

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK VE MİMARİ KORUMA
ALANINDA KULLANIM POTANSİYELİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

ONUR ÇİMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
RÖLÖVE VE RESTORASYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. CAN ŞAKİR BİNAN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK VE MİMARİ KORUMA
ALANINDA KULLANIM POTANSİYELİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

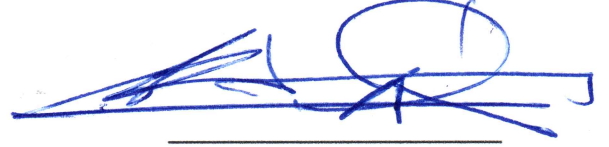
Onur ÇİMEN tarafından hazırlanan tez çalışması 14.11.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Can Şakir BİNAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Can Şakir BİNAN
Yıldız Teknik Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Banu ÇELEBİOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Mevlüde KAPTI
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi



ÖNSÖZ

Gelişen teknoloji, çoğu sektörde olduğu gibi mimaride de kendine yeni uygulama alanları yaratmaktadır. Bu çalışmada, bu uygulamalardan biri olan üç boyutlu baskı teknolojisinin mimarlık ve mimari koruma alanındaki yeri anlatılmıştır.

Tez çalışma sürecinde bana kendisiyle çalışma fırsatı sunan, engin bilgi ve görüşleri ile çalışmamı yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Can Şakir Binan'a, bugüne kadar gelmemde emeği geçen tüm hocalarıma ve hayatım boyunca desteklerini hiç eksik etmeyen ve daima yanımda duran aileme teşekkürü borç bilirim.

Kasım, 2019

Onur ÇİMEN

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|----------|
| KISALTMA LİSTESİ..... | vii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | viii |
| ÖZET | xiii |
| ABSTRACT..... | xv |
| BÖLÜM 1 | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Literatür Özeti..... | 1 |
| 1.2 Tezin Amacı..... | 2 |
| 1.3 Hipotez..... | 3 |
| 1.4 Yöntem..... | 3 |
| BÖLÜM 2 | |
| ÜÇ BOYUTLU BASKI | 5 |
| 2.1 Üç Boyutlu Baskı Nedir?..... | 5 |
| 2.1.1 Üç Boyutlu Baskı İşlemi..... | 6 |
| 2.2 Üç Boyutlu Baskının Tarihsel Gelişimi..... | 7 |
| 2.2.1 RepRap Projesi..... | 10 |
| 2.3 Üç Boyutlu Modelleme Teknikleri | 11 |
| 2.3.1 Üç Boyutlu Tarama | 12 |
| 2.3.1.1 Kısa Menzilli Üç Boyutlu Tarayıcılar | 12 |
| 2.3.1.2 Lazer Tabanlı Üç Boyutlu Tarayıcılar | 12 |
| 2.3.1.3 Yansıtılmış veya Yapılandırılmış Işıklı Üç Boyutlu Tarayıcılar | 13 |
| 2.3.1.4 Orta ve Uzun Menzilli Üç Boyutlu Tarayıcılar | 14 |
| 2.3.1.5 Koordinat Ölçme Makinesi (CMM) | 15 |
| 2.3.1.6 Kol Tabanlı Üç Boyutlu Tarayıcılar..... | 16 |
| 2.3.1.7 Optik Olarak İzlenen Üç Boyutlu Tarayıcılar | 16 |
| 2.3.2 Tasarım / Kavramsallaştırma | 17 |
| 2.3.3 Parametrik Modelleme..... | 18 |
| 2.3.4 CityGML (City Geography Markup Language) | 19 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.3.5 | BİM (Building Information Modeling)..... | 21 |
| 2.3.6 | H-BİM (Heritage Building Information Modeling) | 22 |
| 2.4 | Üç Boyutlu Baskı Türleri | 24 |
| 2.4.1 | Stereolitografi (SLA)..... | 25 |
| 2.4.2 | Lazer Sinterleme (SLS) | 26 |
| 2.4.3 | Fused Deposition Modeling (Eritilmiş Malzeme Yığıma) (FDM/FFF).. | 28 |
| 2.4.4 | Tabakalı Nesne İmalatı (LOM) | 30 |
| 2.4.5 | Multi-Jet Baskı | 31 |
| 2.4.6 | Color-Jet Baskı (CJP)..... | 32 |
| 2.4.7 | Metal Sinterleme Teknolojisi (DMS) ve Elektron Işınıyla Eritme Teknolojisi (EBM) | 33 |
| 2.4.8 | Üç Boyutlu Baskı (3DP-3 Dimensional Printing) | 34 |
| 2.4.9 | Altı Eksenli Üç Boyutlu Yazıcı Robot Kol | 35 |
| 2.5 | Üç Boyutlu Baskı Tekniklerinde Kullanılan Malzemeler..... | 36 |
| 2.5.1 | Plastikler | 37 |
| 2.5.2 | Metaller | 39 |
| 2.5.3 | Seramik | 39 |
| 2.5.4 | Biyo Malzemeler | 41 |
| 2.5.5 | Gıda Ürünleri..... | 41 |
| 2.5.6 | Kâğıt | 42 |
| 2.5.7 | Cam | 43 |
| 2.5.8 | Ahşap ve Ahşap Görünümlü | 44 |
| 2.6 | Üç Boyutlu Baskı Sistemlerinin Uygulama Alanları..... | 46 |
| 2.6.1 | Havacılık Ve Savunma Sanayi..... | 47 |
| 2.6.2 | Sağlık Sektörü | 50 |
| 2.6.3 | Gıda Sektörü | 52 |
| 2.6.4 | Otomotiv Sektörü | 53 |
| 2.6.5 | Moda Ürünleri ve Kuyumculuk Sektörü | 55 |
| 2.6.6 | Eğitim | 57 |

BÖLÜM 3

| | |
|--|----|
| ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNİKLERİNİN MİMARLIK VE MİMARİ KORUMA ALANINDA KULLANIMI | 59 |
| 3.1 Hızlı Prototip Oluşturma | 59 |
| 3.1.1 Üç Boyutlu Basılan Prototip Döşeme Örneği..... | 61 |
| 3.2 Maket / Model Oluşturma | 63 |
| 3.3 Kalıp Modeli Oluşturmak | 66 |
| 3.3.1 Üç Boyutlu Basılan Kalıpla Oluşturulan Amorf Cephe Örneği | 67 |
| 3.4 Eğitim Ve Sunum Alanında Kullanımı..... | 69 |
| 3.4.1 Tooteko Örneği..... | 70 |
| 3.4.2 Antik Roma Gravürlerinin Modellenerek Üç Boyutlu Basılması Örneği..... | 72 |
| 3.5 Mimari Uygulamarda Kullanımı Ve Örnekler | 74 |
| 3.5.1 Gaia Evi | 74 |
| 3.5.2 Elytra Filament Strüktürü | 76 |
| 3.5.3 Hollanda - Dünyanın İlk Üç Boyutlu Basılmış Çelik Köprüsü..... | 78 |

| | | | |
|--|---|-----|------------|
| 3.5.4 | Şangay – Dünyanın Üç Boyutlu Basılan En Uzun Beton Köprüsü | 81 | |
| 3.5.5 | Hollanda Schiphol Havaalanında Üç Boyutlu Basılan Bir Zemin Döşemesi Uygulaması..... | 82 | |
| 3.5.6 | 3D Housing 05..... | 84 | |
| 3.5.7 | Two - Story Villası | 86 | |
| 3.5.8 | Dijital Grotesk I / Tam Ölçekli Üç Boyutlu Basılan Oda | 87 | |
| 3.6 | Mimari Koruma Uygulamalarında Kullanımı Ve Örnekler | 91 | |
| 3.6.1 | New York 5. Cadde’de Yer Alan Yapı | 91 | |
| 3.6.2 | Spada Sarayı..... | 93 | |
| 3.6.3 | The Great Pagoda | 95 | |
| 3.6.4 | Deutsches Müzesi / Tarihi Yapıda Üç Boyutlu Baskılı Yeni Cephe Tasarımı | 99 | |
| 3.6.5 | Suriye’nin Palmira Kentinde Yıkılan Zafer Takı’nın Anıtsal Bir Replikası | 101 | |
| 3.6.6 | Suriye / Antik Kent Palmira’da Bell Tapınağı Tavan’ının Replikası .. | 104 | |
| 3.6.7 | Suriye / Antik Kent Palmira’da Heykel Restorasyonu..... | 106 | |
| 3.7 | Üç Boyutlu Baskının Mimari Koruma Alanındaki Potansiyelinin Koruma İlke Ve Ölçüleri Açısından İrdelenmesi | 108 | |
| BÖLÜM 4 | | | |
| ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNİKLERİNİN MİMARİ KORUMA ALANINDA TÜRKİYE’DEKİ KULANIM POTANSİYELİNE İLİŞKİN KULLANICI GÖRÜŞLERİ..... | | | 113 |
| BÖLÜM 5 | | | |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | | | 120 |
| KAYNAKLAR | | | 124 |
| EK-A | | | |
| ALFABETİK SIRAYA GÖRE KAYNAKÇA..... | | | 134 |
| ÖZGEÇMİŞ | | | 144 |

KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---------|--|
| 3DP | 3 Dimensional Printing (3 Boyutlu Baskı) |
| BIM | Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modellemesi) |
| CityGML | City Geography Markup Language (Şehir Coğrafi İşaretleme Dili) |
| CJP | Color-Jet Print (Renkli Jet Baskı) |
| DMS | Direct Metal Sintering (Metal Sinterleme Teknolojisi) |
| EBM | Electro Beam Melting (Elektron Işınıyla Eritme Teknolojisi) |
| FDM | Fused Deposition Modeling (Eritilmiş Malzeme Yığma) |
| H-BIM | Heritage Building Information Modeling (Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi) |
| LOM | Laminated Object Manufacturing (Tabakalı Nesne İmalatı) |
| SLA | Stereolitografi (Reçine Baskı) |
| SLS | Selective Lazer Sintering (Lazer Sinterleme) |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1 Baskı teknolojilerinin gelişimi | 5 |
| Şekil 2.2 Üç boyutlu baskı | 6 |
| Şekil 2.3 Üç boyutlu baskı işlemi | 7 |
| Şekil 2.4 Chuck Hull tarafından icat edilmiş ilk üç boyutlu yazıcı (Sterolitografi) | 8 |
| Şekil 2.5 Üç boyutlu baskının tarihsel gelişimi | 9 |
| Şekil 2.6 İlk Reprap üç boyutlu yazıcısı | 10 |
| Şekil 2.7 Reprap Projesi | 11 |
| Şekil 2.8 Kısa menzilli üç boyutlu tarayıcı | 12 |
| Şekil 2.9 Lazer tabanlı üç boyutlu tarayıcı | 13 |
| Şekil 2.10 Yansıtılmış veya yapılandırılmış ışıklı üç boyutlu tarayıcıların çalışma prensibi | 14 |
| Şekil 2.11 Uzun menzilli üç boyutlu tarayıcı | 15 |
| Şekil 2.12 Koordinat ölçme makinesi (CMM) | 15 |
| Şekil 2.13 Kol tabanlı üç boyutlu tarayıcı | 16 |
| Şekil 2.14 Optik olarak izlenen üç boyutlu tarayıcı..... | 17 |
| Şekil 2.15 Bilgisayar destekli tasarım | 18 |
| Şekil 2.16 Parametrik yöntemle modelleme örneği | 19 |
| Şekil 2.17 Manhattan binalarının yüksekliği esas olarak renklendirilen CityGML modeli | 20 |
| Şekil 2.18 BIM modellemesi aşamaları | 22 |
| Şekil 2.19 San Salvatore Kilisesi için H-BIM modeli | 23 |
| Şekil 2.20 Stereolitografi (SLA) | 25 |
| Şekil 2.21 Stereolitografi (SLA) çalışma şematığı | 26 |
| Şekil 2.22 Lazer Sinterleme (SLS) | 27 |
| Şekil 2.23 Lazer Sinterleme (SLS) çalışma şematığı | 27 |
| Şekil 2.24 Fused Deposition Modeling (Eritilmiş Malzeme Yığılma) (FDM/FFF) | 28 |
| Şekil 2.25 Fused Deposition Modeling (FDM) çalışma şematığı | 30 |
| Şekil 2.26 Tabakalı Nesne İmalatı (LOM) çalışma şematığı | 30 |
| Şekil 2.27 Multi Jet baskı çalışma şematığı | 31 |
| Şekil 2.28 Color-Jet Baskı (CJP) ile üretilebilen ürünlere örnek | 32 |
| Şekil 2.29 Metal Sinterleme Teknolojisi (DMS) ile üretilebilen ürünlere örnek | 33 |
| Şekil 2.30 Elektron Işınıyla Eritme Teknolojisi (EBM) çalışma şematığı | 34 |
| Şekil 2.31 Üç Boyutlu Baskı (3DP) ile üretilen ürünler | 35 |

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 2.32 | 6 Eksenli 3 Boyutlu Yazıcı Robot Kol | 36 |
| Şekil 2.33 | Üç boyutlu baskı tekniğinde kullanılan malzemelere örnekler | 36 |
| Şekil 2.34 | Plastik filamentler ve üç boyutlu baskı tekniğinde kullanımına örnekler | 37 |
| Şekil 2.35 | PLA Filamanti (solda) ve ABS Filamenti (sağda) ile basılmış ürünler | 38 |
| Şekil 2.36 | Üç Boyutlu baskı tekniğiyle basılmış metal ürünler | 39 |
| Şekil 2.37 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış seramik ürünler (solda) üç boyutlu basımı (sağda) | 40 |
| Şekil 2.38 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış biyo malzemeler, protez dişler (solda), nefes borusu (sağda) | 41 |
| Şekil 2.39 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış gıda ürünleri | 42 |
| Şekil 2.40 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış kağıttan ürünler | 43 |
| Şekil 2.41 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış pencere camı | 43 |
| Şekil 2.42 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle cam ürün basımı | 44 |
| Şekil 2.43 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılan ahşap ürünler | 45 |
| Şekil 2.44 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle ahşap malzemedan basılan ürünlere entegre edilen akıllı cihaz | 45 |
| Şekil 2.45 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen ahşap görünümlü ürünler | 46 |
| Şekil 2.46 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle parçaları üretilen Packbot | 48 |
| Şekil 2.47 | Tamamı üç boyutlu yazıcıdan basılabilen Nibble Drone | 48 |
| Şekil 2.48 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen insansız hava aracı | 49 |
| Şekil 2.49 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen hava aracı (solda) ve birleşim parçaları (sağda)..... | 49 |
| Şekil 2.50 | Üç boyutlu baskı teknolojisi ile diş prototipi yapımı (solda) ve anti-mikrobiyal plastikten yapılmış üç boyut basılan bir diş (sağda) | 50 |
| Şekil 2.51 | Üç boyutlu biyo baskı makinesi (solda) ve basılmış böbrek modeli (sağda) | 51 |
| Şekil 2.52 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen kafatası implantı (solda), ve tıbbi alçı prototipi (sağda) | 51 |
| Şekil 2.53 | Üç boyutlu baskı teknolojisiyle hazırlanan şekerler (solda) ve pasta (sağda) | 52 |
| Şekil 2.54 | Üç boyutlu baskı teknolojisiyle hazırlanan kızartılabilen gıda ürünleri | 53 |
| Şekil 2.55 | Üç boyutlu baskı teknolojisi kullanarak restore edilmiş bir zamanlar Elvis Presley'in kullandığı BMW 507 aracı | 53 |
| Şekil 2.56 | Neredeyse tüm parçaları üç boyutlu yazıcıdan basılan araçlar | 54 |
| Şekil 2.57 | Tüm parçaları üç boyutlu yazıcıdan basılan NERA isimli elektrikli motosiklet | 54 |
| Şekil 2.58 | Tüm parçaları üç boyutlu yazıcıdan basılan NERA isimli elektrikli motosiklet | 55 |
| Şekil 2.59 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen elbiseler | 56 |
| Şekil 2.60 | Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen kolye (solda) ve yüzük (sağda) | 57 |
| Şekil 2.61 | Üç boyutlu baskı tekniğinin eğitim alanında kullanımı | 58 |
| Şekil 3.1 | Dağhan Çam tarafından tasarlanan ve üç boyutlu basılan protip bir strüktür örneği | 60 |
| Şekil 3.2 | Üç boyutlu baskıyla üretilen beton döşeme prototipi (solda), (sağda) | 61 |

| | | |
|------------|--|----|
| Şekil 3.3 | Beton panellerin birleşim detayı (solda) ve bir beton panel parçasının kesiti (sağda) | 62 |
| Şekil 3.4 | Beton paneller üzerinde yük testi yapılması | 62 |
| Şekil 3.5 | Geleneksel yöntemle yapılan maket örneği | 63 |
| Şekil 3.6 | Üç boyutlu yazıcıdan basılan la Sagrada Família Basilikası modeli | 63 |
| Şekil 3.7 | Üç boyutlu yazıcıdan saydam reçine malzeme kullanarak basılan Şibenik Katedrali modelleri | 65 |
| Şekil 3.8 | Cáparra Roma Kemer'inin üç boyutlu yazıcıdan basılan ölçekli modeli | 66 |
| Şekil 3.9 | Prekast betonların yapımında kullanılan, üç boyutlu basılmış kalıp örnekleri | 67 |
| Şekil 3.10 | Üç boyutlu basılan kalıba dökülerek oluşturulan metal cephe | 68 |
| Şekil 3.11 | Üç boyutlu basılan kalıba eriyik haldeki metalin dökümü | 68 |
| Şekil 3.12 | Tooteko sistemi birleşenleri | 70 |
| Şekil 3.13 | Isola'daki San Michele kilisesinin cephesinin nokta bulutu taramaları (solda) ve dijital modellenmesi (sağda) | 71 |
| Şekil 3.14 | Tooteko sistemi | 72 |
| Şekil 3.15 | Giovanni'nin gravürlerine göre üç boyutlu basılan Antik Roma modeli | 72 |
| Şekil 3.16 | Üç boyutlu olarak basılan Antik Roma modeli | 73 |
| Şekil 3.17 | Üç boyutlu olarak basılan Antik Roma modelinin altın varakla kaplanması | 73 |
| Şekil 3.18 | Gaia evinin tamamlanmış hali dış görünüşü | 74 |
| Şekil 3.19 | Gaia evinin duvarlarının üç boyutlu yazıcıyla basımı | 75 |
| Şekil 3.20 | Basılan duvarların içleri yalıtım amaçlı pirinç kabuklarıyla doldurulması | 75 |
| Şekil 3.21 | Gaia evi iç görünüşü | 76 |
| Şekil 3.22 | Londra'daki V&A müzesinin avlusunda Elytra Filament Pavilyonu basımı | 76 |
| Şekil 3.23 | Elytra Filament Strüktürü üstten görünümü (solda) ve modüler strüktürel hücreleri (sağda) | 77 |
| Şekil 3.24 | Karbon fiber bileşiminden ötürü oldukça hafif olan ve boyutlarına rağmen elle kaldırılabilen altıgen elemanlar Londra'da bir araya getirilmeden önce, Stuttgart'taki bir laboratuvarda hücreler üretilmesi | 77 |
| Şekil 3.25 | Kuka robotuyla modüler hücreleri yerinde basma işlemi | 78 |
| Şekil 3.26 | Hollandalı robotik şirketi tarafından basılan metal köprünün iskeleti..... | 79 |
| Şekil 3.27 | Hollandalı robotik şirketi tarafından metal köprünün basılması | 79 |
| Şekil 3.28 | Üç boyutlu basılan metal köprü | 80 |
| Şekil 3.29 | Dünyanın üç boyutlu basılan en uzun beton köprüsü | 81 |
| Şekil 3.30 | Şangay'da bulunan köprünün beton ünitelerinin basımı (solda) ve kaldırım ünitelerinin basımı (sağda) | 82 |
| Şekil 3.31 | 6 Eksenli 3 Boyutlu Yazıcı Robot Kol ile havaalanı zemini kaplanması..... | 82 |
| Şekil 3.32 | Robot kol ile basılan havaalanı zemini kaplaması | 83 |
| Şekil 3.33 | Havaalanı zemini kaplaması (geri dönüştürülebilir biyoplastik malzeme ve terrazzo denilen bir biyo-bağlayıcı) | 83 |
| Şekil 3.34 | Milano'da sergilenen 3D Housin 05'in genel görünüşü | 84 |
| Şekil 3.35 | 3D Housin 05'in modüler duvarlarını robot kol ile basımı | 84 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 3.36 | 3D Housin 05'in iç mekan tasarımı | 85 |
| Şekil 3.37 | Salone del Mobile tasarım festivalinde sergilenen 3D Housing 05 | 86 |
| Şekil 3.38 | Two - Story Villası | 86 |
| Şekil 3.39 | Two - Story Villası üç boyutlu basılması | 87 |
| Şekil 3.40 | Dijital Grotesk | 88 |
| Şekil 3.41 | Dijital Grotesk'in iki ayrı parçadan bir mekan meydana getirmesi (solda) ve detayı (sağda) | 88 |
| Şekil 3.42 | Dijital Grotesk'in basım sonrası fazla kumdan arınması işlemi (solda) ve parça örneği (sağda) | 89 |
| Şekil 3.43 | Dijital Grotesk'in boyanması (solda) ve montajı (sağda) | 90 |
| Şekil 3.44 | Dijital Grotesk I | 90 |
| Şekil 3.45 | New York 5. Cadde'de yer alan yapının ön cephesi restorasyon önerisi | 91 |
| Şekil 3.46 | Kalıp detayı | 92 |
| Şekil 3.47 | Üç boyutlu yazıcıdan basılan kalıplar (solda) ve kalıplardan oluşturulan beton cephe süsleme elemanı (sağda)..... | 92 |
| Şekil 3.48 | Spada Sarayına ait hasarlı eli böğründeleri | 92 |
| Şekil 3.49 | Massivit 1800 yazıcısıyla 2 farklı boyutta üretilen eli böğründeler | 94 |
| Şekil 3.50 | Spada Sarayının balkonuna eli böğründeler monte edildikten sonraki son hali | 94 |
| Şekil 3.51 | The Great Pagoda'nın eski tarihli bir gravürü | 95 |
| Şekil 3.52 | The Great Pagoda ejderhaları | 96 |
| Şekil 3.53 | The Great Pagoda'nın ejderha prototipi | 97 |
| Şekil 3.54 | The Great Pagoda ejderhaların parçalarının basımı sonrası montesi | 97 |
| Şekil 3.55 | The Great Pagoda ejderhaların parçalarının basımı sonrası birleştirilmesi | 98 |
| Şekil 3.56 | The Great Pagoda'nın ejderhaları monte edildikten sonraki görünümü | 99 |
| Şekil 3.57 | Deutsches Müzesi'nin yeni girişi olarak tasarlanan üç boyutlu basılacak cephenin tasarımı | 99 |
| Şekil 3.58 | Deutsches Müzesi'nin yeni girişi olarak tasarlanan üç boyutlu basılacak cephenin basımı | 100 |
| Şekil 3.59 | Deutsches Müzesi'nin yeni girişi olarak tasarlanan üç boyutlu basılacak cephenin malzemesinin görünüşü | 101 |
| Şekil 3.60 | Suriye'nin Palmira kentinde yıkılan Zafer Takı | 101 |
| Şekil 3.61 | Suriye'nin Palmira Kentinde Yıkılan Zafer Takı replikasının detayı | 102 |
| Şekil 3.62 | Yıkılan Zafer Anıtı'nın üç boyutlu basılan replikasının Londra'da sergi için birleştirilmesi | 103 |
| Şekil 3.63 | Yıkılan Zafer Anıtı'nın üç boyutlu basılan replikasının New York'da sergilenmesi | 103 |
| Şekil 3.64 | Antik Kent Palmira'da Bell Tapınağı özgün tavanı | 104 |
| Şekil 3.65 | Antik Kent Palmira'da Bell Tapınağı tavanı replikası | 105 |
| Şekil 3.66 | Antik Kent Palmira'da Bell Tapınağı tavanı replikası sergilenmesi | 105 |
| Şekil 3.67 | Suriye / Antik Kent Palmira'da üç boyutlu baskı tekniğiyle yapılan heykel restorasyonu | 106 |
| Şekil 3.68 | Suriye / Antik Kent Palmira'da üç boyutlu baskı tekniğiyle restorasyonu yapılan heykellerin dijital ortama aktarılması | 107 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Şekil 3.69 | Suriye/Antik Kent Palmira’da üç boyutlu baskı tekniğiyle restorasyonu yapılan heykellerin manyetik parçalar yardımıyla tutturulması | 107 |
| Şekil 3.70 | Üç boyutlu baskı kullanılan mimari koruma uygulamalarının değerlendirilmesi | 108 |
| Şekil 4.1 | Meslek dağılım yüzdeleri | 113 |
| Şekil 4.2 | Ankete katılanların üç boyutlu yazıcı hakkında genel bilgisinin değerlendirilmesi | 114 |
| Şekil 4.3 | Ankete katılanlara göre Türkiye’de mimari koruma alanında üç boyutlu yazıcının kullanım potansiyeli (5 en çok 1 en az)..... | 115 |
| Şekil 4.4 | Ankete katılanlara göre Türkiye’de mimari koruma alanında üç boyutlu baskının kullanımının sağlayacağı avantajlar | 116 |
| Şekil 4.5 | Ankete katılanlara göre mimari koruma aşamalarında üç boyutlu baskı teknikleri kullanılabilirliği | 116 |
| Şekil 4.6 | Ankete katılanlara göre mimari koruma başlıklarında üç boyutlu baskı tekniklerinin kullanım potansiyeli | 117 |
| Şekil 4.7 | Ankete katılanlara göre bir tarihi yapının üç boyutlu baskı teknikleriyle korunabilir kısımları | 118 |

ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK VE MİMARİ KORUMA ALANINDA KULLANIM POTANSİYELİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Onur ÇİMEN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Can Şakir BİNAN

Mimarlık sanatının uygulanmasında gelişen teknoloji her daim etkili olmuştur. Teknolojinin değişim hızının giderek artması ve yakın tarihlerde gerçekleşen teknolojik devrimler, mimari projeleri tasarımdan uygulamaya kadar her aşamada farklı biçimlerde etkilemiştir. Artık günümüzde; evlerde ve ofislerde sıklıkla kullanılan yazıcıların yanında, üç boyutlu baskı makineleri de kullanılmaya başlamış durumdadır. Yapılan tasarımlar bu makineler sayesinde kısa sürede ve istenilen ölçekte hayata geçirilebilmektedir.

Üç boyutlu baskı tekniklerinde, var olan ya da dizayn edilen objelerin üretilmesi veya kopyalanması amaçlanır. Bu teknikte kullanılan elektromekanik cihazlar, günümüz iki boyutlu baskı makinelerine benzerdir ancak oluşan ürün üç boyutlu olup, kullanılan sarf malzemesine göre istenilen form ve şekilde üretilebilir. Üç boyutlu baskısı yapılacak olan objenin modeli üç boyutlu taramayla veya tasarım yoluyla elde edilebildiği gibi CityGML, BIM ve HBIM gibi kaynaklar kullanılarak da elde edilebilir. Elde edilen model, baskı tekniği zamanla gelişmiş ve çeşitlenmiş olan üç boyutlu yazıcılarla basılır. Günümüzde kullanılan baskı tekniklerinden bazıları; Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Stereolitografi cihazı (SLA), Eritilmiş Malzeme Yığılma (FDM/FFF), Tabakalı Nesne İmalatı (LOM), Metal Sinterleme Teknolojisi (DMS), Elektron Işınıyla Eritme (EBM) yöntemi olup, bu tekniklerle beraber beton bir yapıyı tek seferde basabilen altı eksenli üç boyutlu yazıcılar da mevcuttur.

1980'li yıllarda hayatımıza giren üç boyutlu baskı teknolojisi, günümüzde birçok sektörde başarıyla uygulanmaktadır. Havacılık ve savunma sanayinde, sağlık, gıda, otomotiv ve kuyumculuk sektörlerinde, moda ürünlerinde, eğitimde ve mimarlıkta kullanılan bu teknoloji, özellikle malzeme çeşitliğiyle ön plana çıkmaktadır. Plastik malzeme ve türevleri başta olmak üzere birçok metal çeşidi, seramik, biyo malzemeler, gıda malzemeleri, kâğıt, cam, ahşap ve ahşap görünümlü malzemeler bu teknolojide kullanılan malzemelerden bazılarıdır.

Mimarlık gibi sanatın işlevsellikle bir arada olduğu bir alanda, üç boyutlu baskı teknolojileri tasarımların hayata geçirilmesi ve uygulanması aşamasında günümüzde kullanım oranı gittikçe artan bir teknolojidir. Bu alanda, farklı malzeme ve tekniklerle uygulanan birçok örnek bulunmaktadır. Üç boyutlu baskı tekniği yine aynı şekilde mimari koruma uygulamalarında da kullanılabilirliğine dair büyük bir potansiyel taşımaktadır. Geleneksel yöntemlerin tek başına uygulanamadığı veya yeterli gelmediği durumlarda, koruma ilke ve tüzüklerine bağlı kalınarak uygulanan çağdaş teknikler, tarihi mirasın korunmasında önemli rol oynamaktadır. Günümüz mimarisinin temellerini oluşturan korunması gerekli kültür mirasları da bu çağdaş tekniklerden biri olan üç boyutlu baskı teknolojisinden yararlanarak korunabilmektedir.

Beş bölümden oluşan tezin ilk bölümünde; literatür özeti, çalışmanın amacı, hipotez ve yöntem yer verilmiştir. İkinci bölümde ise üç boyutlu yazıcılar detaylıca incelenmiştir. Bu bölümde üç boyutlu baskı tekniklerinin tarihsel gelişimi ile modelleme tekniklerinin bir incelemesi yapılmış ve ardından üç boyutlu baskı türleri anlatılarak, yazıcılarda kullanılan malzeme türleri tanıtılmış ve bu yazıcıların kullanım alanlarının neler olduğu açıklanmıştır. Üçüncü bölümde ise, üç boyutlu baskı teknolojisinin mimarlık ve mimari koruma alanında kullanımına yer verilmiştir. Eğitimle başlayan koruma sürecinin, model oluşturma ve hızlı prototiplemeden uygulamaya kadar her aşamasında üç boyutlu baskı teknolojisinin kullanılabilirliği üzerinde durulmuş ve bu uygulamalara yönelik örnekler verilmiştir. Üçüncü bölümün sonunda da üç boyutlu baskının mimari koruma alanındaki potansiyeli koruma ilke ve ölçüleri açısından irdelenmiştir. Türkiye'de üç boyutlu baskı teknolojisinin Mimari koruma uygulamalarında kullanıma ilişkin mimarlarla yapılan görüşmelerden ve anketlerden elde edilen veriler dördüncü bölümde değerlendirilmiştir. Tez çalışmasının sonuncu bölümü olan beşinci bölümde, çalışma hakkında genel bir değerlendirme yapılarak tez çalışması sonlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu yazıcı, üç boyutlu baskı, üç boyutlu baskı teknolojileri, mimari koruma, restorasyon

**A RESEARCH ON THE POTENTIALITIES OF USING THREE DIMENSIONAL
PRINTING TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURE AND ARCHITECTURAL
PRESERVATION**

Onur ÇİMEN

Department of Architecture

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Can Şakir BİNAN

Developing technology has always been effective in the application of the art of architecture. The increasing pace of change in technology and the recent technological innovations have influenced architectural projects in different ways at every stage from the design to the implementation. In our day, in addition to the printers that are commonly used in houses and offices, three-dimensional printing machines have also started to be used. Owing to these machines, the designs can be implemented in a short time and at the desired scale.

In three-dimensional printing techniques, it is aimed to produce or copy existing or designed objects. The electromechanical devices used in this technique are similar to today's two-dimensional printing machines, but the resulting product is three-dimensional and can be produced in the desired form and shape depending on the consumable material. The model of the object that will be printed three-dimensionally can be obtained either by three-dimensional scanning or design, or by using sources like CityGML, BIM and HBIM. The model is printed with three-dimensional printers whose printing technique has evolved and diversified over time. Some of the printing techniques used in our day are Selective Laser Sintering (SLS), Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modelling (FDM/FFF), Laminated Object Manufacturing (LOM), Direct Metal Sintering (DMS), Electron Beam Melting (EBM), along with these techniques,

there are also six-axis three-dimensional printers that can print a concrete structure at once.

The three-dimensional printing technology that came into our lives in the 1980s is being successfully implemented in many sectors today. This technology, which is used in aerospace and defense industries, health, food, automotive and jewelry sectors, fashion products, education and architecture, comes to the fore particularly with its material diversity. Among the materials used in this technology are many types of metals, ceramics, bio materials, food materials, paper, glass, wood and wooden-like materials, and particularly plastic materials and derivatives.

Three-dimensional printing technology is increasingly used today in the process of implementing designs in the architecture, in which art is combined with functionality. There are many examples applied in this field with different materials and techniques. The three-dimensional printing technique has great potential for architectural conservation applications as well. In cases where traditional methods cannot be applied alone or are not sufficient, modern techniques, which are applied in accordance with conservation principles and rules, play a significant role in the preservation of the historical heritage. Constituting the foundations of today's architecture, the cultural heritage under preservation can also be preserved using three-dimensional printing technology, which is one of these modern techniques.

In the first part of the thesis, which is comprised of five parts, a summary of the literature, the purpose of the study, the hypothesis, and the method are presented. In the second part, three-dimensional printers are examined in detail. In this section, the historical development of three-dimensional printing techniques and modeling techniques are analyzed, subsequently, the types of three-dimensional printing are explained, and materials used in printers are introduced, describing the areas of use for these printers. In the third part, the use of three-dimensional printing technology in the field of architecture and architectural conservation is presented. It is emphasized that the three-dimensional printing technology is available at every stage of the conservation process starting from training and modeling, to rapid prototyping and implementation, and examples of these applications are presented. At the end of the third part, the potential of three-dimensional printing in the field of architectural conservation is examined in terms of principles and limits. In the fourth part, the data obtained from interviews and surveys conducted with architects regarding the use of three-dimensional printing technology in architectural conservation applications in Turkey are evaluated. In the fifth part, which is the last part of the thesis, a general evaluation of the work is presented, terminating the research.

Keywords: Three dimensional printer, 3D printing, 3D printing technologies, architectural preservation, restoration

1.1 Literatür Özeti

Hazırlanan tez çalışmasında üç boyutlu baskı teknolojileriyle ilgili yazılı ve görsel kaynaklar incelenmiştir. Araştırmalarda Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Marmara Üniversitesi kütüphanelerinde ve Beyazıt Devlet Kütüphanesinde araştırmalar yapılmıştır. Yazılı kaynaklar kapsamında konu ile ilgili yazılmış kitaplar, tezler, makaleler incelenmiştir. Kaynakların çoğu yabancı dilde olmakla birlikte 2017 basımlı Yavuz Kerim Demirbaş ile Bora Arlı'nın yazdığı "Uygulamalarla 3 Boyutlu Yazıcı Yapımı Ve Kullanımı" kitabı, 2017 yılında basılmış olan Ben Redwood, Filemon Schöffner ve Brian Garret in ortaklaşa yazdığı "The 3D Printing Handbook Technologies, Design and Applications" kitabı, 2015 yılında basılan Lory Zakar ve Kemal Kutgün Eyüpgiller'in yazdığı "Mimari Restorasyon Koruma Teknik Ve Yöntemleri" kitabı ve son olarak Zeynep Ahunbay'a ait 2019 yılında yayınlanan "Kültür Mirasını Koruma İlke ve Teknikleri" kitapları önemli kaynaklar olmuşlardır. Ayrıca üç boyutlu baskı tekniklerine ilişkin 5 farklı ülkeden katılımcının olduğu 2018 tarihli Antalya'da yapılan "3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry 2018" isimli kongrede yer alan bilgilerden de yararlanılmıştır. Konunun çok yeni olması ve sürekli gelişen bir teknolojisi olması sebebiyle dijital ortamda yer alan verilerden de yararlanılmıştır. Konuyla alakalı yapılan belgeseller incelenmiştir. Ayrıca mimarlıkta ve mimari korumada üç boyutlu baskı teknolojilerinin kullanımı hakkında araştırma yapmak ve örnekler vermek amacıyla "3D Print.Com" isimli "<https://3dprint.com>" adresli site ve "3D Printing Industry" isimli "<https://3dprintingindustry.com/>" adresli siteler başta olmak üzere birçok farklı dijital

kaynaktan yararlanılmıştır. Konuyla alakalı 'Türkiye İnovasyon Haftası' adlı kongrede Mimar Güvenç Özel'in 'Mekânsal Zekâ: Endüstri 4.0'a Mimari ve Sanatsal Yaklaşımlar' isimli panel izlenmiştir. Mimarlık ofisleriyle üç boyutlu baskı tekniklerinin kullanıma ilişkin görüşmeler yapılmış, bu teknolojinin mevcut ve potansiyel kullanımına ilişkin veriler toplanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tezin konusunu, üç boyutlu yazıcılar ve bu yazıcıların mimarlık ve mimari korumada kullanım alanı oluşturmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, tasarlanan nesnenin veya hazır halde bulunan bir nesnenin üretilmesi, kopyalanması amaçlarıyla kullanılan elektromekanik cihazlardır. Üç boyutlu makinelerin baskı teknikleri zamanla gelişmiş ve kendi içinde çeşitlilik göstermiştir. Genellikle kullanılan malzemeye ve bu malzemenin işleniş biçimine göre isim alan baskı makineleri geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlardan bazıları Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Stereolitografi cihazı (SLA), Eritilmiş Malzeme Yiğme (FDM/FFF), Katmanlı Obje Yapımı (LOM), Elektron Işınımıyla Eritme (EBM) gibi tekniklerdir. Bunların dışında 6 eksenli 3 boyutlu yazıcı robot kol teknolojisiyle birlikte beton bir yapının inşa edilebilmesi mümkün hale gelmiştir.

1980'li yılların sonlarından itibaren kullanılan üç boyutlu baskı teknolojisi, zamanla daha da gelişmiş ve gelişen bu baskı teknolojisi artık birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Bu kullanım alanlarından biride mimarlıktır.

Bu çalışmanın amacı üç boyutlu baskı teknolojisinin mimarlıkta ve mimari koruma alanında; dünya genelinde ve Türkiye özelinde mevcut kullanım alanları araştırmak ve bu araştırma doğrultusunda üç boyutlu baskı teknolojisinin koruma alanına katabileceği potansiyeli incelemektir. Özellikle üç boyutlu baskı teknolojilerinin Türkiye'de mimari projelendirme ve uygulama aşamalarında kullanım oranının ne durumda olduğu ve hangi aşamalarda kullanıldığı, bunun sebepleri ve bu potansiyelin artırabilirliğini incelemek ve bu inceleme doğrultusunda; eğitim süreciyle başlayan mimari korumanın her bir aşamasında üç boyutlu baskı tekniklerinin dolaylı ve direkt olarak kullanımının sağlayabileceği potansiyel katkıları değerlendirmek bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1.3 Hipotez

Mimari koruma kapsamında kültür varlığı olarak kabul edilen yapıların mimari, teknolojik ve artistik ögelerini koruyarak gelecek kuşaklara aktarılması için zamanla gelişen ve teknolojiyle daha da etkili olabilen birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden bir tanesi de dünya genelinde giderek kullanımı artan üç boyutlu baskı teknikleridir.

Günümüzün hızla gelişen teknolojilerinden olan üç boyutlu baskı teknikleri; üretim yöntemlerinin zamanla çoğaltmış ve kullanılan materyal çeşitlerini giderek artırmıştır. Malzeme çeşitliliğinin bol olması ve istenilen tasarımların hızlı ve doğru bir şekilde elde edilebiliyor olması üç boyutlu tasarımı kısa zamanda birçok sektörde yer almasını sağlamaktadır.

Bu alışma dünya genelinde ve Türkiye özelinde birçok alanda kullanılan ve ihtiyaçlara cevap veren üç boyutlu baskı sistemlerinin mimari koruma uygulamaları alanında da kullanım potansiyeli taşıdığını öngörmektedir. Bu sebeple üç boyutlu baskının mimaride kullanım alanları, mevcut kullanım örnekleri ve bu teknolojinin kullanımının artırılmasının mimariye olabilecek olası katkıları bu tezin kapsamındadır.

1.4 Yöntem

Tez çalışmasında literatür özetinde belirtilen tüm kaynaklar incelenmiştir. Öncelikle üç boyutlu baskı teknikleri açıklanmış ve bu tekniklerinin çalışma prensipleri, kullanılan malzemeler ile beraber anlatılmıştır. Ardından bu teknolojiyi genel kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Üç boyutlu teknolojinin mimaride mevcut kullanım alanları örneklerle açıklanmıştır. Ardından üç boyutlu baskı teknolojisinin mimari korumada nasıl kullanıldığı ve kullanılabilirliğinden bahsedilmiştir.

Tez çalışmasında yöntem olarak öncelikle var olan çalışmaların bir derlemesi yapılmış ve dünya genelinde mimaride kullanılan üç boyutlu baskı çalışmaları incelenmiştir. Mimari korumada hangi aşamalarda kullanabileceğine dair araştırmalar ve örnekler incelenmiştir. Üç boyutlu baskı sistemi kullanımının, modern ve tarihi yapılarda kullanılan mevcut yöntemlere göre sağlayacağı katkılar, örnekler ve önermelerle açıklanmıştır. Türkiye genelinde ve İstanbul özelinde üç boyutlu baskı tekniklerinin mimarideki kullanımına ilişkin veri araştırması yapılmıştır. Bu amaçla mimarlık

firmalarıyla görüşülmüş ve üç boyutlu baskı tekniklerini kullanıp kullanmadıkları, hangi alanlarda kullandıkları, bu teknolojinin kullanımı hakkında ne kadar bilgi sahibi oldukları ve mimaride kullanım potansiyeli hakkında ne düşündükleri sorulmuştur. Türkiye’de yer alan üç boyutlu baskı merkezleriyle görüşülerek genel müşterilerinin hangi sektörden olduğu bu teknolojiye ilişkin mimarlık ofislerinden bir talep olup olmadığı araştırılmıştır. Elde edilen veriler sentezlenerek mimari koruma uygulamalarında kullanım potansiyeli açıklanmıştır.

Tezin ilk bölümünde tüm araştırmalar, analizler ve değerlendirmeler çerçevesinde oluşan tezin araştırmasının amacı, literatür özeti, kapsamı ve yöntemi anlatılmıştır. İkinci bölümde ise üç boyutlu baskı tekniklerine ilişkin detaylı bilgi verilmiştir. Modelleme yöntemleri, baskı türleri, kullanılan malzemeler ve kullanım alanları incelenerek anlatılmıştır. Üçüncü bölümde üç boyutlu yazıcıların mimarlık ve mimari koruma alanında kullanımına ilişkin bilgiler verilmiş, yapılan uygulama ve örnekler üzerinden incelemeler yapılmıştır. Üç boyutlu baskının mimari koruma alanındaki potansiyelinin koruma ilke ve ölçüleri açısından irdelenmesi yapılmıştır. Özellikle mimari korumada üç boyutlu baskı tekniklerinin kullanımı detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Dördüncü bölümde Türkiye’de mimari korumada üç boyutlu baskı teknolojisinin kullanıma ilişkin mimarlık ofisleri ve mimarlarla yapılan görüşmelerden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Yapılan tüm bu incelemeler, araştırmalar ve değerlendirmelerden ulaşılan sonuç ve konudaki yapılanlar beşinci bölümde sonuçlar olarak belirtilmiştir.

ÜÇ BOYUTLU BASKI

Teknoloji özellikle son yüzyılda hızla değişiyor ve ilerliyor. Eskiden sadece fotokopi merkezlerinde gördüğümüz yazıcılar hızla günlük yaşantımıza girmeye başladı. Önceleri yazıcı denildiğinde genelde aklımıza elektronik ortamdaki bir dökümanın mürekkep veya toner vasıtasıyla kâğıda aktarılması sürecinde kullandığımız elektronik alet geliyordu, şimdilerde, bu kavram genişleyerek yeni teknolojileri de içine katmaya başladı. Yeni teknolojiyle beraber artık elektronik ortamdaki veri çeşitli malzemelerle beraber üç boyutlu olarak basılabiliyor [1].



Şekil 2.1 Baskı teknolojilerinin gelişimi [2]

2.1 Üç Boyutlu Baskı Nedir?

Üç boyutlu yazıcılar çeşitli materyalleri birbirine ekleyerek elektronik ortamda tasarlanan veya hazır olarak bulunan nesnelere üretmek veya kopyalamak için kullanılan elektromekanik cihazlardır. Bu üretimin geleneksel üretim yöntemlerine göre farkı ekstra araçlara ihtiyaç duymadan, daha kısa sürede kompleks ürünlerin üretilmesine olanak sağlamasıdır [3].



Şekil 2.2 Üç boyutlu baskı [4]

2.1.1 Üç Boyutlu Baskı İşlemi

Üç boyutlu basma işleminin ilk adımı imal edilecek olan parça veya ürünlerin üç boyutlu tasarım programları yardımıyla bilgisayar ortamında oluşturulması veya 3b tarama sistemleri ile var olan nesnelerin taranması ve bilgisayar ortamında veri haline getirilmesidir [5]. Bir ürünü tasarlamak ve basılacak hale getirmek belirli bir seviyede teknik bilgi gerektiren bir işlemdir. Bu teknik kullanım bilgisine sahip olunmaması durumunda; üç boyutlu tasarım programlarını kullanmadan, internet aracılığıyla, hazır şekilde bulunan ve istenilen tasarıma uygun objeleri seçerek indirilebilir ve üzerinde değişiklikler yapılabilir [6]. Üç boyutlu model oluşturulduktan sonra basılabilmesi için uygun dosya formatına çevrilir ve üç boyutlu yazıcı kontrol programına aktarılır. Model burada katmanlarına ayrılarak uygun programa dili olan “G-code” (Geometric Code; birçok çeşidi bulunan, nümerik kontrol amaçlı kullanılan bir programlama dili) oluşturulur. Katmanlara ayrılma işlemi sırasında oluşturulacak katman kalınlığı, dolgu deseni, dolgu miktarı, hız ve sıcaklık gibi parametreler ayarlanarak son ürün üzerinde oldukça değişik etkiler elde edilebilir. Üç boyutlu baskı sonucunda oluşan ürün üzerinde daha sonradan isteğe ve kullanıma bağlı olarak zımparalama, boyama, pürüzleri temizleme gibi işlemler uygulanabilir [7].



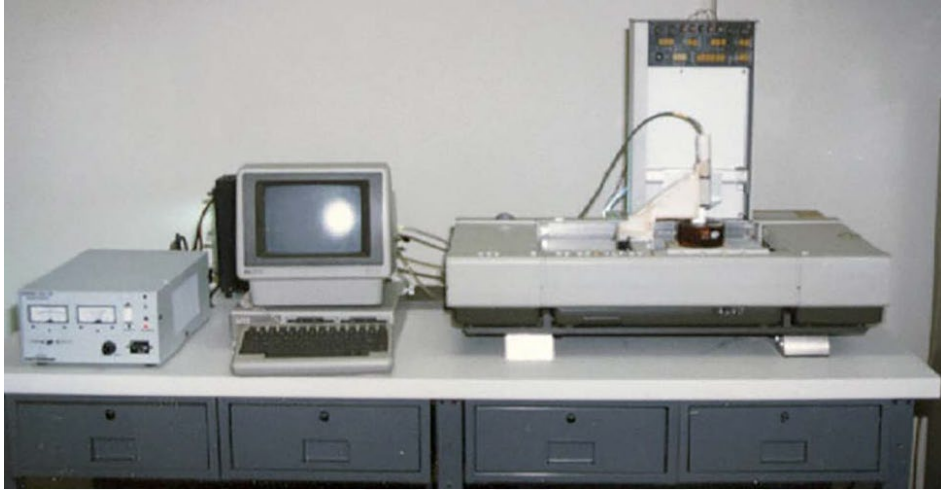
Şekil 2.3 Üç boyutlu baskı işlemi [8]

2.2 Üç Boyutlu Baskının Tarihsel Gelişimi

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren buhar gücüyle çalışan makinelerin kullanılmaya başlaması teknolojik gelişmelerin hızlanmasını sağladı. 1938’de Chester Carlson elektrofotografi adı verilen bir kuru baskılama tekniği icat etmiştir. Bu teknik daha sonraki süreçte gelişerek günümüz yazılarının temelini oluşturmuştur. 1940’lı yılların sonlarına doğru gelindiğinde ise üretim makinelerinin önceden elle ile kontrol edilen süreçlerini artık bilgisayar aracılığıyla otomatize ediyor ve böylece basit bir plaktan karmaşık formlu bir cisim elde edilebiliyordu. Günümüzde CNC (Computer Numerical Control) olarak adlandırılan makinenin bu ilk örneği sayısal olarak kontrol edilebilen eksiltmeli üretim sistemidir [1].

Günümüzde üç boyutlu baskı sistemleri modern teknoloji ve inovasyonun sınırlarını zorlayan uygulamalarda, birçok sektörde kullanılmaktadır. Yeni baskı teknolojisi sürekli gelişiyor olmakla birlikte, üç boyutlu baskının kendisi yaklaşık 30 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır [9]. 1974 yılında David Jones’a ait New Scientist dergisinde yayınlanan makale ile üç boyutlu baskı ve hızlı prototipleme sürecinin fikri düzeydeki başlangıcı yapılmış oldu [1]. Mayıs 1980’de Nagoya Belediyesi Endüstriyel Araştırma Enstitüsü'nden Japon Doktor Hideo Kodama Japonya’daki hızlı prototipleme sistemi için patent başvurusunda bulunmuştur. Ancak finansman sorunu nedeniyle, tam patent şartnamesini başvurudan sonraki bir yıl içinde dolduramamıştır [10]. Ardından Charles (Chuk Hull) tarafından 1984 yılında Sterolitografi (SLA) tekniği geliştirilmiştir ve “3D Systems” isimli şirket kurulmuştur. 1988 yılında ise patentlenen ilk ticari model satışa sunulmuştur. Bu tekniğe göre üç boyutlu parçalar sıvı plastik malzemenin veya

kompozitlerin katı kesitler halinde katman katman bilgisayar destekli tasarım (CAD) verilerinden doğrudan üretilmiştir [1].



Şekil 2.4 Chuck Hull tarafından icat edilmiş ilk üç boyutlu yazıcı (Sterolitografi) [11]

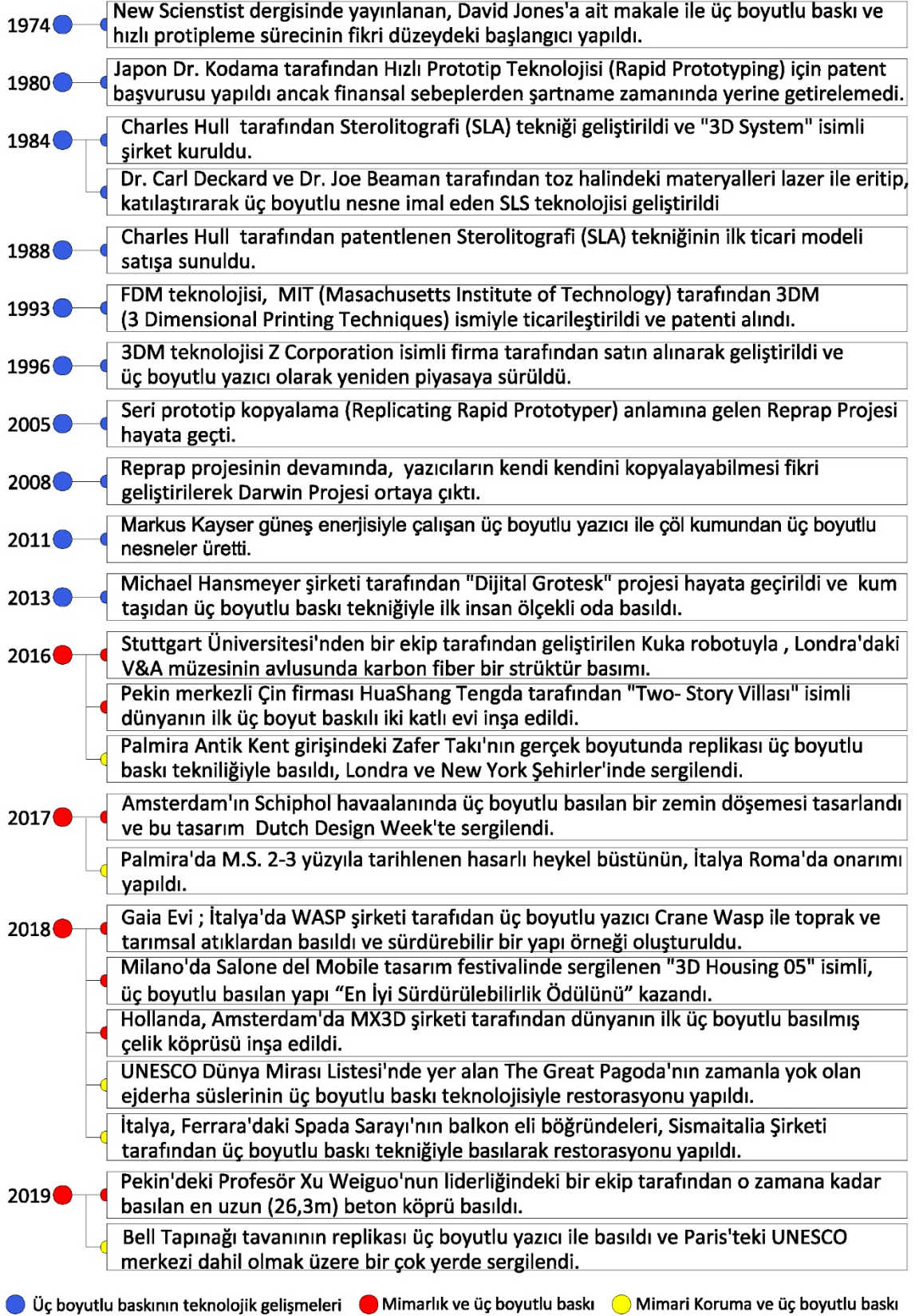
1988 yılında Scott Crump Ergitmeli Model Yığıma “Fused Deposition Modeling (FDM) “ adı verilen teknolojiyi icat etti [3]. Crump’ın bu buluşu üç boyutlu nesnelerin dijital verilerden üretilmesi yolunu açmıştır. 1990 yılında Stratasys tarafından ticarileştirilmiştir [1].

SLA ile hemen hemen aynı yıllarda Dr. Carl Deckard ve Dr. Joe Beaman tarafından toz halindeki materyal lazer aracılığıyla katılaştırılması işlemiyle üç boyutlu nesne imal eden SLS teknoloji geliştirildi [1].

FDM teknolojisi, 1993 yılında MIT (Masachusetts Institute of Technology) tarafından 3DM(3 Dimensional Printing Techniques) ismiyle ticarileştirilmiş ve patenti alınmıştır. Bu ürünü daha sonra Z Corporation isimli firma satın alarak 1996 yılında üç boyutlu yazıcı olarak yeniden piyasaya sürmüştür [12].

1990 yılların sonlarına doğru birçok şirket farklı isimlerle üç boyutlu yazıcı modelleri öne sürmüştür. Ancak üç boyutlu yazıcı teknolojisinde en önemli gelişmelerden biri 2005 yılında gerçekleşen RepRap (Replicating Rapid Prototyper) projesidir [3].

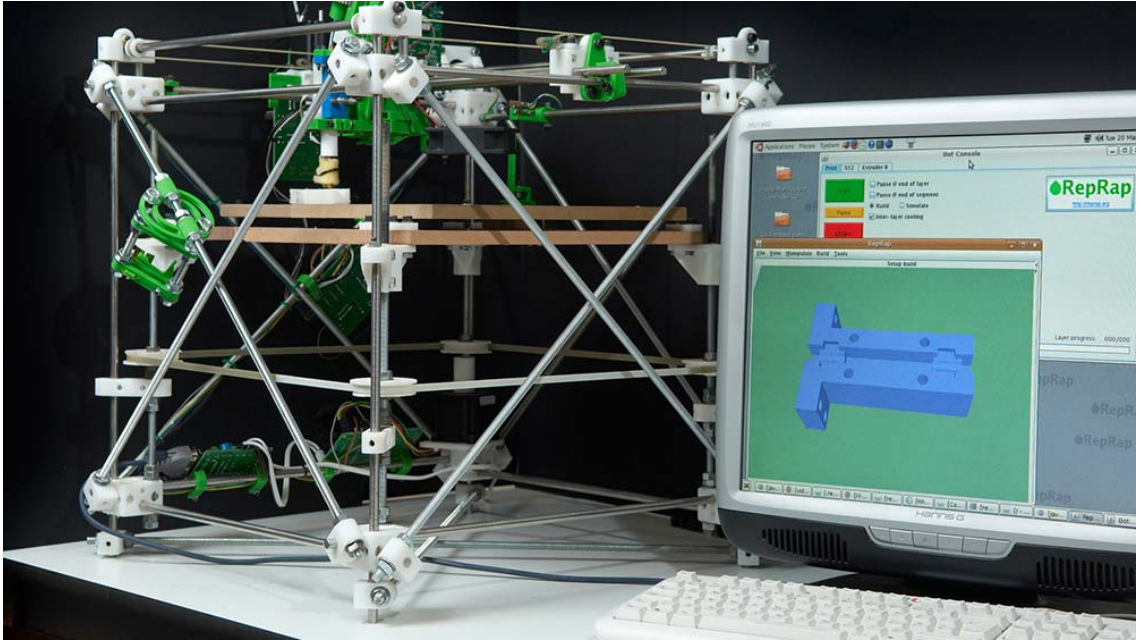
Reprap projesinin devamında 2008 yılında kendi kendini kopyalayabilen Darwin Projesi ortaya çıkmıştır. 2011 yılında Markus Kayser güneş enerjisiyle çalışan üç boyutlu yazıcı ile çöl kumundan üç boyutlu nesneler üretmiştir. 2015 yılında üç boyutlu piyasa hacmi iyice genişleyerek 1 milyon dolara ulaşmıştır [12].



Şekil 2.5 Üç boyutlu baskının tarihsel gelişimi

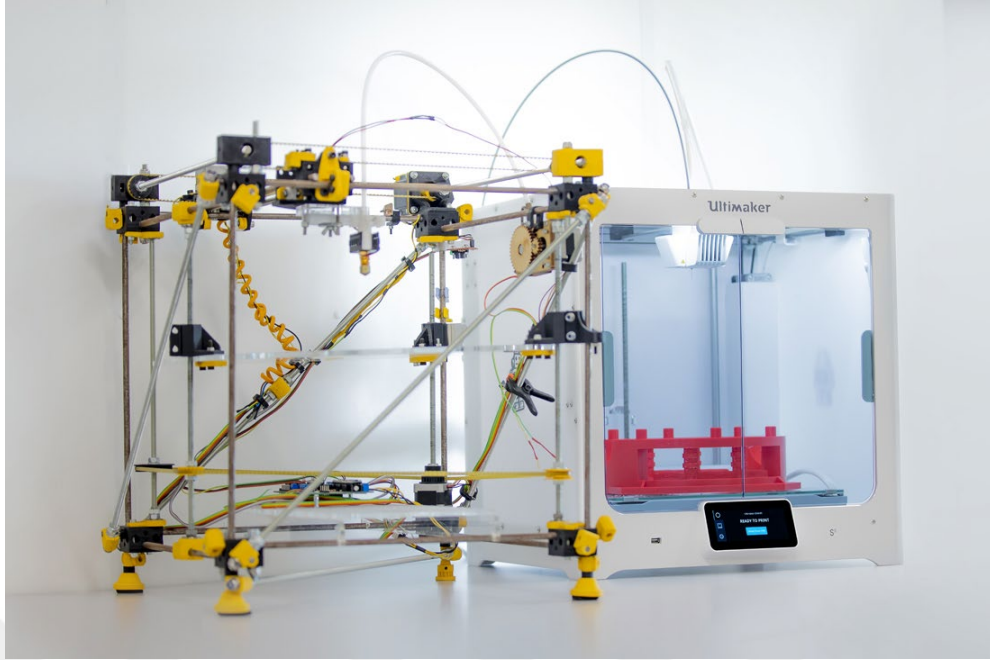
2.2.1 RepRap Projesi

Profesyonel üç boyutlu yazıcıdan yeni, daha küçük ve daha uygun fiyatlı bir şeye geçmenin mümkün olduğu fikri, ilk olarak 2004'te, o zaman İngiltere'de Bath Üniversitesinde bir akademisyen olan Adrian Bowyes'in yazdığı bir makalede ifade edildi. Bu makalede Adrian, üç boyutlu yazıcıların bazı parçalarını kendi başlarına yazdırabileceği ve bunun herkesin kolayca yapabileceği bir kavramdan bahsetti. Bu basit fikirden yola çıkan ve internette toplanan büyük bir sanal topluluğun yardımıyla, RepRap projesi hareketi doğdu [6] .



Şekil 2.6 İlk RepRap üç boyutlu yazıcısı [13]

Seri prototip kopyalama (Replicating Rapid Prototyper) anlamına gelen RepRap Projesi FDM adı verilen eğritmeli yığma teknolojisini kullanmaktadır. RepRap'ın açık kaynak hedefleri sayesinde birçok projede ilham amaçlı olarak RepRap'ta yer alan tasarımlar kullanıldı. RepRap bir topluluk projesi olması, oluşturulan web sitesi ve üç boyutlu yazıcılarla beraber, son kullanıcıya istenilen özgünlüğün yaratmasını sağlandı [7].



Şekil 2.7 Reprap Projesi [14]

Sonuçta RepRap üç boyutlu yazıcılar; kendi parçalarını kopyalama özelliği sayesinde yüksek maliyetli altyapı gereksinimlerine ihtiyaç duymadan (maliyet düşürülerek) karmaşık geometrili modelleri bile üretmeye olanak sağladılar [1].

2.3 Üç Boyutlu Modelleme Teknikleri

Üç boyutlu modelleme, mimarlar ve mühendisler tarafından projelerini planlamak ve tasarlamak için kullanılır. Animatörler ve oyun tasarımcıları ve film yapımcıları da fikirlerini hayata geçirmek, maliyetleri azaltmak ve üretimi hızlandırmak için üç boyutlu modelleme kullanılmaktadır [15].

Bilgisayar grafiklerinde üç boyutlu modelleme, herhangi bir nesnenin veya yüzeyin üç boyutlu dijital gösterimini elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Tasarımcı bir form oluşturmak ve sanal alandaki noktaları (köşeler adı verilen) işlemek için özel bir yazılım kullanır. Bu yazılımlar sayesinde model, ağ deforme edilerek veya köşeleri değiştirilerek otomatik veya manuel olarak oluşturulabilir. [15].

Modeller bazı web sitelerinden ve kaynak platformlardan hazır şekilde elde edilebildiği gibi bazı tasarımcılar ekip olarak veya bireysel olarak çalışarak üç boyutlu objeleri çeşitli projelerde kullanmak için tasarlayabilirler. Ayrıca üç boyutlu tarama yöntemleri kullanarak da nesnelere oluşturulabilir [15].

2.3.1 Üç Boyutlu Tarama

Üç boyutlu taramada birden çok üç boyutlu tarayıcı çeşidi ve teknolojisi bulunmaktadır. Kısa mesafeli tarama için kullanılan bazı modellerin yanında orta ve uzun menzili taramak için kullanılanlarda bulunmaktadır. Çok küçük bir nesneyi üç boyutlu taramak için gereken teknoloji ile büyük bir uçağı taramak için gereken teknoloji çok farklıdır [16].

2.3.1.1 Kısa Menzilli Üç Boyutlu Tarayıcılar

Bu tarz tarayıcılarda genellikle Lazer Üçgenleştirme veya Structured Light teknolojisinin kullanıldığı tarayıcı türüdür [16].



Şekil 2.8 Kısa menzilli üç boyutlu tarayıcı [17]

2.3.1.2 Lazer Tabanlı Üç Boyutlu Tarayıcılar

Trigonometrik üçgenleme adı verilen bir işlem sayesinde lazer tabanlı tarayıcılar objeyi milyonlarca nokta halinde doğru bir şekilde yakalar. Bir lazer ışını veya birden fazla ışın nesneye yansıtılarak, yansıtılan ışının bir veya birden çok sensörle yakalanması prensibine dayanarak çalışan bu teknikte, sensörler lazer kaynağından belirlenen bir mesafede bulunur. Lazer ışığının yansıma açısına göre doğru nokta ölçümleri yapılır[16].

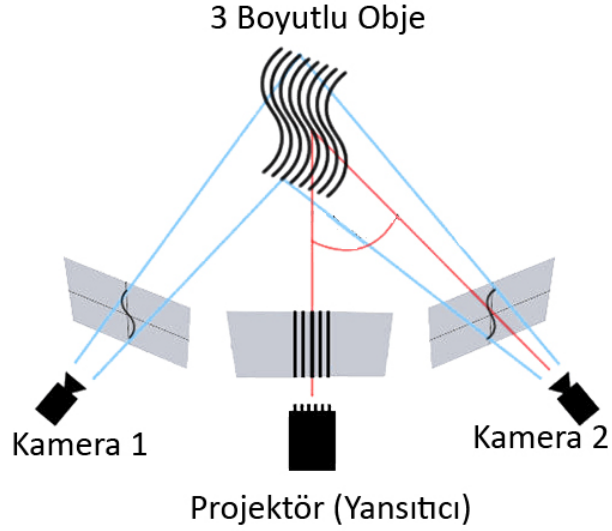


Şekil 2.9 Lazer tabanlı üç boyutlu tarayıcı [16]

Sıklıkla kullanılan lazer tarayıcılarının birden çok çeşidi bulunmaktadır. Kol bazlı, CMM bazlı, uzun menzilli ve tek noktalı lazer tabanlı tarayıcılar bu çeşitlerden bazılarıdır. Parlak veya koyu yüzeyler gibi sert yüzeyleri tarayabilen bu tarayıcılar değişen ışık koşullarına ve ortam ışığına karşı daha az hassastırlar. Düşük maliyetli oluşları, tanışabilir yapısı ve kolay kullanımı üç boyutlu lazer tarayıcıların diğer avantajlarından [16].

2.3.1.3 Yansıtılmış veya Yapılandırılmış Işıklı Üç Boyutlu Tarayıcılar

Beyaz ışıklı üç boyutlu tarayıcılar olarak da bilinen, çoğu yapılandırılmış ışıklı üç boyutlu tarayıcılar, günümüzde mavi veya beyaz LED yansıtılmalı bir ışık kullanmaktadır. Bu tür tarayıcılar objeye çubuk şeklinde, bloklar halinde veya farklı şekillerden oluşan hafif desenler halinde ışıklar yansıtırlar. Bu desenlerin veya yapı şekillerinin kenarına bakan bir veya birden fazla sensörler vasıtası ile üç boyutlu şeklin ağılanması sağlanır. Lazer tarayıcıların işleyişine benzer şekilde çalışan bu tarayıcılar, hafif olması sebebiyle taşınabilirlerdir ve tripoda monte edilebilirler. Tarama süreleri hızlıdır ve +8 inç (20 cm) kadar büyük tarama alanlarını tarayabilirler. Yüksek çözünürlük ve hassasiyet sağlarlar. İnsanların ve hayvanların taranabildiği bu tarama yönteminde küçük ve büyük parçaları aynı anda taramak için çoklu lensler kullanılır [16].



Şekil 2.10 Yansıtılmış veya yapılandırılmış ışıklı üç boyutlu tarayıcıların çalışma prensibi [18]

2.3.1.4 Orta ve Uzun Menzilli Üç Boyutlu Tarayıcılar

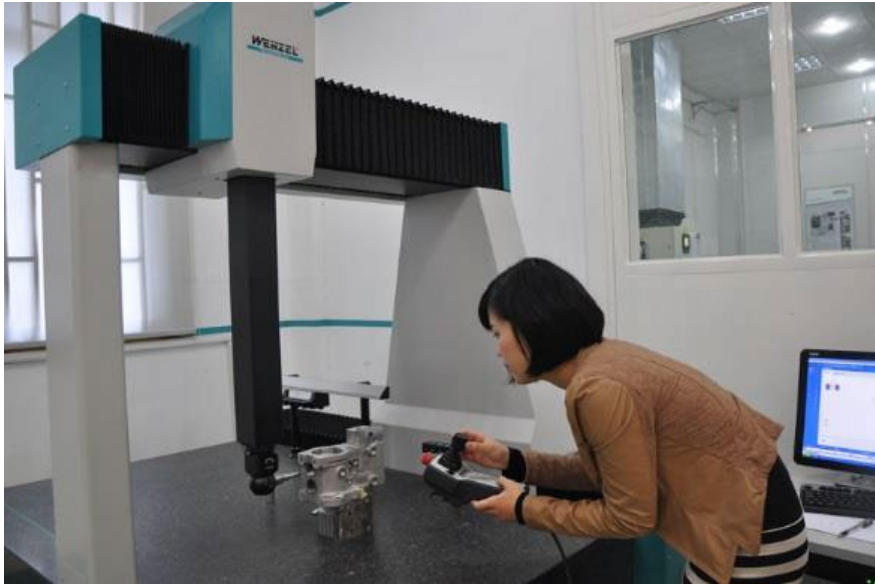
Darbe tabanlı ve faz kayması olmak üzere her ikisi de binalar, yapılar, uçaklar ve askeri araçlar gibi büyük nesnelere için uygun olan iki ana formatta kullanılır. Faz kaymalı formatta kullanılan tarayıcılar ayrıca otomobiller, büyük pompalar ve endüstriyel ekipmanlar gibi orta seviye tarama ihtiyaçlarında da kullanılabilir. Lazer darbeli tarayıcılar çok basit bir konseptte ışığın hızını baz alarak çalışır. Nesneye olan uzaklık lazerin sensörden geri dönme süresiyle hesaplanır ve bu şekilde tarama işlemi gerçekleştirilir. Tarayıcı lazer ve sensörü kendi etrafında döndürerek 360 dereceye kadar tam tarama yapabilir. Lazer faz kayması sistemleri darbe tabanlı sistemlere ek olarak lazer ışınının gücünü de modüle eder ve tarayıcı gönderilen ve sensöre geri gönderilen lazerin fazını karşılaştırır. Darbe tabanlı sistemlere göre daha keskin sonuçlar alınmasına rağmen uzun mesafeli taramalar için yeterince esnek değildir. İkisi de taşınabilir olan bu sistemlerde darbe tabanlı sistemler 1000m ye, faz kaymalı ise 300m ye kadar doğru ve iyi çözünürlükte taramalar yapabilirler [16].



Şekil 2.11 Uzun menzilli üç boyutlu tarayıcı [19]

2.3.1.5 Koordinat Ölçme Makinesi (CMM)

Taranacak objeleri incelemek için öncelikle bir koordinat ölçüm makinesi (CMM) kullanılır. Manuel olarak veya bilgisayarlarla çevrimdışı kontrol edilebilen bu makineler, ölçümleri bir probun makineye takılmasıyla yaparlar. CMM daha sonra parçaya temas etmesiyle XYZ koordinatlarında bir ölçüm değeri alır. Objeleri doğru bir şekilde ölçmek için, CMM'ler sağlam bir zemin üzerinde, kontrollü nem ve sıcaklıkta, titreşim ve diğer kuvvetlerden izole edilen bir odada kullanılır [16].



Şekil 2.12 Koordinat ölçme makinesi (CMM) [16]

2.3.1.6 Kol Tabanlı Üç Boyutlu Tarayıcılar

Kol tabanlı üç boyutlu tarama sistemi, bir parçayı ölçmek için bir dokunma probu kullanabildiği için koordinat ölçüm makinesine (CMM) benzer. Bu sistemde büyük miktarda nokta toplamak için takılabilir üç boyutlu bir lazer tarayıcı kullanılır ve yazılımlar sayesinde kolun eklem hareketleri izlenerek konumunun algılanması sağlanır. Atölye ortamında kullanılabilir olmaları ve CMM'den çok daha taşınabilir olmaları bu sistemlerin temel avantajıdır [16].



Şekil 2.13 Kol tabanlı üç boyutlu tarayıcı [20]

2.3.1.7 Optik Olarak İzlenen Üç Boyutlu Tarayıcılar

Optik olarak izlenen üç boyutlu tarama sistemleri, tarama kafasının veya sondanın konumunu izlemek için bir dizi kamera kullanır. Bu sistemler dinamik referanslama sistemleri ve hareket özgürlükleri sayesinde kol bazlı sistemlere göre daha fazla avantaj sunarlar. Taranan veya sondalanan objeye hedeflerin veya led ışıkların eklenmesiyle çalışan dinamik referans sistemi sayesinde kamera sisteminin objeyi devamlı izlemesi ve taraması sağlanır. Bu sayede tarama sırasında bile obje hareket edebilir ve kalite kaybı yaşanmaz. Ayrıca kamera sisteminin hareketli oluşu büyük parçaların tek seferde taranmasına olanak sağlar [16].



Şekil 2.14 Optik olarak izlenen üç boyutlu tarayıcı [21]

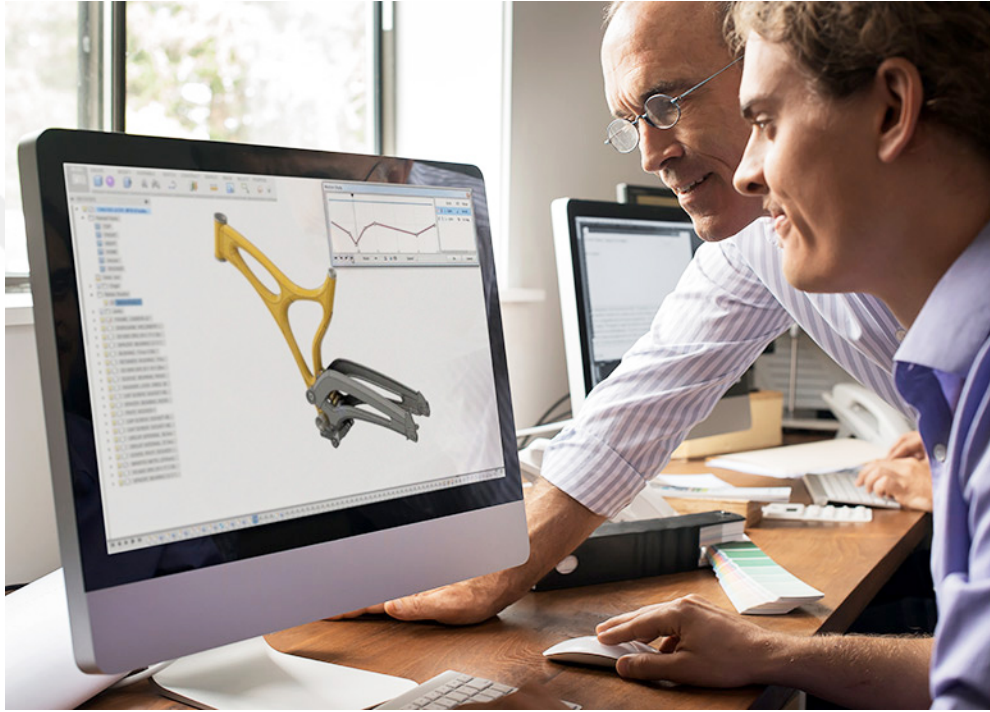
2.3.2 Tasarım / Kavramsallaştırma

Üç boyutlu modellemenin çalışma biçimine bakıldığında modellemeyi yapan kişi (sanatçı) genellikle bir küp, küre veya düzlem gibi bir ilkel tür üreterek başlar. İlkel form, modellemeye başlamak için sadece bir başlangıç şeklidir. Sanatçı bu temel forma dayanarak ve çeşitli modelleme araçlarını kullanır ve şekli yönlendirir. Üç boyutlu modelleme için çoğunlukla basit bir başlangıç yaparak, karmaşıklığa doğru gidilen bir çalışma yöntemi kullanılır [15].

Üç boyutlu modellemede, istenen nesnenin doğru hatlarını elde etmek için sık sık bağımsız köşelerin titizlikle yerleştirilmesini içeren bir iş akışı kullanılır. Ağın dış kısmı, daha fazla ayrıntı oluşturmak için daha küçük şekillere bölünebilen çokgenlerden oluşur. Bu alt bölümler, özellikle üç boyutlu model canlandırılacaksa gereklidir. Örneğin bir karakterin diz veya dirseği gibi herhangi bir eklemin eğilmesi gereken parçaların rahat hareket edebilmesi için bu ek çokgenler kullanılır [15].

Modelleme sürecini hızlandırmak için çeşitli araçlar kullanılır. Çoğu program, sanatçının nesnenin yalnızca bir yarısında, hatta dörtte birinde çalışarak simetrik bir model oluşturmasını sağlayan bir yansıtma tekniği içerir. Bu teknik bir modelin tasarımında özellikle tasarımcının modelin sadece bir tarafını modellemesi gerektiği ve yazılımın çalışmalarını istenen eksen boyunca kusursuz bir şekilde simetrik bir nesne oluşturarak

yansıtması gerektiği durumlarda daha faydalıdır. Diğer programlar ise bir modelin yüzeyinin hızlı bir şekilde deforme olmasına izin verir. Örneğin, daha organik bir yüzey elde etmek için ağın yerini değiştirerek gürültü dokusu oluşturulabilir. Daha yüksek çokgen sayımını simüle etmek için ise alt bölmeli bir yüzey aracı kullanılabilir. Bu şekilde tasarımcı orijinal eserini koruyan bir süreçte “yıkıcı olmayan” bir şekilde çalışabilir. Bu, özellikle doğru yapılması için birden fazla kez denenmesi gerektiren daha karmaşık modeller için önemlidir [15].

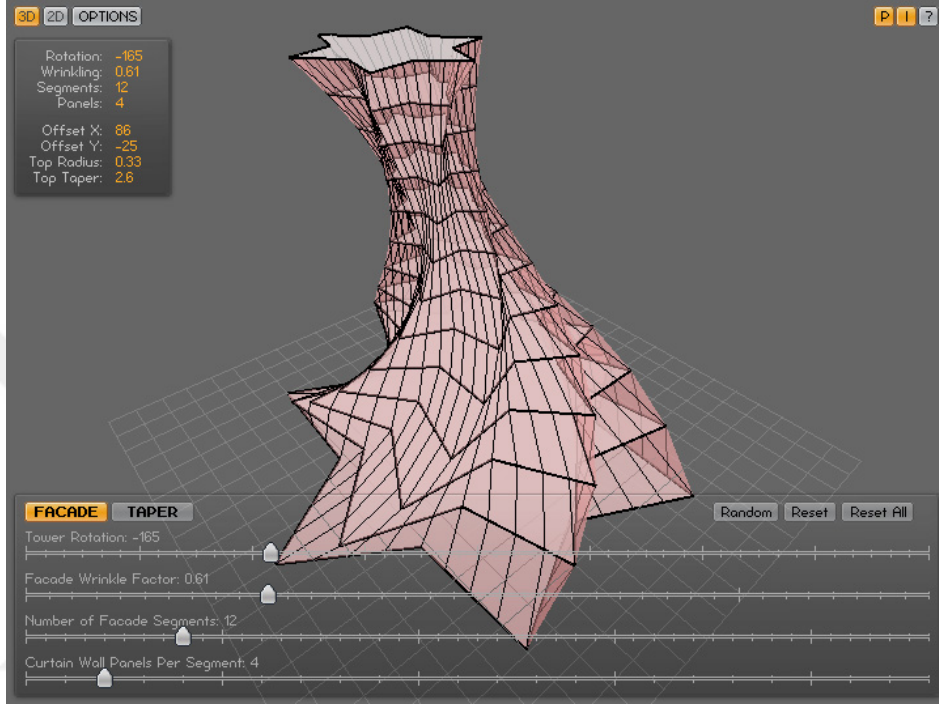


Şekil 2.15 Bilgisayar destekli tasarım [22]

2.3.3 Parametrik Modelleme

Parametrik, bir boyutun, boyut değeri değiştirildiği anda model geometrisinin şeklini değiştirme yeteneğini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Parametrik modelleme, bilgisayarı bileşen özelliklerini gerçek dünya davranışıyla modelleyen nesnelere veya sistemler tasarlamak için kullanılır. Parametrik modeller, sistem niteliklerini değiştirmek için özellik tabanlı, sağlam ve yüzey modelleme tasarım araçlarını kullanır. Parametrik modellemenin en önemli özelliklerinden biri, birbirine bağlanan özelliklerin otomatik olarak özelliklerini değiştirmesidir. Başka bir deyişle, parametrik modelleme tasarımcıya yalnızca belirli örnekleri değil, tüm şekil sınıflarını tanımlamasını sağlar. Parametriklerin ortaya çıkmasından önce, şekli düzenlemek, tasarımcılar için kolay bir iş değildi. Örneğin,

bir üç boyutlu katıyı modifiye etmek için, tasarımcı uzunluğu, genişliği ve yüksekliği değiştirmek zorunda kalırdı. Bununla birlikte, parametrik modellemede, tasarımcı sadece bir parametreyi değiştirir; diğer iki parametre otomatik olarak ayarlanır. Bu yüzden parametrik modeller, bir şekil oluşturma ve bunları parametreleştirme adımlarına odaklanır [23].



Şekil 2.16 Parametrik yöntemle modelleme örneği [24]

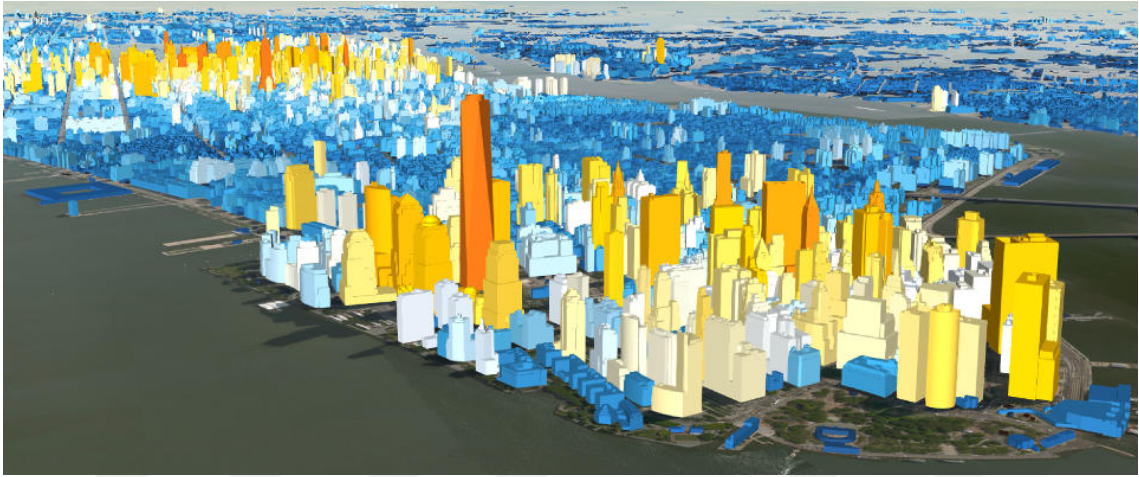
Parametrik modelleme için bugün piyasada birçok yazılım seçeneği bulunmaktadır ve küçük ölçekli kullanım, büyük ölçekli kullanım ile sektöre özel modelleme şeklinde sınıflandırılabilir [23].

2.3.4 CityGML (City Geography Markup Language)

CityGML, sanal bir üç boyutlu şehir ve peyzaj modellerinin temsili, depolanması ve değişimi için kullanılan ortak bir bilgi modeli ve XML tabanlı kodlamadır. CityGML, 3B nesnelere geometri, topoloji, anlambilim ve görünüm açısından tanımlamak için standart bir model ve mekanizma sağlar ve beş farklı ayrıntı seviyesi tanımlar. Bunlara ayrıca tematik sınıflar, toplamalar, nesnelere arasındaki ilişkiler ve mekânsal özellikler arasındaki genelleme hiyerarşileri de dahildir. CityGML oldukça ölçeklenebilirdir ve veri kümeleri,

yalnızca tek tek binaları değil tüm siteleri, ilçeleri, şehirleri, bölgeleri ve ülkeleri modellemeye yönelik genel eğilimi destekleyen farklı kentsel varlıkları içerebilir [25].

CityGML, çeşitli uygulamalarla görselleştirme için 3B içerikten çok daha fazlasını sağlar. Kullanıcıların karmaşık analizler için sanal 3B şehir ve peyzaj modellerini paylaşmalarını olanak tanır. Çevresel simülasyonlar oluşturmak, enerji talep tahminleri yapmak, şehir yaşam döngüsünü yönetmek, kentsel tesis yönetimi, emlak değerlendirmesi yapmak, afet yönetimi, yaya navigasyonu gibi uygulama görevlerini görüntülemeye ve oluşturmaya olanaklar sağlar [25].



Şekil 2.17 Manhattan binalarının yüksekliği esas alarak renklendirilen CityGML modeli [26]

CityGML birçok yazılım çözümünde uygulanmıştır ve dünyadaki birçok projede kullanılmaktadır. Hollanda, Almanya, Fransa, Malezya, Abu Dabi ve diğer ülkelerdeki Ulusal Mekansal Veri Altyapısı programlarında CityGML, ikinci boyuttan üçüncü boyuta veri geçişi için önemli bir platform sağlamaktadır. Ayrıca, projelerinin tasarımı, inşaatı, mülkiyeti ve işletilmesinde kullanılan bilgi sistemleri arasında birlikte çalışabilirliği arttırmak için Kent Bilgi Modellerini, Bina Bilgi Modelleriyle (BIM) birleştirmede önemli bir rol oynamaktadır [25].

CityGML, yalnızca şehir modellerinin grafiksel görünümünü temsil etmekle kalmaz aynı zamanda sayısal arazi modelleri, binalar, köprüler, tüneller, bitki örtüsü, su kütleleri, ulaşım tesisleri ve şehir mobilyaları gibi tematik özellikleri, taksonomileri ve kümelenmeleri de içerir [25].

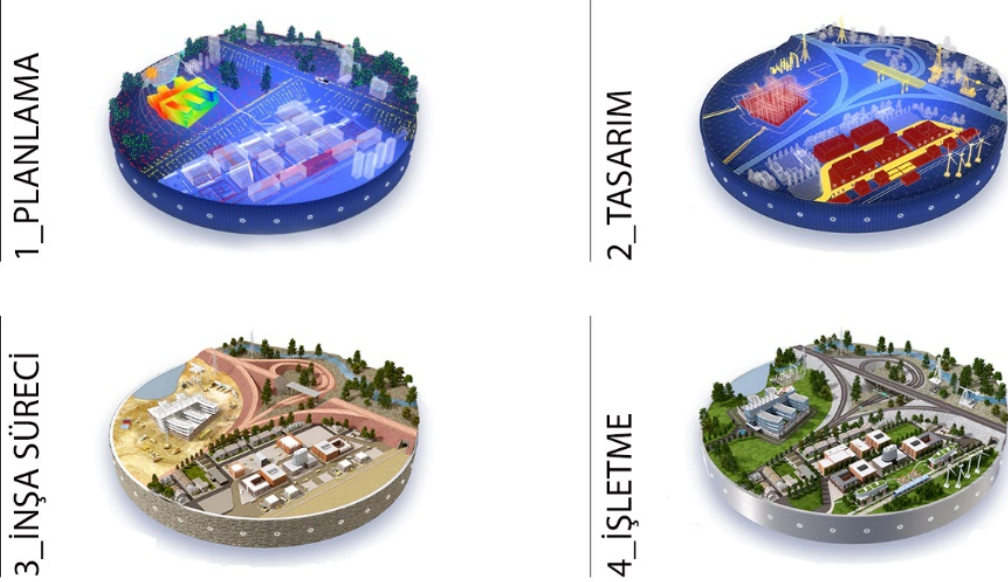
2.3.5 BİM (Building Information Modeling)

Yapı Bilgi Modellemesi (BİM), akıllı bir üç boyutlu modelin oluşturulmasıyla başlayan ve bir projenin tüm yaşam döngüsü boyunca (plan, tasarım, yapım, işletme ve bakım) belge yönetimi, koordinasyonu ve simülasyonu sağlayan bir süreçtir [27].

BİM, bina ve altyapı tasarımlarını tasarlamak ve belgelemek için kullanılır. Bir binanın her detayı BİM'de modellenmiştir. Model, tasarım seçeneklerini araştırmak ve tasarımcıların binanın inşa edilmeden önce nasıl görüneceğini anlamalarına yardımcı olacak görselleştirmeler oluşturmak için analiz amacıyla kullanılabilir [27].

Mimari, mühendislik ve inşaat endüstrisi, küresel nüfus için sosyal ve ekonomik alanların sağlanmasından ve halihazırda kullanılmakta olan binaların ve altyapının korunmasına ve onarılmasına yardımcı olmaktan sorumludur. Endüstri, yalnızca küresel talebe yetişmek için bir araç olarak değil aynı zamanda daha akıllı ve daha esnek alanlar yaratmaya yardımcı olmak için tasarlanmanın ve oluşturmanın daha akıllı, daha etkili yollarını aramaktadır. Bu bağlamda BİM, sadece tasarım ve inşaat ekiplerinin daha verimli çalışmasına izin vermekle kalmaz, aynı zamanda işlem sırasında oluşturdukları verileri işletme ve bakım faaliyetlerinden faydalanmalarına olanak sağlar. BİM verileri ayrıca proje, şehir veya ülke düzeyinde planlama ve kaynak bulma konusunda bilgi verebilir. Bu durum BİM'in dünya genelinde kullanımının artmasında temel sebeplerden biridir [27].

BİM, bir binanın ya da altyapı projesinin ömrü boyunca kullanılacak akıllı verilerin oluşturulmasını destekler niteliktedir. İlk olarak Mevcut yapılı ve doğal çevrenin bağlam modellerini oluşturmak için tasarım ve gerçek dünya verilerini birleştirerek proje planlamasını yapılı. Ardından dizayn aşamasında kavramsal tasarımlar, analizler, detaylandırma ve dokümantasyon çalışmaları yapılı. İnşaat öncesi planlamada ise BİM verileri planlama ve lojistik konusunda bilgilendirmek için kullanılır. İnşa sürecinde ise üretim, BİM özelliklerini kullanmaya başlar ve proje inşaat lojistiği bilgisi optimum zamanlama ve verimlilik sağlamak için gerekli kurumlarla ve müteahhitlerle paylaşılır. Son aşama olan işletmede BİM verileri işlemlerin ve bitmiş varlıkların bakımının yapılmasında kullanılır [27].



Şekil 2.18 BIM modelleme aşamaları [27]

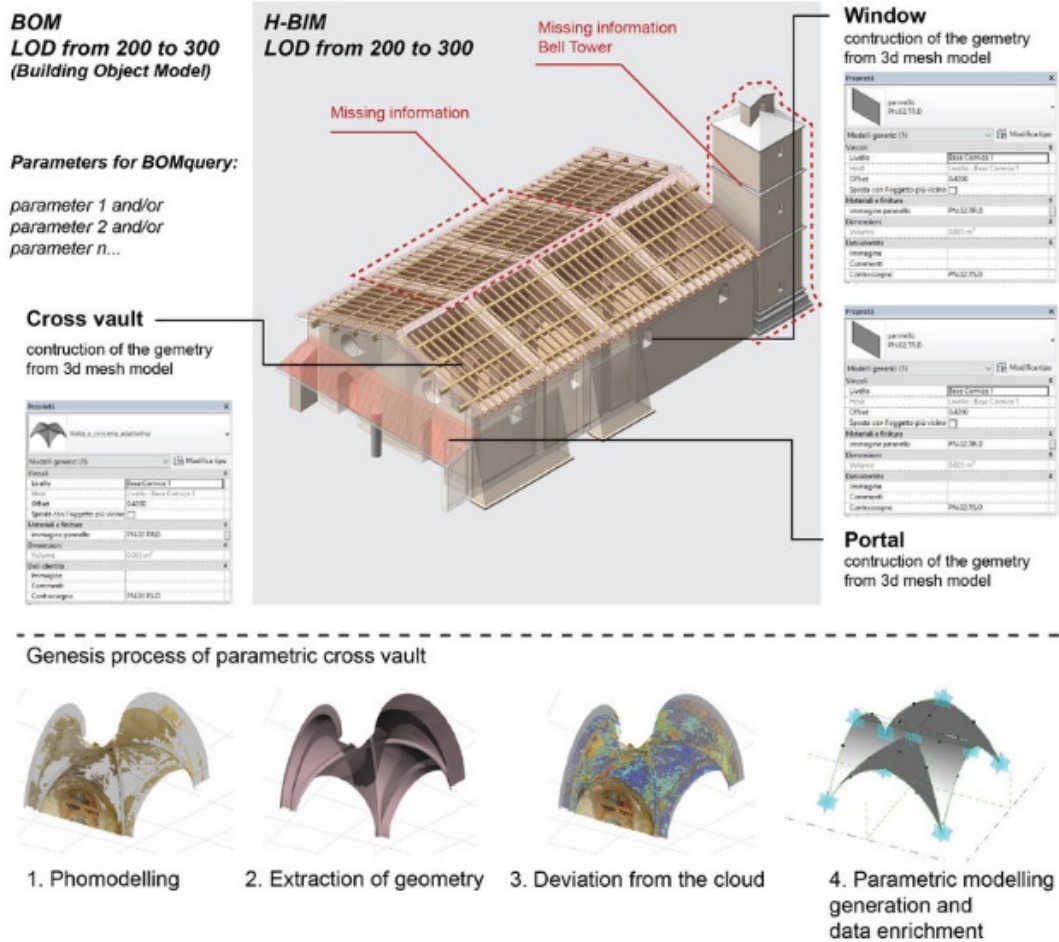
BIM teknolojileri, teknik veriler ve teknik çizimler gibi parametrik bilgileri kullanarak üç boyutlu modellerin dokümantasyonu, üretimi, ithalatı veya manipülasyonuna izin vermektedir ve bir modelden geometrik özellikler, yapısal geçici programlama, miktar ve maliyetlerin tanımı, projenin sürdürülebilirliği, bakım ve yaşam döngüsü yönetimi bilgilerinin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. BIM veri tabanında saklanan bu bilgiler sayesinde her bir elemanın özelliklerini ve koşullarını geçmiş gibi simüle edebilen sanal bir parametrik model oluşturulması sağlanır [28].

2.3.6 H-BIM (Heritage Building Information Modeling)

H-BIM sistemi sanatsal, tarihsel ve yapı tipolojilerine göre, mimari elemanların modellenmesini ve belgelenmesini takip eden bir sistemdir. Ayrıca, H-BIM'in, kültürel mirası korumak ve yönetmek için özel olarak tasarlanmış özel bir BIM parametrik nesnelere kütüphanesi vardır. Genel olarak, H-BIM kütüphanesi, yazılar ve tarihi mimari belgeler, lazer tarama, fotogrametrik teknikler ve söz konusu binanın fiziksel analizinden elde edilen diğer veriler kullanılarak inşa edilir [28].

H-BİM'de ilk olarak grafiksel, anlamsal ve tipolojik verilerle ilgili bilgiler toplanır. Grafik verilerinin elde edilmesinde üç boyutlu lazer tarama ve fotogrametri yöntemleri kullanılır. Anlamsal ve tipolojik veriler ise binanın teknik analizinden, el yazmalarından

ve tarihi belgelerden elde edilir. Bu bilgiler sayesinde malzemelerin ve geleneksel yapıım sistemlerinin öğrenilmesinin yanı sıra, binayı etkileyebilecek geçmiş dönüşümler hakkında bilgi edinilmesini sağlayacaktır. Binanın yaşam döngüsü boyunca meydana gelen olayları incelemek için zamansal parametrik veri girmek de mümkündür. Bu nedenle, bu yeni kütüphanenin bileşenleri; analiz edilen anıtların daha iyi okunmasını sağlar ve ayrıca teknik koruma belgeleri (kat planları, görünüm, yükseltmeler, kesitler, kesimler, detaylar, perspektifler vb.) yarı otomatik bir şekilde üç boyutlu sanal modeller oluşturmak için kullanılabilir. Ek olarak, H-BIM kütüphanesine ait parametrik nesnelerin dönüşümlere ve hızlı değişikliklere olanak sağladığı, bu şekilde benzer karakter ve mimari tarzı olan herhangi bir projenin, üç boyutlu sanal modelinin üretilmesini sağlayarak bir çözüme yaklaşıldığı düşünülmektedir [28].



Şekil 2.19 San Salvatore Kilisesi için H-BIM modeli [29]

İkinci adım, toplanan tüm semantik bilgilerin bilgi tabanı olarak kullanılmak üzere filtrelenmesi adıdır. IFC şablonları aracılığıyla veya doğrudan BIM platformuyla üç

boyutlu nesne filtrelenebilir. Diğer taraftan, elde edilen nokta bulutları, kolay bir şekilde yönetilebilmek için hizalanır, temizlenir ve filtrelenir. Daha sonra, nokta bulutlarını parametrik olarak modellemek için iki yöntem (otomatik veya manuel) kullanılabilir. Otomatik yöntem, şu anda sadece düzlem yüzeyler veya ilkel geometriler için geçerli olan belirli algoritmalar ve yazılım eklentileri kullanılarak nokta bulutlarından otomatik bölümlenme ve parametrik nesnelerin üretilmesinden oluşmaktadır. Manuel yöntemde, filtrelenmiş nokta bulutları doğrudan BIM ortamına entegre edilmelidir [28].

Üçüncü adımda, entegre nokta bulutu, modellenecek nesnelere tanımlanarak kurallara ve tarihsel kalıplara uyularak manuel olarak bölünür ve sınırlandırılır. Daha sonra, mevcut BIM kütüphanesinde olan veya manuel olarak oluşturulan nesnelere; incelenen objeyi veya binayı parametrik olarak modellemek için kullanılır. H-BIM kütüphanesinde gruplanan modeller sayesinde aynı dönem ve tarihe ait mimari yapıların parametrik modellemesini oluşturulmasına destek sağlamaktadır. H-BIM kütüphaneleri, BIM platformları arasındaki birlikte çalışabilirlik kapasitesi sayesinde bilgilerin yönetimi ve diğer veri kaynaklarıyla bağlantısına temel teşkil edecektir. H-BIM kütüphanesi birlikte çalışabilirliği, yapının tarihsel analizini, enerji simülasyonlarını, zaman ve maliyet hesaplamalarını ve analiz edilen binaların bakım ve restorasyon süreçlerini yönetme yöntemini geliştirecek diğer fonksiyonları kolaylaştırır. Ek olarak, H-BIM sayesinde malzeme ve inşaat tekniklerinin anlaşılması ve belgelenmemiş miras yapıları korunmasına, yönetimine, restorasyonuna veya yeniden inşasına yardımcı olmak mümkündür [28].

2.4 Üç Boyutlu Baskı Türleri

Üç boyutlu baskıda kullanılan birçok farklı teknoloji mevcuttur. Her bir teknolojiye dijital veri alınıp, kullanılan sarf malzeme ile katman katman oluşturularak nesne meydana getirilir. Kullanılan sarf malzeme, baskı tekniği, baskı kapasitesi ve uygulamalarıyla üç boyutlu baskı sistemleri birbirinden ayrılır [1].

2.4.1 Stereolitografi (SLA)

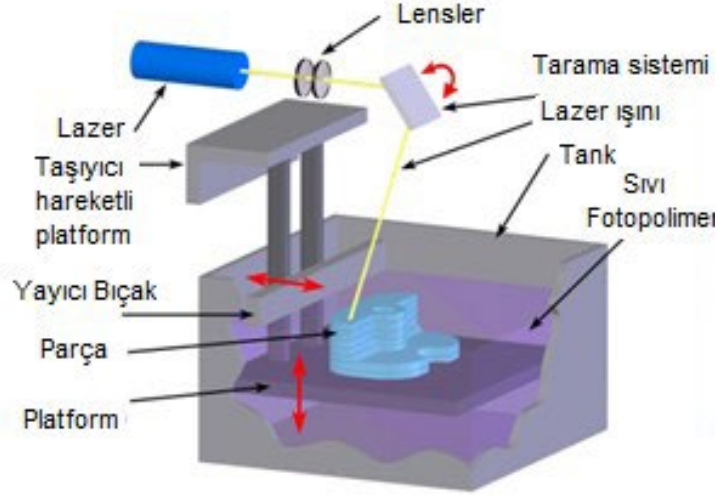
Stereolitografi 1986'da 3D Systems'in kurucu ortaklarından olan Charles Hull tarafından geliştirilmiştir. Yüksek hassasiyette üç boyutlu nesnelerin üretimi için sıvı malzemenin veya kompozitlerin, katı kesitler halinde katman katman bilgisayar verilerinden yararlanarak doğrudan üretilmesi tekniğidir [1].



Şekil 2.20 Stereolitografi (SLA) [30]

Bu teknikte ışığa duyarlı reçine transparan bir tankın içine yerleştirilir. Tankın içinde, tankın üzerine ve altına yerleştirilen aynalar kullanılarak yönlendirilen lazerler bulunmaktadır. Böylece lazer reçine içinde bilgisayardan gönderilen şekli izleyen bir yörüngeyi takip eder. Güçlü ışığa maruz kaldıktan sonra, reçine katmanları katılır, polimerizasyon adı verilen bu olayla sayesinde reçinenin birbirine yapışmalarını ve katı bir hacim üretmelerini sağlar [31].

SLA tarafından yapılan nesnelere UV radyasyonunun etkilerine karşı hassas kalır ve çatlaklar veya sararmalar göstermeye başlayarak zamanla hasar görebilir. Ancak SLA'da elde edilen katmanların çözünürlüğü 0.03 mm'dir ve bu hassasiyet bu tekniği çok değerli kılmaktadır. (Bernier) SLA Teknolojisiyle üretilen nesnelere, parçaların ısıllı şekillendirilmede, enjeksiyon sistemlerinde master kalıp, ısıllı şekillendirme, hava basınçlı kalıplama ve çeşitli metal döküm süreçlerinde kullanılacak kadar sağlamlardır [1].



Şekil 2.21 Stereolitografi (SLA) çalışma şematığı [32]

Bu teknolojinin bir evrimi olan DLP tekniğinde ise lazer yerine bir dijital video projektörü kullanılır. Bu fark, bu işlemin, lazeri yüzey boyunca hareket ettirmek yerine, tüm katmanlara ışığı tek bir adımda yansıtarak reçineyi çok daha hızlı ve hassas şekilde oluşmasını sağlamaktadır [31].

2.4.2 Lazer Sinterleme (SLS)

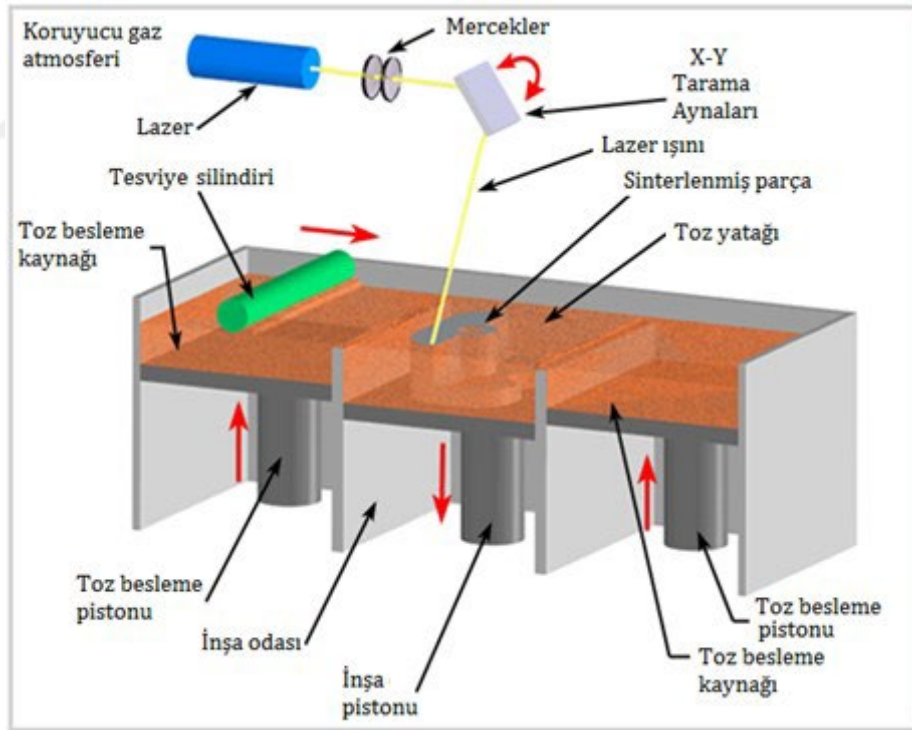
SLS, 1980'lerde icat edilmiş, karmaşık ve benzersiz nesnelere basma kabiliyeti nedeniyle çok popüler olan bir üç boyutlu baskı tekniğidir. Bu teknoloji ince parçacıkları "sinterlemek" için bir lazer kullanır. Sinterleme, bir malzemeyi erime noktasının hemen altındaki bir sıcaklığa, parçacıkları komşu parçacıklarla topaklayacak şekilde ısıtılması işlemidir. Isının etkileri altında, lazerin hedeflediği tozlar birlikte akar, böylece yapışkan parçayı oluşturur. Bu nedenle, sarf malzemesinin tane büyüklüğü çok önemlidir, çünkü bitmiş parçada elde edilebilecek olan çözünürlüğü kısmen tanımlayacaktır [31].

Oldukça fazla sayıda parçayı tek bir seferde basabilmesi SLS sisteminin birçok durum için elverişli bir teknoloji olmasını sağlar. Bununla beraber bir diğer avantajı da baskı sırasında parçaların çevresinde toz kullanması sebebiyle herhangi bir destek materyaline ihtiyaç duymamasıdır [1].



Şekil 2.22 Lazer Sinterleme (SLS) [33]

Toz, kullanılan lazerin gücüne bağlı olarak, termoplastik veya metalik bir tabana sahip olabilir. SLS tekniği genellikle parçaların birleştirilmesini kolaylaştırmak için bileşik veya karışık tozların kullanılmasına başvurur [31].



Şekil 2.23 Lazer Sinterleme (SLS) çalışma şematığı [32]

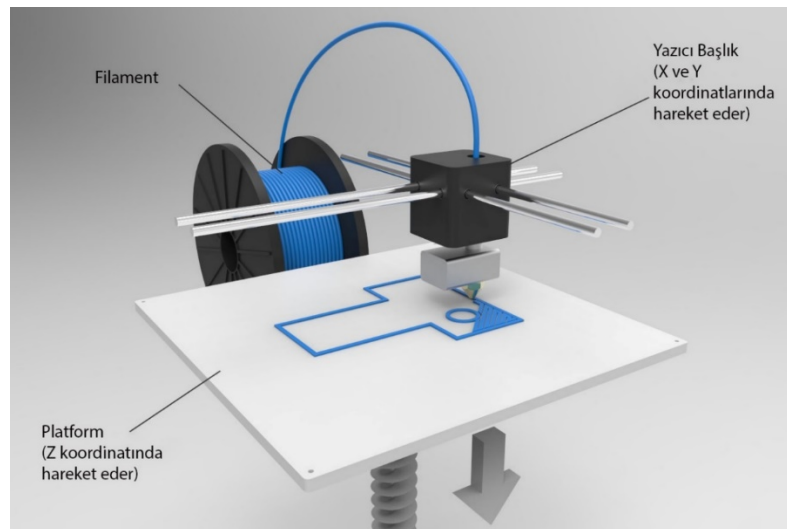
Fazla toz, basılı nesne için bir destek olarak kullanılır ve gelecekteki bir baskı için geri dönüştürülebilir. Üretim döngüsünün sonunda, kontrollü çevre odasının soğumasına izin verilir ve parçaları açığa çıkarmak ve temizlemek için fazla ham madde çıkarılır (genellikle

bir hava jeti yeterlidir). Böylece bir naylon toz baz kullanılarak üretilen nesnelere gözenekli olur ve bir renklendirme banyosunda kolayca boyanabilir, hatta bir kapta cilalanabilir. SLS yazıcı kapları, bir kerede çok sayıda projenin yazdırılması için optimize edilebilir, bu da talep üzerine 3B baskı hizmetleri için tercih edilen bir araçtır [31].

Makinenin sarf malzemelerinin daha iyi bir şekilde optimize edilmesini sağlamak için lazer sinterlenmiş modellerin çoğunlukla oyukludur. Bu nedenle, bazı modellerde fazla tozun alınmasını sağlamak için delikler oluşturulması gerekir [31].

2.4.3 Fused Deposition Modeling (Eritilmiş Malzeme Yığılma) (FDM/FFF)

Eritilmiş malzeme yığılma yöntemi en yaygın 3D baskı tekniklerinden biridir. FDM tekniği 1988'de, Scott Crump tarafından sıcak tutkal tabancası kullanarak kızı için bir oyuncak üretmeye karar verdiğinde icat edilmiştir. Ardışık katmanlar bırakarak üretim sürecini otomatikleştirme fikri, ertesi yıl karısı Lisa Crump'ın yardımıyla yarattığı Stratasys şirketinin tohumlarını oluşturmuştur. Zamanla bu tekniği kullanan üç boyutlu yazıcı modellerinin sayısı arttı ancak Stratasys tarafından tescilli olan FDM terimini kullanamayan bu yeni makinelerin yaratıcıları, FFF terimini icat etti ve "yığılma" kelimesini "füzyon" ile değiştirdiler. Zamanla bu sistemi kullanan makine çeşitleri artmaya başlamıştır. Örneğin, RepRap projesi ile binlerce kullanıcının kendi açık kaynaklı FFF üç boyutlu yazıcılarını üretmesine olanak sağlamıştır [31].



Şekil 2.24 Fused Deposition Modeling (Eritilmiş Malzeme Yığılma) (FDM/FFF) [34]

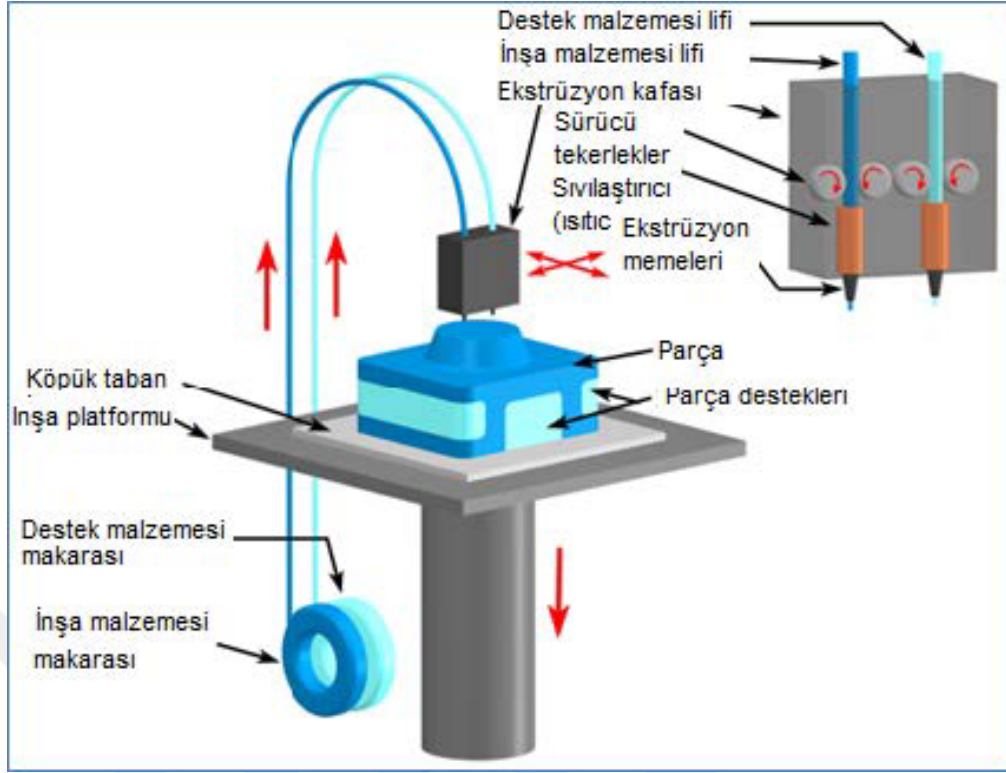
FDM/FFF teknolojisinde yazıcılar “Hot-End” sıcak baskı ucu vasıtasıyla eritilen termoplastik filamentleri katman katman platform üzerine yerleştirerek üç boyutlu nesnelerin oluşmasını sağlar. Her bir katman hızlı soğuma sayesinde soğuyarak bir sonraki katman için uygun bir platform haline gelir. Bu teknolojide; malzemeye göre değişmekle birlikte oldukça sert ve güçlü bir halde ürünler edilebiliyor [1].

FDM projesi, birincil malzeme olarak termoplastik filamentleri (belirli bir sıcaklık altında sıvıya çeviren bir plastik) kullanır, bu makaralara sarılıdır. Genellikle 1.75 mm ila 3 mm arasında değişen bu filamentler, mekanik olarak 180 ila 300 derece santigrat dereceye ısıtılmış bir ekstrüderden çekilir. Ekstrüzyon kafası, sıcak bir tutkal tabancası gibi davranır ve erimiş plastiği biriktirir [31]. Her bir katman hızlı soğuma sayesinde soğuyarak bir sonraki katman için uygun bir platform haline gelir. Bu teknoloji ile malzemeye göre değişmekle birlikte oldukça sert ve güçlü bir halde olur [1].

Bu şekilde katmanlanarak basılan ardışık plastik tabakalar, ortalama insan saçı kadar ince olan 0.2 mm tabaka kalınlıkta basılmış olur. Bazı makineler, destek yapılarının basılmasını sağlayan ikinci bir ekstrüzyon başlığı da kullanır. Bu destek yapıları ana baskının tasarımında fiziksel çıkıntıları desteklemek için vardır. Baskı işlemi tamamlandıktan sonra, bu ekstra destekleri çıkarmak için oluşan nesne en son çözünen bir banyoya daldırılmalıdır. Tek kafalı ekstruderler aynı zamanda destek yapıları da oluşturabilir, ancak bu durumda, kullanılan malzeme, ana nesneden manuel olarak elle veya keskin araçlar yardımı ile kaldırılması gerekir [31].

FDM teknolojisinde kullanılan malzeme sadece termoplastik türevi materyaller olduğu için baskısı yapılmak istenen ürüne göre uygun erime sıcaklığında olanın seçilmesi gereklidir. Ayrıca baskı makinesinin yine bu erime sıcaklığına uygun tabla ayarının yapılarak çalıştırılması önemlidir [31].

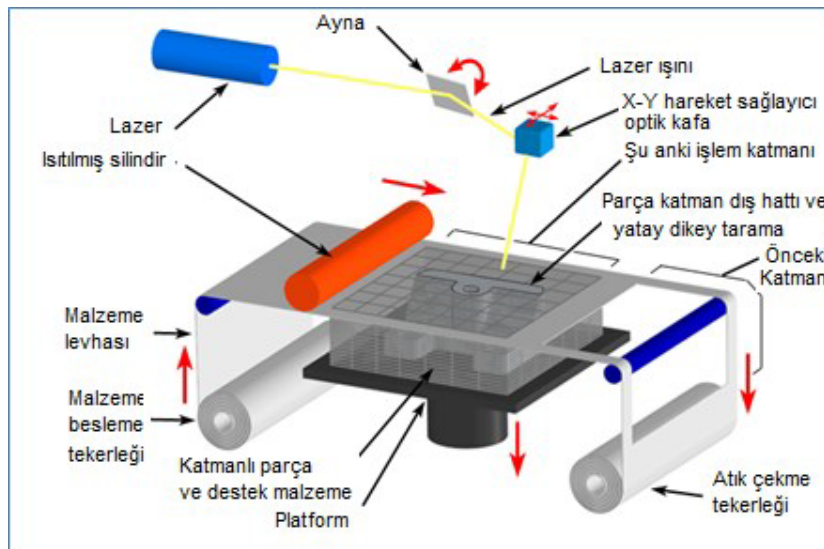
Sonuç olarak plastik parçaları sebebiyle kendi kendini üretebildiği için diğer teknolojilere kıyasla hem çok daha ucuz hem de neredeyse herkes tarafından yapılabilir bir teknolojisi olması FDM tekniğini özgür yazılım ve donanım topluluğunda daha çok yer almasını sağlamaktadır bu da en yaygın olarak kullanılan teknik olmasının sebeplerindendir [1].



Şekil 2.25 Fused Deposition Modeling (FDM) çalışma şematığı [32]

2.4.4 Tabakalı Nesne İmalatı (LOM)

Üç boyutlu nesne imal etmede kullanılan bir diğer yöntem tabakalı nesne imalatı olarak Türkçeye çevirilen LOM(Laminated Object Manufacturing) yöntemidir. Bu teknikte ince materyaller halindeki materyalleri (metal, kâğıt, plastik) üst üste koyup her bir katmanda bilgisayar verileri esas alınarak kesim yapılır [1].

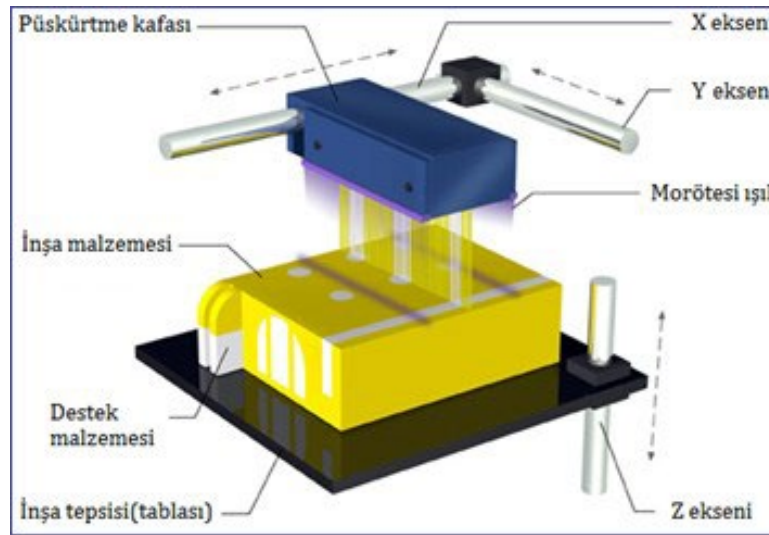


Şekil 2.26 Tabakalı Nesne İmalatı (LOM) çalışma şematığı [32]

Japonya'da icat edilen bu imalat tekniğinde, LOM makinesi, uzun bir yapışkan malzemenin baskı platformuna sürülmesini sağlar ve daha sonra ısıtılmış bir rulo, tabakaya baskı uygular ve bu da malzemenin yüzeye yapışmasını sağlar. Ardından, bir bıçak veya bir lazer, malzemenin konturunu platformun boyutlarına göre keser ve üç boyutlu nesnenin kenarlarını bu yükseklikte izler. Her katmanda, platform tek bir kağıt malzeme parçasının kalınlığına göre kendisini alçaltır ve bu işlemler, nesne tamamlanana kadar tekrar eder. Üretim işleminin sonunda, son ürünü elde etmek çevresine yapışmış (topaklanmış) malzeme kalıntılarının temizlenmesi gerekmektedir. Piyasadan neredeyse tamamen kaybolan bu süreç, İrlandalı şirket Mcor'un yaratıcıları MacCormack kardeşleri tarafından icat edilen SDL teknolojisinin gelmesiyle tekrardan kullanılmaya başlamıştır [31].

2.4.5 Multi-Jet Baskı

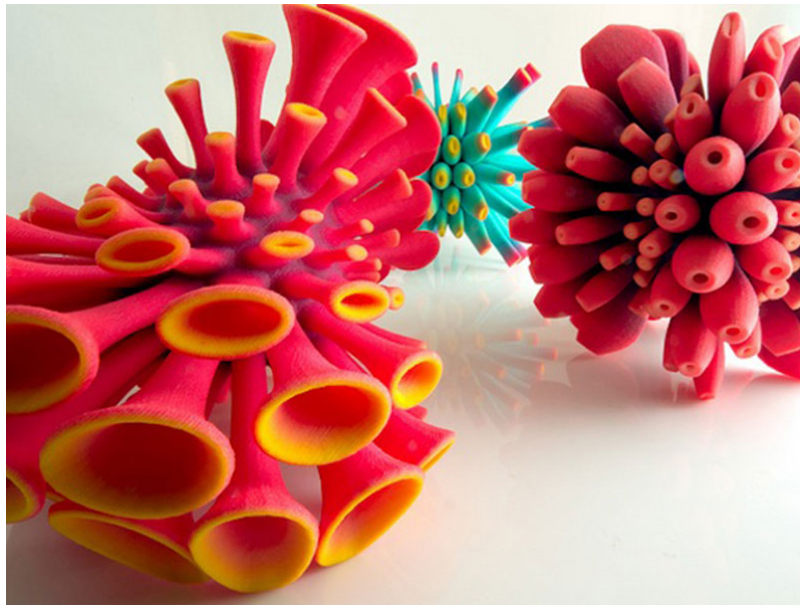
Multi-Jet Baskının, sıvı polimerler ile birlikte mürekkep püskürtme teknolojisine dayanan bir çalışma yöntemi vardır. Destek materyalleri baskı sonrası kolayca ayrılabilir ve elde edilen ürün yüksek çözünürlükte olur. MJM teknolojisinde oluşan ürün FDM teknolojisinden çıkan ürünlerin aksine işlevselliği azdır ve daha kırılgandır. Ancak diğer bir yandan MJP teknolojisinin yeni nesil yazıcılarıyla esnek ve yumuşak yapıda ürünler oluşturulabilir. Bu da tasarımda farklı alanlarda kullanılmak üzere ürünler elde edilmesini sağlar [1].



Şekil 2.27 Multi Jet baskı çalışma şematığı [32]

MJM tekniğinde baskı kafası bir platformun üzerinde hareket ederken, SLA'da kullanılına benzer hafif reaktif bir reçine püskürtmektedir. Baskı kafasının yakınında bulunan bir UV ışığı ile (UV radyasyonu ile kurutularak) reçine sertleştirilir. Bu işlemi tekrarlayarak MJM yazıcısı her seferinde bir katmanı basar ve sonuçta üç boyutlu nesneyi oluşturur. Bu teknoloji aynı zamanda birkaç farklı malzemenin bir defada basılmasını ve malzemelerin birleştirilmesini sağlar. Bu nedenle, çok sayıda özellik ve opaklığa sahip, çok renkli iş parçaları oluşturmak mümkündür. 16 mikron (0.016 milimetre) 'ye kadar bir katman çözünürlüğüyle, MJM üç boyutlu yazıcıların ileri teknoloji hızlı prototipleme araçları olduğu düşünülmektedir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen öğelerin dokusunu, görünüşünü ve işleyişini yeniden üretme yetenekleri, onları endüstri tasarımcılarının ve mühendislerin tercih ettiği araçlardan biri yapar. Reçine tiplerini bir araya getirme yeteneği, MJM teknolojisini 100'den fazla damlacık düzeni veya düzenlemesiyle piyasadaki en çok yönlü kılar. Bu şekilde oluşturulan mikroskobik matris kompozitlere “Dijital Malzemeler” denir. Bu işlem için destek materyali doku içerisinde jelatindir ve elle veya su jetleri yardımıyla çıkarılabilir [31].

2.4.6 Color-Jet Baskı (CJP)



Şekil 2.28 Color-Jet Baskı (CJP) ile üretilebilen ürünlere örnek [35]

Ekllemeli imalat tekniğiyle çalışan bu üç boyutlu baskı teknolojisinde toz ve bağlayıcı sıvı kullanılır. Toz ince bir katman halinde yazıcının tablasına silindir aracılığıyla yayılır. Likit halinde renk bağlayıcı yazıcının ekstruder kısmından yazıcı tablasının üzerine toz ile kaplı alana püskürtülür. Püskürtme sonrası tozlar sertleşir. Her bir katmanda bu işlemler tekrar edilir ve platform her bir işlem sonrası platform bir katman aşağı iner. Sonuçta renkli bir üç boyutlu obje eldilmiş olur. CJP teknolojisi baskı sırasında renklenme yapabilmesi sebebiye diğer üç boyutlu baskı tekniklerinden farklıdır. Bu teknik mimari modeller için daha verimli bir imkn sunmaktadır [1].

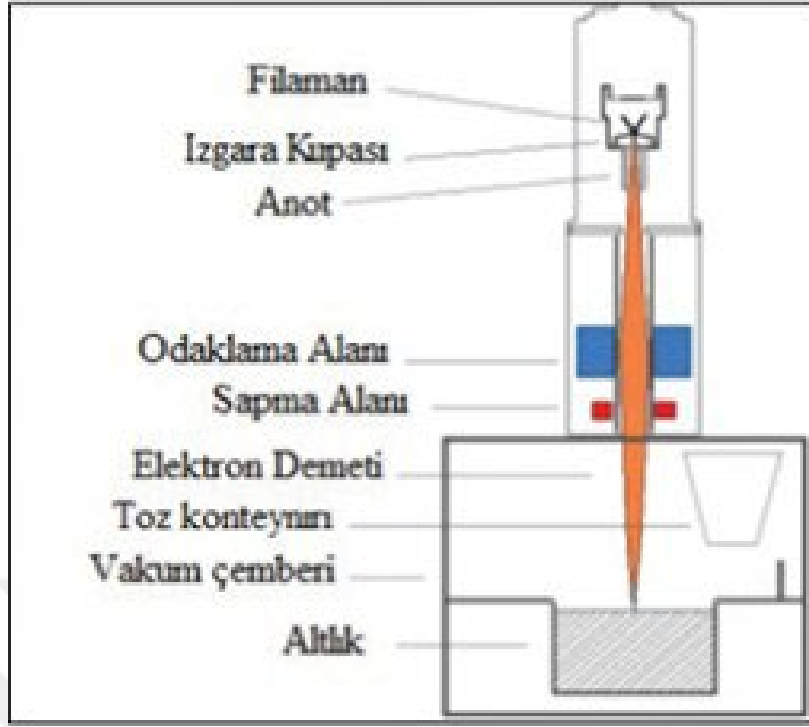
2.4.7 Metal Sinterleme Teknolojisi (DMS) ve Elektron Işınıyla Eritme Teknolojisi (EBM)

Metal Sinterleme teknolojisi (Direct Metal Sintering) metal baskısı yapan bir sistemdir. İlk işlem yazıcı yatağı üzerine değişik alaşımlardaki ince metal tozlarının konulması olur. Daha sonra bu tozlar lazer işını ile beraber kaynaştırılarak bir araya getirilir. Bu teknoloji öncelikle medikal ve uzay endüstrisinde kullanıldığı gibi yüksek detay gerektiren uygulamalarda da kullanılır [1].



şekil 2.29 Metal Sinterleme Teknolojisi (DMS) ile üretilen ürünlere rnek [36]

Elektron işınıyla eritme tekniğinde ilk olarak toz halindeki metal hammadde modelin oluşturulduğu havuza katmanlar halinde dökülür. Metal tozlar 650°C-1100°C arasında ısıtılır ardından elektron işını ile eritilerek bir alt katmanla kaynaşması sağlanır ve ürün ele edilir. Bu teknikle üretilen nesnelere genelde fonksiyonel prototip parçalarında, direkt kalıp imalatı gibi alanlarda kullanılabilir.



Şekil 2.30 Elektron Işınıyla Eritme Teknolojisi (EBM) çalışma şematığı [32]

İki yöntemde aynı malzemeleri kullanıp onları eriterek işleme olsa da metal tozları eritme sıcakları oluşan ürünlerin yüzey pürüzsüzlüğü açısından farklıdır. Ayrıca DMS teknolojisi lazer ile eritme yaparken EBM elektron ışınlarını kullanmaktadır.

2.4.8 Üç Boyutlu Baskı (3DP-3 Dimensional Printing)

MIT'de (Massachusetts Institute of Technology) geliştirilen bu teknik, çok renkli iş parçaları üretmek için renkli bağlayıcı maddelerle birleştirilmiş tozlar kullanır. İnce tozlar, yüzey boyunca sabit bir hızda ilerleyen bir robot kol ile bir hazneye ilave edilir. Her geçişte, bağlayıcı madde bir ağızlık boyunca doğru alanlarda biriktirilir, ardından platform bir sonraki katmanın eklenmesine izin vermek için birkaç milimetre kadar düşürülür. Bu sıra, baskı hacmine ulaşılan kadar kendisini birkaç kez tekrarlar. Yazdırılan parçalar daha sonra, destekleri olarak hareket eden fazla tozdan çıkarılır ve emme araçları kullanılarak temizlenir. Son olarak, renkli parçalar daha fazla dayanıklılık sağlamak ve daha iyi renk verimi elde etmek için bir siyanoakrilat banyosuna daldırılır veya püskürtülür [31].



Şekil 2.31 Üç Boyutlu Baskı (3DP) ile üretilen ürünler [32]

Bu teknikte kumtaşı, alçı, şeker, akrilik tozu, seramik tozu, kalsiyum karbonat gibi malzemeler kullanılabilir. Renkli üretim yapılabilmesi ve üretim yöntemi ve malzemeleri sayesinde üretilen üründe çeşitlilik sağlanabilir. Ancak ürünler kırılabilir ve gözeneklilik söz konusudur. Heykeller, figürler, reproduksiyonlar, dekorasyon işlerinde, müze parçalarında, sanatta ve eğitimde kullanılabilir [31].

2.4.9 Altı Eksenli Üç Boyutlu Yazıcı Robot Kol

3 eksenle çalışan üç boyutlu baskı makineleri zemine göre konumlanmaları limitli olduğundan karmaşık bir nesnenin negatif açılı kısımlarında destek parçalara ihtiyaç duyarlar. Bu açığı kapatan ve bir kol gibi işlem yapabilen 6 eksenle çalışan robot kol sistemidir. Bir insan eli gibi çalışan bu 6 eksenli 3 boyutlu yazıcı elde edilecek nesneye her bir açıdan yaklaşabilmesi, oluşacak ürünlerde daha büyük potansiyeller elde edilebilmesini sağlıyor. Boyutları sebebiyle günümüz teknolojisi evde kullanıma uygun olmasa da saha çalışmalarında mimarlık alanında da kullanılmaya başlamış durumda. İlerleyen zamanlarda bu teknolojinin günlük hayatta masaüstü versiyonlarının kullanılabilmesi düşünülüyor [1].



Şekil 2.32 6 Eksenli 3 Boyutlu Yazıcı Robot Kol [37]

2.5 Üç Boyutlu Baskı Tekniklerinde Kullanılan Malzemeler

Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan sarf malzemeler kullanım amacına ve kullanılan tekniğe göre değişmektedir. Çok fazla baskı malzemesi olmakla birlikte en çok kullanılanın çeşidi plastiklerdir.



Şekil 2.33 Üç boyutlu baskı tekniğinde kullanılan malzemelere örnekler [38]

2.5.1 Plastikler

Plastikler özellikle FDM yazıcılarda sıklıkla kullanılan sarf malzemesidir. İstenilen detaya göre kalınlığı değişen plastikler kablo benzeri bir formda kullanılır ve filament olarak adlandırılırlar [1].



Şekil 2.34 Plastik filamentler ve üç boyutlu baskı tekniğinde kullanımına örnekler [38]

ABS Filament

ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) endüstriyel baskı dünyasında yaygın kullanılan bir malzeme olmasının yanında, plastik enjeksiyon sektörüyle; dikiz aynalarından oyuncaklara kadar bir çok nesnenin imalatında kullanılan bir ana malzemedir. Erime noktası yüksek olması (225 derece) diğer polimerlere göre daha güçlü ve birazda esnek bir yapıya sahip olmasını sağlar. Asetonla çözülebilir olması sebebiyle destek materyalleri olarak kullanabilmesinin sağlar. Aynı zamanda bu durum daha parlak ve pürüzsüz yüzeyler oluşturmak içinde kullanılır [1].

Olumsuz yanları kullanılan makinenin zeminin soğuk olması durumunda bükülmelere sebep olabilir bu yüzden zemin belirli sıcaklığa kadar ısıtılır. Ayrıca baskı sırasında içindeki Akrilonitril dumanı çıkmasından dolayı insan sağlığı için zararlıdır. Daha çok atölyelerde ve havadar mekânlarda kullanıma uygun olan ABS filament, yüksek ısıya ve bir düzeye kadar basınca dayanması gereken işlevsel ürünlerin basılmasına daha uygundur [1].

PLA Filamenti

Doğal ürünlerden oluştuğu için PLA (Poliaktik Asit) ABS materyeline nazaran daha çevrecidir. Erime sıcaklığı nispeten ABS ye göre daha azdır (180 derece) geri dönüştürebilir organik içeriğe sahiptir. Akışkanlığı yüksek olduğundan ayrıntı gerektiren ürünlerde hızlı üretim sağlar. ABS de olduğu kadar sıcak zemine ihtiyaç duymaz ve daha parlak bir yüzeye sahiptir [1].

PLA filamentinin olumsuz yanı yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında eğilip bükülmeye ve kırılmaya meyil etmesidir. Abs ye göre daha kırılgandır ve basınca dayanımı düşüktür. Dekoratif objeler üretmeye daha elverişlidir [1].

Özel karışımlar yardımıyla karanlıkta parlayan, fotokromatik (uv ışığıyla renk değiştiren), parıldayan, ahşap dolgulu, metallerle beraber kullanılan, bükülebilir cinsten PLA filamentleri üç boyutlu baskı teknolojilerinde kullanılmaktadır [1].



Şekil 2.35 PLA Filamenti (solda) ve ABS Filamenti (sağda) ile basılmış ürünler [39]

2.5.2 Metaller

Teknolojik gelişmeler ile birlikte günümüzde metal malzemelerin üç boyutlu baskıda kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Metal hammadde kullanan yaygın teknolojiler; toz yataklı eğritme, doğrudan enerji biriktirme ve bağlayıcı püskürtme yöntemleridir. Kullanım alanına göre seçilen metal alaşımlar metal anafazlı ve ya metal takviye elemanlı karma malzemeler ve sadece metal hammaddeler gibi seçeneklere sahiptir. Üç boyutlu teknolojiye kullanılan metaller çeşitlilik göstermekle birlikte altın, gümüş, çelik, pirinç, nikel, titanyum gibi metaller ve bunların alaşımlarından oluşur [40].



Şekil 2.36 Üç Boyutlu baskı tekniğiyle basılmış metal ürünler [41] [42]

Metallerle yapılan üç boyutlu çalışmalarda hammaddenin ani sıcaklık değişimine karşı gösterdiği karakteristik davranışlar sonucunda sıklıkla termal kalıntı gerilmeleri gözlenmiştir. Ancak yapılan araştırmaların sonucunda mikro sertlik değerleri ve mukavemeti artırılan metaller ile oluşturulan ürünler günümüzde havacılık ve uzay sanayinde kullanılmaya başlanmıştır [40].

2.5.3 Seramik

Üç boyutlu teknolojiye seramikler tek adımlı ve çok adımlı denilen yöntemlerle üretilmektedir. Tek adımlı yöntemler ikinci bir işleme gerek duyulmadan tek seferde ürünün elde edildiği yöntemlerdir. Çok adımlı yöntem ise son işlemlere gereksinim

duyarlar. Son işlemler metallere uygulanan işlemlerle benzerlik göstermektedirler. Seramik hammaddeler seramik toz partikülleri, termoplastik ya da mum ile filament haline getirilmiş seramik tozlar, karbon fiber takviyeli seramik anafazlı karma malzeme eldesi için tel ya da tozlar ve seramik kaplı sac/levha olarak sıralanabilir. Bağlayıcı püskürtme ve toz yataklı ergitme teknolojilerinde seramik genellikle toz şeklinde kullanılır. Bununla birlikte eriyik katı biriktirme ve doğrudan enerji biriktirme gibi üç boyutlu baskı yöntemlerinde filament veya tel halinde seramik, seramik alaşımları ve seramik karma malzemeleri hammadde olarak kullanılmaktadır [40].



Şekil 2.37 Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış seramik ürünler (solda) üç boyutlu basımı (sağda) [43]

Toz yataklı ve doğrudan enerjili yöntemler sonucu elde edilen seramik geleneksel üretimle elde edilen ürünlere çok benzer şekilde olsa da, gevrek yapı itibarıyla kırılma, çatlama riskleri lazer temelli üç boyutlu baskıyla seramik elde etme sürecini endüstriyel anlamda kısıtlayabilmektedir. Bağlayıcıyı üç boyutlu baskı yönteminde de seramikte gözenekli ve çatlaklı parçalar oluşabilmektedir. Kısacası seramikler; biyo uyumlulukları son derece yüksek olan ve korozyona dayanıklı malzemelerdir. Fakat bu avantajlarının yanı sıra, kırılğan, işlenmesi zor, düşük mekanik dayanıma sahip, esnek olmayan ve yüksek yoğunluğa sahip malzemelerdir. Yapılan araştırmalar ve denemeler sonucunda bu olumsuz özellikler kısmen giderilebilmekte ve geliştirilen yöntemlerle özel yapılı (istenilen mekanik özelliklere sahip) ya da geleneksel yöntemle üretilen seramiklere kısmen benzer şekilde seramiklerin üretilebilmesi sağlanmıştır [40]

2.5.4 Biyo Malzemeler



Şekil 2.38 Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış biyo malzemeler protezi dişler (solda) [44], nefes borusu solda [45]

Biyo malzemeler vücut içinde ve dışında, doğal ya da sentetik olarak çeşitli şekillerde olmaktadır. Bir biyo malzemedeki çekme dayanımı, yorulma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin çok iyi olması, yüksek korozyon ve aşınma dirençlerinin yanı sıra biyo uyumlu olması gerekmektedir. Seramikler, polimerler ve karma malzemeler biyo uyumluluğu yüksek olan malzemeler olarak gruplandırılabilir. Biyo malzemeler; hastalıklı veya hasar görmüş kısımlara (dializ, protezi), hastanın iyileşme sürecine (ameliyat ipliği, vida ve tel olarak), fonksiyonelliği artırmaya (lens, kalp pili, işitme cihazı), kozmetik problemleri düzeltmeye (diş teli, deri implantasyonu, silikon), tedavi edebilmeye (kateter, direnaj), teşhis koyabilmeye (biyo-algılayıcılar, endoskopi, enjektör) ve fonksiyon bozukluklarını (omurga fiksatörleri) düzeltmeye yardımcı olmak için kullanılmaktadır. Biyo malzemenin uygulanacağı yer göz önüne alınarak uygun şartları sağlayan malzeme tipi seçilmesi gereklidir. Hücre üremesini istenilen doku ve organları oluşturacak şekilde yönlendirmek ve gerekli mekanik desteği sağlamak için üç boyutlu doku iskelesi biyo malzemelerden üretilir ve sıklıkla polimer esaslı biyo malzemeler kullanılır. Karma biyo malzemeler ise yapı olarak yüksek dayanım ve düşük elastisite gösterdiklerinden dolayı ortopedikte özellikle kullanılmaktadır ve yapısal uyumluluğun sağlanması daha avantaj sağlamaktadır [40].

2.5.5 Gıda Ürünleri

Üç boyutlu baskı sistemlerinde gıda maddeleri sıvı veya toz halinde akabilir halde bulunması gerekir. Gıdanın akabilirliği plastikleştirme ve eritme ile sağlanır. Besinlerin yapı taşları olan karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerin fraksiyonlarındaki değişiklikler,

sıvı bazlı ve toz bazlı üç boyutlu baskı sistemlerinin baskı işlemi sırasında eritme davranışını, camsı halini ve gıda maddesinin plastikleştirilmesini etkilemektedir. Çikolata gibi gıda polimerleri, şekerler veya yağlar gibi düşük erime noktalı tozlar, nişasta, mısır unu gibi sıvı bağlayıcı tozlar, pasta veya püre gibi düşük viskoziteli malzemeler üç boyutlu baskıda kullanılan malzemelerdir [46].



Şekil 2.39 Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış gıda ürünleri [47]

2.5.6 Kâğıt

Üç boyutlu baskı teknolojisi son yıllarda sürekli olarak gelişirken, yeni ölçeklere, endüstrilere ve malzemelere ulaşırken, sürdürülebilirlikle ilgili endişeler sürmektedir. Üç boyutlu baskı, verimliliğin artırılmasının yanı sıra, geleneksel üretim süreçlerinden kaynaklanan bazı atıkları ortadan kaldırabilir, ancak sorun, kullanılan baskı malzemesinin büyük çoğunluğunun hala plastik olmasıdır. Tasarımcı Beer Holthuis, üç boyutlu baskı için daha sürdürülebilir bir malzeme icat ederek, ıslak kâğıt elyaflarını kullanan bir yöntem geliştirdi. Böylece 'Kâğıt Hamuru Yazıcı', plastik veya plastik hibrid malzemeler yerine kâğıt hamuru kullanan dünyanın ilk üç boyutlu yazısı oldu. Normal kâğıtların aksine, yazdırılan kâğıt güçlü ve dayanıklı olmaktadır. İnsanlar büyük miktarda kâğıt israf ediyor olması sebebiyle hammaddenin yani kâğıdın bulunulabilirim kolay olmaktadır. Doğal bir bağlayıcı madde ile birlikte kapalı devre sistemi, ürünlerin sürekli olarak geri dönüştürülebilirliğini sağlamaktadır [48].



Şekil 2.40 Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış kağıttan ürünler [49] [50]

2.5.7 Cam

Cam, üç boyutlu baskıda çalışmak için çok zor ve hatta tehlikeli olduğu düşünülen bir malzemedir. Önceki yöntemlerin tümü, camı 1.800 derece Fahrenheit (1.000 derece Santigrat) sıcaklıklara ısıtmak gereklidir ve bu yöntemlerin son ürünleri de kaba dokulu olmaktadır.



Şekil 2.41 Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmış pencere camı [51]

Almanya'daki Karlsruhe Teknoloji Enstitüsünde geliştirilen yeni bir yöntemde, bilim adamları bir tür "sıvı cam" kullanarak karmaşık cam yapılar oluşturmak için standart bir 3B yazıcıda kullandılar. Daha sonra, malzemeyi bir tür plastikte sertleştirmek için ultraviyole ışık kullanılır. Son olarak, basılı nesne yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak plastiklerin yanması ve silis parçacıklarının pürüzsüz, şeffaf camlara kaynaşması sağlanır. Katkı kullanımıyla renkli camlar bile üretilebilir [48].



Şekil 2.42 Üç boyutlu baskı tekniğiyle cam ürün basımı [52]

2.5.8 Ahşap ve Ahşap Görünümlü

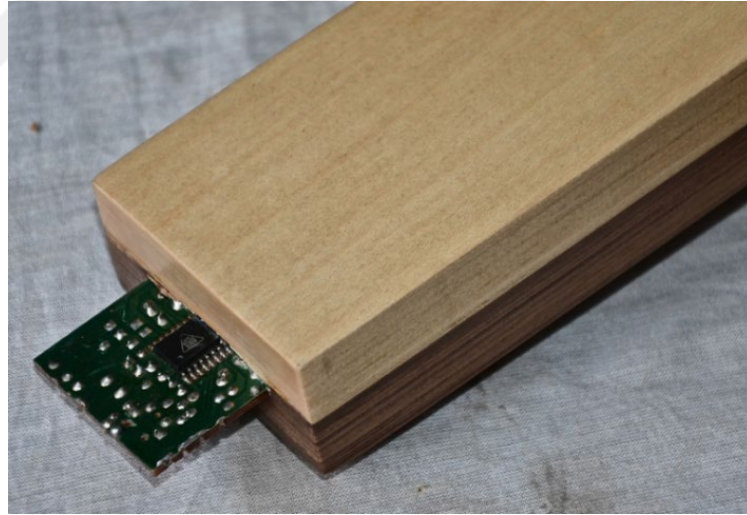
4 XYZ adında yeni bir şirket, yüksek kaliteli ahşap kullanarak üç boyutlu baskı almaya olanak sağlayan bir işlem geliştirdi ve teknolojiyi uygun fiyatlı, özel tasarımlı mobilya üretmek amaçlı kullanmayı ummaktadır. Şirket, teknolojinin nasıl çalıştığı konusunda pek bilgi vermese de, geleneksel bir üç boyutlu yazıcının nasıl çalıştığıyla karşılaştırıldığında süreç biraz farklıdır. [53]

4 XYZ'nin makinesi, plastik katmanlarını bir ekstrüderle koymak yerine, küçük, düzgün kesilmiş odun parçalarını birleştirerek ve katmanları özel bir ciltleme işlemi ile birleştirerek çalışmaktadır. Parçalar doğal görünümlü ahşap olarak çıkıyor ve onlara daha sıcak, daha oturma odası dostu bir görünüm kazandırıyor. Üç boyutlu baskı yöntemiyle üretildiği için, mobilyanın hangi formda üretilebileceği konusunda çok az kısıtlama olmaktadır. [54]



Şekil 2.43 Üç boyutlu baskı tekniğiyle basılan ahşap ürünler [53]

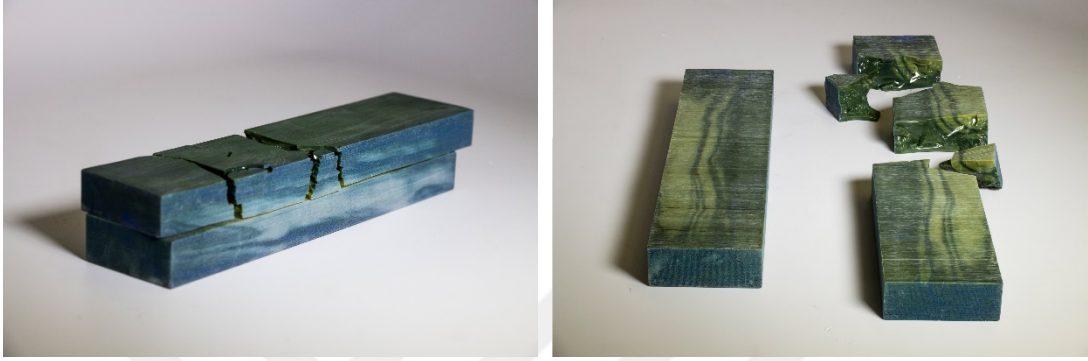
Mobilyalara ek olarak, Şah 4 XYZ'nin sonunda sensörlerle süslenmiş “akıllı ahşap” parçaları basabileceğini ifade etmektedir. Örneğin, akıllı bir korkuluk, insanların bir merdivende yukarı veya aşağı çıktığını algılayabilir ve ışık açıkken ışıkları otomatik olarak kapatabilir. Öte yandan, akıllı zeminler bir yabancıнын eve ne zaman girdiğini tespit edebilir ve mal sahiplerini veya yetkilileri uyarabilir. Temel olarak, bu teknoloji evinize sorunsuz bir şekilde entegre olan gizli akıllı cihazlar tasarlamak için kullanılabilir durumdadır.[54]



Şekil 2.44 Üç boyutlu baskı tekniğiyle ahşap malzemedeki basılan ürünlere entegre edilen akıllı cihaz [53]

Üç boyutlu baskıda bir başka çalışma farklı malzemelerin iç görünümünü kopyalamamaktır. Üç boyutlu baskıda dış görünümünü kopyalamak yerleşik bir kabiliyettir, ancak doğru bir iç yapı oluşturmak daha zor olmaktadır. New York'taki Columbia Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, üç boyutlu baskıyla bir araya getirildiğinde, ahşap gibi malzemelerin iç ve dış yapılarını doğru bir şekilde taklit edebilecekleri bir tarama teknikleri geliştirdiler. Modeli oluşturmak için kılavuz olarak gerçek bir ahşap

blok kullanılmıştır. İlk önce bir bilgisayar sayısal kontrol (CNC) değirmi kullanılarak 27 mikrometre (0,027 mm) aralıklarla dilimlenmiştir, daha sonra dilimler tarafından oluşturulan görüntüler bir üç boyutlu yazdırılabilir kod ve bir polietilen yazıcı kullanılarak baskı için hazırlanmıştır. Bu başarının kilit önemi, araştırmacıların kullandığı iş akışının, daha önce elde edilmesi imkânsız olan karmaşık içyapılara sahip diğer nesnelerin üç boyutlu basılı kopyalarını oluşturmak için kullanılabilecek olmasıdır [48].



Şekil 2.45 Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen ahşap görünlü ürünler [55]

2.6 Üç Boyutlu Baskı Sistemlerinin Uygulama Alanları

Üç boyutlu baskı teknolojilerinin en önemli katkısı, fiziksel formda üretilmesi imkânsız olan fraktallar, geometrik desenler ve son derece karmaşık formların üretilebilmesine olanak sağlamasıdır. Bugün birçok tasarım, kopyalanması kolay hale gelmiştir. Hızlı prototipleme teknolojileri, kullanıcıyı da tasarım ve üretim sürecine katarak memnuniyet oranını artırmaktadır. Üç boyutlu baskı teknolojileri rekabeti artırarak, çevreye olan zararı minimize ederek, imalatta tasarımcının rolünü artırarak, serbest form kullanımını destekleyerek, müşteri ve endüstri arasında doğrudan bir ilişki kurulmasını sağlayarak, üretim süreçlerini optimize etmektedir [56].

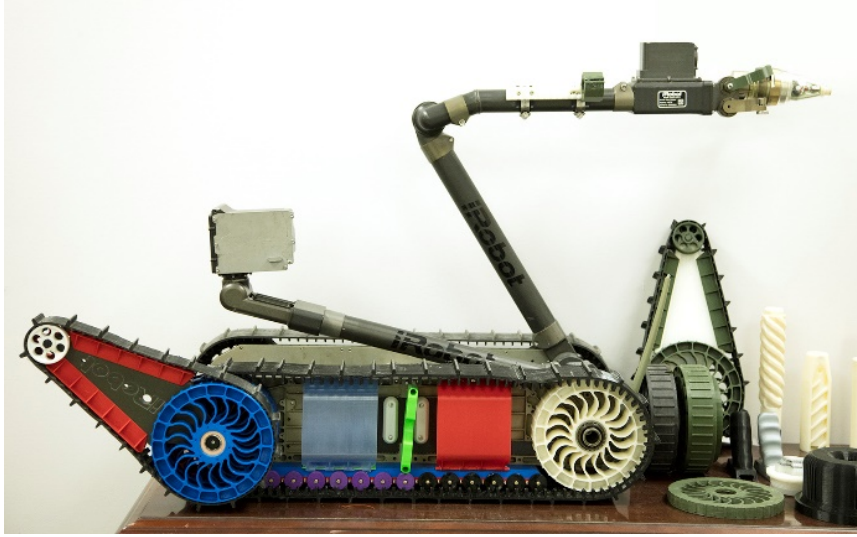
Eklemeli imalat olarak da bilinen üç boyutlu baskı teknolojisi son 30 yılda büyük bir gelişim gösterdi. EY küresel sunucularına göre 900 şirketin yüzde 36 hali-hazırda bu teknolojiyi kullanıyor durumda veya uygulamayı kullanmak için gerçekli başvuruları yapmış durumdadır. Üç boyutlu baskı teknolojisinin en yaygın kullanıldığı alanların başında havacılık, savunma ve otomotiv sanayi geliyor. Bununla birlikte üç boyutlu baskı teknolojisinin farkındalığının giderek artırılması çok sayıda alanda kullanılmasını sağlamaktadır [57].

2.6.1 Havacılık Ve Savunma Sanayi

Havacılık ve savunma endüstrileri imalat sektöründe üç boyutlu baskının kullanımında ön saflarında yer almaktadır. Bu sektörün tipik düşük hacimli, yüksek değerli üretimi nedeniyle, üç boyutlu baskı özellikle büyük şirketler ve küçük ve orta ölçekli şirketler için özellikle çekicidir. Bu teknolojiyi kullanmak geleneksel yöntemlerden göre; daha hızlı, daha hafif (daha yüksek ağırlık / itme oranı), daha az atık (daha fazla yakıt tasarrufu) ve finansal olarak daha uygun ürünler üretmektir. Örneğin 16 GE şirketi, 2016'dan itibaren yeni Leap uçak motorunun, geleneksel olarak üretilen parçalardan beş kat daha uzun dayanacak şekilde tasarlanan on dokuz adet üç boyutlu baskılı yakıt memesini içereceğini belirtmektedir [57].

ABD Ordusu Silahlanma Araştırma Geliştirme ve Mühendislik Merkezi (ARDEC), fonksiyonel parçalar oluşturmak için üç boyutlu baskı kullanacağını açıklamaktadır. ARDEC'de mühendisler, temel parçaları üretmek için üç boyutlu bir baskı laboratuvarını ön hatta yerleştirme olasılığını araştırmakta olduğunu ifade etmişlerdir. Hızlı Fabrikasyon (R-FAB) sistemi, askerlerin görevlerinde yardımcı olacak yedek parça veya araç üretmelerini sağlayacaktır. [58]

ARDEC, bir PackBot (iRobot tarafından geliştirilen ve ABD Ordusu tarafından yoğun olarak kullanılan bir robot sistemi) için bir dizi işlevsel parçayı üç boyutlu baskı teknolojisiyle üretmişlerdir. Üç boyutlu baskı sayesinde kullanılan makinelerde bir arıza çıkması durumunda kolaylıkla tamirleri yapılabilmektedir. Üç boyutlu basılı parçalar orijinal ağırlığa göre 2.7 kilogram daha hafif olmasını sağlamıştır. [58]



Şekil 2.46 Üç boyutlu baskı tekniğiyle parçaları üretilen Packbot [58]

Ayrıca üç boyutlu baskının bir diğer faydalı olduğu alan ise göreve hazır makinelerde üretilebilmesidir. Yakın zamanda Amerikalı askerlerin ürettiği üç boyutlu baskı ile üretilmiş Nibble Drone buna örnektir. [58]



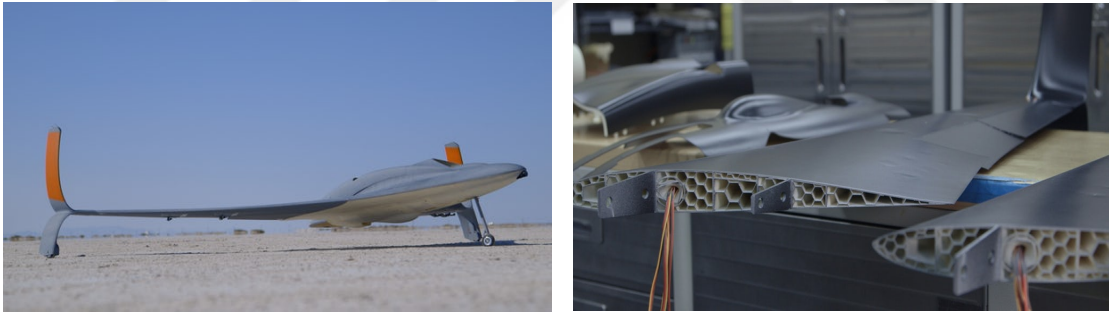
Şekil 2.47 Tamamı üç boyutlu yazıcıdan basılabilen Nibble Drone [58]

Üç boyutlu baskıyla üretilen bir başka araç ise Aurora Flight Sciences ve Stratasy's şirketinin ürettiği jet destekli ve 241 km/s hıza ulaşabilen insansız hava aracıdır. Dubai Airshow'da tanıtımı yapılan insansız hava aracının o zamana kadar basılan en büyük ve en karmaşık yapıdaki insansız hava aracı olduğu ifade edilmiştir. [59]



Şekil 2.48 Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen insansız hava aracı [59]

Aurora tarafından tasarlanan ve Stratasys tarafından üretilen ve monte edilen yüksek hızlı uçak, 9 fit (3 m) kanat açıklığına sahiptir ve 33 lb (15 kg) ağırlığındadır. Yüzde 80'inden fazlası, büyük ancak hafif nesnelere üretimine olanak sağlayan FDM üç boyutlu baskı teknolojileri kullanılarak oluşturulmuştur. Gövdenin kendisi naylondan yapılırken, motor egzoz kanalı uçağın o bölgesinde üretilen yüksek ısıya dayanabilmesi için üç boyutlu baskıdan metal malzemede basılmıştır. [59]

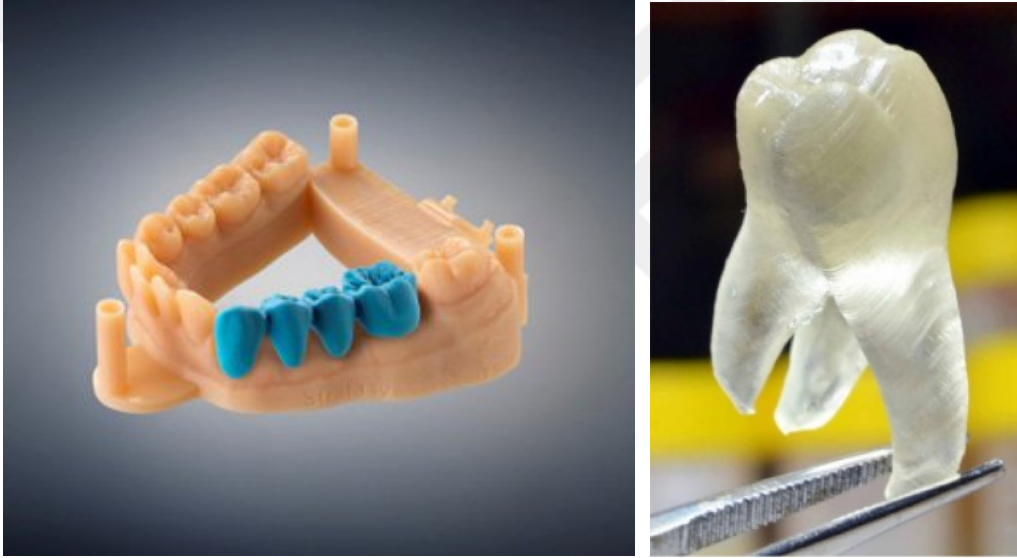


Şekil 2.49 Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen hava aracı (solda) ve birleşim parçaları (sağda) [59]

Her iki şirket de projenin asıl amacının, tasarımdan üretime, hafif, jet destekli bir uçakla uçmaya hızla geçmenin mümkün olduğunu göstermek olduğunu ifade etmiştir. En uzun baskı süresi Stratasys'in ürettiği ve basımı yaklaşık dokuz gün süren merkez gövdeli gövde için olmuştur. Diğer bileşenlerin tümü; kanatlar, nozul, yakıt deposu ve diğer küçük parçalar, aynı anda üretilmiş ve birkaç gün ile birkaç saat arasında bir sürede tamamlanabilmiştir. İlk entegrasyon, montaj ve test için bir aydan biraz daha fazla zaman harcanmıştır [59].

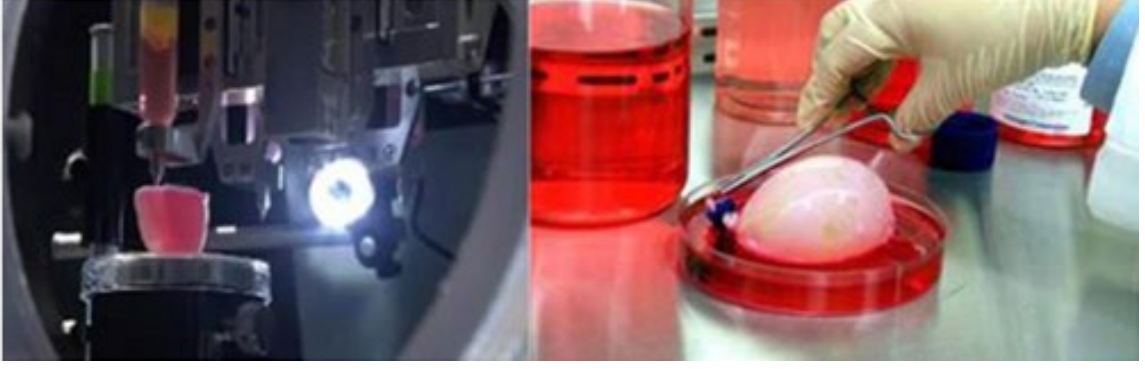
2.6.2 Sağlık Sektörü

Sağlık sektöründe üç boyutlu baskı teknolojisinden büyük ölçüde etkilenen başka bir sektördür. ABD işitme cihazı üretimi, 500 günden daha az bir sürede % 100 üç boyutlu yazıcı teknolojilerine dönüştürüldü. Bu dönüşümün anahtarı, 3B yazıcıların; el ile ve yoğun bir emek harcanan bu sektörü otomatik bir sisteme dönüşmesini sağlamasıydı. Sağlık sektörünün fiyatı azaltmaya, kaliteyi artırma ve hasta odaklı olması diğer alt sektörlerinde üç boyutlu baskı teknolojilerine yönelmesini sağlamaktadır. Örneğin müşteri odaklı çalışmalar protez sektöründe ve dişçilikte biyo baskının kullanımı artırmış ve bilim adamlarının insan ölçekli kemik, kırık ve kasları basmasına olanak sağlamıştır [57].



Şekil 2.50 Üç boyutlu baskı teknolojisi ile diş prototipi yapımı (solda) ve anti-mikrobiyal plastikten yapılmış üç boyut basılan bir diş (sağda) [60]

Organ ve vücut dokusu yenilenmesi bitkilerde, omurgalılarda ve memelilerde gözlenen bir yetenektir. Bununla birlikte, bu yetenek insanlarda doğal olarak çok sınırlıdır. Rejeneratif bilimin çoğalmış canlı hücrelerle başlayan doku mühendisliği uygulayarak yerine doku ve tüm organları sağlaması beklenir. Hücreler, üç boyutlu baskıyla büyümesini ve çoğalmasını kolaylaştıran ve ayrıca hücrelere besin sağlayan üç boyutlu bir muhafaza yapısına ekilir ve üretilebilir [61].



Şekil 2.51 Üç boyutlu biyo baskı makinesi (solda) ve basılmış böbrek modeli (sağda) [61]

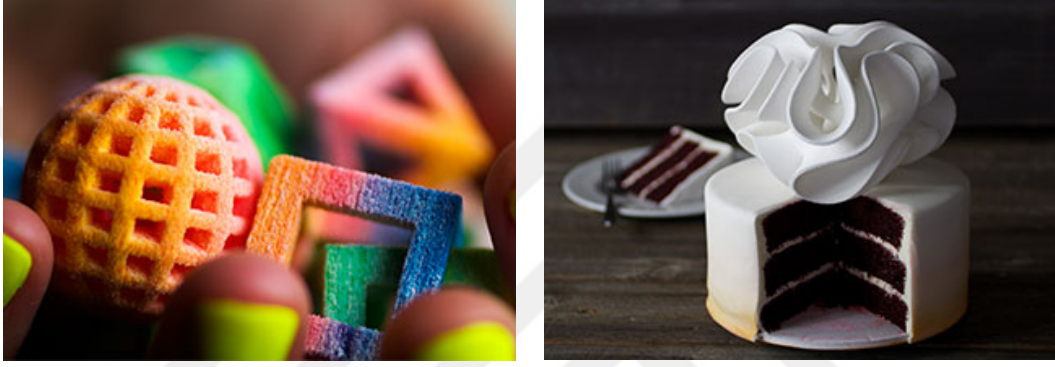
İnsan doku ve organlarının üç boyutlu baskısı, ortalama yaşam süresini uzatarak ve milyonlarca insan için yaşam kalitesini büyük ölçüde artırarak sağlık sektöründe devrim yaratabilir. Organ alıcıları, doğru kan grubuna sahip bir donör için aylarca veya yıllarca beklemek zorunda kalmaması, organ nakli reddi ortadan kalkması, organ toplama için yasadışı insan ticareti en aza indirilmesi ve savaş, kaza sonucu ampute yapılan kişilere yapay organ nakli yapılarak tekrar hareket kazanması sağlanabilir. Bir kez daha tam hareketlilik kazanabilir. Üç boyutlu biyo-baskı, şu anda insan embriyosu tekniklerini çevreleyen etik ve dini sorunları en aza indirirken, rejeneratif tıp ve yaşam kalitesi üzerinde benzeri görülmemiş sonuçlara yol açabilir [61].



Şekil 2.52 Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen kafatası implantı (solda) [62], ve tıbbi alçı Prototipi (sağda) [63]

2.6.3 Gıda Sektörü

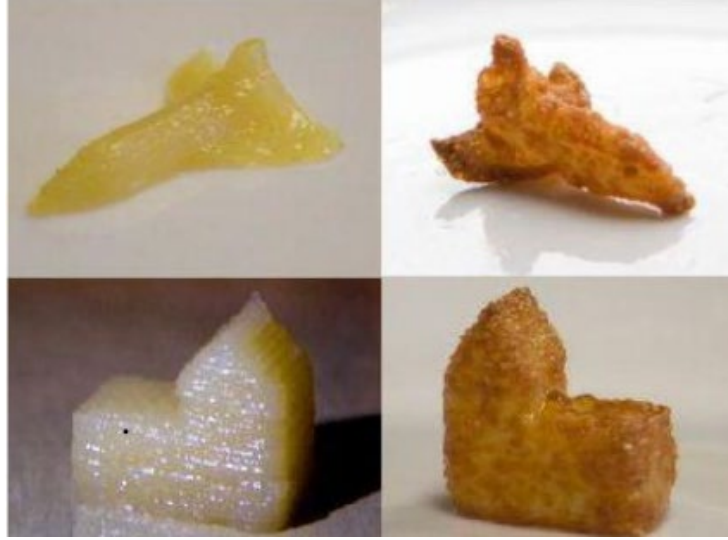
Gıda sektöründe birçok insan, üç boyutlu basılı yiyeceklere önyargılı yaklaşırsa da, bu alanda çok fazla ilerleme kaydedildi. Kristalize şekerdeki topperları ve karmaşık çikolata tasarımlarından, zamanla filizlenen tohum ve sporlara sahip kraker benzeri maya yapılarına, pişirmeye hazır pizzalara ve dolgulu mantıya kadar, bir çok alanda üç boyutlu teknolojinin kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu teknolojinin ilk olarak çiğneme zorluğu çeken yaşlı insanlara; lezzetleri daha yumuşak şekilde sunabilmek amaçlı olarak Almanya’ da yer alan emekli evlerinde kullanıldığı görülmektedir [57].



Şekil 2.53 Üç boyutlu baskı teknolojisiyle hazırlanan şekerler (solda) ve pasta (sağda) [64]

Gıda endüstrisini dijital çağa getirmek, üç boyutlu baskının temel ve devrimci uygulamalarından biridir. Bu teknolojiyi uygulamak hızlı otomatik ve tekrarlanabilir süreçler, tasarım özgürlüğü sağlar, ayrıca her bölge veya birey için özelleştirilebilen pişirme işleminde büyük ve kolay değişkenlik sağlar. Robotik katman bazlı gıda baskı sistemlerinin kullanılması, operatör hatası olmadan çok tekrarlanabilir ve yüksek kaliteli yemekler hazırlamak için gıda reçetesinin dijitalleştirilmesine ve saklanmasına izin verir. Ayrıca, yiyeceğin şekli ve dekorasyonu müşteriye veya duruma göre kişiselleştirilebilir [61].

Cornell Üniversitesi'ndeki araştırmalar, gıda üç boyutlu yazıcılarla kullanıma uygun pişirilip ve kızartılabilen yeni malzemeler ortaya koydu. Basılı nesnelere kızartıldıktan sonra kızartma nedeniyle oluşabilecek ayrıntı kayıpları minimuma indirilerek ayrıntı kısmen korunmuştur [61].



Şekil 2.54 Üç boyutlu baskı teknolojisiyle hazırlanan kızartılabilen gıda ürünleri [61]

2.6.4 Otomotiv Sektörü



Şekil 2.55 Üç boyutlu baskı teknolojisi kullanarak restore edilmiş bir zamanlar Elvis Presley'in kullandığı BMW 507 aracı [65]

Üç boyutlu baskı ticari olarak kullanıma sunulduktan sonra en erken yatırım yapan endüstrilerden biride otomotiv endüstrisi oldu. Bugün otomotiv üreticileri parça üretimi yerine prototipleme için öncelikle bu teknolojiyi kullanıyorlar [65].



Şekil 2.56 Neredeyse tüm parçaları üç boyutlu yazıcıdan basılan araçlar [65]

Orta büyüklükteki bir otomotiv motor kontrol şirketi prototiplerin dökümü için üç boyut basılan kum maçaları kullanarak prototipleme süresini on altı haftadan bir haftaya veya daha kısa süreye azalttı. Büyük bir otomotiv tedarikçisi, ürün konsepti prototipleri, üretim öncesi prototipleri ve gösteri modelleri için üç boyutlu baskı kullandı. Otomotiv şirketleri ayrıca montaj fikstürü, test armatürleri ve robotik kol aletleri için üç boyutlu baskı sistemlerini kullanmayı deneyerek ürün döngüsü sürelerinde iyileşme sağladılar. Parçaların daha ucuz, daha hafif ve daha hızlı üretilebiliyor olması, otomotiv endüstrisinin temel bir hedefi olup, parça üretiminde üç boyutlu baskının gelecekte otomotiv sektöründe önemli bir yer edineceğini göstermektedir [65].

Yakın zamanda yapılan çalışmalarda Alman üç boyutlu baskı firması, baskı çeşitliliğinin gösterisini yapmak için NERA isimli elektrikli bir motosiklet tasarladı. NERA, üç boyutlu yazıcı kullanılarak yapılan ve çalışan ilk elektrikli motosiklettir [66].



Şekil 2.57 Tüm parçaları üç boyutlu yazıcıdan basılan NERA isimli elektrikli motosiklet [66]

15 ayrı parça olarak basılan NERA motosiklet, arka jantının içine yerleştirilmiş bir elektrik motordan güç alıyor. Pil ise gövdenin içine yerleştirilmiş. Bisikletin elektrikli parçaları, lastikleri, jantları, şasesi, selesi dahil olmak üzere, neredeyse her şey üç boyutlu olarak basılmıştır. Üretim sürecinin ötesinde, özel tasarım olan ve havaya ihtiyaç duymayan lastikleri ve özel tasarlanan jantı, süspansiyon görevi görüyor ve yay, süspansiyon gibi parçaların kullanılmasına gerek bırakmıyor. Satışı yapılmayacak bir ürün olsa da üç boyutlu baskı ile üretimin gelecekte alacağı şekil üzerine bir fikir veren bir üründür [66].



Şekil 2.58 Tüm parçaları üç boyutlu yazıcıdan basılan NERA isimli elektrikli motosiklet [66]

2.6.5 Moda Ürünleri ve Kuyumculuk Sektörü

Genelde çoğu moda şirketi, giysi üretim sürecinin farklı aşamalarında giysi formlarını kullanır; örüntü bloğu geliştirme, döküm ve kalite kontrolü ve kıyafet formu üreticileri, müşterilerinin ihtiyaçlarına daha iyi uyacak şekilde gelişmiş ve fonksiyonel kıyafet formları üretmeye çalışmışlardır. Bununla birlikte, vücut şekilleri ve boyutlarındaki farklılıklar belirgindir ve belirli vücut tipleri için özel ihtiyaçlar ekonomik olarak üretilmesi mümkün olmamaktaydı. Günümüzde, herhangi bir yaratıcı fikrin uygun fiyatlarla gerçekleştirilmesine yardımcı olan üç boyutlu baskı teknolojisi moda sektöründe de

ilerleme kaydedilmesini sağlamaktadır. Zamanla daha da gelişen üç boyutlu tarama ve üç boyutlu yazdırma teknolojileri, herhangi bir tasarımın ve şeklin hızlı ve verimli bir şekilde oluşturulmasına yardımcı olabilir durumdadır. Üç boyutlu baskı teknolojisi bir CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) makinesinden daha az hammadde kullanıyor olması ve sadece gerekli parçaları basabiliyor olması sebebiyle zamandan ve paradan tasarruf etmede yardımcı olmaktadır. Ek olarak, üç boyutlu baskı, herhangi bir fabrikanın, aynı hammadde ve planları varsa, aynı kalitede ürünler üretmesini sağlar ve ihracat ticaretinde nakliye ücretlerinden tasarruf edilmesine de yardımcı olur. Üç boyutlu yazılardan basılan giysiler, tasarımcının fikirlerine ve ilhamlarına dayanarak, amaçlanan şeklin tasarımının ve bunların parçalarının birleşimi olan iki ayrıdır. Tamamen giyilebilir giysiler, esnek PLA'nın kullanıldığı örgü panellerin çiçek motifinin bir birleşimi olan XYZ Workshop tarafından geliştirildi. Burada üretilen giysilerin gövdeye oturması için üç boyutlu tarama yöntemi kullanıldı. Baskı sonucu oluşan giysilerin vücuda tam oturması ve vücut ile hareket etmesi sebebiyle tüketicilerin ilgisini çekmeyi başardı [67].



Şekil 2.59 Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen elbiseler [68]

Üç boyutlu baskının yaygın olarak kullanıldığı bir diğer sektör ise kuyumculuk sektörüdür. Kuyumculuk sektöründe üç boyutlu baskı genel olarak, geleneksel yöntemlerle seri üretilen bir ana modelin prototiplenmesi için kullanılır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile beraber üç boyutlu baskı üretim aşamalarında da giderek artan bir kullanıma sahiptir [61].

Zahmetli el işçiliği gerektiren veya el ile yapımı mümkün olmayan karmaşık geometriye mücevherlerin yapımında başarılı olan hızlı prototipleme teknolojileriyle, silikon kalıplamayla kopyalanamayacak kadar karmaşık modeller kolaylıkla inşa edilebilir. Bu teknolojileri kullanan tasarımcılar, özgün, yenilikçi, üretim korkusunu daha az taşıyarak

kopyalanması zor, müşteri odaklı, modeller geliştirebilmektedirler. Hızlı prototipleme yöntemleri sayesinde kullanıcılar yeri geldiğinde tasarım aşamasına üretim tereddütü yaşamadan müdahale edebilmekte ve böylece daha özel tasarımlar ortaya çıkabilmektedir. Kuyumculuk sektöründe prototip yapımında hızlı prototipleme yöntemleri direkt veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Sıklıkla kullanılan direkt üretim sağlayan hızlı prototipleme yöntemleri SLS ve SLM olmakla birlikte, dolaylı olarak üretimde kullanılan hızlı prototipleme yöntemleri ise FDM, SLA ve MJM olarak belirlenmiştir [56].



Şekil 2.60 Üç boyutlu baskı tekniğiyle üretilen kolye (solda) ve yüzük (sağda) [69]

2.6.6 Eğitim

Eğitim sistemi, insanların potansiyellerini tam olarak elde etmelerine yardımcı olarak önemli bir rol oynar. Üç boyutlu baskı, öğrencilerin konuyla etkileşime girmelerine yardımcı olarak öğrenme deneyiminde etkili bir araç olarak kullanılabilirler. Okullardaki uygun maliyetli üç boyutlu yazıcılar, öğrencilerin ilgi alanlarını daha kolay ve daha hızlı bulmalarına yardımcı olabilecek çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Günümüzde, üç boyutlu baskı teknolojisini kullanarak kendi tasarımlarını yaratma ve üretme fırsatı verilen öğrencileri çeşitli alanlara çekmek için farklı türlerde verilen eğitim projeleri vardır [61].



Şekil 2.61 Üç boyutlu baskı tekniğinin eğitim alanında kullanımı [70]

ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNİKLERİNİN MİMARLIK VE MİMARİ KORUMA ALANINDA KULLANIMI

Üç boyutlu baskı tekniği hızlı bir teknolojik değişim aşamasındadır ve kültürel mirası korumak için daha da zenginleştirici deneyimler vaat etmektedir. Üç boyutlu baskının yalnızca nesnelerin yeniden yapılandırılması alanında değil, araştırma, dokümantasyon, koruma ve eğitim amaçlı olarak da kullanılması, mimari uygulamaların bütün aşamalarında hizmet verme potansiyeline sahip olması beklenmektedir.

Günümüzde, görme, duyma ve dokunma gibi duyuşal deneyimlere olan ilginin artmasıyla, modern yaşamı kolaylaştırmak ve "yeni bir sanayi devrimini" teşvik etmek için üç boyutlu baskının önemli bir yeri olduğu söylenebilir. Bu bağlamda üç boyutlu baskının daha kullanışlı hale gelmesi, üretilen nesnelerin doku, ağırlık ve mekanik gibi karakteristik özelliklerinin daha kolay sunulmasını sağlaması, modeller üretmede, hızlı prototiplemede, eğitimde ve mimari uygulamalarda daha yoğun bir şekilde kullanılması, kültürel mirasın korunması konusundaki etkinliğini giderek artırmasını mümkün kılmaktadır.

3.1 Hızlı Prototip Oluşturma

Hızlı prototipleme, birçok araştırma ve test alanında yaygın olarak kullanılan bir tekniktir ve yapılmadan önce ürün davranışını analiz etmek veya uygulanmadan önce tasarımı göstermek için kullanılan daha küçük ölçekli modelleri içerir. Bu teknik, otomotiv endüstrisi tarafından oluşturulan otomobil modellerinde, tıp endüstrisi için proestetik

modeller üretmede, mimari projelerde model yapımı gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilir [71].

Mimarlıkta hızlı prototip oluşturma, mimarların inşaat başlamadan önce mimarlık kavramlarını analiz etmelerini sağlayarak önemli bir rol oynamaktadır. Erken tasarım sürecinde hızlı prototipleme, birkaç farklı kavramı incelemeye ve birbirlerini karşılaştırmaya yardımcı olur. Bu bağlamda modern sunum modelleri, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ile yapılır ve ihtiyaç duyulmayan imgelerin filtrelenmesine ve daha iyi tasarım çözümleriyle değiştirilmesine yardımcı olabilir. Her ne kadar Stereolitografi (SLA), Lamine Nesne Üretimi (LOM) ve Seçici Lazer Sinterleme (SLS) gibi birkaç yöntem prototipleme yöntemi olarak kullanılsa da, bugün bu amaç için en yaygın olarak kullanılan yöntem üç boyutlu baskıdır [71].

Üç boyutlu baskı sayesinde kullanıcıların daha önce mümkün olmayan yeni bir ayrıntı düzeyi ekleyebilmesine olanak tanımaktadır. Mimarlık ile ilgili olarak, soyut mimari kavramları temsil eden tasarımlar, fiziksel modeller olarak gerçekleştirilebilir. Bu tür modern yöntemlerin ortaya çıkmasından önce, inşa etmeyi planladıkları mimari modellerin fiziksel versiyonlarını yapmaya çalışan mimarlar, nihai görünümün nasıl görüneceğine dair el işçiliğine dayanan özenli bir süreçten geçmek zorunda kalıyorlardı. Bu bağlamda üç boyutlu baskı mimarlar için prototipleme konseptini pratik olarak yeniden şekillendirmesini sağladı [71].

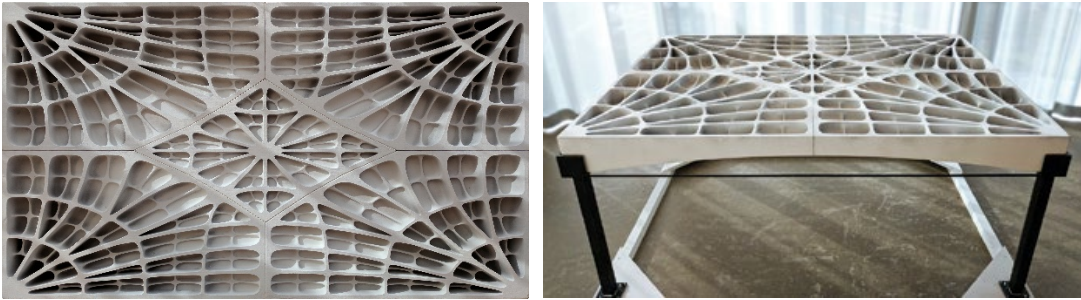


Şekil 3.1 Dağhan Çam tarafından tasarlanan ve üç boyutlu basılan protip bir strüktür örneği [72]

Dijital model, 3D Max veya Autodesk AutoCAD gibi bir Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılımı ile yapılabilir. Her iki yazılım da iki boyutlu görüntüleri üç boyutlu modellere çevirme yeteneğine sahiptir. Basılacak prototip ölçeğinin belirlenmesinde tavanın yüksekliği, kapı ve pencere boyutu ile diğer benzer faktörler göz önünde bulundurularak dikkate alınmalıdır. Dikkate alınacak diğer faktörler arasında kullanılan malzemenin özelliği, modelin gücü ve desteği, geometrinin detaylandırılması, dijital model çözünürlüğü vb. faktörler vardır. Üç boyutlu baskının, mimari modeller için hızlı prototipleme de kullanılması, son ürünün üretilmeden önce ne olacağını anlamada etkili ve hızlı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [71].

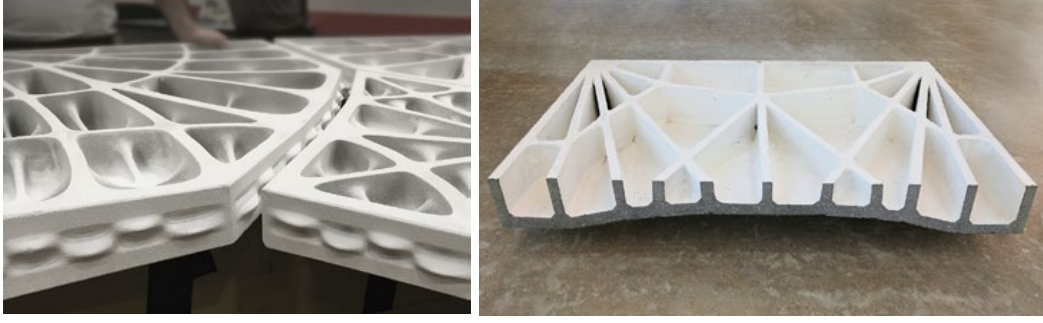
3.1.1 Üç Boyutlu Basılan Prototip Döşeme Örneği

Roma kemerli yapılar, bileşenler istikrarlı bir bütün oluşturmak için birlikte çalışırlar ve bir bileşeni kaldırılması durumunda tüm yapı çöker. Her parça daha büyük bir yapının oluşması için gereklidir [73]. Katmanlı yapıları nedeniyle üç boyutlu baskıyla üretilen malzemelerin çoğunda daha düşük gerilme kuvvetleri vardır. Buna karşın bu tarz ürünlerin sıkıştırma enerjileri ise oldukça fazladır. Kirişlerin ve kemerlerin döşeme sistemine yerleştirilerek, baskı kuvvetlerinin sıkıştırma kuvvetlerine dönüştürüldüğü sisteme fönüküler sistem adı verilmiştir [74].



Şekil 3.2 Üç boyutlu baskıyla üretilen beton döşeme prototipi (solda) [75], (sağda) [73]

Philippe Block ve Tom Van Mele liderliğindeki mühendisler bu sistemin denenmesi amacıyla ExOne S-Max 3D kum yazıcısı ile beraber prototipler basmışlardır. Basılan 5 ayrı prototip parça birleştirilirken aralarında mekanik bir bağlantı kullanılmamış onun yerine daha basit bir şekilde kenetlenmelerini sağlayan erkek dişi kilitleme yöntemini kullanmıştır [74].



Şekil 3.3 Beton panellerin birleşim detayı (solda) ve bir beton panel parçasının kesiti (sağda) [73]

Nervürlü sertleştirilmiş beton paneller, geleneksel betonarme döşemenin dayanımını sağlamak için föniküler geometrileri kullanan iki kat kavisli kabuklardır [75]. 2 santimetre kalınlığında sertleştirilmiş bir kabuk ile, zeminde, geleneksel bir döşemeden % 70 daha az malzeme ihtiyaç duyulur ve böylece kirişlere, sütunlara ve temele binen ağırlığında azalması sağlanmış olur. Kabuğun arasındaki oyuklar ısıtma, soğutma, medya ve diğer hizmetleri yerleştirmek için de kullanılabilir. Bu işlevleri üste koymak yerine zemine entegre ederek zeminin yüksekliği önemli ölçüde azaltılabilir [73].



Şekil 3.4 Beton paneller üzerinde yük testi yapılması [74]

Üç boyutlu baskı ile oluşturan prototipler üzerinde yapılan deneylerle, hatalı çalışmayı en aza indirmek, hatta tamamen ortadan kaldırmak, bağlantı ayarlarını basitleştirmek, daha ince malzemeler kullanmanın yolunu bulmak ve böylece harcanan enerjiyi azaltmak mümkün olmuştur [73].

3.2 Maket / Model Oluşturma

Mimarlar, fikirlerin kavrayışını ve gelişimini üç boyutlu olarak keşfetmek ve sunmak için modeller oluşturur. Fiziksel modellerin önemli avantajlarından biri, materyal, şekil, boyut ve renk hakkındaki fikirleri oldukça erişilebilir bir şekilde iletebildikleri için dolaysız olmalarıdır [76].



şekil 3.5 Geleneksel yöntemle yapılan maket örneği [77]

Tarih boyunca, bilgi aktarımını düzgün bir şekilde yapmak için modeller kullanılmıştır. Bunun nedeni, modellerin ilgi çekici olması ve iletişim yöntemi olarak aktarılacak bilginin kolay anlaşılmasını sağlamasıdır. İstenen özellikler hızlı bir şekilde tanınabilir ve tasarımcıların modelin belirli bölümlerine dikkat çekebilmesi için çeşitli avantajlar sağlar [76].



şekil 3.6 Üç boyutlu yazıcıdan basılan la Sagrada Família Basilikası modeli [78]

Mimariyi anlamak için doğrudan bir mekan deneyimine dahil olmak önemlidir. Binaların içerdiği ve ürettiği boşluğun miktarı ve şekli, kumaşın özü olarak onun varlığının bir parçasıdır. Günümüzde kullanılan üç boyutlu modelleme yöntemleri, strafor vb maket malzemelerine el ile kesme ve yapıştırma işlemlerini uygulayarak üç boyutlu yapı maketi oluşturmayla benzer bir işlevdedir. Bu üç boyutlu modeller, bitmiş projelerin neye benzeyeceğine dair ölçekli bir görünüm kazandırma amacıyla yapılır. Yazılımla yoluyla bu üç boyutlu modelleri oluşturarak projenin bir üç boyutlu dijital görüntüsünü sunmak eski yöntemle oluşturulan modellerin giderek yerini almaktadır. Bununla birlikte, üç boyutlu yazıcılar, üç boyutlu dijital görüntülemelerden modellenmiş nesnelere yaratmaya geri dönerek işleri bir adım öteye taşımışlardır [76].

Her ne kadar üç boyutlu dijital görüntüleme giderek kullanılan bir yöntem olsa da, eski okul ölçekli modeller bir projeyi algılamada veya firmanın tasarımını sunmada etkili bir araçtır. Dijital ekran, algılamayı kolaylaştıran ve genelde çoğu insanın sevdiği dokunsal algılama niteliğinden yoksundur. Üç boyutlu baskı bu görsel ve dokunsal algıyı mimariye aktarmada önemli bir köprü görevi görmektedir [76].

Üç boyutlu baskı, ek dijital ekipman ayarlamalarına gerek olmadan sergilemeye uygun, bitmiş bir tasarımın somut ve dokunsal görselleştirmelerinin oluşumunu sağlamaktadır. Karmaşık bileşenleri bir araya getirmek ve yapıştırmak için eski yöntemleri kullanarak bir üç boyutlu mimari model oluşturulmasına göre saatlerce (bazen günler veya haftalar arası) tasarruf sağlar. Bir başka olumlu yanı ise üç boyutlu baskı tekniğinin, daha eski usullerle yapılan modellere kıyasla ayrıntılarda ve pürüzsüz yüzeylerde daha fazla hassasiyet sağlamasıdır. Bu, mimarların, el yapımı modellere eklenemeyecek kadar karmaşık veya çok küçük olan üç boyutlu modellerine daha karmaşık ayrıntıları dahil etmelerini sağlar. Çok sayıda renkte, çok çeşitli üç boyutlu baskı malzemelerinin yanı sıra saydam bileşenler yaratma yeteneği de mevcuttur [76].



Şekil 3.7 Üç boyutlu yazıcıdan saydam reçine malzeme kullanarak basılan
Šibenik Katedrali modelleri [78]

Binaların üç boyutlu modelleri, mühendisler, mimarlar ve arkeologlar başta olmak üzere bilim adamları ve tarihçiler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Kentsel ve kültürel miras bağlamında üç boyutlu modeller, dokümantasyon, görselleştirme ve yeniden yapılandırma amaçları için kullanılırlar. İlgili verinin elde edilme şekline bağlı olarak, üç boyutlu bir model çok detaylı olabilir veya basit şekilde mimari durum hakkında hızlı bir genel bakış da sağlayabilir [79].

Üç boyutlu modeller tarihi anıtları belgeleme aracı olarak kullanılabilirdiği gibi bilimsel araştırmalarda dijital veya basılı olarak da kullanılabilirler. Üç boyutlu modeller ayrıca tarihi yapıların ve alanların korunması için bir başlangıç noktası sağlar ve bunlar turizm amaçlı veya müzeler bağlamında da kullanılabilir. Sanal modeller olarak internet üzerinden dünya çapında paylaşılabilir ve dijital formatta kolayca saklanabilir veya bir üç boyutlu yazıcıyla basılabilir [79].

Üç boyutlu modeller, kentsel ve kültürel mirasın korunmasıyla ilgili olarak farklı meslek gruplarını destekleyebilir. İlgili devlet kurumları, belediyeler, planlamacılar, mimarlar ve mühendisler gibi inşaat ve imar süreçlerinde uzman olan bilim insanları bunlara örnek olarak gösterilebilir [79].



Şekil 3.8 Cáparra Roma Kemer'inin üç boyutlu yazıcıdan basılan ölçekli modeli [80]

3.3 Kalıp Modeli Oluşturmak

Üç boyutlu baskının kullanım alanlarının genişlemesinin en önemli sebeplerinden biri üç boyutlu baskı ile kalıp modelleri oluşturulabilmesidir. Üç boyutlu kalıpları yazdırmak standart üç boyutlu yazdırma işleminden farklıdır. En büyük fark, nihai nesneye nasıl ulaşıldığıyla ilgilidir. Standart üç boyutlu baskı bir amaç için son yoldur. Yazıcı durduğunda ve malzeme soğuduğunda, son ürün elde edilmiş olur. Standart 3B yazdırma işleminde tasarım, malzeme ekstrüze olurken yavaş yavaş oluşur ve bu işlem bittiğinde en son halini alır [81].

Üç boyutlu baskı ile kalıpları oluşturmanın ilk adımı son tasarımın tersi olan bir kalıp yazdırılmasıdır. Daha sonra bu kalıp nihai üretim malzemesiyle doldurulur, kuruması beklenir, ardından nihai nesneyi ortaya çıkarmak için kalıp sökülür [81].

Üç boyutlu baskıyla tek seferde bir kalıp oluşturmak zorunda olunsa da (kalıp büyüklüğü ve makineye göre birden fazla basım aynı anda yapılabilir), set hazırladıktan sonra hepsi bir seferde kullanılabilir ve üretimi hızlandıracak yığınlar halinde seri üretim yapılabilir [81].



Şekil 3.9 Prekast betonların yapımında kullanılan, üç boyutlu basılmış kalıp örnekleri [82]

Üç boyutlu baskıda tasarımları değiştirmek kolaydır. Standart bir üretim kalıbı hazırlamak, son sürümü tamamladıktan sonra kolay değişiklik yapılmasına izin vermeyen çok yönlü bir işlemdir. Ancak kalıbın üç boyutlu baskıyla üretilmesi durumunda bu durum ortadan kalkar. İlk partiden sonra yapılması gereken bir değişiklik varsa, sadece tasarım programı üzerinden değişiklik yaparak tekrar basılabilir. Değişikliğin işe yarayıp yaramadığını görmek için uzun süreler beklemek zorunda olmadan işlem gerçekleştirilir [81].

Üç boyutlu baskıyla, küçük detaylar ve karmaşık geometrilerin basımının mümkün olması; kalıpların ayrıntı düzeyinin, yazıcının katman çözünürlüğüne paralel olarak artacağı anlamına gelir. Milimetre ve mikron cinsinden ölçüldüğünde, üç boyutlu baskı teknikleri geleneksel enjeksiyon kalıplama üretimindeki parametrelerden daha kesin ve doğru sonuçlar verebilmektedir [81].

3.3.1 Üç Boyutlu Basılan Kalıpla Oluşturulan Amorf Cephe Örneği

ETH Zürih Uygulamalı Bilimler Üniversitesi öğrencileri tarafından uygulanan bu projede üç boyutlu baskı yöntemiyle oluşturulan kalıplar kullanılmıştır. Üç boyutlu baskının sunduğu geometrik özgürlüğü, dökme metalin yapısal özelliklerine bağlamak için

mimarlık ve dijital üretim dersinin bir parçası olarak yapılan bu projede 6 metre yüksekliğinde, 4 metre genişliğinde metal bir cephe oluşturulmuştur [83].



Şekil 3.10 Üç boyutlu basılan kalıba dökülerek oluşturulan metal cephe [83]

“Deep Façade” adı verilen proje farklı bir büyüme algoritması tarafından, bazı canlı organizmaların gelişimini taklit eder şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca metalin akışkan ve kuvvetli görüntüsünü tasarıma yansıtmak amaçlanmıştır [84].

26 panelden oluşan kalıbı öğrenciler ExOne adı verilen “Binder Jetting” teknolojisi kullanan üç boyutlu baskı makineleriyle bir çeşit kum malzemeden basarlar. Ardından erimiş alüminyum metali geleneksel şekilde kalıba dökülür [83].



Şekil 3.11 Üç boyutlu basılan kalıba eriyik haldeki metalin dökümü [84]

Kalıbın basımında üç boyutlu baskının kullanılmış olması geleneksel yöntemler kullanılarak zor olan karmaşık şekillerin kolaylıkla oluşturulmasını ve maliyetin büyük ölçüde azalmasını sağlamıştır [84].

3.4 Eğitim Ve Sunum Alanında Kullanımı

Günümüzde eğitimde yeni teknolojilerin kullanılması, ilköğretimin birinci döneminden başlayarak üniversite eğitiminin son aşamalarına kadar kullanılan etkili ve hızla gelişen bir yöntemdir [85]. Mimarlık eğitiminde de bu gelişen teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Üç boyutlu baskıyla teknolojiyle oluşturulan modeller ve prototipler her geçen gün daha sıklıkla eğitim kurumlarında kullanılıyor durumdadır.

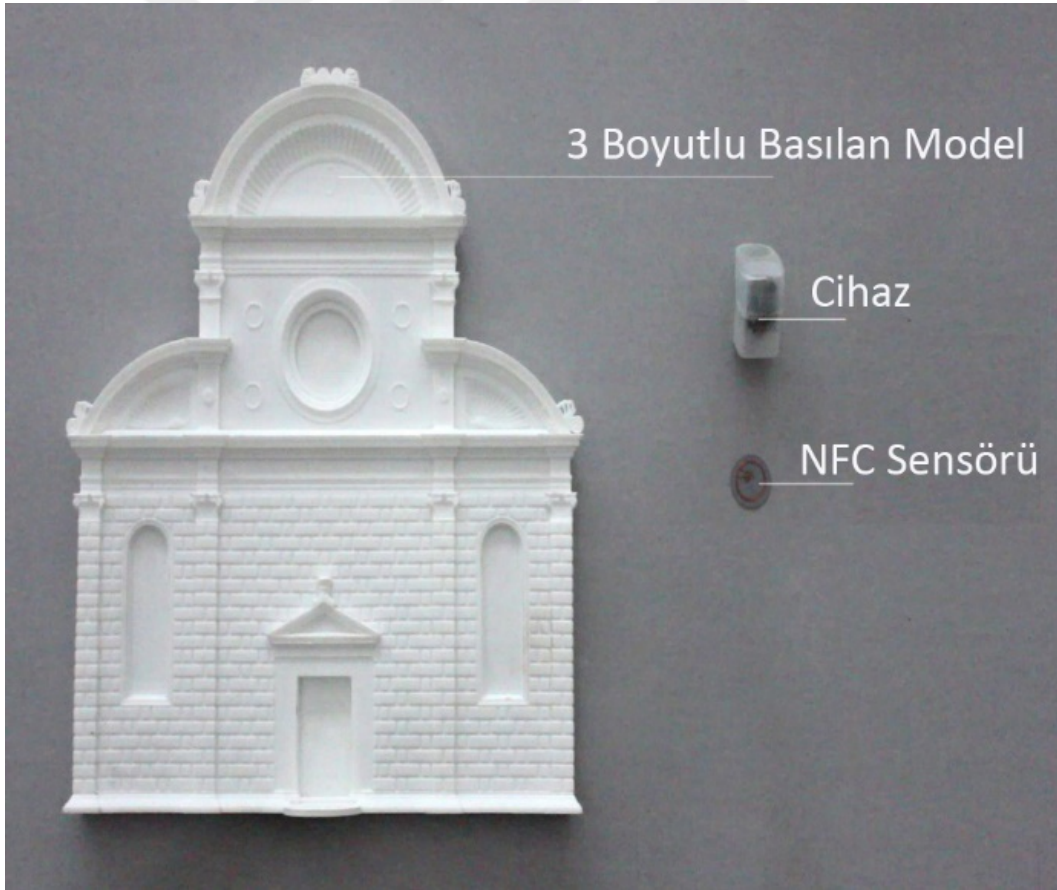
Mimarlık eğitiminde fiziksel modeller önemli bir bilgi kaynağıdır. Mimari yapıların fiziksel ölçek gösterimleri, bir mimari tasarımın özelliklerini incelemek veya tasarım fikirlerini iletmek için kullanılmaktadır. Bir tasarım sürecinin ilk aşamalarında kullanılan taslak modeller veya çalışma modelleri tasarım düşüncesinin gelişimi için önemlidir. Özel bir iletişim ortamı olarak çalışan model, fikrin bir özeti olarak kullanılabilir, süreç içerisinde belirli bir yer tanımlayabilir ve yansıma için fiziksel bir form sağlayabilir. Model yapımı, yaparak öğrenme şeklindedir. Fiziksel modelin oluşturulmasında belirli malzemelerin kullanılması, formun yapısal özellikleri ve bileşen montajı konusundaki farkındalığı artırır. Fikirlerin daha da geliştirilmesi ve nihai mimari tasarımın sunumu ve sergilenmesi için daha kesin ve ayrıntılı modeller kullanılmaktadır. Tarihi yapıların modellerini yapılarak veya inşaat yapı modelleri yapılarak öğrenme aşamasında kullanılır. Malzemelerin somut özelliklerini keşfetmek için tam ölçekli prototipler kullanılmaktadır. Geleneksel fiziksel üç boyutlu modelleme teknikleri, günümüzde yeni teknolojilerin kullanımından etkilenmektedir. Üç boyutlu modelleme programları ile birlikte üç boyutlu baskı teknolojilerinin geliştirilmesi fiziksel model yapımında yeniliklere olanak sağlamıştır. Yeni teknolojiler, sanal bir modelin fiziksel bir modele akıcı bir şekilde çevrilmesini sağlar. Bu şekilde üçüncü boyuta taşınan nesnelere daha iyi bir şekilde algılanarak mimari eğitime katkı sağlarlar [86].

Üç boyutlu baskıda yaşanan teknolojik gelişmeler sayesinde dokunuş gibi retinal (görsel) olmayan duyuları kültürel deneyimlerimize entegre etmek için birçok şekilde kullanılabilir durumdadır. Kültürel yaşantıların bu çok duyuşal biçimleri, kültürel mirasın

erişilebilirliği için özellikle öğrenme güçlüğü çeken kişilerin, çocukların, görme engelli insanların tarihi dokuyu deneyimlemesinde ve öğrenmesinde büyük bir yarar sağlamaktadır. Aynı şekilde üç boyutlu baskıda yaşanan gelişmeler sayesinde bu yöntem dokümantasyon sürecinde, mimari koruma uygulamalarında ve eğitim amaçlı da kullanılabilir [87].

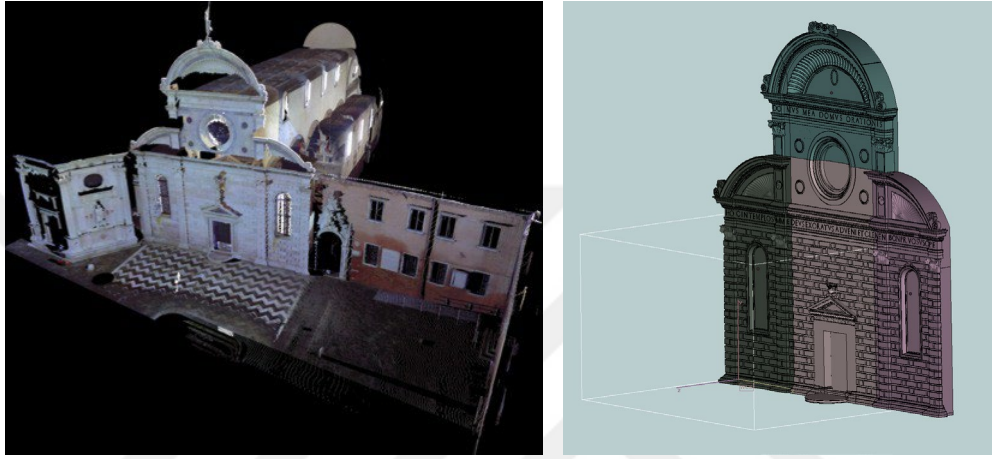
3.4.1 Tooteko Örneği

Tooteko herhangi bir dokunsal yüzeye, nesneye veya tabakaya uygulanabilen ve parmak uçlarınızla gezinmeniz olanak sağlayan ve bunu yaparken o anda dokunduğunuz yüzeyin parçasıyla alakalı bir ses içeriği almanızı sağlayan akıllı bir sistemdir. Tooteko, geleneksel sanat mekanlarını ve tarihi eserleri görme engelliler için erişilebilir kılmakla birlikte, sanatla temas deneyimini artırmak amacıyla dokunsal boyutun devreye sokarak eserin herkes için okunmasına olanak sağlayan bir teknolojidir [88].



Şekil 3.12 Tooteko sistemi birleşenleri [88]

Tooteko sistemi üç birleşenden oluşmaktadır: yüksek teknoloji ürünü bir “Ring” denilen bir cihaz, NFC sensörleriyle etiketlenmiş dokunsal bir yüzey ve tablet veya akıllı telefon için bir uygulama. Cihaz, NFC etiketlerini algılar ve okur ardından Tooteko uygulaması sayesinde, kablosuz modda akıllı cihazla iletişim kurar. Yüzeyin dokunsal gezinmesi sırasında, parmak önceden belirlenen bir noktaya ulaştığında, cihaz NFC etiketini tanımlar ve uygulama aracılığıyla o belirli nokta ile ilgili ses parçasını etkinleştirir ve dokunulan bölgeyle ilgili içeriği aktarır [88].



Şekil 3.13 Isola'daki San Michele kilisesinin cephesinin nokta bulutu taramaları (solda) ve dijital modellenmesi (sağda) [88]

Dokunsal yüzeylerin üretim süreci, taramayı, verilerin sayısallaştırılmasını ve üç boyutlu yazdırmayı içerir. İlk deneme, On beşinci yüzyılın sonlarında Mauro Codussi tarafından yapılan ve Venedik'teki Rönesans'ın başlangıcını belirleyen Isola'daki San Michele kilisesinin cephesinde modellenmiştir. Cephe taraması lazer tarama ve İHA fotogrametrisi ile yapılmıştır. Oluşturulan nokta bulutları uygun hale getirildikten sonra cephenin üç boyutlu baskısı yapılmıştır [88].

Üç boyutlu basılı Envisiontech frıması tarafından Ultra 2 yazıcı ile, kürlleme reçinelerinde görüntü yansıtma teknolojisine dayanılarak yapılmıştır. Baskı için seçilen ölçek 1:50 olması ve Ultra 2 cihazının küçük bir baskı boyutu olması sebebiyle model 4 ayrı parça halinde basılmış ve ardından reçine ile parçalar birbirine yapıştırılmıştır [88].

Tooteko olarak adlandırılan bu teknoloji sayesinde, sanat eserinin veya tarihi bir yapının daha küçük ölçekli bir modeline dokunma, malzemeleri hissetme, detayları parmak

uçlarıyla ayırt etme ve aynı zamanda dokunsal tanıma sırasında kulaklıkla bağlanan sesli resimleri dinleme olanağı yaratılmaktadır [88].



Şekil 3.14 Tooteko sistemi [88]

Tooteko teknolojisi üç boyutlu baskının başka teknolojilerle entegre çalışarak hem eğitim alanında hem de tarihi yapıların özelliklerinin daha iyi aktarılabilirdiği sunum, belgeleme çalışmalarında kullanılabilirliğine dair örnek sayılabilecek çalışmadır [88].

3.4.2 Antik Roma Gravürlerinin Modellenerek Üç Boyutlu Basılması Örneği

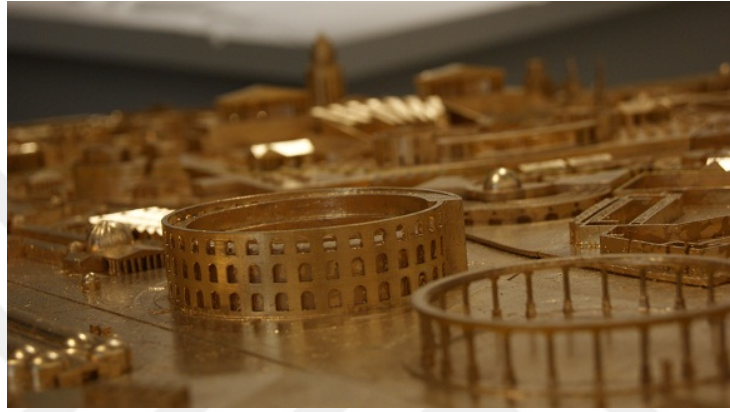
On iki Yale öğrencisi ve profesörü, mimar ve harita yapımcısı Giovanni Battista Piranesi tarafından yapılan Antik Roma gravürlerini üç boyutlu olarak yeniden yaratmak için bir çalışma yapmışlardır [89].



Şekil 3.15 Giovanni'nin gravürlerine göre üç boyutlu basılan Antik Roma modeli [90]

Yale'nin "Beinecke Rare Book and Manuscript Kütüphanesi"nde (Beinecke Nadir Kitap ve El Yazmaları Kütüphanesi) bulunan Piranesi'nin orijinal gravürlerine erişimi olan Eisenman'ın öğrencileri, ilk olarak Piranesi'nin Roma'sını üç boyutlu modelleme programları kullanarak dijital olarak yeniden oluşturmuşlardır [91].

İkinci aşamada ise 1500 x 1300 x 90 mm boyutlarındaki model; Materialise'e ait 2 metreden daha büyük parçaların basımına olanak sağlayan ve stereolitografi yöntemini kullanan üç boyutlu yazıcı Mammoth Stereolithography makinesiyle basılmıştır [89].



Şekil 3.16 Üç boyutlu olarak basılan Antik Roma modeli [90]

Son aşamada ise projenin dikkat çekmesi için parlaması gerektiğini düşünen öğrenciler iki hafta süren bir çalışmayla modeli altın varakla kaplamışlardır. Böylece 250 yıllık Piranesi gravürlerine dayanarak üç boyutlu basılmış tamamen altın varakla kaplı bir model oluşturulmuştur [90].



Şekil 3.17 Üç boyutlu olarak basılan Antik Roma modelinin altın varakla kaplanması [90]

Piranesi'nin mimari icatları üzerine yaptığı çalışmalarla birlikte bu proje, 29 Ağustos - 25 Kasım tarihleri arasında İtalya'nın Venedik kentindeki "Central Pavilion of the Giardini" ve Venedik'teki 13. Uluslararası Mimarlık Bienali'nde sergilenmiştir [91].

3.5 Mimari Uygulamarda Kullanımı Ve Örnekler

3.5.1 Gaia Evi

İtalyan WASP şirketinin, çeşitli biçim ve boyutlarda basım yapabilen modüler 3B yazıcı Crane Wasp ile bastığı Gaia adlı ev; 30 metrekarelik alana sahiptir. Yapı dış kabuktan ve çatıyı tutan ahşap dikme ve kirişlerden oluşmaktadır. Ekim 2018'de İtalya'nın Emilia-Romagna bölgesinde basımı tamamlanan ev toprak ve tarımsal atıklardan yapılmış sürdürülebilir bir yapıdır [92].



Şekil 3.18 Gaia evinin tamamlanmış hali dış görünüşü [92]

Yapı çevreden alınan topraktan elde edilen doğal bir çamur karışımı ve doğranmış saman ve pirinç kabuğu gibi pirinç üretiminden elde edilen atık malzemeler kullanılarak basılmıştır [92].



Şekil 3.19 Gaia evinin duvarlarının üç boyutlu yazıcıyla basımı [92]

Karışım vinçten askıya alınmış bir üç boyutlu yazıcı kullanılarak katmanlandırılır ve daha sonra yalıtım için dikey boşluklu duvarlar, pirinç kabukları ile doldurulmuştur [92].



Şekil 3.20 Basılan duvarların içleri yalıtım amaçlı pirinç kabuklarıyla doldurulması [92]

Yapılan bu çalışmayla sınırlı ve optimize edilmiş tarımsal kaynaklar kullanılmış ve çevresel ayak izi en aza indirilmiştir. Ayrıca 10 gün süren çalışmada çamur karışımının üretimi ekonomik açıdan avantaj sağlamıştır. Yapının çevresel oluşu ve enerji harcamasının minimumda tutulmuş da projenin en önemli noktalarındandır. [92].



Şekil 3.21 Gaia evi iç görünüşü [92]

3.5.2 Elytra Filament Strüktürü

Stuttgart Üniversitesi'nden bir ekip tarafından geliştirilen robotla dokunan (basılan) karbon fiber strüktür, Londra'daki V&A müzesinin avlusunda, bir sezon mühendislik etkinliği kapsamında yapılmıştır. Elytra Filament Strüktürü, şeffaf cam lifi ve siyah karbon lifi kombinasyonundan robotik olarak imal edilmiş, 40 altıgen bileşen içermektedir [93].



Şekil 3.22 Londra'daki V&A müzesinin avlusunda Elytra Filament Pavilyonu basımı [93]

Mimar Achim Menges tarafından tasarlanan, inşaat mühendisi Jan Knippers ve iklim mühendisi Moritz Dörstelmann ile birlikte ortaya çıkarılan “Elytra Filament Strüktürü”, robot tekniği ile dokunmuş reçine ile kaplı karbon fiber ve cam iplikten oluşan karmaşık bir kubbe formu oluşturmaktadır. Strüktürün hafif ve hücresel bir tasarımı vardır. İsmi bir tür tipik kın kanatlılar ve diğer böceklerde olan sertleştirilmiş ön kanat anlamına gelen “Elytra” dan almıştır [94].



Şekil 3.23 Elytra Filament Strüktürü üstten görünümü (solda) ve modüler strüktürel hücreleri (sağda) [93]

Elytra Filament Strüktür, gelişen robot teknolojilerinin, mimari tasarım ve mühendislik uygulamalarındaki etkisini gösteren bir çalışmadır. Tasarımında, doğadaki uçan böceklerin ön kanatlarında bulunan elytra olarak bilinen yapının hafif konstrüksiyon prensiplerinden esinlenilmiştir. Cam ve karbon fiberden yapılan dalgalı kubbenin her bileşeni, tasarımcılar tarafından geliştirilen yenilikçi bir robotik sarma tekniği kullanılarak üretilmiştir. Böceklerdeki elytra gibi strüktürünün filament yapısı hem çok güçlü hem de çok hafiftir [94].



Şekil 3.24 Karbon fiber bileşiminden ötürü oldukça hafif olan ve boyutlarına rağmen elle kaldırılabilen altıgen elemanlar Londra'da bir araya getirilmeden önce, Stuttgart'taki bir laboratuvarında hücreler üretilmesi [94]

Cam ve karbon fiber, altıgen elemanları oluşturmak üzere sertleştirilmeden önce, metal bir kalıp etrafına robot bir kol ile sarılır. Şeffaf bir zar içerisindeki yerinde bir robot, 6 Kasım 2016 tarihine kadar süren şov boyunca yeni elemanların üretimine devam etmiştir. Huni şeklindeki ayaklarla desteklenen 200 metrekarelik yapının her bir parçası, tek bir uzunluk reçine kaplı fiberden oluşmaktadır ve 45 kilogram ağırlığındadır [93].

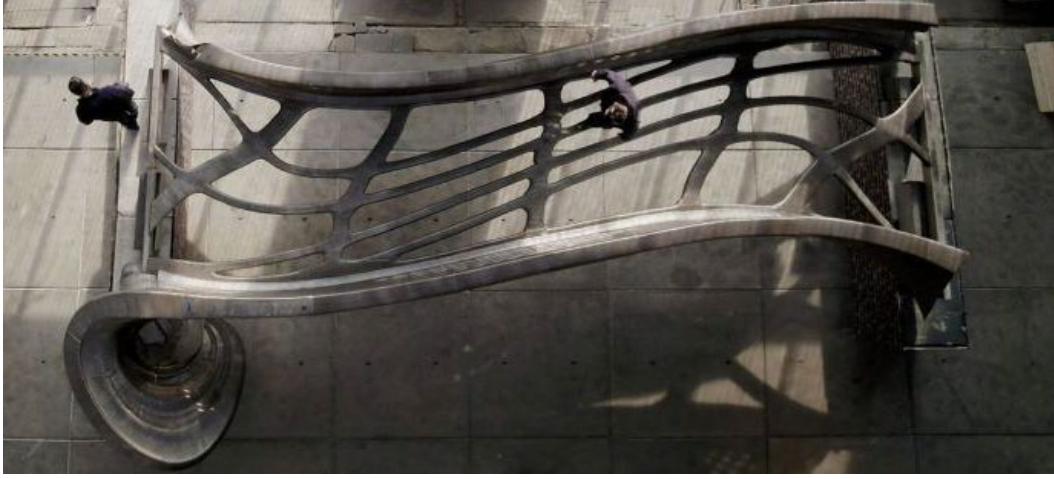


Şekil 3.25 Kuka robotuyla modüler hücreleri yerinde basma işlemi [95]

Strüktürün hücreleri modüler olarak tasarlanmıştır ve ayrıca strüktür ziyaretçilerin davranış modellerini izleyen gömülü optik fiberlerin topladığı verilere göre inşa dönemi boyunca gelişmiş ve büyümüştür. Ziyaretçiler, yeni hücrelerin bir Kuka robotu tarafından yerinde üretimini görme şansına sahip olmuşlardır [94].

3.5.3 Hollanda - Dünyanın İlk Üç Boyutlu Basılmış Çelik Köprüsü

Amsterdam'da bir kanala üzerine kurulacak olan çelik köprünün üç boyutlu baskısını tamamlayan Hollandalı robotik şirketi MX3D; 12 metre uzunluğundaki yaya köprüsünün inşaatı için robotik üç boyutlu baskı tekniğini kullanmıştır [96].



Şekil 3.26 Hollandalı robotik şirketi tarafından basılan metal köprünün iskeleti [97]

Joris Laarman tarafından tasarlanan yaya köprüsünün inşasında altı eksenli robotlar, altı metre genişliğindeki yapıyı erimiş çelik katmanlar halinde basmıştır. Büyük ölçekli kaynak makinelerini kontrol etmek için robotik kollar özel olarak programlanmıştır [98].

İlk tasarımında hafif ağaç benzeri dört ana taşıyıcı üzerine inşa edilen yapının, bu taşıyıcılardan birinin bir tekneye çarpması durumunda kritik bir şekilde hasar alması endişesi sebebiyle önemli ölçüde değiştirilmiştir. Monolitik, U şeklindeki bir köprü tasarımından yola çıkan tasarım ekibi, estetik düzeyinden ödün vermeden, daha organik, S şeklindeki köprüde yapısal bütünlüğü ve işlevselliği bir araya getiren bir tasarım ortaya koymuşlardır. Katkı maddesi üretimi olarak da bilinen üç boyutlu baskı sayesinde köprü katman katman oluşturularak doğrudan dijital modelden parça üretimi yapılmıştır [96].



Şekil 3.27 Hollandalı robotik şirketi tarafından metal köprünün basılması [97]

Köprüye özel olarak mühendisler tarafından yerleştirilen sensörler, köprünün performansını kaydetmek ve gerilme, dönüş, yük, yer değiştirme ve titreşim gibi verileri toplamak üzere tasarlanmıştır. Veriler, kaç kişinin hangi hızda köprüyü geçtiğini, yapısal bütünlüğü ve çevresindeki ortamı göstermek için kullanılacaktır. Bu bilgi aynı zamanda köprünün "dijital ikizine" (gerçek zamanlı olarak toplanan verilere cevap veren bir bilgisayar modeline) girilecektir. İkisi arasında performans ve güvenlik değerlendirilecek ve gelecekteki üç boyut baskılı metal köprü tasarımlarını bilgilendirmek için veriler elde edilecektir [96].

Tamamen üç boyutlu paslanmaz çelikten basılmış köprü, geleneksel çelik yapı ve gelişmiş dijital modellemeyi bir araya getirerek, yapısal olarak sağlam bir kentsel altyapısı parçası haline getiren bir çalışmanın sonucudur. Hesaplamalı tasarım ve üç boyutlu baskı, tasarım ve üretim sürecini kolaylaştırmak için bir araya gelerek tasarımcıların istedikleri formu daha kısa sürede elde etmelerinin sağlamıştır. Bu yeni, yüksek hassasiyetli teknik, tasarımcılara ve mühendislere mimari özgürlük sağlarken, kullanılan ve boşa harcanan malzeme miktarını da azaltmıştır. Bu özelliğiyle çevreci bir yaklaşımı da benimser bir niteliktedir [98].



Şekil 3.28 Üç boyutlu basılan metal köprü [96]

3.5.4 Şangay – Dünyanın Üç Boyutlu Basılan En Uzun Beton Köprüsü

Pekin'deki Tsinghua Üniversitesi Mimarlık Okulu'ndaki profesör Xu Weiguo'nun liderliğindeki bir ekip, 26,3 metre uzunluğundaki bir beton köprüyü üç boyutlu olarak basmıştır [99].

Şangay'ın Baoshan Bölgesi'nde bir kanala yayılan 3,6 metre genişliğindeki yaya köprüsü 2019 yılının başlarında kurulmuştur. Tsinghua Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Zoina Arazi Dijital Mimari Ortak Araştırma Merkezi (JCDA) tarafından tasarlanan köprü, Shanghai Wisdom Bay Yatırım Yönetimi Şirketi tarafından inşa edilmiştir [99].



Şekil 3.29 Dünyanın üç boyutlu basılan en uzun beton köprüsü [99]

Köprü'nün kemerli şekli, Çin'in en eski köprüsü olan Zhaoxian'daki 1.400 yıllık Anji Köprüsü'nden esinlenilmiştir. Tek kemerli köprü, iki robotik üç boyutlu baskı sistemi kullanılarak basılmış 176 beton ünitelerden oluşmaktadır. Tüm bileşenler 450 saat içinde basılmıştır. Köprü'nün yapısı 44 oyuk ünitelerden oluşurken, güverte beyaz çakıl taşları ile doldurulmuş "beyin mercanları şeklinde" yapılmış 68 kaldırım ünitesinden ve korkuluklar da 64 parçadan oluşmaktadır. Tüm bileşenler bir katkılı polietilen elyaf betonu kullanılarak basılmıştır. Köprü'nün ana gövdesinin basılmasında herhangi bir kalıp işçiliğinin olmaması veya takviye çubuğunu kullanmaması köprü'nün üretim süresini ve maliyetini azaltmada etkili rol oynamıştır [99].



Şekil 3.30 Şangay'da bulunan köprü'nün beton ünitelerinin basımı (solda) ve kaldırım ünitelerinin basımı (sağda) [99]

Köprü, betonun zaman içinde nasıl deforme olduğunu kaydeden bir izleme sistemine sahiptir. Bu bilgi mühendislik için üç boyutlu baskının kullanımının geliştirilmesine yardımcı olmak için kullanılacaktır [99].

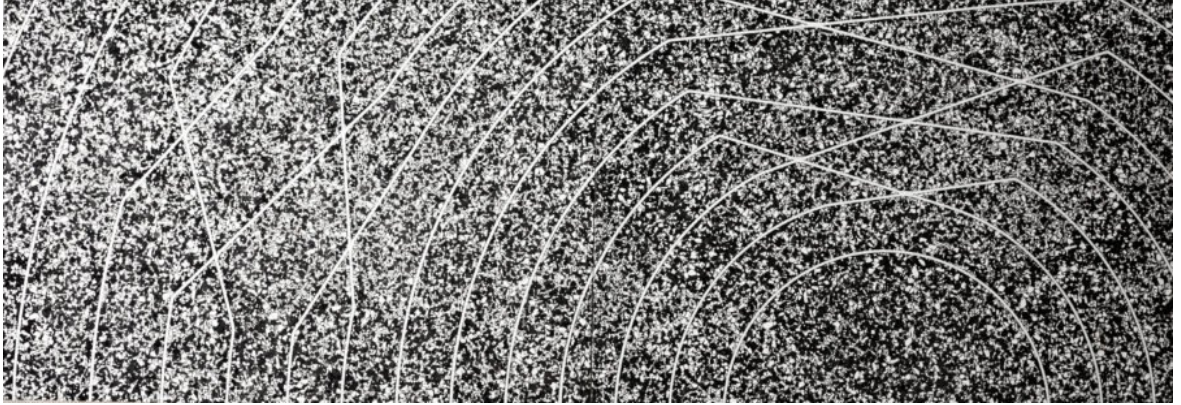
3.5.5 Hollanda Schiphol Havaalanında Üç Boyutlu Basılan Bir Zemin Döşemesi Uygulaması

Hollandalı bir sürdürülebilir mimarlık şirketi, Amsterdam'ın Schiphol havaalanında üç boyutlu basılan bir zemin döşemesi tasarlamıştır ve bu tasarım Dutch Design Week'te sergilenmiştir [100].



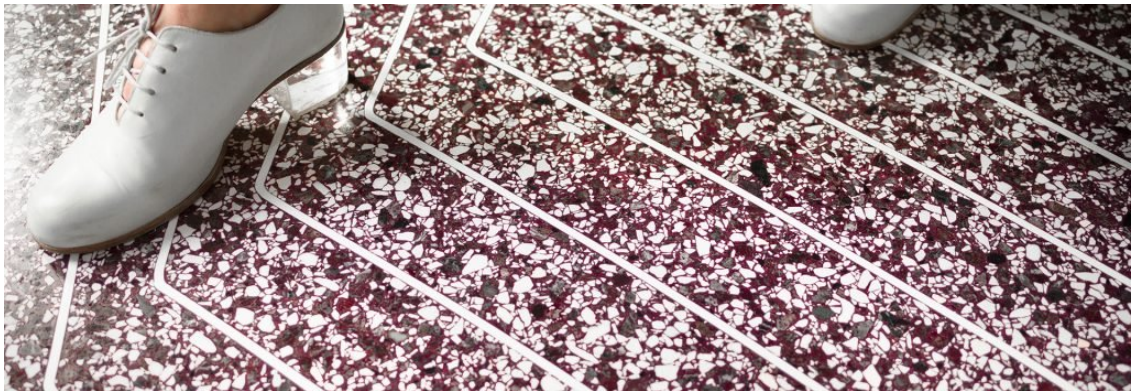
Şekil 3.31 6 Eksenli 3 Boyutlu Yazıcı Robot Kol ile havaalanı zemini kaplanması [100]

Döşeme, endüstriyel XL 3D baskı teknolojisi ile geri dönüştürülmüş plastiklerden basılmıştır. Geliştirilen endüstriyel dijital üretim teknolojileri ve yazılım araçları ile tasarımcıların ve şirketlerin istedikleri yerde ve ölçekte kişiye özel döşeme tasarımları oluşturmalarını sağlamıştır. Aynı zamanda bu teknolojide talep üzerine ürettiğim yapıldığı için, tasarımda hızlı bir şekilde değişiklikler yapılabilir ve tüm süreç boyunca değişen isteklere doğrudan cevap verebilecektir [101].



Şekil 3.32 Robot kol ile basılan havaalanı zemini kaplaması [101]

Malzemeleri tabana yaymak için raylar üzerinde 6 eksenli bir robot kol kullanılmıştır. Bu yöntem, geniş alanlara baskı yapılmasını ve çeşitli robotların yardımıyla saatte 1- 15 kilogram arasında değişen malzemenin basılabilmesine olanak sağlamaktadır. Asıl zemin, daha sürdürülebilir, çevre dostu bir yapı tekniği sağlayan geri dönüştürülebilir biyoplastiktir. Ardından zemin terrazzo denilen bir biyo-bağlayıcı ile bitirilmiştir ve bu işlem sayesinde son ürünün de suya dayanıklı olmasını sağlamıştır. Terrazzo, mermer, kuvars, granit ve cam yongalarından oluşan kompozit bir malzemedir. Bir bağlayıcı ile karıştırılıp sertleştiğinde pürüzsüz bir yüzey elde etmek için cilalanabilir [102].



Şekil 3.33 Havaalanı zemini kaplaması (geri dönüştürülebilir biyoplastik malzeme ve terrazzo denilen bir biyo-bağlayıcı) [101]

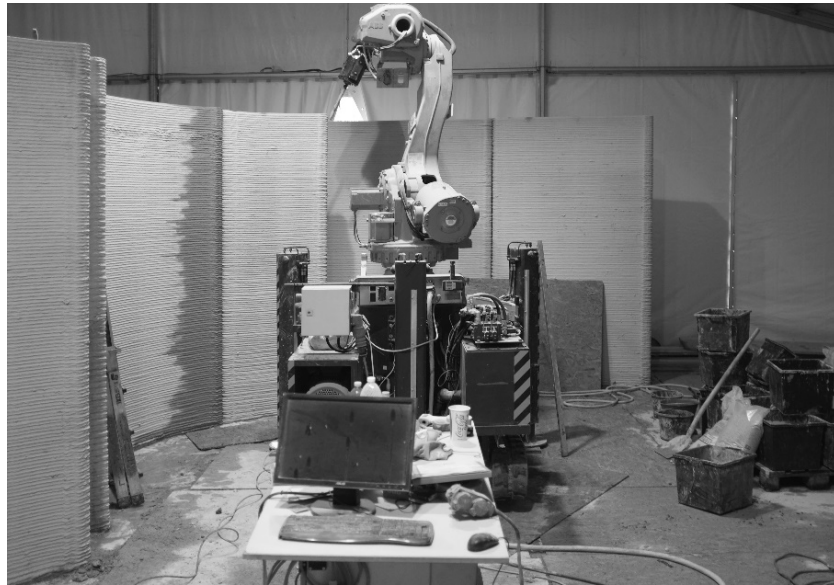
3.5.6 3D Housing 05

CLS Architeti'nin kurucu ortağı Massimiliano Locatelli'nin önderlik ettiği projede üç boyutlu baskının sürdürülebilir mimarlıkta, konut dünyasında artan acil ihtiyacına cevap verme olanakları araştırmak için gerçekleştirilen bir projedir [103].



Şekil 3.34 Milano'da sergilenen 3D Housin 05'in genel görünüşü [104]

Piazza Cesare Beccaria'da bulunan tek katlı beton ev 100 metrekaredir; kavisli duvarları, oturma alanı, yatak odası, mutfağı ve banyosu vardır. Ev, her biri 60-90 dakika içinde basılmış olan 35 modülden oluşur; tam ev sadece 48 saat etkili bir sürede basılmıştır [105].



Şekil 3.35 3D Housin 05'in modüler duvarlarını robot kol ile basımı [106]

Evin üç boyutlu baskılı duvarları, yeni bir yere kolayca taşınabilecek şekilde bölümlere ayrılmıştır. Buna rağmen, evin tüm önemli son rötuşlarını sağlayan bir dizi duvar aynı zamanda pencereler ve aydınlatma armatürleriyle donatılmıştır. Evin tavanı alçıdan yapılmış ve büyük bir gölgelik ile korunmuştur [103].



Şekil 3.36 3D Housin 05'in iç mekan tasarımı [106]

İnşaat endüstrisi şu anda dünyanın en büyük kaynak tüketen alanlarından biridir. Bu açıdan inceliğinde 3D Housing 05 üç boyutlu baskının inşaat israfını azaltmada oynayabileceği rolü gösteren bir örnektir. Üç boyutlu Baskı sayesinde malzemelerin neredeyse tamamı israfa uğramadan kullanılmaktadır ve ayrıca yapının ömrü tamamlandığında yapı malzemesi ayrıştırılarak başa bir yerde tekrar kullanılabilir. Sürdürülebilirlik açısından üç boyutlu baskının kullanılabilirliğini göstermede önemli bir adımdır [105].

Milano'nun merkezinde Salone del Mobile tasarım festivalinde sergilenen 3D Housing 05 "En iyi sürdürülebilirlik ödülünü" kazanmıştır. Festivalden sonra bina meydandan yeni bir yere taşınmıştır [105].



Şekil 3.37 Salone del Mobile tasarım festivalinde sergilenen 3D Housing 05 [106]

3.5.7 Two - Story Villası

Pekin merkezli Çin firması HuaShang Tengda tarafından 1 Temmuz 2016'da dünyanın ilk üç boyut baskılı iki katlı evi inşa edilmiştir. Toplam 400 m²lik alana sahip iki katlı villa, yaklaşık 45 gün içerisinde basılmıştır. Tamamı sahada basılan ve duvar kalınlığı 250 mm kalınlığında olan villanın basımında ucuz ve dayanıklı olan C30 betonu kullanılmıştır [107].



Şekil 3.38 Two - Story Villası [108]

Villanın basımında ekstrüksiyon prensibiyle çalışan üç boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Bu yazıcının özelliği elektronik içerik formülasyon sistemi, beton karıştırma sistemi, iletim sistemi ve üç boyutlu baskı sistemi olmak üzere dört ayrı sistemi bir araya getiriyor olmasıdır. Villanın basımında içinde hiçbir katkı maddesi olmayan geleneksel betonarme bir malzeme kullanılmıştır [109].



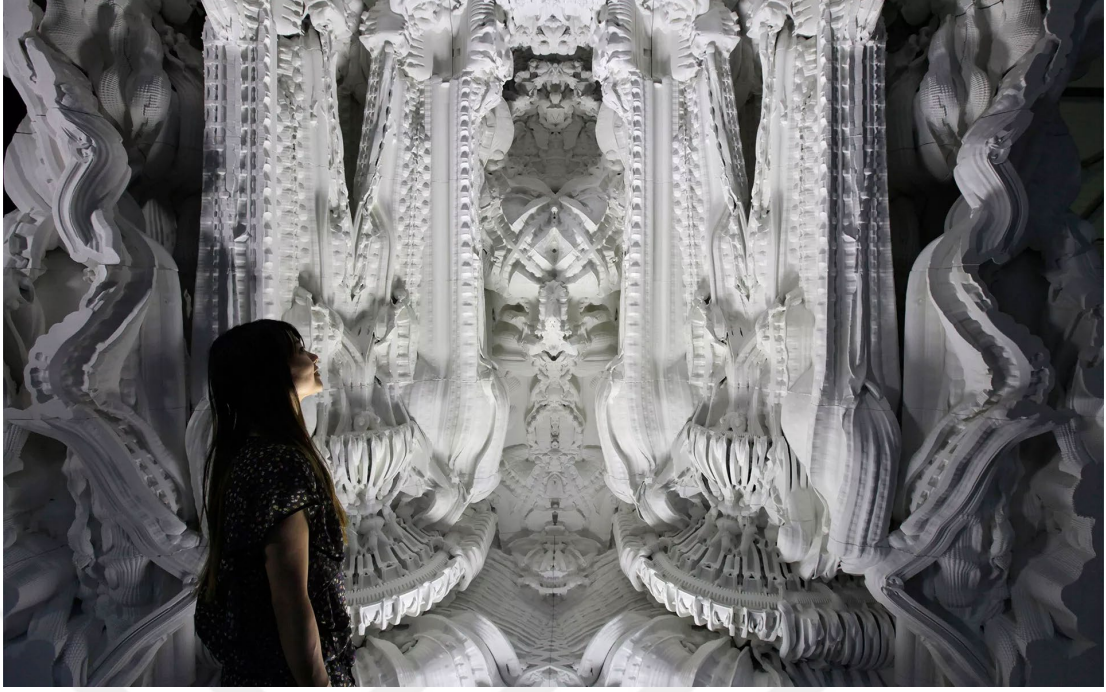
Şekil 3.39 Two - Story Villası üç boyutlu basılması [110]

Mühendisleri tarafından yapılan hesaplamalara göre 8 büyüklüğündeki depreme dayanabilecek olan Villanın üç boyutlu basılması inşaa edilme süresinde büyük oranda azalmıştır. Konvansiyonel olarak yapılmış 400 m²'lik bir ev inşa etmek üç ay bir süre alırken üç boyutlu baskıyla beraber basılması bu süreyi yarıya indirmiştir [109].

3.5.8 Dijital Grotesk I / Tam Ölçekli Üç Boyutlu Basılan Oda

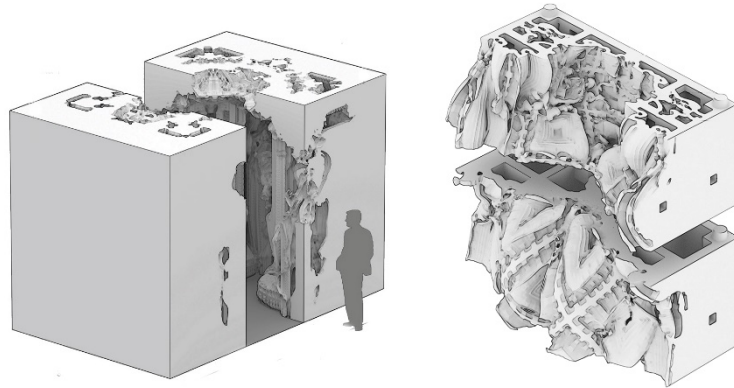
Dijital Grotesk, tamamen üç boyutlu bakısıyla kumtaşından yapılmış ilk insan ölçekli alandır. Tasarım bir hacim oluşturan iki ayrı parçadan "Aediculae"(mağara) oluşur. Dışarıda iken mağara kendini düz bir kübik hacim olarak sunarken içeride milyonlarca bireysel fasetten oluşan karmaşık bir geometridir [111].

Parçalar tamamen özelleştirilmiş algoritmalar ile tasarlanmış ve detaylandırılmıştır. 3,2 metre yüksekliğinde, 16 metre karelik büyüklükteki odanın boyutlarına, onda bir milimetre çözünürlüğünde yazdırılmıştır[111].



Şekil 3.40 Dijital Grotesk I [111]

İlk mimari yüksek çözünürlüklü üç boyutlu baskı olduğundan, yenilikçi inşaat detayları icat edilmesi zorunlu olmuştur. Büyük konstrüksiyonun taşınmasını ve montajını kolaylaştırmak için, özel detaylara sahip modüler prefabrik kumtaşı tuğla sistemi geliştirilmiştir. Üretim süreci olarak üç boyutlu baskı seçilmiştir ve bu sayede üç boyutlu detayların bilinmeyen bir tutarlılık ve hassasiyetle planlanmasına olanak tanınmış ve özel yapım sistemleri geliştirme imkanı yakalanmıştır [111].



Şekil 3.41 Dijital Grotesk'in iki ayrı parçadan bir mekan meydana getirmesi (solda) ve detayı (sağda) [111]

Dijital Grotesk'de, kendinden destekli bu parçaları, kolay taşıma için standart Euro paletlerine [120x80cm] sığacak şekilde boyutlandırılmıştır. Malzemenin kalınlığı, yapı içindeki konumlarına ve dayanmaları gereken yüklere göre değişmektedir [111].

Mimaride hesaplama geometrisi çoğunlukla pürüzsüz, minimal yüzeyli birimler oluşturmak için kullanılırken, Dijital Grotesk'de tasarım hedefi tam tersidir. Hacimsel derinlik oluşturmak için yüzeylerin maksimum eklemelenmesini sağlamaya çalışılmıştır [111].



Şekil 3.42 Dijital Grotesk'in basım sonrası fazla kumdan arınması işlemi (solda) ve parça örneği (sağda) [111]

Formu açıklamak için kullanılan alt bölme işlemi birden fazla ölçekte bilgi üretir. Birisi forma ne kadar yakınsa, o kadar çok özellik keşfeder. Böyle bir hiyerarşik farklılaşma klasik mimaride de bulunabilir. Bununla birlikte, geleneksel mimari tasarım süreçlerinden farklı olarak, burada hem genel formu biçimlendirmek hem de en küçük yüzey detaylarını oluşturmak için tek bir süreç kullanılmaktadır. Bu prosedürel ifade; dokunsal ve görsel algı eşliğini aşan özellikler oluşturmak için kullanılabilir [111].

Kum baskı teknolojisi öncelikle endüstriyel uygulamalarda döküm formları oluşturmak için kullanılmaktadır. Yine de mimari bileşen oluşturmaya uygun hale getiren özelliklere de sahiptir. Özellikle, kısa sürede yüksek çözünürlük ve hassasiyetle büyük ölçekli elemanların (şu anda 8 metreküp boyutuna kadar) üretilmesine olanak tanır. Basılı kumtaşı elemanları tamamen kendi kendini destekleyebilir ve sağlam bir yapı olarak monte edilebilir [111].



Şekil 3.43 Dijital Grotesk'in boyanması (solda) ve montajı (sağda) [111]

Mağaraların mikro detaylarını daha da sertleştirmek (yerel parçalar 2 mm'den incedir) ve yapısal stabiliteyi arttırmak için, baskılı kumtaşı reçineyle kaplanır. Bu reçine basılan kumtaşının gözeneklerini kapatır [111].

Bu çalışmayla beraber süslemede ve serbest biçimli geometrilerde daha özgür ifade biçimlerinin kullanabileceği gözlenmiştir ve potansiyel boyutsal farklılaşma ölçeği mikro seviyelere indirgenmiştir [111].



Şekil 3.44 Dijital Grotesk I [111]

3.6 Mimari Koruma Uygulamalarında Kullanımı Ve Örnekler

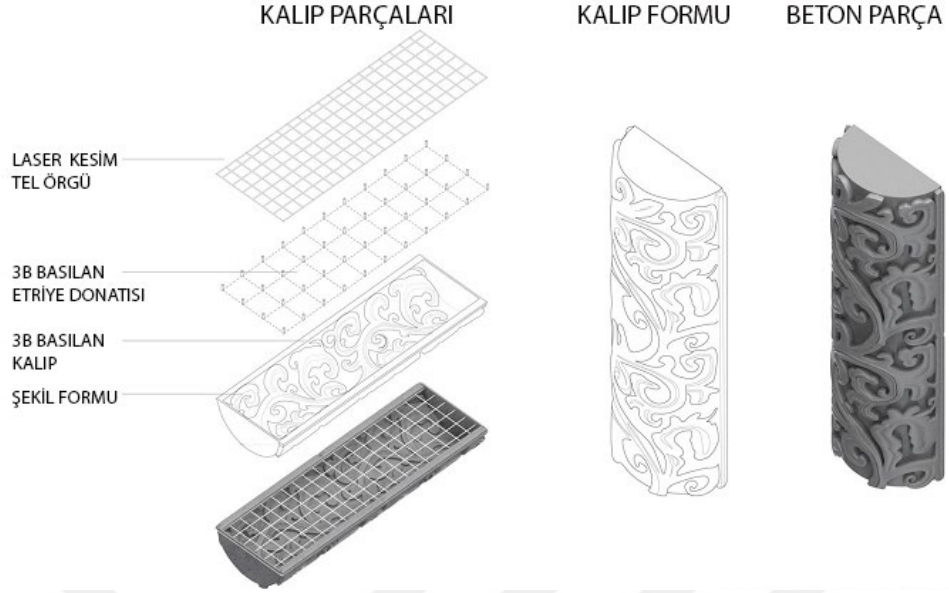
3.6.1 New York 5. Cadde'de Yer Alan Yapı

EDG firması 1940 yılında yapılan New York 5. Cadde'de yer alan yapının cephesinin yıkıma maruz kalması sebebiyle önceki dönemlerin süs tasarımını korumak adına bir proje önerisinde bulundu. Cephe süslerinin geleneksel yöntemlerle üretilmesi ise zordu. Her ne kadar bina 2017 yılında yıkılsada binanın yıkılmaması amacıyla alternatif yöntemler arandı ve EDG firması New York'ta 5. Cadde yer alan bu yapının restorasyonu için üç boyutlu baskı teknolojilerini kullanılması fikrini önerdi [112].



Şekil 3. 45 New York 5. Cadde'de yer alan yapının ön cephesi restorasyon önerisi [112]

“Modern Ornamental” adını verdikleri bu yöntemde Cad programlarını ve algoritmik modelleme programlarını kullandılar. Firma yapının cephe süslerini direkt olarak basmak yerine daha ekonomik olduğunu düşündükleri kalıp yöntemini kullandı. Kapıların prototiplerini oluşturmak için MakerBot Replicator Z18 adlı üç boyutlu yazıcıyı kullandılar. Ekip, standart ve renkli betonla doldurulacak olan ekonomik plastik kalıplara odaklanarak kapsamlı deneyler yaptı. Ve sonuç olarak yeniden üretilebilirliği kolay, dayanıklı bir kalıp modeli oluşturdular [112].



Şekil 3.46 Kalıp detayı [112]

Plastik kalıplar basıldıktan sonra takviye sağlamak amacıyla lazerle kesilmiş bir tel örgü ile kaplandı. Final prototip ürünler VoxellJet üç boyutlu yazıları kullanarak üretildi. Edge firması tarafından geliştirilen yöntemle beton kalıplar bir plaka ile cepheye tutturulabilecek şekilde protipleri üretildi. Bir günden daha kısa süren bu işlemden kullanılan kalıplar dijital katologlama sayesinde kolaylıkla tekrar basılabilir. Bu da yapının tekrardan onarımı gerekli olduğunda hızlıca sonuç alınabilmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır [112].



Şekil 3.47 Üç boyutlu yazıcıdan basılan kalıplar (solda) ve kalıplardan oluşturulan beton cephe süsleme elemanı (sağda) [112]

3.6.2 Spada Sarayı

Tarihi yapıların çok sayıda bulunduğu İtalya'da kimi tarihi yapılar teknik yetersizlikler, yatırım eksikliği vb sebeplerden dolayı inşaat şirketlerinden onarım için çözüm beklemektedirler. Bu tarihi yapılardan biri olan Ferrara'daki Spada Sarayı, 1800'lerde inşa edilen ve aslen Spada ailesine ait olan bir saraydır. Saray günümüzde otel olarak kullanılmaktadır ve içinde başka aileler de yaşamaktadır. Ancak ana balkona ait eli böğründelerin zaman içinde yıprandığının ve çökmek üzere olduğunun fark edilmesi üzerine; Fransız balkonun vazgeçilmez unsurunu acilen restore etmek kararı alınır [113].



Şekil 3.48 Spada Sarayına ait hasarlı eli böğründeleri [113][114]

Sarayın mevcut sahipleri, balkonunun altındaki eli böğründeleri restore etmek için ilk olarak geçici polistiren malzeme kullanmayı düşünürler. Ancak daha sonra üç boyutlu baskının daha faydalı olabileceğini düşündüklerinden Spada Sarayı için beş adet gerçek boyutlu eli böğründeleri üretme görevi Sismaitalia şirketine verildi [113].

Sismaitalia şirketi beş büyük eli böğründeği iki farklı boyutta bastırdı. İlk parçanın ölçüsü 480 x 430 x 215 mm ve daha büyük parçanın boyutu ise 790 x 790 x 215 mmdir. Massivit 1800 yazıcısında ikili bir yazıcı kafası bulunduğundan, şirket bir günden az bir sürede bir çift eli böğründeği üç boyutlu olarak basabilmiştir. [113].



Şekil 3.49 Massivit 1800 yazıcısıyla 2 farklı boyutta üretilen eli bögürdeler [113]

Ağırlığı azaltmak amacıyla içi boşluklu olarak basılan eli bögürdeler balkonun ağırlığına dayanacak şekilde poliüretan köpükle güçlendirilmiştir. Bu üretim maliyetlerinin minimumda tutulmasını sağlamıştır. Eli bögürdelerin her biri üç boyutlu yazdırılıp yerlerine konulduktan sonra orijinal bir görünüm elde etmek için sıva ile kaplanmış ve özgün renkle boyanmıştır [113].



Şekil 3.50 Spada Sarayının balkonuna eli bögürdeler monte edildikten sonraki son hali [113]

3.6.3 The Great Pagoda

UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan Kraliyet Botanik Bahçeleri, 1761 yılında hizmete giren Chinoiserie tarzında inşa edilmiştir ve 163 metrelik yüksekliğinde olan The Great Pagoda'ya ev sahipliği yapmaktadır [115].



Şekil 3.51 The Great Pagoda'nın eski tarihli bir gravürü [116]

The Gerat Pagoda , Sir William Chambers tarafından Kew Botanik Bahçeleri'nin kurucusu Princess Augusta'ya hediye olarak tasarlanmıştır. UNESCO Dünya Mirası, mimaride önemli restorasyonlara ihtiyaç duyduğu bu çalışmanın sorumluluğunu Historic Royal Palaces (HRP) üstlenmiştir [117].

Dikkat çekici detaylarıyla ön plana çıkan bu yapının en belirgin özelliklerinden biride sekizgen köşelerini süsleyen 80 boyalı ahşap ejderhadır. 1780'lerde pagodadaki çatı onarımlarını yapmak için kaldırılan Kew ejderhaları günümüze kadar tekrar yerine konulamamıştır. Bunun sebebi ahşap ejderhaların Londra'nın yağmurlu ikliminde zamanla çürümesidir. HRP ve Kraliyet Botanik Bahçeleri Kew tarafından yürütülen restorasyon projesinin bir parçası olarak, bu ejderha grubu, modern teknolojiyle özel bir takviye ile zamanın verdiği zarara dayanacak şekilde tasarlanarak 200 yıldan fazla bir süre sonra tekrar eski yerlerine yerleştirilmiştir. Orijinal binadan birkaç önemli tasarım

ögesi tarihe kaybolan yapının restorasyonunda seçici lazer sinterleme (SLS) üç boyutlu baskı yöntemi ile CAD'e tarama iş akışı kullanılmıştır [115].



Şekil 3.52 The Great Pagoda ejderhaları [117]

HRP, ejderhaları değiştirmek için kullanılan metodolojileri keşfetmeye başladığında, bir ikileme karşı karşıya kaldığını ifade etmiştir. Bunlardan ilki ejderhaların yeniden ahşap malzemedен üretilmesi durumunda uzun ömürlü olması konusunda sorun teşkil edebilecek olmasıdır. Bir diğer önemli konu ise 200 yıldır yapıda bulunmayan ahşap ejderhaların yapıya fazla yük getirecek olmasıdır. Yaşlanmış yapının; 80 ton ağırlıkta, büyük ölçekli süslemelerinin yeniden oluşturulmasına kötü yanıt verebileceği ile ilgili olarak, HRP, başarılı ve sorunsuz bir montajı garanti altına almak için daha hafif bir alternatif bulmak zorunda kalmıştır [115].

Kew ejderhaları, iki uzman tasarımcı grubu arasında işbirliğine dayalı bir çaba olarak hayata geçirilmiştir. Ejderhaların dış görünümü, mümkün olan en doğru temsili elde etmek için mevcut tarihi bilgiler kullanılarak HRP tarafından yeniden yaratılmıştır. Tasarlandıktan sonra, 3D Sistemlerince ikinci tasarım ve mühendislik ekibi tarafından üstlenilen dijital üretim iş akışını sağlamak için ahşaptan bir ejderha prototipi oluşturulmuştur. Bunlar Pagoda'nın ilk seviyesine yerleştirmiştir ve ardından SLS üç boyutlu baskı sistemi kullanılarak 72 adet basılmıştır [115].



Şekil 3.53 The Great Pagoda'nın ejderha prototipi [117]

Dijital bir üretim iş akışı kullanmak, 3D Sistemlerin kulenin her katında boyutları değişen ejderhaları sorunsuzca ölçeklendirmesini sağlamıştır. Toplamda, dokuz farklı ejderha boyutundan ve her birinin sol ve sağ versiyonundan oluşan 18 tasarım hazırlanmış ve takviye ve montaj için gerekli mekanikler nedeniyle, 18 ejderha varyasyonunun her biri için uygun bir yöntem belirlenmiştir. Güvenli bir montaj işlemi olması ve bunların özgün görünümüne zarar vermemesi için montaj elemanları tamamen gizlenecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece somun, civata veya inşaat izlerinin görünmemesi amaçlanmaktadır [115].



Şekil 3.54 The Great Pagoda ejderhaların parçalarının basımı sonrası montesi [115]

Üç boyutlu tarama ve modellemenin ardından, son modelin modern inşaatın zorlu şartlarına uygun olarak inşa edilmesini sağlamak amacıyla analiz ve test için ejderhaların prototipleri basılmıştır [117].

Üretilecek olan her bir ejderhaların boyutu 1,2 - 2 metre aralığında, büyük boyutlarda olmasından dolayı maksimum 550 mm x 550 mm x 750 mm yapım hacmine sahip olan SLS üç boyutlu yazıcısı kullanılarak ejderhaların düşük sayıda büyük parçalarla üretimi sağlanmıştır [117].



Şekil 3.55 The Great Pagoda ejderhaların parçalarının basımı sonrası birleştirilmesi [115]

Üç boyutlu baskı teknolojisiyle üretilen ejderhalar, özgün olanlarla benzer görünüm elde edilebilecek, dayanıklı bir poliamid naylon malzeme olan DuraForm PA'da adında bir malzemedен İngiltere ve Hollanda'da üç boyutlu olarak basılmıştır. DuraForm PA'nın çözünürlüğü ve mekanik özellikleri, ince duvarlı veya geçmeli oturma şartlarına sahip karmaşık parçalar için ideal bir adaydır. Kew ejderhaları durumunda, bu özellikler hem kurulumun işlevselliği hem de tarihi restorasyonun görsel gereksinimlerine uygundur. Basımı tamamlanan ejderhalar ve 3D Systems High Wycombe sonlandırma departmanı tarafından İngiltere'de el boyaması yapılmıştır. Sonuçta ejderhalar, 200 yılı aşkın bir süre sonra UNESCO Dünya Mirası Listesi'ndeki The Great Pagoda Kulesi'nde yerlerini almışlardır [115].



Şekil 3.56 The Great Pagoda'nın ejderhaları monte edildikten sonraki görünümü [116]

3.6.4 Deutsches Müzesi / Tarihi Yapıda Üç Boyutlu Baskılı Yeni Cephe Tasarımı



Şekil 3.57 Deutsches Müzesi'nin yeni girişi olarak tasarlanan üç boyutlu basılacak cephenin tasarımı [118]

3F Studio , Almanya'nın Münih kentinde bulunan Deutsches Müzesi'nin yeni girişi olarak tasarlanan üç boyutlu baskılı bir cephe tasarladı. Moritz Mungenast, Oliver Tessin ve Luc Morroni tarafından kurulan Alman merkezli girişim, çok amaçlı, yarı saydam bir üç boyutlu baskı yöntemiyle üretilen bir cephe uygulaması olan Fluid Morphology adlı araştırma projesinden yararlandı. Hesaplamaya dayalı tasarım süreciyle üretilen ve

çevreye duyarlı mimari bir tasarım amaçlanan yeni cephede entegre edilmiş havalandırma, yalıtım ve gölgeleme gibi işlevleri bir arada kullanılmak amaçlanmaktadır. Yaklaşık 1x1 m ölçülerindeki basılan cephe elemanı, kar beyazı rengindedir, yüzeyde cephe boyunca yayılır. Malzeme içinde, uzun hücreler optimum yalıtım için stabilite ve hava dolu boşluklar sağlarken, ince borular hava akımını sağlar. Cephenin dalga benzeri formu aynı zamanda gölge sağlamak için şişkinlikler üretir ve mikro-yapılandırılmış bir yüzeyle optimum akustik sağlanması amaçlanmaktadır [118].



Şekil 3.58 Deutsches Müzesi'nin yeni girişi olarak tasarlanan üç boyutlu basılacak cephenin basımı [118]

Uygulandığında ön cephe, binayı çevreleyen yumuşak, havadar bir bez olarak düşünülmektedir. Su dalgaları gibi üst üste gelen oluklu yüzey, bir dalga deseni oluşturmak için değişen kalınlıkta girinti ve çıkıntı geçişleri yapar. Dış cephenin kalıplanması da içeriğe bağlı olarak, cepheyi yazın sıcağından korumak ve kışın en iyi ışığı almak için düzenlenmiş dalgaları kullanarak dizayn edilmiştir [118].

Cephenin 1,6 x 2,8 metrelik bölümü Münih'teki TUM'un ana binasında test ediliyor durumdadır, burada sensörler bir yıl boyunca mimarlar polikarbonatta başka bir alternatif prototip yapmadan önce tasarımını geliştirmelerine yardımcı olmak için veri toplayacaktır [119].



Şekil 3.59 Deutsches Müzesi'nin yeni girişi olarak tasarlanan üç boyutlu basılacak cephenin malzemesinin görünüşü [119]

3.6.5 Suriye'nin Palmira Kentinde Yıkılan Zafer Takı'nın Anıtsal Bir Replikası

Ağustos 2015'te, devam eden savaşlar neticesinde, 2000 yıllık Bel Tapınağı'na saldırılar düzenledi ve bugünkü Suriye'de, Antik Palmira kentinin kalıntıları arasında en iyi korunmuş yerlerden biri tahrip edilmiştir. Şam 'ın 130 mil kuzeydoğusunda bulunan Takı aslen tapınak karşılama yapısıydı ve o zamandan beri bir Hıristiyan kilisesi ve Müslüman cami olarak, ayrı zamanlarda işlev görmüştür[120].



Şekil 3.60 Suriye'nin Palmira kentinde yıkılan Zafer Takı [120]

Bölge mirasını korumaya yardım etmek için IDA, "Million Image Database Project" adında bir proje başlattı. Birleşik Arap Emirlikleri, IDA ve UNESCO ortaklığında yönetilen bu projenin amacı genel olarak üç boyutlu fotoğraf makinelerini kullanarak yapıların boyutlarını ve özelliklerini yakalayarak dünyanın her yerindeki tarihi ve arkeolojik yerleri belgelemeyi amaçlamaktadır. Veriler daha sonra vandalizm veya sabotaj durumunda,

eserleri ve yapıları üç boyutlu baskı teknolojileri ve diğer ileri teknolojiler yoluyla yeniden yaratmak ve belgelemek için kullanılabilir [121].

IDA, proje boyunca, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'daki gönüllü fotoğrafçılara 5.000 düşük maliyetli üç boyutlu çekim kameraları dağıttı ve tehdit altındaki nesne ve yapıların açık kaynaklı veritabanına yüklenecek fotoğraflarını çekmelerini istedi. Elde edilen veriler belgeleme ve araştırma amacıyla toplandı [120].



Şekil 3.61 Suriye'nin Palmira Kentinde Yıkılan Zafer Takı replikasının detayı [121]

Dijital Arkeoloji Enstitüsü'nün (İDA) başlattığı çalışma neticesinde yıkılan Zafer Takı'nın gerçek boyutunda yeniden inşa edileceğini duyurdu. Toplanan verilerle beraber kalıntının 15 metre yüksekliğinde olan çimento esaslı malzemeden bir üç boyutlu baskı modeli oluşturuldu. Kalıntının savaşa oluşan yıkıma dikkat çekmek amacıyla üç boyutlu baskı yöntemiyle oluşturulan replikası o yıl replika ve rekonstrüksiyona odaklanan UNESCO Dünya Mirası haftasında, Londra'daki Trafalgar Meydanı ve New York Şehri Times Meydanı'nda sergilendi [120].



Şekil 3.62 Yıkılan Zafer Anıtı'nın üç boyutlu basılan replikasının Londra'da sergi için birleştirilmesi [121]

Replikası yapılan bu kemerin önümüzdeki yıllarda tehdit altındaki veya tahrip olmuş anıtları korumayı amaçlayan ilk projelerinden biri olduğunu ifade eden IDA bu çalışmalarını yaparken bölgenin kültürel önemi konusunda farkındalık yaratmayı umut ettiğini belirtmektedir [120].



Şekil 3.63 Yıkılan Zafer Anıtı'nın üç boyutlu basılan replikasının New York'da sergilenmesi [122]

3.6.6 Suriye / Antik Kent Palmira'da Bell Tapınağı Tavan'ının Replikası

Suriye, Palmyra'da bulunan eski bir tapınak olan Bel Tapınağı; Ay Tanrısı Aglibol ve Güneş Tanrısı Yarhibol ile üçlü olarak tapınan Mezopotamya Tanrısı Bel'e adanmıştır ve Palmyra'daki dini hayatı şekillendirmede önemli rol oynamıştır [123].



Şekil 3.64 Antik Kent Palmira'da Bell Tapınağı özgün tavanı [124]

Özgün tavanda Ba'al veya Jüpiter'in bulunduğu yer, Zodiak tarafından çevrelenmiştir. Girişin üzerindeki lento, bir yılan veya bir caduceus tutan bir kartalın kabartmasını gösterirdi. Güneşin hareketini sembolize eden odanın tavanı, merkezinde bir dizi tanrı tasvir eden ayrıntılı bir dekorasyona sahip tek bir taştır. Bel Tapınağı, altı tanrı tarafından çevrelenmiştir; karşılık gelen Yunan mevkidaşları (Roma isimlerinde): Jüpiter, Mars, Güneş, Merkür, Satürn, Venüs ve Aydır [124].

Tavanın orijinal kısmı, 2014 yılında antik vaha şehri Palmyra'yı işgal edildiği sırada tüm Bel Tapınağı ile birlikte yıkılmıştır. Yıkılmasının ardından günümüz teknolojisi kullanılarak kısmi bir replikası yapılmıştır. Tamamı üretilmeyen ve simgesel bir anlam taşıması için bir kısmı basılan tavanın replikası 4 metreden uzun ve 1,5 metre genişliğindedir. Kalınlığı 80 cm'dir ve 190 kg ağırlığındadır [123].

Kendine özgü süsleri ve yazıtlarıyla mümkün olduğunca arkeojik değerini korunmaya çalışıldığı tavan üç boyutlu baskı tekniğiyle basılmıştır. Yüksek hassasiyette basılan tavanda orijinal renklerle beraber özgün malzeme kullanılmıştır [123].



Şekil 3.65 Antik Kent Palmira'da Bell Tapınağı tavanı replikası [124]

Kolezyum'da ve Roma'daki Birleşmiş Milletler Binasında sergilenen bu replika ayrıca Brüksel'deki Avrupa Parlamentosu ve Paris'teki UNESCO merkezinde ve daha sonra Suriye'deki Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğü'ne sunuldu ve Şam Ulusal Müzesi'nde sergilenmiştir [123].



Şekil 3.66 Antik Kent Palmira'da Bell Tapınağı tavanı replikası sergilenmesi [124]

3.6.7 Suriye / Antik Kent Palmira'da Heykel Restorasyonu

Palmyra'da milattan sonra ikinci ve üçüncü yüzyıla tarihlenen iki hasarlı heykel büstü, İtalya'da restore edildikten sonra, Şam Ulusal Müzesi'ne iade edildi. Üzerinde Arapça ve Yunanca yazılar bulunan bu heykeller, büyük olasılıkla Palmira'lı elit kesimden olan bir erkek ve bir kadın heykeliydi [125].



Şekil 3.67 Suriye / Antik Kent Palmira'da üç boyutlu baskı tekniğiyle yapılan heykel restorasyonu [126]

ISCR Direktörü Gisela Capponi liderliğindeki bir restorasyon ekibi heykelleri stabilize ettikten sonra restorasyon kriterlerine göre büstlerin tahrip olmuş parçalarını yeniden inşa etmiş ve değiştirmiştir. Düzeltelen büstler, 2017'de ISCR'da düzenlenen basın toplantısında gösterilmişlerdir [125].

Çekiçle kırılarak hasar gören heykellerden erkek büstü ciddi şekilde hasar gördüğünden dolayı, restorasyon ekibi bir yeniden yapılandırma yöntemi geliştirmiştir. Lazer tarama ve üç boyutlu baskı da dahil olmak üzere yeni teknolojiler, bu heykellerin restorasyonunda kilit rol oynamıştır [125].










Şekil 3.68 Suriye / Antik Kent Palmira'da üç boyutlu baskı tekniğiyle restorasyonu yapılan heykellerin dijital ortama aktarılması [126]

Heykelin kırılan tarafının onarımı için kalan yüz özellikleri büstün sağ tarafında üç boyutlu olarak tarandı ve sola yansıtıldı. Uygun şeklin digital formda oluşturulma çalışmaları tamamlandıktan sonra heykelin eksik olan kısmı naylon tozu denilen bir malzeme kullanılarak üç boyutlu olarak basıldı. ISCR ekibi ayrıca, taş tozu kullanarak 3D baskı dolgusunun üstüne cilt benzeri bir kaplama yapılmasına izin verdi. Bu şekilde, daha geleneksel restorasyon teknikleriyle, heykellerin kendi mermer yüzeyleriyle uyumlu bir yüzey katmanı oluşturdular. Ortaya çıkan dolgu miktatlarla yerinde tutturuldu ve bu şekilde herhangi bir zamanda çıkarılabilir olması sağlandı. Böylece geri döndürülebilirlik prensibine uygun bir restorasyon yapıldı [125].



Şekil 3.69 Suriye / Antik Kent Palmira'da üç boyutlu baskı tekniğiyle restorasyonu yapılan heykellerin manyetik parçalar yardımıyla tutturulması [126]

| | | Yapılar | | | | | | |
|--|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Kaynakçalar | | [63] | [64],[65] | [66],[67],[68] | [69],[70] | [71],[72],[73] | [74],[75] | [76],[77] |
| Proje Bilgileri | Proje İsmi | New York 5. Caddede Yer Alan Yapı | Spada Sarayı | The Great Pagoda | Deutsches Müze | Zafer Takı | Bell Tapınağı Tavanı | Palmira'da Heykel |
| | Görsel |  |  |  |  |  |  |  |
| | Dönemi-Yapım Tarihi | 1940 | 19 yy. | 1761 | 1903 | M.S.32 | M.S. 32 | M.S. 2-3 YY. |
| | Proje Yılı | 2017 | 2018 | 2017-2018 | 2018- | 2016 | 2019 | 2017 |
| | Konum | Amerika, New York | İtalya, Ferrara | İngiltere,Londra | Almanya, Münih | Suriye, Palmira | Suriye, Palmira | Suriye, Palmira |
| | Uygulanma Durumu (+,-) | (-) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | Şirket(ler) | EDG Firması | Sismaitalia | HRP+3D Systems | 3F Stüdio | İDA | (o) | ISCR |
| Teknik Bilgiler | 3B Baskı Yöntemi | Markerbot Replicator Z18 | Massivit 1800 | SLS | FDM | (o) | (o) | (o) |
| | Boyutu | (o) | 480 x 430 x 215 mm ve 790 x 790 x 215 mm | (özgün 1,2 - 2m) basım ~ 550 x 550 x 750 mm | 1x1m (prototip) | Toplam 15m yüksekliğinde | 4x1,5x0,8m | (o) |
| | Basım Şekli | Bütün | Bütün | Parçalar Halinde | Parçalar Halinde | Parçalar Halinde | (o) | Bütün |
| | Üretim Yeri | Atölye, Laboratuvar | Atölye, Laboratuvar | Atölye, Laboratuvar | Atölye, Laboratuvar | (o) | (o) | Laboratuvar |
| | Malzeme | Plastik Kalıp ve Beton | Poliüretan Köpük + Sıva | Poliamid Naylon (DuraForm PA) | Plastik | Çimento Esaslı Malzeme | Özgün Malzeme | Nylon Tozu + Özgün Mermer Tozu |
| Koruma | Koruma Yöntemi | Restorasyon | Restorasyon | Bütünleme, Onarım | (o) | Replika Yapımı | Replika Yapımı | Bütünleme, Onarım |
| | Dünya Mirası Olma Durumu | (-) | (-) | Unesco | (-) | Unesco | Unesco | Unesco |
| | Malzeme Özgünlüğü | Özgün Değil | Özgün Değil | Özgün Değil | (o) | Özgün Değil | Özgün | ile Birlikte.. |
| | Uygulanma Şekli | Kalıp Oluşturma | Son Ürün Basılması | Prototip ve Son Ürün Basılması | Prototip ve Son Ürün Basılması | Son Ürün Basılması | Son Ürün Basılması | Son Ürün Basılması |
| | Geri Alınabilirliği | (-) | (-) | (-) Kısmi | (+) | (+) | (o) | (+) |
| (-) Olumsuz/ Yok , (+) Olumlu/ Var, (o) Bilinmeyen/Uygun Seçenek Değil anlamında kullanılmıştır. | | | | | | | | |

Şekil 3.70 Üç boyutlu baskı kullanılan mimari koruma uygulamalarının değerlendirilmesi

3.7 Üç Boyutlu Baskının Mimari Koruma Alanındaki Potansiyelinin Koruma İlke Ve Ölçüleri Açısından İrdelenmesi

Tarihi anlamak için gerekli öğelerden biri olan tarihi eserleri koruma eğilimi, üst seviye bir kültürel anlayıştan gelmektedir. Yeterli kültürel altyapıya sahip toplumlar, ait oldukları kültürlerin veya başka kültürlerin ortaya çıkardığı eserlerde tarihi ve estetik değerler bulurlar. Bu değer yargıları ile koruma anlayışları incelenir ve kuramsal tartışmalar yapılır. Kuramsal tartışma ve çalışmalardan çeşitli uygulama yöntemleri ile somut veriler elde edilmesi ve sonuç ürününe dönüşmesi mimari koruma ve restorasyonun zorlu görevlerinden biridir [127].

19. Yüzyılda Avrupa'da gelişmeye başlayan koruma kavramı, Kültür ve Tabiat varlıklarını koruma kanunda, taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarında muhafaza, bakım, onarım, restorasyon, fonksiyon değıştirme işlemleri olarak açıklanmaktadır [127]. Doğan Hasol ise koruma kavramını Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü kitabında “ Tarih ve sanat değeri taşıyan yapıların, doğal değerlerin ya da kent parçalarının yaşamlarını sürdürüebilmeleri için muhafaza, onarım ve bakımına ilişkin gerekli önemleri alma” olarak tanımlanmaktadır [128].

Koruma anlayışının gelişerek günümüze geldiği noktada, çok yönlü düşünce biçimleri ve çeşitli disiplinler arası işbirliğin önemi giderek artmaktadır. Kültür varlıklarını güvenle geleceğe aktarmak için yapılan koruma eylemi, sürekli bakım, konservasyon, restorasyon gibi işlemleri içinde barındıran bir çalışmadır. Korumanın doğru bir biçimde uygulanması için, araştırma ve belgelendirmenin detaylı bir şekilde yapılması, özgün malzemenin mümkün olduğunca korunması ve müdahalenin ayırt edilebilir olması gibi temel yaklaşımlara dikkat edilmesi gereklidir. Ayrıca kültür mirasının korunmasında uluslararası kabul gören ilke ve yaklaşımlara da bağlı kalınmalıdır [129].

Teknolojik gelişmeler ile birlikte, tarihi yapıların korunması sürecinde, müdahale teknik ve yöntemlerinde de yeniliklerin yaşanmasını sağlamıştır. Bu yeni tekniklerin, geleneksel koruma yöntemleriyle uyum içinde uygulanması ve tarihi dokunun özünü kaybetmeden korunması büyük önem taşımaktadır [127].

Korumanın amaçlarından biri de mimariyi tüm özellikleriyle insana aktarabilmektir. Tarihi süreç içinde sürekli değışen ve gelişen mimari ifade teknikleri de bu yüzden önemlidir. Duvar yazılarıyla başlayan bu süreç, zaman içinde gravürlere, fotoğraflara, iki boyutlu çizimlere ve artık günümüzde sıklıkla kullanılan üç boyutlu dijital çizimlere kadar evrilmiştir. [130]

Tarihi yapıların koruma ve restorasyonu, tüzüklere göre uygulanan ve yapılan her müdahalenin üzerinde ayrıntılı çalışılması ve araştırılması gereken bir konudur. Her yeni teknolojik gelişmenin koruma sürecine olumlu veya olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu bağlamda yaklaşık 30 yıldan fazla süredir hayatımızda olan üç boyutlu baskı sistemleri, mimarlık ve mimari koruma uygulamalarını da yavaş yavaş etkilediği görülmektedir. Bir geçiş adaptasyon süreci olarak nitelendirilebilecek günümüz örnekleri irdelendiğinde üç

boyutlu baskının, mimarinin neredeyse tüm alanlarında giderek artan bir kullanım alanı bulduğu gözlenmektedir.

Venedik Tüzüğü'nün 2. Maddesi "Anıtların korunması ve onarımı için, mimari mirasın incelenmesine ve korunmasına yardımcı olabilecek bütün bilim ve tekniklerden yararlanılmalıdır [131] " şeklindedir. Bu bağlamda bakıldığında üç boyutlu baskı teknikleri de günümüz müdahale yöntemler arasında bir yer edinme konusunda önemli adımlar atmaktadır. Özellikle mimari öğeleri anlamada, sunmada ve aktarmada etkili bir öğe olan üçüncü boyut kavramını, dijital ortamla sınırlandırmadan, somut bir ifade biçimi olarak önümüze sunmaktadır.

Mimari korumada önemli unsurlardan biri uygulamadır. Özgünlüğün korunmasını esas alan koruma yaklaşımlarının hepsinde, yapıya en az müdahale ile yaklaşılması gerektiği belirtilmektedir. Bu bağlamda tarihi yapıları en iyi koruyan yöntemler yine özgün geleneksel yöntemlerle ve en az müdahale ile yapılan yöntemleridir. Ancak Venedik Tüzüğü'nün 10. Maddesinde "Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak anıt sağlamlaştırılabilir" şeklinde belirttiği gibi [131], geleneksel yöntemlerin yapını korumasında etkin rol oynayamadığı durumlarda, çağdaş yöntemlere gidilmesi ve esas amaç olan yapının korunması temel alınarak hareket edilmesi gerekebilir. Bu noktada üç boyutlu baskı yeni bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Hem mimari uygulamalarda hem de mimari koruma ve restorasyon uygulamalarında farklı şekillerde uygulanan bu teknolojiye daha çok gelişmekte olan deneysel yaklaşımlar söz konusudur. Koruma uygulamalarına dair verilen örnekler incelendiğinde üç boyutlu baskı tekniklerinin kullanımının koruma yaklaşımına hem olumlu yönde hem de olumsuz yönde değerlendirebilecek katkıları olduğu gözlenmektedir. İncelenen tüm örneklerde görsel öğelerin korunması açısından özgün öğelerle neredeyse aynı özelliklere sahip uygulamalar yer almaktadır. Ancak malzemenin korunması, yani özgün malzeme kullanılması açısından incelendiğinde koruma anlayışının en temel yaklaşımlarından özgün malzeme kullanımı ilkesinin bazı durumlarda üç boyutlu baskıyla yeterince sağlanamadığı ifade edilebilir. Örneğin Spada Sarayı'nda için basılan eli böğründeler özgün malzeme yerine poliüretan köpük malzemeden üretilmiştir ve üzeri siva ile kaplanmıştır. Bu yaklaşım Icomos Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü'nde uygulama

ilkelerinde “Çağdaş kullanım isteklerinin zorladığı ve kabul edilebilir değişimler bütünü genel ifadesine uyumlu, görünüş, doku ve biçim yönünden aykırı olmayan malzemelerle yapılmalı; yapı malzemelerin birbiriyle uyumuna özen gösterilmelidir [132].” şeklinde belirtilen ilkeyle ters düşmektedir. Yine de belirtilmelidir ki burada üç boyutlu baskının kendisinden çok uygulanış biçiminden kaynaklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Yapılan araştırmalar gelecekte malzeme çeşitliğinin çok daha artacağını belirtse de günümüz teknolojiyle bile Spada Sarayının eli böğründelerini özgün malzemeyle tekrar üretmek mümkün olabilmektedir. Nitekim bir replika uygulaması olan Bell Tapınağı'nın tavanının kısmi olarak yeniden üretildiği projede bunu gözlememiz mümkündür. Yıkılan tapınağın tavanının özgün malzeme kullanarak ve birebir ölçekte replikasının oluşturulması üç boyutlu tarama ve baskı teknolojilerinin bir arada kullanılmasıyla mümkün olmuştur. Bu bakımdan geleneksel yöntemle restorasyonu yapılabilecek olan tarihi yapılara bir prototip görevi görebilecek ürünler de elde edilebileceği öngörülmektedir.

Yine Suriye’de yıkılan bir heykelin yüzünün dijital ortama aktarılarak restore edildiği bir çalışmada, ilk olarak üç boyutlu taranarak dijital ortama aktarılan ve bozulan kısımları tamamlanan heykelin daha sonra bu bozulan parçası üç boyutlu olarak basılmıştır. Restore edilerek basılan parçanın özgünden ayırt edilebilir olması için hem farklı malzemedен basılarak, üstü özgün malzemeyle kaplanmış, hem de mıknatıslarla tutularak yapılan müdahalenin geri alınabilirliği ilkesine saygı duyulmuştur. Bu uygulama, Venedik Tüzüğü’nde 12. Maddede belirtilen “Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünlü uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış bir biçimde yansıtmaması için, özgünden ayırt edilebilecek bir şekilde yapılması gereklidir [131].” yaklaşımıyla neredeyse birebir bağdaşan bir uygulamadır. Ayrıca, bu heykel örneğinde olduğu gibi genellikle müzelerde sergilenen görece olarak küçük objelerin restorasyonunda, arkeolojik öğelerin onarımında veya özgün öğenin muhafaza edilmesinin zorunlu olduğu hallerde sergilenmek üzere kullanılan replikaların yapımında da üç boyutlu baskıdan yararlanılabilmektedir.

200 yıldır cephe öğelerinden mahrum şekilde Unesco Dünya Mirası listesinde yer alan The Great Pagoda ejderhalarının üç boyutlu baskı teknolojisi kullanarak restore edilmiş olması, bu teknolojinin tarihi öğeleri korumadaki potansiyeline katkı sağladığına örnek gösterilebilir. Bu örnekte olduğu gibi özgün malzeme ve geleneksel yöntemlerle

restorasyonu yapılamayan veya yapılması zor olan koruma uygulamalarında yeni teknolojilerin kullanılması gelecekte bu tarz projelerin uygulanabilirliğine dair olumlu ipuçları vermektedir.

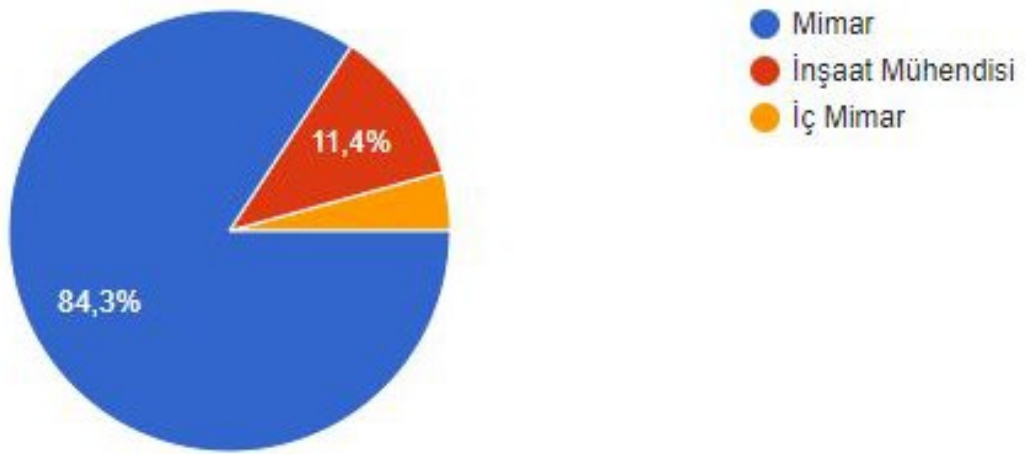
Tarihi yapılara yapılan eklerin dönem mimarisinden ayrı olarak daha modern tarzda uygulandığı ve ayırt edebilir olduğu örnekler de günümüzde sıkça görülmektedir. 20 yıl önce yapımı tamamlanan Louvre Müzesini cam ve metal strüktürden oluşan üçgen piramit girişi de bu tarz örneklerdendir. Yapıldığı yıllarda çokça eleştiri alan ama daha sonra bir sembol niteliği olarak mimaride yerini alan bu örnekte olduğu gibi, teknoloji ve yapım teknikleri, restorasyon uygulamalarında gelişimin etkili öncülerinden olabilmektedir. Günümüzde ise yine bir tarihi müzenin (Deutches müzesini) girişini tasarlamak amacıyla yürütülen bir çalışmada bu tarz izler taşımaktadır. Uygulanmadan önce malzemenin yapı ve çevresiyle uyumunun araştırılması amacıyla kısmi şekilde üç boyutlu bir yazıcıyla basılan cephe prototipi, bu tarz tarihi yapıların çevresine uygulanacak modern tasarımların etkisini daha önceden araştırmada bir öncü niteliği taşıyabilir. Böylece tarihi yapı ve çevresi kalıcı olarak etkilenmeden müdahale edilmesine olanak sağlanabilmektedir.

Çağdaş müdahale yöntemleri arasında yavaş yavaş yerini alan üç boyutlu baskı teknikleri tarihin korunması hususunda önemli adımlar atabilecek bir potansiyele sahiptir. Yakın gelecekte uygulama yöntemleri geliştikçe ve kullanılan malzeme çeşitliliği artıkça restorasyon uygulamalarında görülme sıklığı artacağı düşünülebilir. Bu bağlamda özellikle geleneksel yöntemlerin uygulanamadığı veya tercih edilmediği durumlarda, bir müdahale yöntemi olarak üç boyutlu baskı teknolojilerinin kullanılması, mimari korumanın ilke ve ölçüleri açısından daha uygun sonuçlar doğurabilme potansiyelini içinde barındırmaktadır.

ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNİKLERİNİN MİMARİ KORUMA ALANINDA TÜRKİYE'DEKİ KULANIM POTANSİYELİNE İLİŞKİN KULLANICI GÖRÜŞLERİ

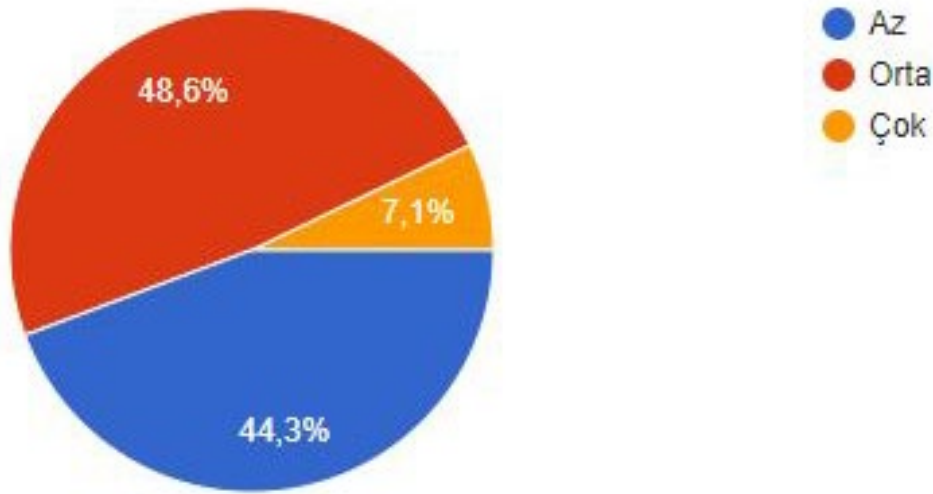
Üç boyutlu baskı tekniklerinin mimari koruma alanındaki potansiyeline ilişkin bilgi toplamak amacıyla yapılan ankette mimarların, iç mimarların ve inşaat mühendislerinin görüşlerini almak üzere toplam 70 kişiye 7 soru sorulmuştur.

Yüzde 84'ünü (59 kişi) Mimarların cevapladığı anketin yüzde 11'ini (8 kişi) İnşaat Mühendisleri ve yüzde 5'ini (3 kişi) İç Mimarlar cevaplamıştır.



Şekil 4.1 Meslek dağılım yüzdeleri

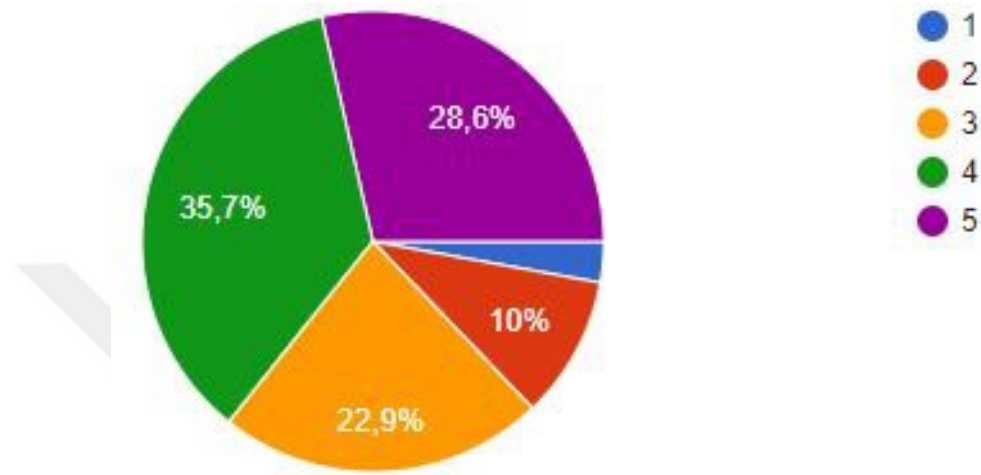
Ankete katılan 70 kişiden yüzde 44'ü (31 kişi) üç boyutlu yazılar hakkında genel bilgisini değerlendirmesi istendiğinde "az" cevabını vermiştir. Yüzde 49'u (34 kişi) "orta" cevabını verirken yüzde sadece 7'si (5 kişi) iyi durumda olduğunu düşünmektedir. Yine ankete katılanların sadece yüzde 9'u (6 kişi) üç boyutlu yazıcıyı ofisinde veya iş yerinde var azda olsa kullanıyor durumda olduğu ifade etmiştir. Ofisinde veya iş yerinde üç boyutlu yazıcı kullanmayan yüzde 91'lik kısımda (61 kişi) yüzde 70'lik kısmı ofislerinde üç boyutlu yazıcı edinmeyi düşündüklerini ifade etmişlerdir.



Şekil 4.2 Ankete katılanların üç boyutlu yazıcı hakkında genel bilgisinin değerlendirilmesi

Bir konunun, aletin vs bir şeyin size yararı veya zararı olup olmadığını öğrenmek için konu üzerinde bilgi sahibi olmak ve onu deneyimlemiş olmak gereklidir. Anketten anlaşılacağı üzere çoğu mimar ve mühendis üç boyutlu baskı teknolojileri hakkında yeterince bilgi sahibi olmadığını belirtmiştir. Bu durum günümüz Türkiye'sinde özellikle mimarlık alanında üç boyutlu baskı teknolojisinin kullanımının az olmasının başlıca sebeplerindedir. Ofislerinde üç boyutlu yazıcı bulunduran kişi sayısı 70 kişi arasından sadece 6 kişi olması bunun bir başka göstergesidir. Tüm bunlara rağmen katılanların büyük çoğunluğu özellikle orta seviyede bilgi sahibi olduğunu belirtenler ofislerinde üç boyutlu yazıcıyı ofislerinde kullanmasalar da almak istediklerini belirtmişleridir. Bu durum üç boyutlu yazıların Türkiye'de kullanımına ilişkin belirli bir potansiyelin olduğunu göstergelerinden biridir.

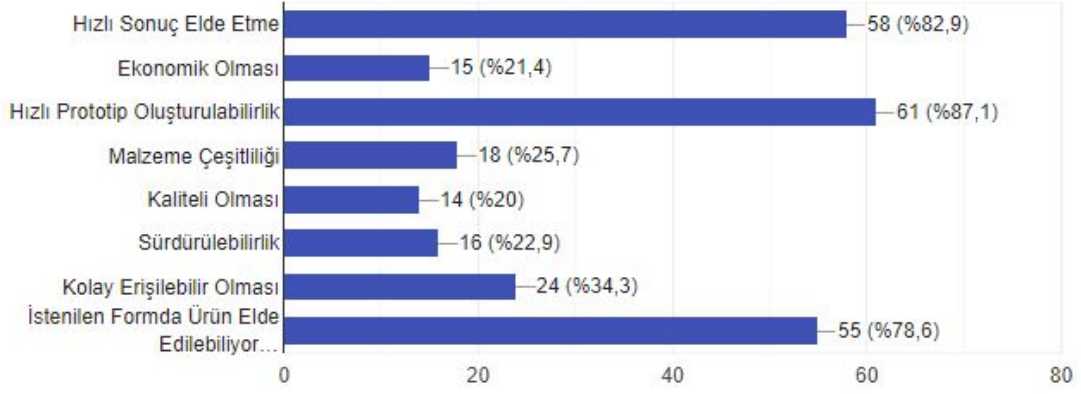
“Sizce üç boyutlu baskı tekniklerinin Türkiye’de mimari koruma alanında kullanım potansiyeli nedir? (5 en yüksek 1 en düşük)” sorusuna verilen yanıtlarda yüzde 65’lik kısım (45 kişi) “yüksek” ve “çok yüksek” olduğunu düşündüğünü ifade etmiştir. Yüzde 23’lük kısım (16 kişi) potansiyelin “orta” dereceli diye ifade ederken geri kalan yüzde 12’lik kısım (3 kişi) potansiyelin “düşük” ve “çok düşük” olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 4.3 Ankete katılanlara göre Türkiye’de mimari koruma alanında üç boyutlu yazıcının kullanım potansiyeli (5 en çok 1 en az)

Ankete katılanların büyük çoğunluğunun Türkiye’de Mimari Koruma alanında üç boyutlu yazıcının kullanım potansiyelini yüksek bulması üç boyutlu yazıcıların ilerleyen günlerde bu alanda kullanımının artacağını düşündürmektedir. Günümüzde kullanımı pek yaygın olmasa da konuya ilişkin bilginin artması, kullanım alanlarına ilişkin daha çok bilgilendirme ve örnekler sonucu diğer ülkelerde giderek artan kullanımın ülkemizde de artma potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

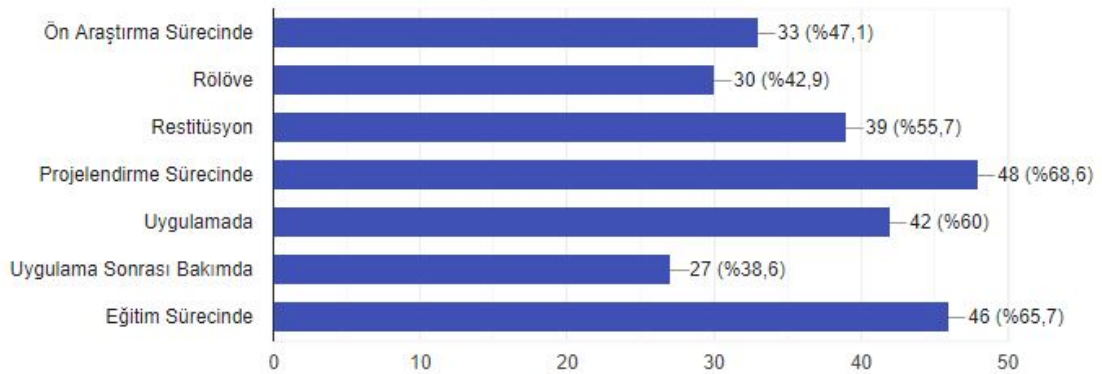
“Sizce üç boyutlu baskı tekniklerinin mimari koruma alanında kullanılması aşağıdaki avantajlardan hangilerini sağlar?” sorusuna 70 katılıcıdan 55 kişi ve üstü (yaklaşık yüzde 80) “Hızlı Sonuç Elde Etme”, “Hızlı Prototip Oluşturulabilirlik” ve “İstenilen Formda Ürün Elde Edilebiliyor Olması” şıklarını işaretlemiştir. “Kolay Erişilebilir Olması”, “Ekonomik Olması”, “Malzeme Çeşitliliği”, “Kaliteli Olması” ve “Sürdürülebilirlik” ise yüzde 30 ve 20 arasında (yaklaşık 25 ile 15 kişi arası kişi tarafından) işaretlenmiştir.



Şekil 4.4 Ankete katılanlara göre Türkiye'de mimari koruma alanında üç boyutlu baskının kullanımının sağlayacağı avantajlar

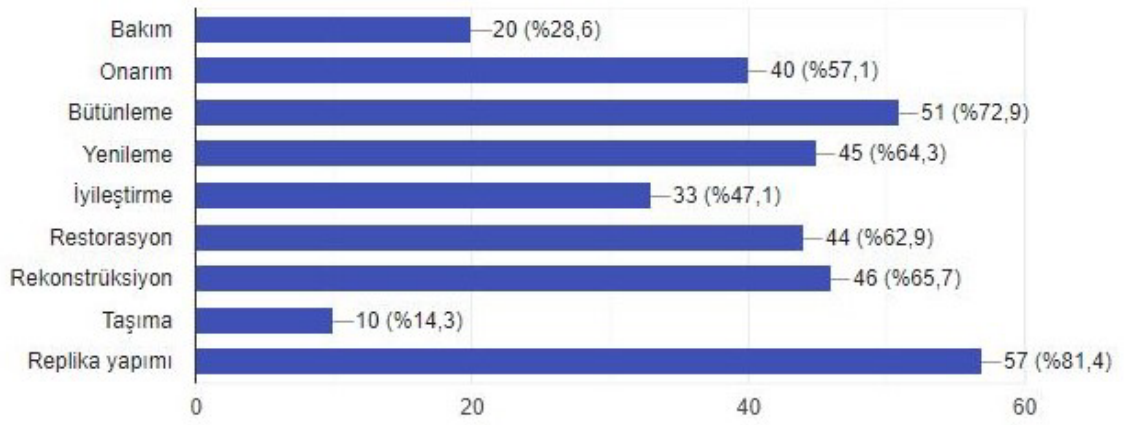
Üç boyutlu baskının en temel özellikleri olan “hız” ve “istenilen formda ürün elde etme” avantajlarının ön plana çıkması üç boyutlu yazıcı hakkındaki bilgilerin temel düzeyde mimar ve mühendisler arasında benimsendiğinin göstergesi sayılabilir. Ancak ekonomik olması, malzeme çeşitliliği, sürdürülebilirlik gibi diğer seçenekler üç boyutlu baskı sistemlerinin sağlayabileceği diğer önemli avantajlardır. Kullanılan malzeme yelpazesi geniştir ve istenilen kalitede ürün elde edilebilir. Bu şıkların daha az tercih edilmesinin sebebi genel bilginin az olması, kullanım oranının günümüzde nispeten daha az ve sınırlı alanlarda oluşu olabilir.

“Sizce aşağıdaki mimari koruma aşamalarından hangilerinde üç boyutlu baskı teknikleri kullanılabilir?” sorusunda “Projelendirme Sürecinde”, “Uygulamada” ve “Eğitim Sürecinde” seçenekleri yüzde 60 ve üzerinde işaretlenme oranlarına sahiptir. “Restitüsyon” yüzde 55 ve geriye kalan “Ön Araştırma Sürecinde” “Rölöve” “Uygulamada” seçenekleri yüzde 40 ve 50 arasında işaretlenme oranına sahiptir.



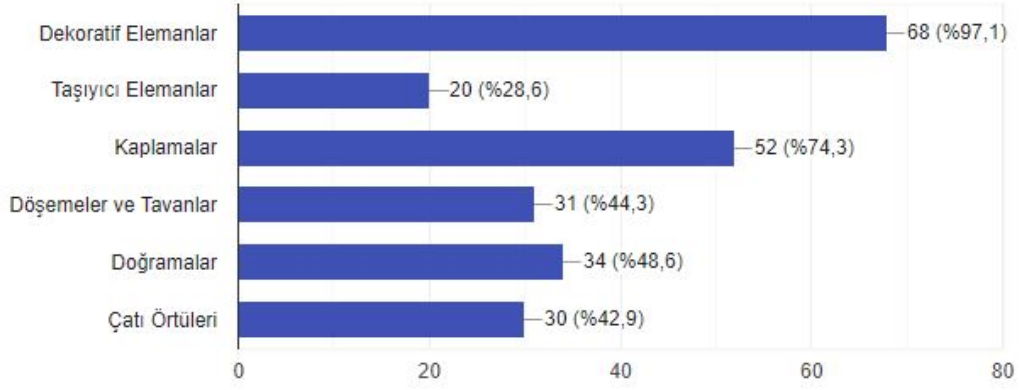
Şekil 4.5 Ankete katılanlara göre mimari koruma aşamalarında üç boyutlu baskı teknikleri kullanılabilirliği

“Sizce mimari koruma uygulamalarındaki başlıklardan hangilerinde üç boyutlu baskı teknikleri kullanılabilir?” sorusunda “Replika Yapımı” yüzde 81’lik işaretlenme oranıyla en çok kullanım olanağı bulacağı düşünülen bir alandır. Ardından “Bütünleme” seçeneği yüzde 73, “Yenileme”, “Rekonstrüksiyon” ve “Restorasyon” başlıkları ise yüzde 60 ve üstü işaretlenme oranı almıştır. “Onarım” yüzde 57’lik, “İyileştirme” yüzde 47’lik ve “Bakım” yüzde 28 işaretlenme oranlarına sahiptir. “Taşıma” yüzde 14’lik işaretlenme oranında kalmıştır.



Şekil 4.6 Ankete katılanlara göre mimari koruma başlıklarında üç boyutlu baskı tekniklerinin kullanım potansiyeli

“Sizce tarihi bir yapının hangi kısımları üç boyutlu baskı teknolojileri sayesinde korunabilir?” sorusuna ilişkin cevaplarda Dekoratif elemanlar ön plana çıkmaktadır. Katılanlarında neredeyse hepsi (yüzde 97’si) bu seçeneği işaretlemiştir. Ardından yüzde 74’lük işaretleme oranıyla “Kaplama” gelmektedir. “Döşeme ve Tavanlar”, “Doğramalar” ve “ Çatı Örtüleri” yüzde 40 ve 50 işaretlenme oranına sahiptir. Taşıyıcı elemanlar ise yüzde 20’lik işaretlenme oranıyla üç boyutlu yazıcılarla basım potansiyelinin en düşük olduğu düşünülen elemanlardır.



Şekil 4.7 Ankete katılanlara göre bir tarihi yapının üç boyutlu baskı teknikleriyle korunabilir kısımları

Mimari korumaya ilişkin son 3 soru genel olarak değerlendirildiğinde ankete katılan mimar ve mühendislerin üç boyutlu baskı tekniklerini kullanmaya sıcak bakmaları sonucu gözlenebilir. Birçok seçenek yüzde 50 linin üzerinde bir oran elde etmiştir. Genel bilgi düzeyi orta ve üzeri olanlar genelde daha çok şık işaretleme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir dolayısıyla üç boyutlu yazıcının daha çok alanda kullanabilir olacağını düşünmektedirler.

Oranı yüzde 40 altında kalan seçeneklerin bir kısmı Dünya genelinde örnekleri olan kullanım alanlarıdır. Örneğin bir tarihi yapı restore edilirken yapılan üç boyutlu taramalar restorasyon sürecinden sonrada elektronik ortamda saklanarak yapının tekrardan hasar görmesi durumunda kullanabilir ve yapının bakımı yapılabilir. Amsterdam'da yapılan köprü örneği incelendiğinde üzerinde yürünebilen strüktürel elemanlarıyla komple olarak üç boyutlu yazıcıdan basılan metal köprü inşası strüktürel elemanlara örnek olabilir. "Bakım" ve "strüktürel elemanlar" için verilmiş bu örnekler diğer seçenekler içinde verilebilir. Bu seçeneklerin daha az oranda işaretlenmesi konu hakkında yeterince eğitim ve bilginin olmamasından kaynaklı olduğu sonucu çıkarılabilir. Ayrıca Türkiye'de bu tarz geniş kapsamlı inovatif çalışmalar henüz yapılmadığından daha kısıtlı alanda büyük firmaların bu teknolojiyi kullanmasından kaynaklı bu seçeneklerin işaretlenmediği öngörülebilir. Zamanla mimarinin her aşamasına kullanımın artmasıyla beraber bu durumun değişeceği düşünülmektedir. Bir diğer sebep olarak bu tarz teknolojik aletlerin ve sarf malzemelerin yurt dışından getirilmesi ve ekonomik açıdan menşei ülkelere göre daha masraflı olabilmesi gösterilebilir. Bu da bu teknolojinin henüz Türkiye'de mimari koruma alanında örneklerinin olmamasının bir diğer sebebidir. Aslında yapılan koruma

çalışmalarında üç boyutlu baskı tekniklerinin kullanılması zamandan ve iş gücünden dolayısıyla da toplam maliyetten tasarruf sağlamaktadır. Ancak üç boyutlu yazıcıların ilk alım masrafının yüksek oluşu sebebiyle birçok anketi dolduran mimar ve mühendisin ekonomik şıkkını işaretlemediği gözlenmiştir.

Genel olarak anket verilerden çıkan sonuç üç boyutlu baskının Mimari Koruma uygulamalarında kullanım potansiyeli taşıdığı yönündedir. Ancak bununla beraber halen gelişmekte olan bu teknolojiye karşı birçok önyargı olduğu da gözlenmiştir. Yurt dışında örnekleri olan uygulama alanlarının, seçilme yüzdesi olarak belirli bir değerin altında kalması bunun bir göstergesi sayılabilir. Tüm bunlara rağmen, büyük bir yüzdenin üç boyutlu baskıya dair olumlu yönde değerlendirmesi gelecekte bu teknolojinin daha sıklıkla kullanılabileceği görüşünü destekler niteliktedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanlık tarihi boyunca teknolojideki gelişmeler, yaşayış tarzımızı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak karşımıza çıkmıştır. İlk yerleşik toplumlardan bu yana bu süreç mimaride de etkilerini göstermektedir. Keskin bir taşın bir sopaya bağlanmasıyla ortaya çıkan ilk aletler veya iki taşın birbirine sürtülmesiyle ortaya çıkan ateş gibi birçok yenilik, insanların en temel ihtiyacı olan barınma ve korunma yöntemlerini de etkileyerek giderek gelişen bir mimarinin temellerini oluşturmuşlardır. Aradan geçen binlerce yıllık süreçte icat edilen birçok alet, geliştirilen birçok yöntem olmasına karşın insanların teknolojik gelişmelerle olan bağı süregelen bir ihtiyaç halinde yerini almıştır.

Mimarlık gibi sanat ve işlevselliğin bir arada bulunduğu bir alanda, teknolojinin önemi yadsınamayacak kadar büyüktür. Günümüz mimarisinin temellerini oluşturan korunması gerekli kültür mirasları da zaman içinde yaşanan bu teknolojik gelişmelerden etkilenmiştir. Geleneksel yöntemlerin tek başına uygulanamadığı veya yeterli gelmediği durumlarda çağdaş teknikler tarihi mirasın korunmasında önemli rol oynamıştır.

30 yılı aşkın bir süredir hayatımızda yer alan üç boyutlu baskı teknikleri de bu yeni teknolojilerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı tarzda baskı makinelerinin gelişmesi, malzeme çeşitliliğinin ve baskı kalitesinin giderek artması gibi olumlu özellikler, bu teknolojinin günümüzde birçok alanda kullanılmasının ana sebebidir. Dünya genelinde çeşitli örnekleri olan ve kullanımının ve öneminin giderek arttığı bu sistemin avantajları da teknolojinin ilerlemesi ile birlikte artmaktadır. Aynı şekilde pek çok sektörün üç boyutlu baskı teknolojilerinin kullanıyor olması da bu alana yapılan

yatırımın fazla olmasını sağlamıştır. Bu durum üç boyutlu baskı tekniklerinin gelişmesinde rol oynayan bir diğer önemli faktördür. Halen gelişmekte olan ve bir adaptasyon sürecinden geçen bu teknolojinin gelecekte daha etkin bir şekilde kullanılacağı açıktır.

Mimari korumada öncelikli yaklaşımdan biri uygulayıcı kişinin yetkinliğidir. Bu da mimari koruma ve restorasyon eğitiminin en doğru şekilde alınmasıyla başlayan bir yolculuktur. Üç boyutlu baskı eğitim alanında uyguladığında, kavramların ve uygulamaların daha anlaşılır bir şekilde ifade edilebildiği bir gerçektir. Günümüz teknolojisinde iki boyutlu görsellerle sunulan; fotoğraf, baskı ve projeksiyon gibi yöntemlerle verilen eğitimlere önemli bir ek adım olacağı öngörülmektedir. Ayrıca dünya genelinde koruma kurumalarına sunulan projelerde üçüncü boyutun gittikçe yaygınlaşan bir ifade biçimi olarak karşımıza çıktığı gözlenmektedir. Üç boyutlu baskı, tarihi yapıların belgelenmesinde ve gelecek kuşaklara aktarılmasında önemli bir rol oynama potansiyeli taşımaktadır. Antik Roma dönemine ait bir yerleşim yerinin gravürlere dayanarak modellendirildiği ve o dönem yapıları hakkında bilgi edinmeyi sağlayan proje ile San Michele kilisesinin cephesinin bir prototipinin oluşturulduğu, önceden yerleştirilmiş sensörler sayesinde dokunulan bölgeye ait bilgilerin alınabildiği proje de bu düşünceyi destekler nitelikte örneklerdendir. Bu açıdan incelendiğinde üç boyutlu baskı teknolojileri, eğitim, sunum ve belgeme aşamalarında, mimari koruma ve restorasyona direkt veya dolaylı olarak katkı sağlamaktadır.

Üç boyutlu baskının Mimari Koruma uygulamalarında kullanılabilecek bir diğer potansiyel uygulama sahası ise prototip oluşturmaktır. Geçmişten günümüze kalan yapıların onarımları için oluşturulacak birebir veya ölçekli prototiplerle, yapıya zarar vermeden yapım teknikleri tespit edilerek bu tekniğe uygun en doğru müdahale yöntemi uygulanabilir.

Mimari koruma uygulamalarında üç boyutlu baskının kullanıldığı örnekler incelendiğinde, üç boyutlu baskının bir adaptasyon sürecinden geçtiği gözlenmektedir. Olumlu veya olumsuz yönlerinin değerlendirildiği bu süreçte yapılan deneysel çalışmalarla, üç boyutlu baskının mimariye, mimari korumaya uygulanabilirliği araştırılmaktadır. Özellikle mimari uygulamalarda doğal malzemelerin kullanıldığı

çevreci yaklaşımlar, sürdürülebilirlik ve tasarım konseptleri üzerine yoğunlaşmış, daha fonksiyonel ve ekonomik çözümler üreten birçok örnek yer almaktadır. Üç boyutlu baskıyla yapılan köprü örnekleri veya Ekstra Filament Strüktürü örneklerinde olduğu gibi taşıyıcı elamanların inşasında üç boyutlu baskının kullanılmaya başlaması; ileriye dönük koruma uygulamalarında, dekoratif öğelerinin yanında strüktürel öğelerin de üç boyutlu baskıyla korunabileceğinin sinyallerini vermektedir. Ayrıca Hollanda'da uygulanan zemin kaplamaları da gerekli durumlarda uygun teknik yöntem ve malzemeyle birlikte tarihi yapıların korunmasında uygulanabilir bir örnektir.

Tüm bunlara rağmen New York 5. Cadde'de yer alan bir yapıya ait müdahalenin proje aşamasında kalması ve uygulanmaması bu yönetime şirketlerin ve kurumların temkinli yaklaştığına dair bir gösterge olarak da sunulabilir. Özellikle yeni bir teknoloji oluşu ve yapılan müdahalenin ne kadar uzun ömürlü olabileceği henüz tam olarak bilinmemesi de bu tarz temkinli yaklaşımların oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir.

Hem tarihi yapıların korunduğu hem de müdahalelerin koruma ilkelerine bağlı uygulandığı örneklerin varlığı ise üç boyutlu baskının mimari koruma uygulamalarında taşıdığı potansiyelin başka bir göstergesidir. Dünya miras listesinde yer alan The Great Pagoda'nın onarımında olduğu gibi tarihi öğelerin tekrardan yapıya kazandırıldığı uygulamalar da üç boyutlu baskının potansiyeline ilişkin başka bir önemli örnek olarak değerlendirilebilir.

Üç boyutlu baskının ön plana çıktığı bir başka koruma başlığı ise bakımdır. Özellikle taranarak dijital ortama aktarılan tarihi yapıların zamanla tekrardan hasar görmeleri durumunda, söz konusu parçanın yeni malzeme ile yapılmasının koruma ilkeleri açısından sakıncalı olmadığı ve buna benzer bir kararın verildiği, geleneksel yöntemlerin uygulanamadığı durumlarda, hasar alan bölgenin dijital arşiv üzerinden yeniden basılabiliyor oluşu, korumada süreklilik anlayışıyla da örtüşmektedir. Üç boyutlu baskının bir başka potansiyeli ise ileride teknolojinin gelişmesiyle beraber; bu teknolojinin sahada, bozulan süslemelerin veya elemanların uygun bir malzeme ve robot kol ile direkt olarak basımı yapılarak onarılmasının mümkün olabileceği gerçeğidir. Bu sayede herhangi bir ek işleme gerek kalmadan onarım direkt olarak yerinde uygulanabilecektir.

Üç boyutlu baskı tekniklerinin mimari koruma alanında Türkiye'deki kullanım potansiyeline ilişkin yapılan anketteki yanıtlar incelendiğinde, üç boyutlu baskı konusunda genel bilgi düzeyinin düşük olduğunu ifade eden kişi sayısının fazla olduğu gözlenmektedir. Bu durum üç boyutlu baskı tekniğinin Türkiye'de mimarlıkta mevcut kullanım oranını da etkilemektedir. Bununla birlikte üç boyutlu baskıya dair bilgisinin daha iyi seviyede olduğunu ifade eden katılımcıların, genel dağılımda kullanım potansiyeline daha olumlu yaklaştıkları ve yapılan ankette daha çok seçenek işaretledikleri gözlenmiştir. Sorula verilen cevaplar incelendiğinde ortaya çıkan başka bir sonuç ise dünya genelinde kullanım örnekleri olan alanların ve üç boyutlu baskının avantajlı olarak ön plana çıktığı özelliklerin yeterince işaretlenmemesidir. Malzeme skalası oldukça geniş olan ve her geçen gün artan bu baskı yönteminde malzeme çeşitliliğinin yeterince işaretlenmemesi, sürdürülebilirlik yapıların veya strüktürel yapıların örneklerinin dünya genelinde uygulanıyor olmasına rağmen yine bu seçeneğin az oranda işaretlenmesi bu duruma örnek olarak verilebilir.

Ankette elde edilen olumlu sonuçlardan biri ise mimari koruma aşamalarında, koruma başlıklarında ve yapı elemanlarında işaretlenen alanların nispeten daha fazla oranda olmasıdır. Bu durum üç boyutlu baskının gelişmesi, dünya genelinde mimari koruma uygulamalarında kullanımının yaygınlaşması ve üç boyutlu baskı teknikleri hakkındaki bilgi birikiminin artmasıyla Türkiye'deki kullanımının artması ihtimalini de güçlendirmektedir.

Sonuç olarak değerlendirilmelidirse, üç boyutlu baskının çeşitli alanlardaki kullanım potansiyelini, mimari koruma alanına yavaş yavaş aktardığı gözlenmektedir. Örnekleri verilen uygulamaların olumlu veya olumsuz yönde alınacak sonuçları ancak zamanla birlikte kesinleşecek olsa da yakın zamana kadar gelinen süreçte alınan veriler ve bu verilere göre yapılan öngörüler; üç boyutlu baskının mimari uygulamalarda rahatça kullanılabileceğini gösterir niteliktedir. Mimari koruma uygulamalarında üç boyutlu baskı sistemlerinin kullanımı ise mevcut durumda büyük bir potansiyel taşımakla birlikte, teknolojiye yaşanan gelişmeler ve uygulamaların mimari koruma ilkelerine daha uyumlu hale gelmesiyle beraber, bu kullanım potansiyelini çok daha artıracığı sonucu çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Arlı, B. Ve Demirbaş Y.K., (2015). Uygulamalarla 3 Boyutlu Yazıcı Yapımı ve Kullanımı, Dördüncü Baskı, Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri, İstanbul.
- [2] Welcomemat Services, (2018), The Evolution of Printing, <https://welcomematservices.com/the-evolution-of-printing/>, 1 Ocak 2019
- [3] Gürbüz, A. A., (2014). Üç Boyutlu Animasyonların Hazırlık Aşamasında Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Avantajları, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- [4] Bobolink Creative Agency, (2019), Top 5 Graphic Design Trends For 2019, <https://bobolink.co/news/top-5-graphic-design-trends-for-2019>, 4 Şubat 2019.
- [5] Çelik, D., (2015). Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi Ve Tersine Mühendislik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [6] Canessa, E., Fonda, C. And Zennaro, M., (2013). Low-Cost 3D Printing For Science, Education & Sustainable Development, First Edition, ICTP, Italy.
- [7] Lipson H. and Kurman, M., (2013)., Fabricated: The New World of 3D Printing, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- [8] Vaswani, M., (2019), What Is 3D Printing And How Does It Work? <https://entrepreneurhandbook.co.uk/3d-printing-an-introduction/>, 4 Ocak 2019.
- [9] Stokes, M. B., (2013). 3D Printing For Architects With MakerBot, First Edition, Packt Publishing Ltd, Birmingham.
- [10] Lonjon, C., (2017), The History Of 3d Printer: From Rapid Prototyping To Additive Fabrication, <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>, 5 Ocak 2019.
- [11] My3DConcepts, First-3D-Printer-Invented-in-1986, <http://my3dconcepts.com/explore/history-of-3d-printing/>, 5 Ocak 2019.

- [12] Yıldırım, M., (2017). Üç Boyutlu Yazıcılar ile Moda Ürünlerine Yönelik Yüzey Tasarımları, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Antalya.
- [13] All3DP, (2016), The Official History of the RepRap Project, <https://all3dp.com/history-of-the-reprap-project/>, 10 Ocak 2019
- [14] Popplewell, N., (2017), Reminiscing about RepRap: 10 years on <https://ultimaker.com/en/blog/52639-remiscing-about-reprap-10-years-on>, 10 Ocak 2019
- [15] Petty, J., What is 3D Modeling & What's It Used For? <https://conceptartempire.com/what-is-3d-modeling/>, 1 Ekim 2019
- [16] EMS, Types of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies, www.ems-usa.com, 3 Ekim 2019
- [17] 3DPrint-NZ Digital Manufacturing, Scan Guidelines And Tips, <http://3dprint-nz.com/3d-printing/scan-guidelines-and-cheats/>, 3 Ekim 2019
- [18] Open Source Imaging, Structured-Light 3D Scanner, <https://www.opensourceimaging.org/project/structured-light-3d-scanner/>, 3 Ekim 2019.
- [19] Zaiser, S., (2014) Long-Range Terrestrial 3D Laser Scanner, (2019), <https://www.ee.co.za/article/long-range-terrestrial-3d-laser-scanner.html>, 3 Ekim 2019.
- [20] Staff, F., (2018), Eight-Axis Portable Coordinate Measuring System <https://www.foundrymag.com/new-products/eight-axis-portable-coordinate-measuring-system>, 3 Ekim 2019.
- [21] Creaform3D, Handheld Optical Cmm 3d Scanner: Metrascan 3D, <https://www.creaform3d.com/en/optical-3d-scanner-metrascan>, 3 Ekim 2019.
- [22] Designifying, 3D Designing Services, <http://designifying.com/service/3d-designing-services>, 5 Ekim 2019.
- [23] DesignTech, Parametric Modelling, <https://www.designtechsys.com/articles/parametric-modelling>, 6 Ekim 2019.
- [24] Marsh, D. A. J., Simple Parametric Modelling Experiment, (2019) <http://andrewmarsh.com/blog/2010/02/28/simple-parametric-modelling-experiment/>, 7 Ekim 2019.
- [25] Kolbe, T. H., (2012) What is CityGML?, <http://web.archive.org/web/20150907200347/http://www.citygml.org/index.php?id=1533>, 9 Ekim 2019.
- [26] Mohammed, S., (2018), Cesium's Participation in OGC Testbed 13 <https://cesium.com/blog/2018/02/06/citygml-testbed-13/>. 10 Ekim 2019
- [27] Autodesk, (2019), What is BIM?, <https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>, 11 Ekim 2019.

- [28] López, F. J., Lerones, P. M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J. and Zalama, E., (2018), "A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)", Multimodal Technologies and Interaction, 2: 1-29.
- [29] Donato, V., Giannetti, S. and Bocconcino, M. M., (2018). "H-BIM And Web-Database To Deal With The Loss Of Information Due To Catastrophic Events", eCAADe, vol. 1 : 119–128.
- [30] Ward, A., (2015), Presenting the Form 1+ SLA 3D Printer, <https://www.rs-online.com/designspark/presenting-the-form-1-sla-3d-printer>, 2 Şubat 2019.
- [31] Bernier, S. N., Luyt, B. and T. Reinhard, (2014). Design For 3D Printing, Maker Media, Canada.
- [32] Koray, Ö ve Burhan, D., (2017). "Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği", International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry, 1(1): 36-48
- [33] Francis B., (2017), 3D Skrivarteknik <http://teknikproje.com/?p=11120><http://sophiccapital.com/3d-printing-the-education-sector-is-on-the-cusp-of-adoption/><https://www.imagenesmy.com/imagenes/stratasys-fdm-impresion-en-tecnologia-b4.html>, 2 Şubat 2019.
- [34] Additive Blog, (2017), FDM – Fused Deposition Modeling (or FFF, PJP, LPD), le: <https://www.additive.blog/knowledge-base/3d-printers/fdm-fused-deposition-modeling-fff-pjp-lpd/>, 3 Şubat 2019.
- [35] 3DPrint-NZ Digital Manufacturing, 3D Color Jet, <https://www.rapidsol.org/color.aspx>, 3 Kasım 2019.
- [36] 3D Printing Today, (2019), Metal 3D Printing Materials Analysis – Everything You Need to Know" <https://www.3dprintingtoday.com/metal-3d-printing-materials-analysis-everything-you-need-to-know>, 5 Nisan 2019.
- [37] Jamie, D., (2018) The 11 Best 3D Printed House Companies – 3D Printing Entire Buildings, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184>, 7 Şubat 2019.
- [38] Antalya Gelisim, (2019), Modelleme, Filamentlerin Kullanım Amacı ve Araçları: Katmanlı Üretim ve Eriyik Yığma, <https://www.antalyagelisim.com/bilim/filamentlerin-kullanim-amaci-ve-araclari-katmanli-uretim-ve-eriyik-yigma-modelleme/>, 10 Şubat 2019.
- [39] 3DSourced, PLA vs ABS: Which is Best for your 3D Printing Needs?, (2019), <https://3dsourced.com/editors-picks/pla-vs-abs-filament/>, 5 Kasım 2019.
- [40] Demiray, M. A., Şekerci, B., Saltık, O. ve Kayacan, M. C., (2018), "Eklemeli İmalat Yöntemlerinde Kullanılan Malzemeler", 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry 2018, 19-21April 2018, Antalya, 274–287.

- [41] 3ders, (2014), 3D Systems Acquires Belgian Metal 3D Printing Service Company Layerwise, <https://www.3ders.org/articles/20140903-3d-systems-acquires-belgian-metal-3d-printing-service-company-layerwise.html>,
- [42] Anatol, L., (2019), 2019 Metal 3D Printer Guide – All About Metal 3D Printing, <https://all3dp.com/1/3d-metal-3d-printer-metal-3d-printing/>, 15 Şubat 2019.
- [43] Designboom, (2015), <https://www.designboom.com/design/olivier-van-herpt-3d-printed-ceramics-design-academy-eindhoven-eat-shit-milan-design-week-04-28-2015/>, 16 Şubat 2019.
- [44] McComas, R., (2019), Researchers Work On New High Resolution 3D Printing Process Called TCMIP SL For Dental Crowns, <https://www.cellular3d.com/index.php/dental-3d-printing/783-researchers-work-on-new-high-resolution-3d-printing-process-called-tcmip-sl-for-dental-crowns>, 16 Şubat 2019.
- [45] Blit, P., (2013), First artificial trachea implants breathe life into tissue engineering, <https://www.signalsblog.ca/novel-biomaterial-devices-provide-a-breath-of-fresh-air>, 16 Şubat 2019.
- [46] Aldanmaz, E. A. ve Sever, R., (2017), Gıdaların Dizaynında 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisi Uygulamaları, <https://docplayer.biz.tr/44478680-Gidalarin-dizayninda-3-boyutlu-yazici-teknolojisi-uygulamalari.html>, 18 Şubat 2019.
- [47] Carlota, V., (2019), A Guide To 3D Printed Food – Revolution In The Kitchen?, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-food-a-new-revolution-in-cooking/>, 18 Şubat 2019.
- [48] Schires, M., (2019), The Golden Age of 3D Printing: Innovations Changing the Industry, <https://www.archdaily.com/909306/the-golden-age-of-3d-printing-innovations-changing-the-industry>, 20 Şubat 2019.
- [49] Walyou, (2014), Mcor Isis Employs Layered Paper to Bring Color to 3D Printing, <https://walyou.com/mcor-isis-paper-3d-printer/>, 20 Şubat 2019
- [50] Mitchell, R. L., (2014), This 3D Printer Uses Paper As The Ink, <https://www.computerworld.com/article/2472111/this-3d-printer-uses-paper-as-the-ink.html>, 20 Şubat 2019.
- [51] Joel, C., 3D Printed Plastic Stained Glass Window, <https://www.3dprintersonlinestore.com/3d-printed-plastic-stained-glass-window>, 22 Şubat 2019.
- [52] Cassaignau, A., (2015), MIT Introduces 3D Printing With Glass, <https://www.sculpteo.com/blog/2015/08/26/mit-introduces-3d-printing-with-glass/>, 23 Şubat 2019.
- [53] Brewster, S., (2014), This Is What 3D Printed Wood Looks Like, <https://gigaom.com/2014/02/25/this-is-what-3d-printed-wood-looks-like/>, 24 Şubat 2019
- [54] Drew, P., (2014), Smart House, <https://www.digitaltrends.com/home/near-future-youll-able-3d-print-real-wooden-furniture-4-axyz/>, 25 Şubat 2019

- [55] Swan, M., (2019), With Sustainability High On The Agenda For Designers, It Was Only A Matter Of Time Before A Seamless Alternative To Wood Was Created, <https://www.materialsource.co.uk/with-sustainability-high-on-the-agenda-for-designers-it-was-only-a-matter-of-time-before-a-seamless-alternative-to-wood-was-created/>, 4 Ağustos 2019
- [56] Kiraz, C., Sezer, H. K. ve Şahin, İ., (2018), “Kuyumculuk Sektöründe 3B Baskı Tasarım Özgürlüğünden Faydalanmaya İlişkin Bir Perspektif”, 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry 2018, 19-21April 2018, Antalya, 410–421.
- [57] Thewihsen, F., Karevska, S., Czok A., Pateman, C. and Krauss, D., (2016), If 3D Printing Has Changed The Industries of Tomorrow, How Can Your Organization Get Ready Today, [https://www.ev.com/Publication/vwLUAssets/ev-3d-printing-report/\\$FILE/ev-3d-printing-report.pdf](https://www.ev.com/Publication/vwLUAssets/ev-3d-printing-report/$FILE/ev-3d-printing-report.pdf), 25 Şubat 2019.
- [58] Clarke, C., (2017), Frontline, U.S Army Explores 3D Printing On The Frontline; <https://3dprintingindustry.com/news/u-s-army-explores-3d-printing-frontline-119358/>, 27 Şubat 2019.
- [59] Heinrich, A., (2015), World’s First Jet-Powered, 3D-Printed UAV Debuts At Dubai Airshow, <https://newatlas.com/worlds-largest-fastest-3d-printed-uav/40293/>, 28 Şubat 2019.
- [60] Hay, Z., (2019), Dental 3D Printing – All You Need to Know in 2019, <https://all3dp.com/2/dental-3d-printing-all-you-need-to-know/>, 30 Şubat 2019.
- [61] Gebhardt, A. and Fateri, M., (2014), “3D Printing And Its Applications”, RTEjournal, 2.
- [62] Kellner, T., (2018), Heart To Heart: Two Innovators Reveal What’s Next For 3D-Printing In Healthcare, <https://www.ge.com/reports/heart-heart-two-innovators-reveal-whats-next-3d-printing-healthcare/>, 1 Mart 2019.
- [63] Demilked, (2013), 3D-Printed Medical Cast With Ultrasound System Looks Great, Feels Fresh, And Heals The Bones Faster, <https://www.demilked.com/osteoid-3d-medical-ultrasound-cast-prototype-deniz-karasahin/>, 2 Mart 2019.
- [64] 3D Printing Media Network, (2017), CSM Bakery Solutions and 3D Systems Partner to Bring 3D Printing to the Food Industry, <https://www.3dprintingmedia.network/csm-bakery-solutions-3d-systems-partner-bring-3d-printing-food-industry>, 3 Mart 2019.
- [65] Gregurić, L., (2019), 10 Coolest 3D Printed Cars in 2019, <https://all3dp.com/2/coolest-3d-printed-cars/>, 4 Mart 2019.
- [66] Hitti, N., (2018), Bigrep Reveals ‘World’s First’ Fully 3D-Printed Motorbike, <https://www.dezeen.com/2018/11/26/bigrep-3d-printed-motorbike-nera/>, 4 Mart 2019.

- [67] Lim, H. W., Cassidy, T. and Cassidy, T. D., "Application Research Of 3D Printing Technology On Dress Forms," *International Journal Of Engineering and Technology*, 9 : 78-83.
- [68] Busche, L., (2016), This Designer 3D Printed an Entire Fashion Collection from Home. And It's Absolutely Stunning, <https://creativemarket.com/blog/this-designer-3d-printed-an-entire-fashion-collection-from-home-and-its-absolutely-stunning>, 5 Mart 2019.
- [69] Watkin, H., 20 Outstanding Pieces of 3D Printed Jewelry, <https://all3dp.com/3d-printed-jewelry/>, 7 Mart 2019.
- [70] Tooley, J., (2019), The Future of Printing in Schools, <https://blog.greenoffice.co.za/the-future-of-printing-in-schools>, 6 Kasım 2019.
- [71] 3D Usher, Rapid Prototyping For Architecture Models, <https://3dusher.com/blog/rapid-prototyping-for-architecture-models>, 1 Ekim 2019
- [72] Koslow, T., (2015), Designer Flawlessly Shapes 3d Printed Architecture With Gpu Computing, <https://3dprintingindustry.com/news/designer-flawlessly-shapes-3d-printed-architecture-with-gpu-computing-60741/>, 2 Ekim 2019.
- [73] Block, P., Rippmann, M. and Mele, T. V., (2017). "Autonomous Assembly: Designing for a New Era of Collective Construction", *Compressive Assemblies*, 87: 104–109.
- [74] 3D Printing Zoom, (2019), Swiss Researchers 3D Print Funicular Flooring Techniques To Cut Back Concrete Use, <https://3dprintingzoom.com/2019/02/05/3ders-org-swiss-researchers-3d-print-funicular-flooring-techniques-to-cut-back-concrete-use/>, 3 Ekim 2019.
- [75] Autodesk, (2018), Better Approaches to Building, <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Better-Approaches-Building-2018>, 4 Ekim 2019.
- [76] Dunn, N., (2014). *Architectural Modelmaking*, Second Edition, Laurence King Publishing Ltd, Londra.
- [77] Borson, B., (2016), A Case for Building Architectural Models," <https://www.lifeofanarchitect.com/a-case-for-building-architectural-models/>, 5 Ekim 2019.
- [78] I.materialise, (2019), Top 4 Benefits of 3D Printing Models for Architects, <https://i.materialise.com/blog/en/3d-printing-for-architects/>, 6 Ekim 2019.
- [79] Post-Conflict Recovery of Urban Cultural Heritage, (2018), 3D Modelling, <https://www.recover-urban-heritage.org/3d-modeling/>, 7 Ekim 2019.
- [80] New Skin Design, The Making Of A 3d Printed Scale Model Of The Roman Arch Of Cáparra, <http://www.newskindesign.com/3D-printed-scale-model-arch-of-caparra-EN.html>, 8 Ekim 2019.

- [81] Griffin, M., (2019), 3D Printed Molds – All You Need to Know to DIY, <https://all3dp.com/2/3d-printed-molds-all-you-need-to-know-to-diy/>, 8 Ekim 2019.
- [82] Hun, D. E., (2018), Buildings—3D printing molds, <https://www.ornl.gov/news/buildings-3d-printing-molds>, 8 Ekim 2019.
- [83] Alexandra, P., (2018), A Complex Metal Facade Made With 3D Printed Molds, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-facade-020620184/>, 8 Ekim 2019.
- [84] Material District, (2019), A Metal Façade From A 3D Printed Mould, <https://materialdistrict.com/article/metal-facade-3d-printed-mould/>, 8 Ekim 2019..
- [85] Villagrasa, S., Martí, N., Redondo, E. and Sánche, A., (2013). “Visualization Methods In Architecture Education Using 3D Virtual Models And Augmented Reality In Mobile And Social Networks”, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 3: 1337-1341.
- [86] Kristiánová, K., Joklová, V. and Mečiar, I., (2018). “Physical Models In Architectural Education And The Use Of New Technologies”, *Proceedings of ICERI2018 Conference*, 12-14 November, Seville, 2177-2183.
- [87] Neumüller, M., Reichinger, A., Rist, F. and Kern, C., (2016) 3D Research Challenges in Cultural Heritage II How to Manage Data and Knowledge Related to Interpretative Digital 3D Reconstructions of Cultural Heritage, Springer International Publishing AG, Switzerland.
- [88] D’Agnano, F., Balletti, C., Guerra, F. and Vernier, P., (2015). “Tooteko: A Case Study Of Augmented Reality For An Accessible Cultural Heritage”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 25-27 February 2015, Avila.
- [89] 3D Printer, (2012), Yale Students Recreate Rome In Gold, With 3D Printing, <https://www.3dprinter.net/yale-students-recreate-rome-in-gold-3d-printing>, 10 Ekim 2019.
- [90] I.materialise, (2012), 12 Yale Students Rebuild Ancient Rome In Gold For The Venice Biennale, <https://i.materialise.com/blog/en/12-yale-students-rebuild-ancient-rome-in-gold-for-the-venice-biennale/>, 10 Ekim 2019.
- [91] Baker, D., (2012), Yale School Of Architecture Professor And Students Reinvent Rome For Venice Biennale, <https://news.yale.edu/2012/07/16/yale-school-architecture-professor-and-students-reinvent-rome-venice-biennale>, 1 Temmuz 2019.
- [92] Jordahn, S., (2019), 3D-Printed Gaia House Is Made From Biodegradable Materials, <https://www.dezeen.com/2019/02/27/gaia-wasp-3d-printed-house-biodegradable-video/>, 1 Temmuz 2019.
- [93] Mairs, J., (2016) “Robotically fabricated carbon-fibre pavilion opens at the V&A, <https://www.dezeen.com/2016/05/18/robotically-fabricated-carbon-fibre-pavilion-opens-va-museum-london-university-of-stuttgart-achim-menges/>, 15 Eylül 2019.

- [94] Klingelfuss, J., (2016), Robotics And Nature Entwine In The V&A's Beetle-Inspired Pavilion, <https://www.wallpaper.com/architecture/victoria-and-albert-museum-unveils-elytra-filament-pavilion-constructed-by-robots>, 10 Ekim 2019.
- [95] Menges, A., (2016), Elytra Filament Pavilion, Victoria and Albert Museum, <https://icd.uni-stuttgart.de/?p=16443>, 7 Kasım 2019.
- [96] Yalcinkaya, G., (2018), World's First 3D-Printed Steel Bridge Unveiled At Dutch Design Week, <https://www.dezeen.com/2018/10/22/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-completed-mx3d-technology/>, 11 Ekim 2019.
- [97] Vola, M., (2018), Amsterdam's Robot Printed Footbridge Welds Steelwork With State Of The Art Technology, <https://www.arup.com/projects/mx3d-bridge#mainContact>, 11 Ekim 2019.
- [98] Baldwin, E., (2018), World's First 3D-Printed Steel Bridge Takes Center Stage at Dutch Design Week, <https://www.archdaily.com/904529/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-takes-center-stage-at-dutch-design-week>, 11 Ekim 2019.
- [99] Walsh, N. P., (2019), World's Largest 3D-Printed Concrete Pedestrian Bridge Completed in China, <https://www.archdaily.com/909534/worlds-largest-3d-printed-concrete-pedestrian-bridge-completed-in-china>, 12 Ekim 2019.
- [100] Facadium, (2017), Hollanda'lı Şirket Aectual, 3D Baskı İle Havalimanı Zeminini Kaplıyor, <http://blog.facadium.com.tr/hollandali-sirket-aectual-3d-baski-ile-havalimani-zeminini-kapliyor/>, 13 Ekim 2019.
- [101] Ahmed, R., (2017), Dutch Company Aectual 3D Prints Floor For Amsterdam Schiphol Airport, <https://3dprinting.com/news/dutch-company-aectual-3d-print-floor-amsterdam-schiphol-airport/>, 13 Ekim 2019.
- [102] Petch, M., (2017), Aectual 3d Printing A Floor For Amsterdam's Schiphol Airport, <https://3dprintingindustry.com/news/aectual-3d-printing-floor-amsterdams-schiphol-airport-123112/>, 13 Ekim 2019.
- [103] Jackson, B., (2018), Milan Design Week Opens With The Most Beautiful 3d Printed House Yet, <https://3dprintingindustry.com/news/milan-design-week-opens-beautiful-3d-printed-house-yet-132374/>, 14 Ekim 2019.
- [104] Locatelli Partners, (2018), 3-D Housing 05, <https://www.locatellipartners.com/architecture/3-d-housing-05/>, 15 Ekim 2019.
- [105] 3D Printing Progress, (2018), 3D Printed House Points The Way To Sustainable Construction Industry, <https://www.3dprintingprogress.com/articles/14120/3d-printed-house-points-the-way-to-sustainable-construction-industry>, 15 Ekim 2019.
- [106] Ro, L., (2018), This 3D-Printed Concrete House Is Surprisingly Stylish And Sustainable, <https://www.curbed.com/2018/4/17/17248300/3d-housing-05-milan-salone-del-mobile>, 15 Ekim 2019.

- [107] Augur, H., (2016), This On-Site 3D Printed House Took Only 45 Days, <https://all3dp.com/21776-2/>, 16 Ekim 2019.
- [108] Structural Engineers, (2017), This Two-Story 3D-Printed Villa Was Constructed In Just 45 Days, <https://www.thestructuralengineer.info/news-center/news/item/577-this-two-story-3d-printed-villa-was-constructed-in-just-45-days>, 16 Ekim 2019.
- [109] Scott, C., (2016) "Chinese Construction Company 3D Prints an Entire Two-Story House On-Site in 45 Days, <https://3dprint.com/138664/huashang-tengda-3d-print-house/>, 16 Ekim 2019.
- [110] 3ders, (2016), "Exquisite 400 M2 Villa 3D Printed On-Site In Beijing In Just 45 Days, <https://www.3ders.org/articles/20160614-exquisite-400-m2-villa-3d-printed-on-site-in-beijing-in-just-45-days.html>, 16 Ekim 2019.
- [111] Hansmeyer, M., (2013), Digital Grotesque I, <http://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-i>, 17 Ekim 2019.
- [112] Saunders, S., (2018), New York Architecture Firm Uses 3D Printing to Create Beautiful Concrete Molds for Building Restoration, <https://3dprint.com/214974/edg-3d-printed-concrete-molds/>, 2 Temmuz 2019
- [113] Saunders, S., (2018), Massivit 1800 3D Printer Used to Help Restore Balcony Capitals for Spada Palace in Italy, <https://3dprint.com/226121/massivit-1800-restore-spada-palace/>, 2 Temmuz 2019
- [114] Iftikhar, U., (2018), Sismaitalia And Massivit 1800 3d Printer Restore Italian Palace, <https://3dprintingindustry.com/news/sismaitalia-and-massivit-1800-3d-printer-restore-italian-palace-140810/>, 2 Temmuz 2019
- [115] 3D Systems, (2018), Great Pagoda, Kew, Returns to 18th Century Glory with Help from 3D Systems," <https://www.3dsystems.com/customer-stories/great-pagoda-kew-returns-18th-century-glory-help-3d-systems>, 10 Ekim 2019
- [116] Austin-Smith:Lord, Great Pagoda Kew Gardens, https://www.austinsmithlord.com/315071_n12/, 10 Ekim 2019
- [117] Michelle, S., (2018), Dragons Brought Back To Life Thanks To 3D Technologies, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-dragon240720184/>, 10 Ekim 2019
- [118] Walsh, N. P., (2019), 3F Studio designs a 3D Printed Façade for Munich's Deutsches Museum, <https://www.archdaily.com/912560/david-wolfertstetter-and-tum-design-a-3d-printed-facade-for-munichs-deutsches-museum>, 11 Ekim 2019
- [119] Vialva, T., (2019), 3f Studio Undergoes Testing Of 3D Printed Façade For Munich's Deutsches Museum, <https://3dprintingindustry.com/news/tum-undergoes-testing-of-3d-printed-facade-for-munichs-deutsches-museum-150400/>, 11 Ekim 2019

- [120] Blahut, C., (2016), 3D-Printed Replicas of Palmyra Arch to be Installed in New York and London, https://www.architectmagazine.com/design/culture/3d-printed-replicas-of-palmyra-arch-to-be-installed-in-new-york-and-london_o, 12 Ekim 2019
- [121] Saunders, S, (2017), 3D Printing to Preserve Heritage: Replica of Palmyra Arch Draws Millions of Visitors at Fourth Installation Stop in Arona, Italy, <https://3dprint.com/179081/palmyra-arch-in-italy/>, 12 Ekim 2019
- [122] 3ders, (2016), 3D Printed Replica Of The Ancient Palmyra Arch Destroyed By ISIS Now On Display İn NYC, <https://www.3ders.org/articles/20160921-3d-printed-replica-of-the-ancient-palmyra-arch-destroyed-by-isis-now-on-display-in-nyc.html>, 12 Ekim 2019.
- [123] Xinhuanet, (2019), Italian Artists Present Ancient Syrian Temple Ceiling Replica To Syria, http://www.xinhuanet.com/english/2019-04/23/c_138002190.htm, 13 Ekim 2019.
- [124] Patin, C. A., (2019), Temple of Bel Ceiling 3D Replica, <https://hiddeninthecrag.com/2019/04/27/temple-of-bel-ceiling-3d-replica/> 13 Ekim 2019.
- [125] ICCROM, (2017), Palmyra Sculptures Restored In Italy Now Returned To Syria, <https://www.iccrom.org/press-release/palmyra-sculptures-restored-italy-now-returned-syria>, 14 Ekim 2019
- [126] Archaeology and Arts, (2017), Ancient Busts Rescued From Palmyra Will Return To Syria <https://www.archaeology.wiki/blog/2017/02/22/ancient-busts-rescued-palmyra-will-return-syria/> 14 Ekim 2019
- [127] Zakar L. ve Eyüpgiller, K. K., (2015). Mimari Restorasyon Koruma Teknik Ve Yöntemleri; Ömür Matbaacılık A.Ş., İstanbul
- [128] Hasol, D., (2012). Koruma, Ansilopedik Mimarlık Sözlüğü, YEM Yayın, İstanbul.
- [129] Ahunbay, Z., (2019). Kültür Mirasını Koruma İlke ve Teknikleri, Birinci Baskı, YEM Yayın, İstanbul.
- [130] Binan, C. Ş., (1999). Mimari Koruma Alanında Venedik Tüzüğü'nden Günümüze Düşünsel Gelişmenin Uluslararası Evrim Süreci, Yıldız Teknik Ünivesitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- [131] ICOMOS, Venedik Tüzüğü, <http://www.icomos.org.tr/?Sayfa=Digeruluslararasıbildirgeler&dil=tr>, 15 Ekim 2019
- [132] ICOMOS, ICOMOS Tüzükleri <http://www.icomos.org.tr/?Sayfa=Icomostuzukleri&dil=tr>, 15 Ekim 2019

ALFABETİK SIRAYA GÖRE KAYNAKÇA

- 3D Printer, (2012), Yale Students Recreate Rome In Gold, With 3D Printing, <https://www.3dprinter.net/yale-students-recreate-rome-in-gold-3d-printing>, 10 Ekim 2019.
- 3D Printing Media Network, (2017), CSM Bakery Solutions and 3D Systems Partner to Bring 3D Printing to the Food Industry, <https://www.3dprintingmedia.network/csm-bakery-solutions-3d-systems-partner-bring-3d-printing-food-industry>, 3 Mart 2019.
- 3D Printing Progress, (2018), 3D Printed House Points The Way To Sustainable Construction Industry, <https://www.3dprintingprogress.com/articles/14120/3d-printed-house-points-the-way-to-sustainable-construction-industry>, 15 Ekim 2019.
- 3D Printing Today, (2019), Metal 3D Printing Materials Analysis – Everything You Need to Know” <https://www.3dprintingtoday.com/metal-3d-printing-materials-analysis-everything-you-need-to-know>, 5 Şubat 2019.
- 3D Printing Zoom, (2019), Swiss Researchers 3D Print Funicular Flooring Techniques To Cut Back Concrete Use, <https://3dprintingzoom.com/2019/02/05/3ders-org-swiss-researchers-3d-print-funicular-flooring-techniques-to-cut-back-concrete-use/>, 3 Ekim 2019.
- 3D Systems, (2018), Great Pagoda, Kew, Returns to 18th Century Glory with Help from 3D Systems,” <https://www.3dsystems.com/customer-stories/great-pagoda-kew-returns-18th-century-glory-help-3d-systems>, 10 Ekim 2019
- 3D Usher, Rapid Prototyping For Architecture Models, <https://3dusher.com/blog/rapid-prototyping-for-architecture-models>, 1 Ekim 2019
- 3ders, (2014), 3D Systems Acquires Belgian Metal 3D Printing Service Company Layerwise, <https://www.3ders.org/articles/20140903-3d-systems-acquires-belgian-metal-3d-printing-service-company-layerwise.html>,

- 3ders, (2016), "Exquisite 400 M2 Villa 3D Printed On-Site İn Beijing İn Just 45 Days, <https://www.3ders.org/articles/20160614-exquisite-400-m2-villa-3d-printed-on-site-in-beijing-in-just-45-days.html>, 16 Ekim 2019.
- 3ders, (2016), 3D Printed Replica Of The Ancient Palmyra Arch Destroyed By ISIS Now On Display İn NYC, <https://www.3ders.org/articles/20160921-3d-printed-replica-of-the-ancient-palmyra-arch-destroyed-by-isis-now-on-display-in-nyc.html>, 12 Ekim 2019.
- 3DPrint-NZ Digital Manufacturing, 3D Color Jet, <https://www.rapidsol.org/color.aspx>, 3 Kasım 2019.
- 3DPrint-NZ Digital Manufacturing, Scan Guidelines And Tips, <http://3dprint-nz.com/3d-printing/scan-guidelines-and-cheats/>, 3 Ekim 2019
- 3DSourced, PLA vs ABS: Which is Best for your 3D Printing Needs?, (2019), <https://3dsourced.com/editors-picks/pla-vs-abs-filament/>, 5 Kasım 2019.
- Additive Blog, (2017), FDM – Fused Deposition Modeling (or FFF, PJP, LPD), le: <https://www.additive.blog/knowledge-base/3d-printers/fdm-fused-deposition-modeling-fff-pjp-lpd/>, 3 Şubat 2019.
- Ahmed, R., (2017), Dutch Company Aectual 3D Prints Floor For Amsterdam Schiphol Airport, <https://3dprinting.com/news/dutch-company-aectual-3d-print-floor-amsterdam-schiphol-airport/>, 13 Ekim 2019.
- Ahunbay, Z., (2019). Kùltür Mirasını Koruma İlke ve Teknikleri, Birinci Baskı, YEM Yayın, İstanbul.
- Aldanmaz, E. A. ve Sever, R., (2017), Gıdaların Dizaynında 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisi Uygulamaları, <https://docplayer.biz.tr/44478680-Gidalarin-dizayninda-3-boyutlu-yazici-teknolojisi-uygulamalari.html>, 18 Şubat 2019.
- Alexandrea, P., (2018), A Complex Metal Facade Made With 3D Printed Molds, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-facade-020620184/>, 8 Ekim 2019.
- All3DP, (2016), The Official History of the RepRap Project, <https://all3dp.com/history-of-the-reprap-project/>, 10 Ocak 2019
- Anatol, L., (2019), 2019 Metal 3D Printer Guide – All About Metal 3D Printing, <https://all3dp.com/1/3d-metal-3d-printer-metal-3d-printing/>, 15 Şubat 2019.
- Antalya Gelisim, (2019), Modelleme, Filamentlerin Kullanım Amacı ve Araçları: Katmanlı Üretim ve Eriyik Yığıma, <https://www.antalyagelisim.com/bilim/filamentlerin-kullanim-amaci-ve-araclari-katmanli-uretim-ve-eriyik-yigma-modelleme/>, 10 Şubat 2019.
- Archaeology and Arts, (2017), Ancient Busts Rescued From Palmyra Will Return To Syria <https://www.archaeology.wiki/blog/2017/02/22/ancient-busts-rescued-palmyra-will-return-syria/> 14 Ekim 2019
- Arlı, B. Ve Demirbaş Y.K., (2015). Uygulamalarla 3 Boyutlu Yazıcı Yapımı ve Kullanımı, Dördüncü Baskı, Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri, İstanbul.

- Augur, H., (2016), This On-Site 3D Printed House Took Only 45 Days, <https://all3dp.com/21776-2/>, 16 Ekim 2019.
- Austin-Smith:Lord, Great Pagoda Kew Gardens, https://www.austinsmithlord.com/315071_n12/, 10 Ekim 2019
- Autodesk, (2018), Better Approaches to Building, <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Better-Approaches-Building-2018>, 4 Ekim 2019.
- Autodesk, (2019), What is BIM?, <https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>, 11 Ekim 2019.
- Baker, D., (2012), Yale School Of Architecture Professor And Students Reinvent Rome For Venice Biennale, <https://news.yale.edu/2012/07/16/yale-school-architecture-professor-and-students-reinvent-rome-venice-biennale>, 1 Temmuz 2019.
- Baldwin, E., (2018), World's First 3D-Printed Steel Bridge Takes Center Stage at Dutch Design Week, <https://www.archdaily.com/904529/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-takes-center-stage-at-dutch-design-week>, 11 Ekim 2019.
- Bernier, S. N., Luyt, B. and T. Reinhard, (2014). Design For 3D Printing, Maker Media, Canada.
- Binan, C. Ş., (1999). Mimari Koruma Alanında Venedik Tüzüğü'nden Günümüze Düşünsel Gelişmenin Uluslararası Evrim Süreci, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Blahut, C., (2016), 3D-Printed Replicas of Palmyra Arch to be Installed in New York and London, https://www.architectmagazine.com/design/culture/3d-printed-replicas-of-palmyra-arch-to-be-installed-in-new-york-and-london_o, 12 Ekim 2019
- Blit, P., (2013), First artificial trachea implants breathe life into tissue engineering, <https://www.signalsblog.ca/novel-biomaterial-devices-provide-a-breath-of-fresh-air>, 16 Şubat 2019.
- Block, P., Rippmann, M. and Mele, T. V., (2017). "Autonomous Assembly: Designing for a New Era of Collective Construction", Compressive Assemblies, 87: 104–109.
- Bobolink Creative Agency, (2019), Top 5 Graphic Design Trends For 2019, <https://bobolink.co/news/top-5-graphic-design-trends-for-2019>, 4 Şubat 2019.
- Borson, B., (2016), A Case for Building Architectural Models," <https://www.lifeofanarchitect.com/a-case-for-building-architectural-models/>, 5 Ekim 2019.
- Brewster, S., (2014), This Is What 3D Printed Wood Looks Like, <https://gigaom.com/2014/02/25/this-is-what-3d-printed-wood-looks-like/>, 24 Şubat 2019

- Busche, L., (2016), This Designer 3D Printed an Entire Fashion Collection from Home. And It's Absolutely Stunning, <https://creativemarket.com/blog/this-designer-3d-printed-an-entire-fashion-collection-from-home-and-its-absolutely-stunning>, 5 Mart 2019.
- Canessa, E., Fonda, C. And Zennaro, M., (2013). Low-Cost 3D Printing For Science, Education & Sustainable Development, First Edition, ICTP, Italy.
- Carlota, V., (2019), A Guide To 3D Printed Food – Revolution In The Kitchen?, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-food-a-new-revolution-in-cooking/>, 18 Şubat 2019.
- Cassaignau, A., (2015), MIT Introduces 3D Printing With Glass, <https://www.sculpteo.com/blog/2015/08/26/mit-introduces-3d-printing-with-glass/>, 23 Şubat 2019.
- Clarke, C., (2017), Frontline, U.S Army Explores 3D Printing On The Frontline; <https://3dprintingindustry.com/news/u-s-army-explores-3d-printing-frontline-119358/>, 27 Şubat 2019.
- Creaform3D, Handheld Optical Cmm 3d Scanner: Metrascan 3D, <https://www.creaform3d.com/en/optical-3d-scanner-metrascan>, 3 Ekim 2019.
- Çelik, D., (2015). Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi Ve Tersine Mühendislik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- D'Agnano, F., Balletti, C., Guerra, F. and Vernier, P., (2015). "Tooteko: A Case Study Of Augmented Reality For An Accessible Cultural Heritage", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 25-27 February 2015, Avila.
- Demilked, (2013), 3D-Printed Medical Cast With Ultrasound System Looks Great, Feels Fresh, And Heals The Bones Faster, <https://www.demilked.com/osteoid-3d-medical-ultrasound-cast-prototype-deniz-kararahin/>, 2 Mart 2019.
- Demiray, M. A., Şekerci, B., Saltık, O. ve Kayacan, M. C., (2018), "Eklemeli İmalat Yöntemlerinde Kullanılan Malzemeler", 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry 2018, 19-21 April 2018, Antalya, 274–287.
- Designboom, (2015), <https://www.designboom.com/design/olivier-van-herpt-3d-printed-ceramics-design-academy-eindhoven-eat-shit-milan-design-week-04-28-2015/>, 16 Şubat 2019.
- Designifying, 3D Designing Services, <http://designifying.com/service/3d-designing-services>, 5 Ekim 2019.
- DesignTech, Parametric Modelling, <https://www.designtechsys.com/articles/parametric-modelling>, 6 Ekim 2019.
- Donato, V., Giannetti, S. and Bocconcino, M. M., (2018). "H-BIM And Web-Database To Deal With The Loss Of Information Due To Catastrophic Events", eCAADe, vol. 1 : 119–128.

- Drew, P., (2014), Smart House, <https://www.digitaltrends.com/home/near-future-youll-able-3d-print-real-wooden-furniture-4-xyz/>, 25 Şubat 2019
- Dunn, N., (2014). Architectural Modelmaking, Second Edition, Laurence King Publishing Ltd, Londra.
- EMS, Types of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies, www.ems-usa.com, 3 Ekim 2019
- Facadium, (2017), Hollanda'lı Şirket Aectual, 3D Baskı İle Havalimanı Zeminini Kaplıyor, <http://blog.facadium.com.tr/hollandali-sirket-aectual-3d-baski-ile-havalimani-zeminini-kapliyor/>, 13 Ekim 2019.
- Francis B., (2017), 3D Skrivarteknik <http://teknikprojetet.se/?p=11120><http://sophiccapital.com/3d-printing-the-education-sector-is-on-the-cusp-of-adoption/><https://www.imagenesmy.com/imagenes/stratasys-fdm-impresion-en-tecnologia-b4.html>, 2 Şubat 2019.
- Gebhardt, A. and Fateri, M., (2014), "3D Printing And Its Applications", RTEjournal, 2.
- Gregurić, L., (2019), 10 Coolest 3D Printed Cars in 2019, <https://all3dp.com/2/coolest-3d-printed-cars/>, 4 Mart 2019.
- Griffin, M., (2019), 3D Printed Molds – All You Need to Know to DIY, <https://all3dp.com/2/3d-printed-molds-all-you-need-to-know-to-diy/>, 8 Ekim 2019.
- Gürbüz, A. A., (2014). Üç Boyutlu Animasyonların Hazırlık Aşamasında Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Avantajları, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- Hansmeyer, M., (2013), Digital Grotesque I, <http://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-i/>, 17 Ekim 2019.
- Hasol, D., (2012). Koruma, Ansilopedik Mimarlık Sözlüğü, YEM Yayın, İstanbul.
- Hay, Z., (2019), Dental 3D Printing – All You Need to Know in 2019, <https://all3dp.com/2/dental-3d-printing-all-you-need-to-know/>, 30 Şubat 2019.
- Heinrich, A., (2015), World's First Jet-Powered, 3D-Printed UAV Debuts At Dubai Airshow, <https://newatlas.com/worlds-largest-fastest-3d-printed-uav/40293/>, 28 Şubat 2019.
- Hitti, N., (2018), Bigrep Reveals 'World's First' Fully 3D-Printed Motorbike, <https://www.dezeen.com/2018/11/26/bigrep-3d-printed-motorbike-nera/>, 4 Mart 2019.
- Hun, D. E., (2018), Buildings—3D printing molds, <https://www.ornl.gov/news/buildings-3d-printing-molds>, 8 Ekim 2019.
- I.materialise, (2012), 12 Yale Students Rebuild Ancient Rome In Gold For The Venice Biennale, <https://i.materialise.com/blog/en/12-yale-students-rebuild-ancient-rome-in-gold-for-the-venice-biennale/>, 10 Ekim 2019.

- I.materialise, (2019), Top 4 Benefits of 3D Printing Models for Architects, <https://i.materialise.com/blog/en/3d-printing-for-architects/>, 6 Ekim 2019.
- ICCROM, (2017), Palmyra Sculptures Restored In Italy Now Returned To Syria, <https://www.iccrom.org/press-release/palmyra-sculptures-restored-italy-now-returned-syria>, 14 Ekim 2019
- ICOMOS, ICOMOS Tüzükleri <http://www.icomos.org.tr/?Sayfa=Icomostuzukleri&dil=tr>, 15 Ekim 2019
- ICOMOS, Venedik Tüzüğü, <http://www.icomos.org.tr/?Sayfa=Digeruluslararasıbildirgeler&dil=tr>, 15 Ekim 2019
- Iftikhar, U., (2018), Sismaitalia And Massivit 1800 3d Printer Restore Italian Palace, <https://3dprintingindustry.com/news/sismaitalia-and-massivit-1800-3d-printer-restore-italian-palace-140810/>, 2 Temmuz 2019
- Jackson, B., (2018), Milan Design Week Opens With The Most Beautiful 3d Printed House Yet, <https://3dprintingindustry.com/news/milan-design-week-opens-beautiful-3d-printed-house-yet-132374/>, 14 Ekim 2019.
- Jamie, D., (2018) The 11 Best 3D Printed House Companies – 3D Printing Entire Buildings, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184>, 7 Şubat 2019.
- Joel, C., 3D Printed Plastic Stained Glass Window, <https://www.3dprintersonlinestore.com/3d-printed-plastic-stained-glass-window>, 22 Şubat 2019.
- Jordahn, S., (2019), 3D-Printed Gaia House Is Made From Biodegradable Materials, <https://www.dezeen.com/2019/02/27/gaia-wasp-3d-printed-house-biodegradable-video/>, 1 Temmuz 2019.
- Kellner, T., (2018), Heart To Heart: Two Innovators Reveal What’s Next For 3D-Printing In Healthcare, <https://www.ge.com/reports/heart-heart-two-innovators-reveal-whats-next-3d-printing-healthcare/>, 1 Mart 2019.
- Kiraz, C., Sezer, H. K. ve Şahin, İ., (2018), “Kuyumculuk Sektöründe 3B Baskı Tasarım Özgürlüğünden Faydalanmaya İlişkin Bir Perspektif“, 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry 2018, 19-21April 2018, Antalya, 410–421.
- Klingelfuss, J., (2016), Robotics And Nature Entwine In The V&A’s Beetle-Inspired Pavilion, <https://www.wallpaper.com/architecture/victoria-and-albert-museum-unveils-elytra-filament-pavilion-constructed-by-robots>, 10 Ekim 2019.
- Kolbe, T. H., (2012) What is CityGML?, <http://web.archive.org/web/20150907200347/http://www.citygml.org/index.php?id=1533>, 9 Ekim 2019.

- Koray, Ö ve Burhan, D., (2017). "Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği", International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry, 1(1): 36-48
- Koslow, T., (2015), Designer Flawlessly Shapes 3d Printed Architecture With Gpu Computing, <https://3dprintingindustry.com/news/designer-flawlessly-shapes-3d-printed-architecture-with-gpu-computing-60741/>, 2 Ekim 2019.
- Kristiánová, K., Joklová, V. and Mečiar, I., (2018). "Physical Models In Architectural Education And The Use Of New Technologies", Proceedings of ICERI2018 Conference, 12-14 November, Seville, 2177-2183.
- Lim, H. W., Cassidy, T. and Cassidy, T. D., "Application Research Of 3D Printing Technology On Dress Forms," International Journal Of Engineering and Technology, 9 : 78-83.
- Lipson H. and Kurman, M., (2013)., Fabricated: The New World of 3D Printing, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Locatelli Partners, (2018), 3-D Housing 05, <https://www.locatellipartners.com/architecture/3-d-housing-05/>, 15 Ekim 2019.
- Lonjon, C., (2017), The History Of 3d Printer: From Rapid Prototyping To Additive Fabrication, <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>, 5 Ocak 2019.
- López, F. J., Leronés, P. M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J. and Zalama, E., (2018), "A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)", Multimodal Technologies and Interaction, 2: 1-29.
- Mairs, J., (2016) "Robotically fabricated carbon-fibre pavilion opens at the V&A, <https://www.dezeen.com/2016/05/18/robotically-fabricated-carbon-fibre-pavilion-opens-va-museum-london-university-of-stuttgart-achim-menges/>, 15 Eylül 2019.
- Marsh, D. A. J., Simple Parametric Modelling Experiment, (2019) <http://andrewmarsh.com/blog/2010/02/28/simple-parametric-modelling-experiment/>, 7 Ekim 2019.
- Material District, (2019), A Metal Façade From A 3D Printed Mould, <https://materialdistrict.com/article/metal-facade-3d-printed-mould/>, 8 Ekim 2019..
- McComas, R., (2019), Researchers Work On New High Resolution 3D Printing Process Called TCMIP SL For Dental Crowns, <https://www.cellular3d.com/index.php/dental-3d-printing/783-researchers-work-on-new-high-resolution-3d-printing-process-called-tcmip-sl-for-dental-crowns>, 16 Şubat 2019.
- Menges, A., (2016), Elytra Filament Pavilion, Victoria and Albert Museum, <https://icd.uni-stuttgart.de/?p=16443>, 7 Kasım 2019.

- Michelle, S., (2018), Dragons Brought Back To Life Thanks To 3D Technologies, <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-dragon240720184/>, 10 Ekim 2019
- Mitchell, R. L., (2014), This 3D Printer Uses Paper As The Ink, <https://www.computerworld.com/article/2472111/this-3d-printer-uses-paper-as-the-ink.html>, 20 Şubat 2019.
- Mohammed, S., (2018), Cesium's Participation in OGC Testbed 13 <https://cesium.com/blog/2018/02/06/citygml-testbed-13/>. 10 Ekim 2019
- My3DConcepts, First-3D-Printer-Invented-in-1986, <http://my3dconcepts.com/explore/history-of-3d-printing/>, 5 Ocak 2019.
- Neumüller, M., Reichinger, A., Rist, F. and Kern, C., (2016) 3D Research Challenges in Cultural Heritage II How to Manage Data and Knowledge Related to Interpretative Digital 3D Reconstructions of Cultural Heritage, Springer International Publishing AG, Switzerland.
- New Skin Design, The Making Of A 3d Printed Scale Model Of The Roman Arch Of Cáparra, <http://www.newskindesign.com/3D-printed-scale-model-arch-of-caparra-EN.html>, 8 Ekim 2019.
- Open Source Imaging, Structured-Light 3D Scanner, <https://www.opensourceimaging.org/project/structured-light-3d-scanner/>, 3 Ekim 2019.
- Patin, C. A., (2019), Temple of Bel Ceiling 3D Replica, <https://hiddeninthecrag.com/2019/04/27/temple-of-bel-ceiling-3d-replica/> 13 Ekim 2019.
- Petch, M., (2017), Aactual 3d Printing A Floor For Amsterdam's Schiphol Airport, <https://3dprintingindustry.com/news/aactual-3d-printing-floor-amsterdams-schiphol-airport-123112/>, 13 Ekim 2019.
- Petty, J., What is 3D Modeling & What's It Used For? <https://conceptartempire.com/what-is-3d-modeling/>, 1 Ekim 2019
- Popplewell, N., (2017), Reminiscing about RepRap: 10 years on <https://ultimaker.com/en/blog/52639-reminiscing-about-reprap-10-years-on>, 10 Ocak 2019
- Post-Conflict Recovery of Urban Cultural Heritage, (2018), 3D Modelling, <https://www.recover-urban-heritage.org/3d-modeling/>, 7 Ekim 2019.
- Ro, L., (2018), This 3D-Printed Concrete House Is Surprisingly Stylish And Sustainable, <https://www.curbed.com/2018/4/17/17248300/3d-housing-05-milan-salone-del-mobile>, 15 Ekim 2019.
- Saunders, S, (2017), 3D Printing to Preserve Heritage: Replica of Palmyra Arch Draws Millions of Visitors at Fourth Installation Stop in Arona, Italy, <https://3dprint.com/179081/palmyra-arch-in-italy/>, 12 Ekim 2019
- Saunders, S., (2018), New York Architecture Firm Uses 3D Printing to Create Beautiful Concrete Molds for Building Restoration, <https://3dprint.com/214974/edg-3d-printed-concrete-molds/>, 2 Temmuz 2019

- Saunders, S., (2018), Massivit 1800 3D Printer Used to Help Restore Balcony Capitals for Spada Palace in Italy, <https://3dprint.com/226121/massivit-1800-restore-spada-palace/>, 2 Temmuz 2019
- Schires, M., (2019), The Golden Age of 3D Printing: Innovations Changing the Industry, <https://www.archdaily.com/909306/the-golden-age-of-3d-printing-innovations-changing-the-industry>, 20 Şubat 2019.
- Scott, C., (2016) “Chinese Construction Company 3D Prints an Entire Two-Story House On-Site in 45 Days, <https://3dprint.com/138664/huashang-tengda-3d-print-house/>, 16 Ekim 2019.
- Staff, F., (2018), Eight-Axis Portable Coordinate Measuring System <https://www.foundrymag.com/new-products/eight-axis-portable-coordinate-measuring-system>, 3 Ekim 2019.
- Stokes, M. B., (2013). 3D Printing For Architects With MakerBot, First Edition, Packt Publishing Ltd, Birmingham.
- Structural Engineers, (2017), This Two-Story 3D-Printed Villa Was Constructed in Just 45 Days, <https://www.thestructuralengineer.info/news-center/news/item/577-this-two-story-3d-printed-villa-was-constructed-in-just-45-days>, 16 Ekim 2019.
- Swan, M., (2019), With Sustainability High On The Agenda For Designers, It Was Only A Matter Of Time Before A Seamless Alternative To Wood Was Created, <https://www.materialsource.co.uk/with-sustainability-high-on-the-agenda-for-designers-it-was-only-a-matter-of-time-before-a-seamless-alternative-to-wood-was-created/>, 4 Ağustos 2019
- Thewihsen, F., Karevska, S., Czok A., Pateman, C. and Krauss, D., (2016), If 3D Printing Has Changed The Industries of Tomorrow, How Can Your Organization Get Ready Today, [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-3d-printing-report/\\$FILE/ey-3d-printing-report.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-3d-printing-report/$FILE/ey-3d-printing-report.pdf), 25 Şubat 2019.
- Tooley, J., (2019), The Future of Printing in Schools, <https://blog.greenoffice.co.za/the-future-of-printing-in-schools>, 6 Kasım 2019.
- Vaswani, M., (2019), What Is 3D Printing And How Does It Work? <https://entrepreneurhandbook.co.uk/3d-printing-an-introduction/>, 4 Ocak 2019.
- Vialva, T., (2019), 3f Studio Undergoes Testing Of 3D Printed Façade For Munich’s Deutsches Museum, <https://3dprintingindustry.com/news/tum-undergoes-testing-of-3d-printed-facade-for-munichs-deutsches-museum-150400/>, 11 Ekim 2019
- Villagrasa, S., Martí, N., Redondo, E. and Sánche, A., (2013). “Visualization Methods In Architecture Education Using 3D Virtual Models And Augmented Reality In Mobile And Social Networks”, Procedia Social and Behavioral Sciences, 3: 1337-1341.
- Vola, M., (2018), Amsterdam’s Robot Printed Footbridge Welds Steelwork With State Of The Art Technology, <https://www.arup.com/projects/mx3d-bridge#mainContact>, 11 Ekim 2019.

- Walsh, N. P., (2019), 3F Studio designs a 3D Printed Façade for Munich's Deutsches Museum, <https://www.archdaily.com/912560/david-wolfertstetter-and-tum-design-a-3d-printed-facade-for-munichs-deutsches-museum>, 11 Ekim 2019
- Walsh, N. P., (2019), World's Largest 3D-Printed Concrete Pedestrian Bridge Completed in China, <https://www.archdaily.com/909534/worlds-largest-3d-printed-concrete-pedestrian-bridge-completed-in-china>, 12 Ekim 2019.
- Walyou, (2014), Mcor Isis Employs Layered Paper to Bring Color to 3D Printing, <https://walyou.com/mcor-isis-paper-3d-printer/>, 20 Şubat 2019
- Ward, A., (2015), Presenting the Form 1+ SLA 3D Printer, <https://www.rs-online.com/designspark/presenting-the-form-1-sla-3d-printer>, 2 Şubat 2019.
- Watkin, H., 20 Outstanding Pieces of 3D Printed Jewelry, <https://all3dp.com/3d-printed-jewelry/>, 7 Mart 2019.
- Welcomemat Services, (2018), The Evolution of Printing, <https://welcomematservices.com/the-evolution-of-printing/>, 1 Ocak 2019
- Xinhuanet, (2019), Italian Artists Present Ancient Syrian Temple Ceiling Replica To Syria, http://www.xinhuanet.com/english/2019-04/23/c_138002190.htm, 13 Ekim 2019.
- Yalcinkaya, G., (2018), World's First 3D-Printed Steel Bridge Unveiled At Dutch Design Week, <https://www.dezeen.com/2018/10/22/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-completed-mx3d-technology/>, 11 Ekim 2019.
- Yıldıran, M., (2017). Üç Boyutlu Yazıcılar ile Moda Ürünlerine Yönelik Yüzey Tasarımları, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Antalya.
- Zaiser, S., (2014) Long-Range Terrestrial 3D Laser Scanner, (2019), <https://www.ee.co.za/article/long-range-terrestrial-3d-laser-scanner.html>, 3 Ekim 2019.
- Zakar L. ve Eyüpgiller, K. K., (2015). Mimari Restorasyon Koruma Teknik Ve Yöntemleri; Ömür Matbaacılık A.Ş., İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur ÇİMEN
Doğum Tarihi ve Yeri : 04.07.1991 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : onurcimen91@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan | Okul/Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|--------|----------------------------------|-------------------------|----------------|
| Lisans | Mimarlık | YTÜ | 2015 |
| Lise | Fen Bilimleri/ Anadolu Lisesi | İstanbul Üsküdar Lisesi | 2009 |

YAYINLARI

Bildiri

1. Çimen, O. ve Binan, C. Ş., (2019). "Mimari Koruma ve Restorasyon Uygulamalarında 3b Baskı Sistemlerinin Kullanım Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma", 1. Mimarlık ve Şehircilik Sempozyumu, 28-29 Mart 2019, İstanbul, 234–235.

