2017. Accessed September 26, 2017. <http://www.3Ders.org/articles/20170602-cybe-construction-completes3Dprinting-of-168-sq-m-rdrone-laboratory-in-dubai.htm>.
- URL57.Apis Core. The first on-site house has been printed in Russia. On-line: <http://apis-core.com/en/about/news/first-house>,
- URL58.Apis Cor. We print buildings (2017). Available at: <http://apis-core.com/en/about/news/first-house> (Accessed: 22 December 2017).
- URL59.Alec. (2017) Thai cement maker SCG develops an elegant 3m-tall 3D printed 'pavilion' home, 21st C. Cave. On-line: <http://www.3Ders.org/articles/20160427-thai-cement-maker-scg-develops-an-elegant-3mtall-3D-printed-pavilion-home-21st-c-cave.html>, Accessed: 20/03/2017.
- URL60. 3D Concrete House Printer, available from: [www.totalkustom.com/](http://www.totalkustom.com/), (2016)
- URL62. <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/manufacturing-design/3D-printed-office-the-future>
- URL63. <http://en.thegreatmiddleeast.com/2016/07/shaikh-hamdan-bin-mohammad-launches-dubai-futureaccelerators/>
- URL64.MacRae, M. (2016). The 3D Printed Office of the Future. <https://www.asme.org/topics-resources/content/3D-printed-office-the-future>
- URL65. <http://www.xtree.eu/projects/>
- URL66. <http://www.3Dprintetbyggeri.dk/pdf/bes%C3%B8gsrapporter/XtreeE.pdf>
- URL67. <http://www.kurzweilai.net/printable-houses-are-coming>
- URL68. <https://www.lboro.ac.uk/enterprise/3DBB/thetechnology/>
- URL69. <https://www.pesmedia.com/mx3D-first-3D-printed-bridge-6-axis-robots/>

- URL71. Whirlwind Team (2016) Impacts of 3D printing on the construction industry. <http://www.whirlwindsteel.com/blog/impacts-of-3D-printing-on-the-construction-industry>
- URL72. Grozdanic L (2013) British architect designs first 3D printed element for use in the construction industry. <http://inhabitat.com/british-architect-designs-first-3D-printed-element-for-use-in-the-construction-industry/>
- URL73. <https://www.dezeen.com/2013/12/02/first-architectural-application-of-3D-printing-adrianpriestman-6-bevis-marks/>
- URL74. Cotteleer M, Holdowsky J, Mahto M (2014) The 3D opportunity primer: the basics of additive manufacturing. <https://dupress.deloitte.com/dup-usen/focus/3Dopportunity/the-3Dopportunity-primer-the-basics-of-additive-manufacturing.html>
- URL77. <http://www.newmaterialaward.nl/en/nominations/3D-print-canal-house/>
- URL78. <http://3Dprintcanalhouse.com/>
- URL79. <https://archipreneur.com/3d-printed-interiors-making-way-department-stores/>
- URL80. 3D Printing Interior Architecture House Design by Emerging Objects. <http://www.emergingobjects.com/projects/3d-printed-house-1-0/>. Accessed 14.05.15
- URL81. 3d Printed Binary Furniture by Cohnda. <http://www.cohda.com/projects/binary-furniture/> Accessed 15.05.15.
- URL82. 3d printing interior design Lighting concepts by Nervous System. <http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/tags/3dprint/albums/hyphae/>. Accessed 14.05.15
- URL83. ReportsnReports, <http://www.azom.com/news.aspx?newsID=40129>. Son Erişim: Ocak 2014
- URL84. Wendy Kneissl, 3D Printing 2014-2025: Technologies, Markets, Players. ABD: IDTechEx. 4 bölüm. 2013
- URL85. [www.3bfab.com](http://www.3bfab.com)
- URL86. [www.3dortgen.com](http://www.3dortgen.com)
- URL87. [www.formhane.com.tr](http://www.formhane.com.tr)
- URL88. [www.yukselmodel.com](http://www.yukselmodel.com)

URL89. [www.erkankapucu.com](http://www.erkankapucu.com)

URL90.Priyoid (2015). İTÜ, 3D yazıcı ile geliştirdikleri roketi fırlattı. 22 Aralık 2015 tarihinde <http://www.priyoid.com/haberler/itu-3d-yazici-ile-gelistirdikleri-roketi-firlatti/> adresinden elde edildi.

URL91.Biyomedikalde 3D yazıcı uygulamaları radyo Kİ. (2015). 21 Aralık 2015 tarihinde <http://radyoki.kocaeli.edu.tr/biyomedikalde-3d-yazici-uygulamaları/> adresinden elde edildi.

URL92.Mesleki eğitimde dimension dönemi (2015). 19 Aralık 2015 tarihinde <http://www.infotron.com.tr/dimension/news-043.html> adresinden elde edildi.

URL93.Sınıfta dimension 3D printer kullanmak yaratıcılığı tetikliyor (2015). 19 Aralık 2015 tarihinde <http://www.infotron.com.tr/dimension/news-045.html> adresinden erişilmiştir.

URL94.Cubinter-Yerli 3D Modelleme Uygulaması. (2015). 23 Aralık 2015 tarihinde <http://erdeminanc.com/cubinter/> adresinden elde edildi.

URL95.Çözüm ortaklarımız-Doğa Okulları. (2015). 20 Aralık 2015 tarihinde <http://www.dogaokullari.com/tr/cozum-ortaklarimiz> adresinden elde edildi.

URL96. Dereli,Turkay Dr. Adil Baykasoglu, ReverseEngineering, April 2005 (Turkish);[www.turkcadcam.net/rapor/tersine-muh/index3.html](http://www.turkcadcam.net/rapor/tersine-muh/index3.html)

URL97.Batır, Ozan GOLDAS, 3D Printing Jewelery applications,2005 (Turkish);[www.TurkCADCAM.net/rapor/kuyumculukta-cadcam-3dp](http://www.TurkCADCAM.net/rapor/kuyumculukta-cadcam-3dp)

URL98. Cadem A.S./Medical Applications;[www.cadem.com.tr/indexalt.php?s=13](http://www.cadem.com.tr/indexalt.php?s=13)

## RESİM KAYNAKLARI

- Resim2.1. URL9. <https://3Dprintingindustry.com/news/super3Dm-content-developer-korea-35667/>
- Resim2.2. URL28. <http://www.modellbau-hermann.de/leistungen/rapid-prototyping/laminated-object-manufacturing-lom.html>
- Resim3.1. Horvath, J. (2014), Mastering 3D Printing. Apress, Berkely, 1st edition.
- Resim3.2. Horvath, J. (2014), Mastering 3D Printing. Apress, Berkely, 1st edition.
- Resim3.3. Austin, S., Lim, S., & Le, T. (2012), Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures*, 45(8), 1221.
- Resim3.4. Le, T., & Austin, S. (2012), Hardened properties of high-performance printing concrete. *Cement and Concrete Research*, 42(3), 558–566.
- Resim3.5. Cesaretti, G., Dini, E., & Kestelier, X. (2014), Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. *Acta Astronautica*, 93, 430–450.
- Resim3.6. Lim, S. (2012), Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*, 21, 262–268.
- Resim4.1 URL53. <http://www.winsun3D.com/>
- Resim4.2. URL53. <http://www.winsun3D.com/>
- Resim4.3. URL55. <https://cybe.eu/>
- Resim4.4. URL58. Apis Cor. We print buildings (2017). Available at: <http://apis-cor.com/en/about/news/first-house> (Accessed: 22 December 2017).
- Resim4.5. URL57. Apis Core. The first on-site house has been printed in Russia. On-line: <http://apis-cor.com/en/about/news/first-house>,
- Resim4.6. URL58. Apis Cor. We print buildings (2017). Available at: <http://apis-cor.com/en/about/news/first-house> (Accessed: 22 December 2017).
- Resim4.7. URL59. Alec. (2017), Thai cement maker SCG develops an elegant 3m-tall 3D printed 'pavilion' home, 21st C. Cave. On-line: <http://www.3Ders.org/articles/20160427-thai-cement-maker-scg-develops-an-elegant-3m-tall-3D-printed-pavilion-home-21st-c-cave.html>, Accessed: 20/03/2017.
- Resim4.8. URL61. [Totalkustom.com](http://Totalkustom.com)



- Resim4.9. URL63. <http://en.thegreatmiddleeast.com/2016/07/shaikh-hamdan-bin-mohammad-launches-dubai-futureaccelerators/>
- Resim4.10. URL64. MacRae, M. (2016). The 3D Printed Office of the Future. <https://www.asme.org/topics-resources/content/3D-printed-office-the-future>
- Resim4.11. URL63. <http://en.thegreatmiddleeast.com/2016/07/shaikh-hamdan-bin-mohammad-launches-dubai-futureaccelerators/>
- Resim4.12. URL65. <http://www.xtreee.eu/projects/>
- Resim4.13. URL67. <http://www.kurzweilai.net/printable-houses-are-coming>
- Resim4.14. URL70. <http://mx3D.com/projects/bridge-2/>
- Resim4.15. Abel, C. (2004), Architecture, technology and process. Elsevier, Oxford, s.145
- Resim4.16. URL72. Grozdanic L (2013) British architect designs first 3D printed element for use in the construction industry. <http://inhabitat.com/british-architect-designs-first-3D-printed-elementfor-use-in-the-construction-industry/>
- Resim4.17 URL75. Bartolacci J (2014) How 10 houses were 3D-printed with recycled concrete in a single day. <http://architizer.com/blog/china-3D-print-houses/>
- Resim4.18. URL75. Bartolacci J (2014) How 10 houses were 3D-printed with recycled concrete in a single day. <http://architizer.com/blog/china-3D-print-houses/>
- Resim4.19.URL76. Scott C. Chinese construction company 3D prints an entire two-story house on-site in 45 days. Online: <https://3Dprint.com/138664/huashang-tengda-3D-print-house/>, Accessed: 20/11/2018.
- Resim4.20.URL76. Scott C. Chinese construction company 3D prints an entire two-story house on-site in 45 days. Online: <https://3Dprint.com/138664/huashang-tengda-3D-print-house/>, Accessed: 20/11/2018.
- Resim4.21. URL78. <http://3Dprintcanalhouse.com/>
- Resim4.22 URL79. <https://archipreneur.com/3d-printed-interiors-making-way-department-stores/>

- Resim4.23. URL79. <https://archipreneur.com/3d-printed-interiors-making-way-department-stores/>
- Resim4.24. URL80. 3D Printing Interior Architecture House Design by Emerging Objects. <http://www.emergingobjects.com/projects/3d-printed-house-1-0/>. Accessed 14.05.15
- Resim4.25. URL81. 3d Printed Binary Furniture by Cohnda. <http://www.cohda.com/projects/binary-furniture/> Accessed 15.05.15.
- Resim4.26. URL88. [www.yukselmodel.com](http://www.yukselmodel.com)
- Resim4.27. URL89. [www.erkankapucu.com](http://www.erkankapucu.com)
- Resim4.28. URL96. Dereli, Turkey Dr. Adil Baykasoglu, Reverse Engineering, April 2005 (Turkish); [www.turkcadcam.net/rapor/tersine-muh/index3.html](http://www.turkcadcam.net/rapor/tersine-muh/index3.html)
- Resim4.29. Ermurat, M. Erzincanli, F, Usta, M., Uzman, İ., Ecevit, N. (2006), Laser Assisted Metal Deposition Systems Gebze Institute of Technology Kocaeli University,- The 12th International Conference on Machine Design and Production, Kusadasi Turkey.
- Resim4.30. İlkün, O., Erdal, M., Gokler, M. (2004), Manufacturing Of Porous Structures Using Laser Sintering Middle East Technical Univ., Ankara - The Eleventh International Conference on Machine Design and Production, Antalya, Turkey.
- Resim4.31. Anıl, D. ASELSAN-MGEO.(2006), Rapid Tooling of EDM Electrodes by Using Stereolithography Technique Ankara, Turkey Can COGUN, Gazi University, Ankara, Turkey The 12th International Conference on Machine Design and Production, 05-08 Sept. Kusadasi Turkey
- Resim4.32. URL97. Batır, Ozan GOLDAS, 3D Printing Jewellery applications, 2005 (Turkish); [www.TurkCADCAM.net/rapor/kuyumculukta-cadcam-3dp](http://www.TurkCADCAM.net/rapor/kuyumculukta-cadcam-3dp)
- Resim4.33. URL98. Cadem A.S./Medical Applications; [www.cadem.com.tr/indexalt.php?s=13](http://www.cadem.com.tr/indexalt.php?s=13)

## ŞEKİL KAYNAKLARI

Şekil2.1. URL9. <https://3Dprintingindustry.com/news/super3Dm-content-developer-korea-35667/>

Şekil2.2. URL15. Additive Manufacturing Research Group. (2017). About Additive Manufacturing.  
<http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>  
(30.09.2017).

Şekil2.3. URL16. Dreams. (2017). Material extrusion.  
<http://seb199.me.vt.edu/dreams/material-extrusion/> (24.09.2017).

Şekil2.4. Gonzalez-Gutierrez, J.; Cano, S.; Schuschnigg, S.; Kukla, C.; Sapkota, J.; Holzer, C. (2018), Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives. *Materials* 11, 840.

Şekil2.5. Sign. (2017), The digital eye: 3D print Technology.  
<https://sdgmag.com/features/digital-eye-3D-print-technology>.

Şekil2.6. URL21 Threeding. (2017). Binder jetting 3D printing technology.  
<https://www.threeding.com/blog/%E2%80%8Bbinder-jetting-3D-printing-technology>  
(24.09.2017).

Şekil2.7. Yılmaz, D. (2015), Katmanlı İmalat Teknolojileri ve Havacılık Uygulamaları. Sektör Değerlendirme Raporu, STM Mühendislik Teknoloji Danışmanlık, 1-22, Ankara.

Şekil2.8. URL24. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/01/03/what-3D-printing-will-look-like-in-2019/#7dca30f3442f>, Erişim Tarihi: 25.03.2019

Şekil2.9. URL28. <http://www.modellbau-hermann.de/leistungen/rapid-prototyping/laminated-object-manufacturing-lom.html>

Şekil3.1. Ahlers, D. (2015), Development of a Software for the Design of Electronic Circuits in 3D-Printable Objects. Universität Hamburg.

Şekil3.2. URL32. <http://www.forefrontfilament.co.uk/blog/2016/11/14/how-to-print-with-flexible-filaments>.

Şekil3.3. Bosscher, P., Williams, R., & Bryson, S. (2007), Cable-suspended robotic contour crafting system. Automation in Construction, 17(1), 45-55.

Şekil4.1. URL79. <https://archipreneur.com/3d-printed-interiors-making-way-department-stores/>



## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimi İstanbul'da tamamladı. 1999 yılında İstanbul Anadolu İnşaat Teknik Meslek Lisesi Yapı Ressamlığı bölümünü bitirdikten sonra Autodesk firmasının Türkiye distribütörlüğünde 3 boyutlu program modelleme danışmanı olarak görev aldı. 2002 yılında Yeditepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi İç Mimarlık bölümünde öğrenimine başladı. 2006 yılında üniversiteyi bitirdikten sonra Türkiye'de cam sektöründe öncü bir firmada iç mimarlık yaptı. Bu sektörün yanı sıra ahşap ve metal işleri alanlarında imalat ve proje takibi işlerinde görev aldı. 2020 yılında Işık Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İç Mimarlık Yüksek Lisans programında mezun oldu. 2012 yılından beri serbest olarak piyasada tasarım, modelleme ve uygulama hizmeti vermektedir. 2014 yılında Işık Üniversitesi'nde Yarı Zamanlı Öğretim Görevlisi olarak "Bilgisayara Giriş ve Bilgisayar Destekli Tasarım" derslerini vermektedir. Evli ve 2 çocuk babası olan Mustafa Bora Tümer halen kendi firmasının işlerini yürütmektedir.