

# Protetik Diş Hekimliğinde Üç Boyutlu Yazıcılar

## 3D Printing in Prosthetic Dentistry

**Buse ATAK AY**

<https://orcid.org/0000-0001-8179-0021>

**Şebnem Begum TÜRKER**

<https://orcid.org/0000-0003-2207-6535>

Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Anabilim Dalı, İstanbul

**Atıf/Citation:** Atak Ay, B., Türker, Ş.B., (2024). Protetik Diş Hekimliğinde Üç Boyutlu Yazıcılar. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2024; 45\_2, 113-119.

### ÖZ

3 boyutlu yazıcılar bilgisayar destekli programların kullanılmasıyla dijital olarak elde edilen modelleri plastik, metal gibi malzemeleri baskı esnasında eritip kullanarak 2 boyutlu bir düzlemde her bir katmanı üst üste gelecek şekilde ince tabakalar oluşturarak 3 boyutlu bir nesne meydana getiren yazıcılardır. İlk olarak 1980lerin başında kullanılmış, teknolojinin gelişmesi ile birlikte son on yılda kullanım alanları genişlemiş ve diş hekimliğinde klinik uygulamanın günlük bir parçası olmuştur. Bu derleme çalışmasının amacı 3 boyutlu yazıcıların protetik diş hekimliğindeki kullanım alanlarını açıklamaktır.

**Anahtar Kelimeler:** 3 Boyutlu, Yazıcı, Eklemeli üretim

### ABSTRACT

3D printers are printers that create a 3D object by creating thin layers on a 2D plane by using the models obtained digitally by the use of computer aided programs, by melting materials such as plastic and metal during printing. It was first used in the early 1980s, with the development of technology, its indications have expanded in the last decade and have become a daily part of clinical practice in dentistry. The purpose of this article is to explain the indications of 3D printers in prosthetic dentistry.

**Keywords:** 3 Dimensional, Printer, Additive manufacturing

Sorumlu yazar/Corresponding author\*: buseatakk@gmail.com

Başvuru Tarihi/Received Date: 18.05.2022

Kabul Tarihi/Accepted Date: 25.08.2023

## GİRİŞ

3 Boyutlu yazıcının ilk kullanımı 1970'li yıllara dayanmaktadır ancak katı bir maddenin ilk yazdırılma işlemi Hideo KODAMA tarafından 1872 yılında bildirilmiştir. Üç boyutlu yazıcının üretimi 3D Systems Corp.'un kurucusu Charles HULL tarafından 1984 yılında gerçekleştirilmiştir. O yıllarda üretilmiş üç boyutlu yazıcılar hem boyutsal anlamda çok büyüktüler hem de maliyetleri çok yüksekti bu sebeple genellikle prototip üretiminde kullanılmışlardır. Üç boyutlu yazıcılar 1995 yılında ticari kullanıma girmişlerdir. Yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten ilk üç boyutlu yazıcı 1996 yılında Z Corporation tarafından tasarlanmıştır. 21. yüzyılda teknolojinin gelişmesiyle üretim maliyetlerinin düşmesi nedeniyle yaygın kullanıma geçilmiş, 2007 yılında Regrap adıyla ilk açık kaynak kodlarına sahip yazıcılar piyasaya çıkmış, açık kodlar ile üç boyutlu yazıcılar gelişmeye başlamıştır. Object Geometries Şirketi 2008 yılında Connex500 modelini geliştirmiştir, bu model aynı anda farklı malzemeleri kullanarak ürün üretebilmektedir. Üç boyutlu yazıcılar başta sadece sanayi ağırlıklı kullanılmış olsa da 2009 yılından itibaren Makerbot ve 3D Systems şirketlerinin geliştirmiş olduğu Cubify gibi modellerle artık evlerde de kullanılmaya başlanmıştır.<sup>1,2</sup>

### 3 Boyutlu Yazdırma Teknolojisi

3 Boyutlu yazıcılarla üretim 4 aşamada tamamlanır; veri toplama, veri işleme, üretim ve üretim sonrası prosedürler. Veri toplama aşaması birçok teknoloji ile gerçekleştirilebilir. Temaslı ya da temassız şekilde gerçekleştirmek mümkündür. Bilgisayarlı tomografi (CT), koni ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve ağız dışı veya ağız içi tarama cihazları kullanılarak bu aşama gerçekleştirilebilir. Veri işleme aşaması sanal ortam sürecini tanımlar. CAD yazılımı kullanarak nesne tasarlanır. Bu tasarım 3 Boyutlu yazıcılar ile kullanılabilen STL(Standard Triangular Language) dosyası formatına çevrilir ve bilgisayar destekli üretim cihazlarına aktarılır. STL formatı yüzeyi matematiksel bir düzen içerisinde çok sayıda üçgene bölerek tasarımın yalnızca yüzey geometrisi ve hacim bilgisini saklar. Üçgen sayısının artması ile yüzey detayı da artar. Üretim aşamasında STL formatında aktarılan dosyayla dilimler halinde katman katman nesne üretilir. Üretim sonrası prosedürlerde ise üretici firmanın önerilerine göre nesnenin polimerizasyonu gibi işlemlerle üretim tamamlanır.<sup>3,4</sup>

Bilgisayar destekli tasarım ile hazırlanan nesnelere hızlıca 3 boyutlu yazıcılar ile üretilir. Geleneksel yöntemlerle üretim yapılırken gereksinim duyulan makina, donanım ve işçilik maliyetleri azalır. Karmaşık yüzey geometrisi olan nesnelere kolayca oluşturulabilir. Bu avantajlarının yanında son teknolojik gelişmeler ile birlikte malzeme seçenekleri artsa da geleneksel üretim

yöntemleri ile kıyaslandığında malzeme çeşitliliği daha azdır ve üretimlerde katmanlar çok küçük olsa da yüzey pürüzlülüğü sorunu olabilmektedir.<sup>5,6</sup>

### Dış Hekimliğinde Kullanılan 3 Boyutlu Yazıcıların Üretim Teknikleri

#### 1. Polimerizasyon

Sıvı monomer reçinenin ultraviyole ışın kullanarak katılaştırılması ile kontur ve katman oluşturmaya dayalı bir yöntemdir.<sup>7</sup>

##### 1.1. Stereolitografi tekniği (SLA)

Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan fotopolimer reçine tabakasının noktasal bir morötesi lazer ışını arayıcılığı ile belirli bölgelerinin kurlenmesi ilkesine dayanır. Bilgisayarla kontrol edilen tarama sistemi parça geometrisine göre lazer ışınına reçine tabakası üzerinde gezdirilerek ilk katmanı oluşturur. Platform katman aralığı kadar aşağı indirilir ve bir kanat yardımı ile bir kat sıvı fotopolimer ilk katmanın üzerine sıvanır. Kurlleme işlemi sırasıyla devam eder ve parça üretimi sağlanır. Katmanların üretimi bitince parça reçine havuzundan çıkarılır.<sup>8,9</sup>

Dış hekimliğinde stereolitografi tekniği; model, geçici kron ve köprü, seramik restorasyon, maksillofasiyal implant ve protez, total protez ve cerrahi plak üretiminde kullanılabilir.<sup>9</sup>

##### 1.2. Dijital ışık işleme (DLP-Digital Light Polymerisation)

Stereolitografi yöntemine çok benzer ancak stereolitografi yönteminde ışık kaynağı olarak lazer kullanırken dijital ışık işleme teknolojisinde ışık kaynağı olarak bir projektör kullanılır ve bu projektörden çıkan ışık dijital bir mikro ayna cihazıyla likit reçineye seçici olarak yansıtılır. Her bir ayna yazıcıdaki bir piksele karşılık gelmektedir. Ayna sayısı doğru orantılı olarak yazıcının çözünürlüğü artar. Üretilen nesnenin kesit görüntüsü ışığa duyarlı reçineye yansıtılır ve bir katmanın ışınlanması eş zamanlı olarak tek seferde gerçekleştirilir. Katmanın ışınlanması tamamlandığında üretim platformu yukarı doğru hareket eder ve bir sonraki katman için aynı işlem tekrarlanır. Üretilen bir katman tek bir ışınlama adımı ile oluşturulduğu için üretim süresi stereolitografiye göre oldukça kısadır.<sup>10</sup>

Dış hekimliğinde dijital ışık işleme tekniği; model, geçici kron ve köprü, seramik restorasyon, maksillofasiyal implant ve protez, total protez ve cerrahi plak üretiminde kullanılabilir.<sup>9</sup>

##### 1.3. Polimer Jet

Yazıcı kafadaki sıcaklıkla eritilmiş yapı materyalini püskürterek 3 boyutlu modeller oluşturan bir sistemdir. Polimer jet teknolojisinde oda sıcaklığında sıvı halde

bulunan fotopolimer reçine, her bir enjeksiyon kafası üzerindeki küçük çaplardaki çok sayıda uçlardan püskürtülerek ilk katman oluşturulur. Püskürtülen maddenin çıkışı sağlandığı anda morötesi lambalar aracılığı ile dondurularak soğuma ile katılaştırılır. Katman katman parça yapılandırılır. Enjeksiyon kafalarından yarısı, parçayı oluşturan malzemeyi püskürtürken diğer yarısı da destek malzemesini püskürtür. Üretimi biten parça tabladan mekanik yöntemlerle sökülür.

Diş hekimliğinde polimer jet tekniği model, geçici kron ve köprü, seramik restorasyon, maksillofasial implant ve protez, total protez ve cerrahi plak üretiminde kullanılabilir.<sup>9</sup>

## 2. Materyal Ekstrüzyonu (FDM-Fused Deposition Modeling)

Kullanılacak malzeme, 3 boyutlu yazıcıya bağlı bir makaradan, 3 boyutlu yazıcının içinde malzemeyi eriten ısıtmalı bir uca yönlendirilir. Ergime halindeyken, malzeme bilgisayardaki yazılım tarafından oluşturulan önceden belirlenmiş bir yol üzerinde sıkılabilir. Malzeme bu yolda nesnenin bir katmanı olarak ekstrüzyona girdiğinde, hemen soğutulur ve katlaşır, nesne üretilene kadar bir sonraki malzeme katmanı için temel oluşturur.<sup>11,12</sup>

Diş hekimliğinde materyal ekstrüzyonu tekniği; döküm öncesi mum örnek, anatomik model, kişisel kaşık ve yüz rekonstrüksiyonunda cerrahi model üretiminde kullanılabilir.<sup>9</sup>

## 3. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) ve Seçici Lazer Ergitme (SLE)

Katı obje oluşturmak için kullanılan toz halindeki materyal lazere aynalar aracılığıyla yönlendirilir. Lazer ışınının yüzeye çarpmasıyla oluşan ısı, tozu istenilen şekilde bir araya getirir ve CAD verilerinden 3 boyutlu parçalar oluşturulur. Lazer sinterleme ile karmaşık ve hassas yapılar oluşturulabilir. Detay derecesi lazerin duyarlılığı ve tozun inceliğine bağlıdır. Polimer veya seramik materyallerden üretim yapılacak ise SLS teknolojisinin kullanımı tercih edilirken metal materyalden üretim yapılacak ise SLE teknolojisi tercih edilir. SLS yönteminde lazer kaynağın ergimesi toz partiküllerinin birbiri ile bağını oluşturmaya yönelik iken, SLE'de tam ergime yapılarak saf metal elementler elde edilir. SLE ile elde edilen metal ürünlerde sinterleme işlemi sonrası oluşan ısıl gerilim ve poröziteler büzölmeye, mekanik direncin zayıflamasına, yüzey düzensizliklerine ve boyutsal değişikliklere neden olabilmektedir.<sup>13,14</sup>

Diş hekimliğinde SLE ve SLS teknolojileri; döküm öncesi mum örnek, dental implant, kron ve köprü alt yapıları, hareketli bölümlü protez iskelet üretimi için kullanılabilirler.<sup>9</sup>

## 4. Elektron ışınli eritme

Metal parçaların üretiminde kullanılan eklemeli üretim teknolojilerindedir. Metal tozu elektron demeti ile yüksek vakum altında katman katman eritilir ve yoğun bir bileşen oluşturulur. Volfram filamentinin ısıtılması ile elektron akımı oluşturulur ve elektron demeti manyetik alan kullanılarak yönlendirilir. Eritilecek her katman CAD modeliyle tanımlanan geometriyle eritilir. SLS ve SLE teknolojilerinin aksine parçalar tam yoğun, boşluksuz ve son derece güçlüdürler.<sup>13,14</sup>

Diş hekimliğinde elektron ışınli eritme teknolojisi; döküm öncesi mum örnek, dental implant, kron ve köprü alt yapıları, hareketli bölümlü protez iskelet üretimi için kullanılabilir.<sup>9</sup>

## 5. Malzeme Püskürtme

Bu yöntemde ilk katman oda sıcaklığında sıvı halde bulunan fotopolimer reçinenin her bir enjeksiyon kafası üzerindeki küçük çaplardaki çok sayıda uçlardan püskürtülmesi ile oluşturulur. Püskürtülen maddenin çıkışı sağlandığı anda morötesi lambalar aracılığı ile dondurulur, soğutulur katılaştırılır. Katman katman parça yapılandırılır. Bu yöntem farklı renk ve sertlikte malzemelerin kullanımına olanak tanır. Üretim tamamlandığında parça genellikle kolayca çıkarılır ve baskı tamamlanır. Püskürtülen madde olarak küçük mürekkep damlacıkları kullanılırsa tekniğe 'Mürekkep Baskı' adı verilmektedir.<sup>13,14</sup>

Diş hekimliğinde malzeme püskürtme tekniği; model, seramik alt yapı, geçici kron-köprü, cerrahi plak, apne apareyi üretiminde kullanılabilir.<sup>9</sup>

## 6. Bağlayıcı Püskürtme

Toz partiküllerin baskı kafasından katman katman püskürtülmesi ile nesne oluşur. Toz olarak genelde alçı kullanılır. Nesne üretildiğinde genelde çok kırılıgandır bu nedenle üretim sonrası işlemlere gereksinim duyulur.<sup>15,16</sup>

Diş hekimliğinde bağlayıcı püskürtme teknolojisi; model, cerrahi rehber plakları, uyku apne protezi, ortodontik braket rehber plakları üretiminde kullanılabilir.<sup>9</sup>

## 3 Boyutlu Yazıcıların Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları

Diş hekimliğinde 3 boyutlu yazıcılarla birçok alanda üretim yapılabilir.

### Cerrahi rehber plaklar

Cerrahi plaklar ameliyat alanının 3 boyutlu görüntüsünün bilgisayar ortamına iletilmesi ile birlikte implant cerrahisinde lokalizasyon belirlenmesinde hekim için büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Cerrahi rehber plaklar için hassas 3 boyutlu yazıcılar ile birlikte yüksek

çözünürlükteki malzemelerin kullanılması gerekmektedir.<sup>17,18</sup>

### Dental modeller

Ağız içi tarayıcıların kullanımına yönelik eğilimin artması ile birlikte, taranan çenenin fiziksel bir modelini oluşturmak için diş hekimliğinde 3 boyutlu baskıların kullanımı artmıştır. Günümüzde, bir ana modelin yazdırılması her zaman gerekli olmasa da, 3 boyutlu yazdırılmış ana model, restorasyonun son halini görmek için dijital olarak üretilmiş olsalar da kullanılabilirler. Hasta modeli verileri dijital olarak arşivlenebilir ve gerekli olduğu durumda yazdırılabilir.<sup>19</sup>

### Dijital Ortodonti

Ortodonti alanında, hasta verilerini kayıt altına almak için ağız içi veya laboratuvar optik taraması veya CBCT kullanılarak dijital bir iş akışına dayalı olarak tedavi planlanabilir ve kullanılacak apaneler 3 boyutlu oluşturulabilir. Invisalign (Santa Clara, CA, ABD) sistemi ile dişleri aylar / yıllar boyunca aşamalı olarak yeniden konumlandırarak plakların üretimi 3 boyutlu yazıcılar ile gerçekleştirilebilir. CAD yazılımları kullanılarak 3 boyutlu yazıcılarla braketlerin yerleşimi için sert ve esnek malzemelerle plakların üretimi gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda verilerin kaydedilmesi ile büyük ölçüde zaman kazanılır.<sup>20,21</sup>

### Dental implantlar

Üreticiler 3 boyutlu yazıcılardaki gelişmeler ile birlikte implantları oluşturmak için 3 boyutlu baskı teknolojisini kullanmaktadırlar. Karmaşık dental implantlarının üretilmesi için 3 boyutlu baskı iyi bir seçenektir.<sup>22,23</sup>

### Maksillofasiyal implantlar

Üç boyutlu baskı yöntemi ile maksillofasiyal implantlar titanyum veya polimerlerden üretilebilirler.<sup>24</sup>

## 3 Boyutlu Yazıcıların Protetik Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları

### 1. Total protezler

Mevcut yazıcıların sınırlı çözünürlüğü teknik kısıtlamaları ile birlikte, total protezlerin üretim yöntemlerinde engeller oluşturmuş olsa da son yıllarda gösterilen gelişmeler ile birlikte üretilebilmektedirler. 3 boyutlu yazıcılarda total protezin kaidesi ve dişler ayrı ayrı üretilip sonradan birleştirilmektedir. Total protezlerin 3 boyutlu yazıcılar ile üretilmesinin; seans sayısını azaltma, tedavi süresini kısaltma, polimerizasyon büzülmesinin önüne geçilmesi ve dijital olarak verilerin saklanabilmesi gibi avantajları vardır. Okluzal dikey boyutun dijital olarak kaydının zorluğu, üretim maliyetinin fazla olması da dezavantajları arasındadır.<sup>25</sup>

Inokoski ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada 10 hasta için konvansiyonel ve polijet tipi 3 boyutlu yazıcı kullanarak dijital yöntemle total protez üretmişlerdir. Dijital yöntem ile üretimde veriler CBCT kullanılarak elde edilmiş, CAD yazılımı ile total protez tasarlanıp polimer jet teknolojisi ile üretilmiştir. Her iki yöntemle üretilen total protezlerin estetiği, protez stabilitesi hastalar tarafından eşit bulunsun da hasta başındaki vakti azaltması, uygulama kolaylığı açısından 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen total protezler hekimler tarafından daha avantajlı bulunmuştur.<sup>26</sup>

Katheng ve arkadaşları 2020 yılında yaptıkları çalışmada SLA tipi 3 boyutlu yazıcılar ile üretilip farklı sıcaklık ve sürelerde polimerize edilen total protezlerin boyutsal değişimlerini araştırmışlardır. Total protezlerin üretiminde metilmetakrilat içeren rezin fotopolimer kullanılmıştır. Protezler 3 boyutlu yazıcı ile üretim sonrası 15 dakika izopropanol alkolde bekletilip dezenfekte edilmişlerdir. Postpolimerizasyonları 15. ve 30. dakikada 40°C, 60°C ve 80°C olmak üzere 6 gruba ayrılarak gerçekleştirilmiştir. En az boyutsal değişim 15. dakika ve 40°C'de polimerize olan grupta, en fazla boyutsal değişim 30. dakika ve 80°C'de polimerize olan grupta gözlenmiştir. Protezlerin doku yüzeyleri ile olan uyumlarına bakıldığında en az değişim 30. dakika ve 40°C'de polimerize olan grupta gözlenir iken en fazla değişim 30. dakika ve 80°C'de polimerize olan grupta gözlenmiştir.<sup>27</sup>

### 2. Maksillofasiyal protezler

Günümüzde maksillofasiyal protezler de 3 boyutlu yazıcılar ile üretilebilmektedir. 3 boyutlu yazdırma teknolojisinin gelişmesi ile birlikte karmaşık yapıdaki maksillofasiyal protezlerin üretimi kolaylaşmıştır. Konvansiyonel yöntemlerle maksillofasiyal protezlerin üretimi karmaşıktır ve çok seans gerektirir. Bu sebeple 3 boyutlu yazıcılar ile üretim hızlı bir şekilde tedavi olanağı sunduğundan iyi bir seçenek olmaktadır. Termoplastik malzemenin ergitilmesi yöntemi kullanılan materyal ekstrüzyonu teknolojisi ile sıklıkla bu alanda üretim yapılabilmektedir.<sup>28, 29</sup>

Nuseir ve arkadaşları 27 yaşında trafik kazası sonucu Le fort II kırığı bulunan, sol göz görüş kaybı ve tüm burun kaybı olan bir hastaya konvansiyonel ve dijital yöntem ile burun protezi üretmişlerdir. Hastaya nazal bölgedeki iyileşme sonrası konvansiyonel yöntemlerle burun protezi yapılmış; dijital üretim yöntemleri hakkında bilgi verilmiş ardından dijital yöntemlerle yeni bir protez daha yapılmıştır. Hastanın tomografisi alınmıştır ve veriler STL formatında depolanmıştır. Hastanın ten rengini kaydetmek için Spectromatch digital renk sistemi (Spectromatch Ltd., Bath, UK) kullanılmıştır. Zbrush yazılımı (ZBrush Software; Pixologic Inc., Los Angeles, CA) kullanılarak defekt bölgesine burun protezi tasarımı yapılmıştır. Burun protezinin üretimi silikon esaslı

materyaldan üç boyutlu yazıcı ile yapılmış ardından 15 dk boyunca polimerize edilmiştir. Dijital yöntemlerle üretilmiş burun protezinin estetiği ve uyumu oldukça başarılı bulunmuş ve konvansiyonel yöntem ile üretilen burun protezinden daha kısa sürede üretilmiştir.<sup>28</sup>

### 3. Kron kopingleri ve hareketli protez iskeletleri

Ağız içi optik tarayıcıların veya laboratuvar tarayıcılarının kullanılmasıyla, kesilmiş dişin ve diş arkının şeklinin modeli üretilebilir. geliştirmek mümkündür. Sabit ve hareketli protezlerde tasarım CAD yazılımları ile yapılabilir ve bu veriler ile köprü kron kopingleri ve hareketli protez iskeletleri yazdırılabilir. 3 boyutlu baskı ile metal yapıların oluşturulmasında üretim dolaylı olarak reçine bağlanma ya da doğrudan metal veya metal aşışmalarına baskı yapılarak sağlanabilir.<sup>30,31,32</sup>

Çetinkaya ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları çalışmada; selektif lazer ergitme sistemi olan LaserCusing® (Hofmann und Engel Produktentwicklung GmbH, Moritzburg, Almanya) tekniğinin konvansiyonel döküm tekniği ile hazırlanan CAD/CAM sistemlerin ve eski ile yeni teknolojinin kombinasyonu olan CAD/MAM yöntemi kullanılarak üretilen metal alt yapıların kenar uyumlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda; LaserCusing® tekniği ile hazırlanan metal alt yapıların kenar uyumları anlamlı ölçüde daha başarılı bulunmuştur. Elde edilen bu veriler ile CAD/CAM sistemlere yakın zamanda eklenen 3 boyutlu yazdırma sistemlerinin kayıp mum tekniğine iyi bir alternatif olabileceği, metal destekli sabit restorasyonların üretiminde zaman ve malzemedan kazanım sağladığı sonuçlarına varılmıştır.<sup>33</sup>

Tregerman ve arkadaşları 2018 yılında yaptıkları çalışmada konvansiyonel, konvansiyonel/dijital ve dijital üretim yöntemler ile ürettikleri hareketli bölümlü protez iskeletlerini karşılaştırmışlardır. Konvansiyonel yöntemde ölçü polivinilsiloksan ile alınmış ve kayıp mum tekniği ile hareketli bölümlü protez iskeleti üretilmiştir. Konvansiyonel/dijital yöntemde polivinilsiloksan ile ölçü alınmış alçı model oluşturulmuş, oluşturulan model dijital tarayıcı ile taranmış ve selektif lazer ergitme teknolojisi ile hareketli bölümlü protez iskeleti üretilmiştir. Dijital yöntemde ise ağız içi tarayıcı ile ölçü alınıp selektif lazer ergitme yöntemi kullanılarak hareketli bölümlü protez iskelet üretimi tamamlanmıştır. Dijital yöntem ile üretilen protezler hastalar tarafından en başarılı bulunurken, konvansiyonel/dijital yöntem ile üretilen protezler en başarısız bulunmuşlardır. Ölçü aşamasında ağız içi tarayıcı kullanılmasını ise daha konforlu bulmuşlardır.<sup>34</sup>

### KAYNAKLAR

1. Shellabear M, Lenz J, Junior V. E-manufacturing with Laser Sintering to Series Production and Beyond, In: Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering. 1st Ed., Lane, Almanya 2004, 435-444.
2. Alcisto J, Enriquez A, Garcia H, Steelman T, Silverman E, Valdovino P, Gigerenzer H, Foyos J, Ogren J, Dorey J, Karg K, McDonald T, Es-Said OS. Tensile Properties and Microstructures of Laser-Formed Ti-6Al-4V. J Mater Eng Perform 2011; 20(2): 203-212.

### 4. Geçici restorasyonlar

Daha çok rezin fotopolimerlerin kullanılabilirdiği SLA ve DLP teknolojileri kullanılarak geçici restorasyonların üretimi mümkündür. Geçici restorasyonların üretim sonrası temizlik ve post-polimerizasyon işlemine ihtiyacı olabilmektedir.<sup>35</sup>

Park ve arkadaşları 2020 yılında yaptıkları çalışmada 3 farklı 3 boyutlu yazıcı ile üretilen geçici restorasyonların bükülme dayanımlarını araştırmışlardır. İki dayanak içeren üç üyeli geçici protezler DLP, SLA VE FDM yazıcıları ile ve kontrol grubu olarak da konvansiyonel yöntem ile üretilmişlerdir. DLP ve SLA tipi yazıcıda materyal olarak polimetilmetakrilat kullanılırken FDM tipi yazıcıda polilaktik asit materyal olarak kullanılmıştır. Bükülme dayanımlarını universal test aygıtı ile belirlemişler ve verileri istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. DLP ve SLA grupları konvansiyonel gruba göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bükülme dayanımı göstermişlerdir. DLP ve SLA grupları ile üretilen restorasyonların bükülme dayanımları arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Geçici restorasyonlarda ezilme gözlenen tek grup FDM grubu olmuştur. Bu çalışmanın sonucuna göre DLP ve SLA tipi yazıcılar ile üretilen geçici restorasyonların kullanımının uygun olduğu görülmüştür.<sup>35</sup>

Bu alanlarla birlikte protetik diş hekimliğinde üç boyutlu yazıcılar kişisel kaşıklar, daylı modeller, okluzal splintler, silikon indeksler ve tek üye restorasyonlar (tek kuron, inlay, onlay, veneer gibi) yeni nesil kalıcı materyallerden üretilmektedir.<sup>9</sup>

### SONUÇ

3 Boyutlu görüntüleme, modelleme ve CAD teknolojileri, diş hekimliğinin tüm yönlerini büyük ölçüde etkilemektedir. 3 boyutlu baskı, karmaşık geometriyi tek aşamada, doğru bir şekilde üretmeyi sağlamaktadır. Ancak hastaların tüm gereksinimleri için tek bir teknoloji yeterli değildir.

Günümüzde 3 Boyutlu yazıcılar ekonomik açıdan daha uygun koşullar sunabilmek ile birlikte, çalıştırma maliyeti, malzeme, bakım ve üretim sonrası uygulanması gereken işlemler açısından kullanıcının bilgi ve becerisine gereksinim göstermektedir. Bu kaygılara karşın, 3 boyutlu baskı yöntemlerinin diş hekimliğinde giderek daha önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

3. Giannatsis J, Dedoussis V. Additive Fabrication Technologies Applied To Medicine And Health Care: A Review. *Int J Adv Manuf Technol* 2009; 40: 116-127.
4. Çelik İ, Karakoç F, Çakır MC, Duysak A. Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2013; 31: 53-69.
5. Kuzu Demir EB, Çaka C, Tuğtekin U, Demir K, İslamoğlu H, Kuzu A. Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı. *Türkiye'deki Uygulamalar Ege Eğitim Dergisi* 2016; (17)2: 481-503.
6. Lipson H, Kurman M. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. 1st Ed. Indianapolis, John Wiley & Sons 2013, 25-32
7. Webb PA. A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector. *J Med Eng Technol* 2000; 24: 149-153.
8. Reeves P. *Additive Manufacturing- A Supply Chain Wide Response to Economic Uncertainty and Environmental Sustainability*. 1st Ed. Derbyshire, Silversmiths 2009, 12-45.
9. Dawood A, Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015; 219: 521-29.
10. Groth C, Kravitz ND, Jones PE. Three-dimensional printing technology. *J Clin Orthod* 2014; 48: 475-485.
11. Van Nort R: The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012; 28: 3-12.
12. Gibson I, Rosen DW, Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. 1st. Ed. New York, Springer 2010, 63-103.
13. Singh V. Rapid prototyping, materials for RP and applications of RP. *Int J Eng Res Sci* 2013; 4: 473-480.
14. Fahad M, Dickens P, Gilbert M: Novel polymeric support materials for jetting based additive manufacturing processes. *Rapid Prototyp J* 2013; 19: 230-239.
15. Silva DN, Gerhardt OM, Meurer E, Meurer MI, Lopes SJV, Santa-Bárbara A. Dimensional error in selective laser sintering and 3D-printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction. *J Craniomaxillofac Surg* 2008; 36: 443- 449.
16. Marta RL, Mutlu Ö. Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polimers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. *J Prosthodont* 2018; 1-13.
17. Fortin T, Champlébois G, Lormée J, Coudert J. Precise dental implant placement using surgical guides in conjunction with medical imaging techniques. *J Oral Implantol* 2000; 264: 300-303.
18. Collier J, Richards R, Sauret-Jackson V, Dawood A, Grant W, Kirkpatrick N. Use of custom surgical stents for facial bone contouring-a new technique. *Br J Oral Max Surg* 2011;49-46.
19. Birnbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent* 2008; 29: 494-505.
20. Ciuffolo F, Epifania E, Duranti G. Rapid prototyping: a new method of preparing trays for indirect bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 75-77.
21. Tuncay O. *The Invisalign System*. 1st Ed. New Malden, Quintessence 2006, 55-69.
22. Chen J, Zhang Z, Chen X, Zhang C, Zhang G, Xu Z. Design and manufacture of customized dental implants by using reverse engineering and selective laser melting technology. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 1088-1095.
23. Xiong Y, Qian C, Sun J. Fabrication of porous titanium implants by three-dimensional printing and sintering at different temperatures. *Dent Mater J* 2012; 31: 815-820.
24. Parthasarathy J. 3D modelling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery. *Ann Maxillofac Surg* 2014; 4: 9-18.
25. Anadioti E, Musharbash L, Blatz MB, Papavasiliou G, Kamposiora P. 3D printed complete removable dental prostheses: a narrative review. *BMC Oral Health* 2020; 20(1): 1-9.
26. Inokoski M, Kanazawa M, Minakuchi S. Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. *Dent Mater J* 2012; 31: 40-46.
27. Katheng A, Kanazawa M, Iwaki M, Minakuchi S. Evaluation of dimensional accuracy and degree of polymerization of stereolithography photopolymer resin under different postpolymerization conditions: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 2021: 695-702.
28. Nuseir A, Hatamleh M, Alnazzawi A, Al-Rabab'ah M, Kamel B, Jaradat E. Direct 3D Printing of Flexible Nasal Prosthesis: Optimized Digital Workflow from Scan to Fit. *J Prosthodont* 2018; 18: 10-14.
29. Sabol JV, Grant GT, Liacouras P, Rouse S. Digital image capture and rapid prototyping of the maxillofacial defect. *J Prosthodont* 2011; 20: 310-314.
30. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent* 2013; 109: 121-128.
31. Kruth JP, Vandenbroucke B, Van Vaerenbergh J, Naert I. Digital manufacturing of biocompatible metal frameworks for complex dental prostheses by means of SLS/SLM. In: *Virtual Modelling and Rapid Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping Proc*. 2nd Ed. CRC Press, Portugal 2005, 139.
32. Papaspyridakos P, Gallucci GO, Chen CJ, Hanssen

- S, Naert I, Vandenberghe B. Digital versus conventional implant impressions for edentulous patients: accuracy outcomes. *Clin Oral Implants Res* 2016; 465-472.
33. Çetinkaya E. Laser Cusing, Hızlı Prototipleme ve Konvansiyonel Döküm Teknikleri ile Oluşturulan Metal Altyapıların Marjinal Uyumlarının İn-Vitro Olarak İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Programı, İstanbul, 2013, Doktora Tezi.
34. Tregerman I, Renne W, Kelly A, Wilson D. Evaluation of removable partial denture frameworks fabricated using 3 different techniques. *J Prosthet Dent* 2019; 122(4): 390-39.
35. Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY. Flexural Strength of 3D-Printing Resin Materials for Provisional Fixed Dental Prostheses. *Mater* 2020; 13: 18.