



**The Journal of Turkish Dental Research**  
**Türk Diş Hekimliği Araştırma Dergisi**

e-ISSN: 2822-4310, Cilt 2, Sayı 3, Eylül - Aralık 2023  
Volume , Number 3, September - December 2023

**Üç Boyutlu Baskı Yöntemi ile Üretilen Protez Kaide Materyallerinin  
Üretim Yöntemleri, Mekanik ve Fiziksel Özellikleri**

Manufacturing Methods, Mechanical and Physical Properties of  
Three-Dimensional Printed Denture Base Materials

Üç Boyutlu Üretilen Kaide Materyalleri

**Azzahraa AL-OMIRI<sup>1</sup>, Duygu SARAÇ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dt., Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi  
Samsun, Türkiye  
Alzahra\_ahmed@hotmail.com  
ORCID: 0009-0008-9742-9677

<sup>2</sup> Prof. Dr., Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi  
Samsun, Türkiye  
dsarac@omu.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-1076-9334

**Makale Bilgisi / Article Information**  
**Makale Türü / Article Types:** Derleme / Review  
**Geliş Tarihi / Received:** 11-08-2023  
**Kabul Tarihi / Accepted:** 27-11-2023

Yıl / Year: 2023 | Cilt – Volume: 2 | Sayı – Issue: 3 | Sayfa / Pages: 266-277

**Sorumlu Yazar / Corresponding Author:** Azzahraa AL-OMIRI

<https://doi.org/10.58711/turkishjdentres.vi.1341374>

## **Üç Boyutlu Baskı Yöntemi ile Üretilen Protez Kaide Materyallerinin Üretim Yöntemleri, Mekanik ve Fiziksel Özellikleri**

### **Manufacturing Methods, Mechanical and Physical Properties of Three-Dimensional Printed Denture Base Materials**

#### **ÖZET**

Teknolojinin ilerlemesi ile dijitalizasyon hayatımızın her alanında etkili olmaktadır. Diş hekimliğinde de diş ve çevre dokulara en yakın materyal ve yöntem arayışı devam etmekte ve buna bağlı olarak yeni materyallerin geliştirmesi ve kullanıma sunulması son yıllarda hızla artmaktadır. Üç boyutlu (3B) baskı yöntemi de zaman ve maliyet kazandırma potansiyeli açısından son yıllarda diş hekimliğinin birçok branşında kullanımı yaygınlaşan bir yöntemdir. Bu üretim prosedüründe bazı aşamaların kalkması daha yüksek hassasiyet ile karmaşık protez modellerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Özellikle Protetik Diş Tedavisi alanında cazip hale gelen bu yöntem ve kullanılan materyallerle ilgili yeterli bilgi bulunmamaktadır ve yaygın bir şekilde bilimsel çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Bu derlemede üç boyutlu baskı yöntemleri ve özellikle bu yöntemler ile hazırlanan hareketli protez kaide materyallerinin fiziksel ve mekanik özellikleri anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Üç boyutlu üretim, CAD-CAM, Hareketli protezler, Protez kaide materyali

#### **ABSTRACT**

With the advancement of technology, digitalization has affected every aspect of our lives. In dentistry, the search for materials and methods compatible with the teeth and the surrounding tissues is continuing. Accordingly, the development and the usage of the new materials has been increasing rapidly in the recent years. Recently, Three-dimensional (3D) printing manufacturing method has become widespread in many branches of dentistry due its time reduction and low cost potential. This method eliminates some steps in the production procedure while manufacturing complex prosthesis models with higher precision. As a result, there is not enough information about this method and the materials used, which has become especially attractive in the field of Prosthetic Dentistry, and scientific studies continue to be carried out widely. In this review, three-dimensional printing (3D) methods and especially the physical and mechanical properties of removable denture base materials prepared with these methods are explained.

**Keywords:** 3D printing, CAD-CAM, Removable dentures, denture base materials

## Giriş

Son yıllarda tüm sektörlerde olduğu gibi diş hekimliğinde de materyal ve yöntemle ilgili çok hızlı gelişen bir teknolojik ilerleme olmaktadır. Özellikle dijital teknolojide görülen hızlı değişim, üretim yöntemlerinde birçok yeniliği klinik kullanıma sunmaktadır ve klinik uygulamada tercih edilmektedir.<sup>1,2</sup> Yirminci yüzyılın başlarında William H. Taggart mücevher üretiminde kullanılan kayıp-mum boşluğuna döküm tekniğini kron-köprü üretimi için diş hekimliğine tanıtmıştır.<sup>1</sup> Bu teknik uzun yıllar diş hekimliğinde kullanılmış ve hala kullanılmaktadır.<sup>1</sup> Bilgisayar destekli tasarım / bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojisi 1960'lı yıllarda uçak ve otomotiv endüstride kullanılmaya başlamıştır.<sup>2</sup> Bu sanayi devrim ile birlikte 1970'lerde Dr. François Duret tarafından dental CAD/CAM cihazı geliştirilmiştir. Dr. Duret CAD/CAM kullanarak 1983'te ilk dental restorasyon üretimini yapmış ve aynı zamanda Sopha sistemini geliştirmiştir. Bu çalışmaların ışığında 1985'te Mormann ve Brandestini CEREC® sistemini geliştirmişlerdir.<sup>1,2</sup>

Geleneksel üretim yöntemi restorasyonun laboratuvar yapım aşamasında uzun süren çok aşamalı ve zahmetli bir prosedüre sahiptir. Laboratuvar aşamalarının fazla ve zor olması, teknisyene bağlı hataların fazla olması, üretim süresinin artması ve aynı zamanda maliyet artışına neden olmaktadır.<sup>2</sup> CAD/CAM yöntemlerinin kullanımı ile bu gibi problemlerin azaltılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve üretim süresinin azaltmasını mümkün kılmaktadır. Günümüzde CAD/CAM teknolojisi modern diş laboratuvarı ve girişimci diş hekimleri tarafından kabul gören bir teknoloji haline gelmiştir.<sup>2,4</sup>

CAD/CAM sistemleri üç başlık altında üretim yapmaktadır. Birincisi, verilerin intraoral veya ekstraoral olarak dijitalize edilmesi; İkinci aşama (CAD) dijitalize edilen verilerin bilgisayarda üç boyutlu olarak dizayn edilmesi ve üçüncü aşama (CAM) ise, hazırlanmış restorasyonun üretiminin gerçekleştirilmesidir.<sup>3,4</sup>

Diş hekimliğinde CAM teknolojisi iki ana başlıkta, "eksiltme" veya "ekleme" üretim teknikleri olarak sınıflandırılmaktadır. Oysa kısa bir süre önceye kadar, diş hekimliğinde CAM teknikleri eksiltme üretim tekniği ile eş anlamlı olarak kullanılmaktaydı.<sup>5</sup> Eksiltme teknolojisinde bir malzeme bloğunu istenen şekle ve geometriye ulaştırmak amacı ile kesici ve yontucu testereler, torna ve

freze cihazları içeren makineler kullanılmaktadır. Bu teknoloji, üretim süresinin kısılmasını ve karmaşık modellerin üretilmesini kolaylaştırmıştır. Bununla birlikte bu yöntemle seri üretimin yapılamaması, fazla malzemenin uzaklaştırılması ve israf edilen materyallerin artması gibi dezavantajlar ortaya çıkmıştır.<sup>4,5</sup>

Eklemeli üretim, Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (American Society for Testing and Materials; ASTM) tarafından eksiltmeli üretim yönteminin aksine, üç boyutlu model verilerinden nesnelere yapmak için katman katman materyalin birleştirme işlemi olarak tanımlanmaktadır.<sup>1</sup> Eklemeli üretimin ticari kullanımı ilk olarak 1987'de lazer kullanarak ince ultraviyole ışığa duyarlı sıvı polimer katmanlarını katılaştıran stereolitografi (SLA) cihazı ile yapılmıştır.<sup>6</sup> 1991'de birçok eklemeli üretim cihazları ve farklı üretim metotları kullanıma sunulmuştur.<sup>6</sup> Eklemeli üretim, 1992 yılında sadece sıvı rezinlerle kısıtlı kalmamış, metal tozlarını yüksek ısılı lazer ile bir araya getirerek Selektif lazer sinterleme (SLS) olarak isimlendirilen yöntemle metal obje üretiminde de kullanılmıştır.<sup>6</sup>

Üç boyutlu baskı ile üretim sağlık alanında da çok yaygın kullanılmakta ve otomobil ve tüketici elektronik sektörlerinin hemen arkasında yer almaktadır,<sup>7,8</sup> özellikle tıp ve diş hekimliği alanlarında üretim tekniklerine yenilikler getirmiştir. Bu yöntemin kullanılmasıyla toplam üretim süresinin önemli ölçüde azaldığı, geleneksel işlemlerin yapılması zor ve/veya imkânsız olan karmaşık modellerin kolaylıkla yapılabileceği görülmüştür.<sup>7</sup>

Bu derleme Diş Hekimliğinde yaygın olarak kullanılan üç boyutlu baskı yönteminin özellikle hareketli protez kaide materyali üretiminde görülen son gelişmeleri, farklı materyallerin ve üretim sistemlerinin karşılaştırıldığı çalışmaları ve elde edilen sonuçları içermektedir.

## Diş Hekimliğinde Kullanılan Üç Boyutlu Baskı Sistemleri

Üç boyutlu baskı (3B) terimi genellikle bir nesne oluşturmak için bir katmana birden çok katman ekleyen bir üretim yaklaşımını tanımlamak için kullanılır. Bu işlem daha doğru bir şekilde eklemeli üretim olarak tanımlanır ve aynı zamanda hızlı prototipleme olarak da adlandırılır.<sup>3,7,9</sup> Charles Hull 1986'da eklemeli üretim ilkesini tanıtmıştır. Hasta tedavilerinde üç boyutlu üretimi kullanarak ilk defa 1990'larda yapıldığını bildirilmiştir. Ancak dental uygulamalar için üç boyutlu baskı kulla-

nımı yeni sayılmaktadır.<sup>10,11,13</sup> 2000’li yılların başında üç boyutlu baskı ile üretim teknolojisi implantları ve kişiye özel protezleri yapmak için ilk kez diş hekimliğinde kullanılmıştır.<sup>12</sup>

Üç boyutlu baskının güncel diş hekimliğinde kullanıldığı alanlar içinde tanı modelleri, cerrahi apareyler, hareketli protezler, hareketli protezlerin metal kaideleri, geçici restorasyonlar, sabit protezler, restoratif diş hekimliği, ortodonti, implantoloji, eğitim amaçlı modeller ve el aletleri üretimi bulunmaktadır.<sup>11,13,17</sup> Bu üretim yöntemi daha hızlı, daha ucuz ve kişiye özel ürün üretiminin gereksinimini karşılayabilmesi ile diş hekimliğinde önem kazanmıştır.

Diş hekimliğinde eklemli üretimin oluşturduğu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:<sup>12,13,14</sup>

- Yüksek hız ve doğruluk.
  - Kişiye özel implant ve implant dayanağı üretimi.
  - Dijital hafızaya depolaması sayesinde, fiziksel modellerin elde edilme gereksiniminin önemli ölçüde azalması.
  - Uygun maliyet.
  - Pasif üretim şekli, özellikle aşınması zor materyallerin üretimi ve freze işleminde, metallerin yüzeyinde ve freze başlıklarında oluşan zararın daha az olması.
  - Düşük hammadde atığı.<sup>15</sup>
  - Eklemli üretim yapan bazı cihazlarda, birden fazla materyalin aynı anda üretilebilmesi.<sup>15</sup>
- Hala gelişmekte olan bir yöntem olması açısından, eklemli üretimin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:<sup>13,16,17</sup>

- Merdiven etkisi: Eklemli üretiminde katmanların üst üste üretilmesi ile birlikte üründe oluşan merdiven görüntüsüdür. Bunun çözümü ise katmanların en düşük tabaka kalınlığı ile yüksek çözünürlükte üretilmesidir. Fakat bu çözüm üretimin hızını doğrudan etkilememektedir.<sup>13</sup>
- Kolay erişim sonucunda hastaların ortodontik apareylerini kendilerinin ürettiklerini bildiren bazı vakalar olmuştur.<sup>17</sup>
- Büzülme etkisi: Özellikle zirkonya ve alümina üretiminde son üründe porözite oluşması ve ek işlem gerektirmesinden dolayı hacim büzülme oluşmasıdır.<sup>13</sup>
- Dijital ışık işleme (DLP) tekniklerinde yalnızca ışıkla sertleşen sıvı polimerler kullanılmaktadır. Üretimden

sonra destek malzemelerin manuel olarak çıkarılması ve düzeltilmesi gerekmektedir.<sup>17</sup>

•Rezin sıvılarının ciltte tahrişe ve temas veya solunma yoluyla sağlık problemlerine açabileceği bildirilmiştir.<sup>17</sup>

•Seçici lazer eritme (SLM) teknolojinin ekipmanları maliyetli ve yavaştır.<sup>16</sup>

Bu dezavantajlara rağmen eklemli üretim teknolojisi araştırılmakta ve mevcut teknolojinin ilerlemesi ile bu dezavantajlar ve limitasyonlar hızlı bir şekilde azalacaktır.<sup>13</sup> Eklemli üretimin yakın gelecekte sağlık hizmetlerinde ve özellikle diş hekimliğinde daha büyük yer tutacağı düşünülmektedir.<sup>17</sup>

Farklı çalışma prensiplerine göre üç boyutlu baskı teknolojileri üç kategoriye ayrılabilir: ışıkla kürleme (Light curing; LC), toz yataklı füzyon (Powder bed fusion; PBF), ve eriyik biriktirme ile modelleme (Fused deposition modeling; FDM).<sup>18</sup>

### ***Işıkla kürleme teknikleri (LC)***

•Stereolitografi (SLA): Diş hekimliğinde en eski ve en yaygın kullanılan üç boyutlu baskı yöntemidir. Tekniğin ilkesi ışığa duyarlı ultraviyole ışığa maruz kalan monomerin açığa çıkması, serbest monomerlerin katılması ve sınırlı hareketi nedeniyle lokal olarak polimerizasyon reaksiyonunu aktive etmesidir.<sup>5,14,16</sup>

•Dijital ışık işleme (Digital light processing; DLP): Sıvı rezin, bir projektör ışık kaynağı tarafından katman katman sertleştirilir. Nesne, kademeli olarak yükselen bir platform üzerinde baş aşağı inşa edilir.<sup>17,18,41</sup>

•Polijet 3B baskı (Poly-jet printing; PJP): Fotopolimer jet olarak ta bilinen bu yöntem kullanılacak materyali püskürtücü ile yüzey üzerinde damlatarak daha sonra nesneyi ultraviyole ışığı ile sertleştirme işlemidir. Bu yöntemin en büyük avantajı iki farklı malzeme birleştirerek üretim yapılabilir. Fakat yüksek maliyetinden dolayı diş hekimliği alanında kullanımı sınırlıdır.<sup>5,13</sup>

### ***Toz yataklı füzyon teknikleri (PBF)***

Bu teknolojinin altında bulunan tekniklerin temeli lazer ışığı kullanarak toz halindeki materyalleri yüksek ısı ile katman katman toz ekleyerek kaynaştırmasıdır.<sup>9,18</sup>

•Seçici lazer eritme (SLM): Bu teknikte metal tozları doğrudan erime noktasına ulaşır ve tozlar katmanlar şeklinde kaynaşarak nesneyi ortaya çıkarmaktadır.<sup>18</sup>

•Seçici lazer sinterleme (SLS) ve Doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS): Bu iki tekniğin SLM’den farkı,

materyalin erime noktasına ulaşmaması ve metal tozun kısmen erimesidir. Bu tekniğin yüksek maliyeti yanında gözenekli ve pürüzlü bir yüzey oluşturması dezavantajlarındandır. Bununla birlikte bu teknikle birçok alaşım (titanyum, titanyum alaşımları, kobalt krom, paslanmaz çelik) kullanılarak üretim yapılabilir. Ayrıca metal alaşım geri dönüştürülebilir ve ince detaylı nesnelere oluşturulabilir.<sup>19,18</sup>

•*Elektron Işını Erime (EBM)*: 2000 yıllarında Arcam tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Güçlü elektron ışını kullanarak metal tozu tamamen eritilir. SLM ve EBM teknolojilerinde metal tozu saflaştırılmış argon gazı içeren inert bir yapı içinde tamamen eritilir. Yüksek maliyetine rağmen bu teknoloji yüksek hız, ek ısı işlemi gerektirmemesi ve az gözenekli yapı oluşturması gibi önemli avantajlara sahiptir.<sup>9,14,19</sup>

### ***Birleşik depozisyon modelleme (FDM)***

Diş hekimliğinde en popüler ve ucuz 3B baskı teknolojilerinden biridir. Birleşik filament modellemesi olarak da adlandırılır. Termoplastik malzeme püskürtücü uç tarafından ısıtılır ve eritilir. Ürün materyalin katman katman birikmesiyle katılarak son haline gelir. Baskı kafası çoklu püskürtücü uçtan oluşur ve aynı anda farklı malzeme türlerinin üretimini sağlayabilir.<sup>17,18</sup>

### ***Tarama Cihazları***

Dijital ölçü, CAD/CAM teknolojisi ile restorasyonların üretiminde ilk prosedürdür. Dijital üretim akışında optik kameradan gelen bir lazer ışını ile anatomik yer işaretlerini kaydederek 3 boyutlu dijital model elde ettikten sonra üretim başlatılmaktadır.<sup>20</sup> Dijital ölçülerin doğruluk, tekrarlanabilirlik, daha kısa sürede uygun tedavi planları oluşturma yeteneği, veri ve dokümantasyonda kaydetme kolaylığı, malzeme israfını azaltması, zaman ve giderlerin azaltılması, hekim ve tekniker arasındaki iletişim kolaylığı gibi avantajları bulunmaktadır.<sup>21,22</sup>

Dijital ölçüler, direkt ağız içi tarayıcılar (Intra-oral scanners; IOSs) veya indirekt ağız dışı tarayıcılar (Extra-oral scanners; EOSs) olmak üzere iki farklı sistem ile elde edilebilir.<sup>21</sup>

Direkt ağız içi tarayıcılar ağız dokularını doğrudan tarayarak geleneksel ölçü alma ihtiyacını ortadan kaldırırken, hasta öğürme refleksi ve hoş olmayan tat rahatsızlığını azaltmaktadır. Ancak tükürük, kan ve nem kontaminasyonu ağız içi tarayıcı ölçülerin doğruluğunu

olumsuz yönde etkileyebilmektedir.<sup>21</sup>

Ağız dışı tarayıcıların kullanımında, konvansiyonel yöntem ile alınan ölçü veya döküm ile elde edilmiş ark modeli üzerinden tarama işlemi yapılmaktadır. Fakat bu yöntemin en önemli dezavantajı ise ölçünün boyutsal değişime uğraması halinde ölçü alma işleminin tekrarlanmasıdır.<sup>22</sup>

Son yıllarda ağız içi tarayıcıları kullanımı artmıştır.<sup>23,24</sup> Ağız içi tarayıcılar, özellikle tam dişsiz hastalarda kullanılabilir olması hareketli protez kullanan hastalar için büyük bir konfor sağlamaktadır.<sup>23</sup> Bu yöntem sayesinde hastalar, ölçü aşamasını kolaylıkla tamamlamaları, ek uyumlama gereksiniminin ve protez yapım aşamaların azalması ile birlikte hasta memnuniyeti artmaktadır.<sup>23,25</sup> Bu iki yöntemin doğruluk açısından karşılaştırıldığı çalışmaların bir bölümü ağız içi taramanın daha doğru sanal model üretebileceğini bildirirken, diğerleri laboratuvar model taramasının daha doğru olduğunu bildirmişlerdir.<sup>24-27</sup>

Ağız dışı tarama protokolü (laboratuvar optik tarayıcıları veya Cone Beam Computerized Tomography; CBCT görüntüleme) ile üretilen sanal modellerin kullanımında CBCT görüntülemeleri ile daha doğru ve tekrarlanabilir sanal dişsiz ark modelleri oluşturulduğu görülmüştür.<sup>28</sup> Braian ve Wennerberg, yaptıkları in vivo çalışmada dişsiz bir mandibula arkının 5 farklı ağız içi tarayıcı ile tarama sonucunda ağız içi tarayıcıların tam ark taramasında hassasiyetlerinin düşük olduğunu bildirmişlerdir.<sup>29</sup> Lee ve ark., ağız içi tarama sonuçlarının kesinliği, kullanılan ağız içi tarayıcı tipinden bağımsız olarak, kısmi dişsiz dişlerin tipine göre değiştiğini bildirmiştir. Ayrıca, ağız içi tarayıcılar tarafından elde edilen tam ark taraması verilerinin tekrarlanabilirliği, nispeten büyük dişsiz bölgelere sahip vakalarda azalmış olup yüzey sapmaları esas olarak taranan arkta kısmen dişsiz alanı içeren tarafta gözlemlenmiştir.<sup>30</sup> Schimmel ve ark. ise, yaptıkları in vitro çalışmada yeni nesil ağız içi tarayıcı kullanarak tam dişsiz ve kısmen dişsiz modellerde ağız içi taramanın doğruluğunun yüksek olduğunu ve hareketli protezlerin üretimi için uygun olduğunu bildirmişlerdir.<sup>31</sup> Zarone ve ark., tam dişsiz bir maksillanın intraoral tarayıcı kullanarak polisülfid ölçülerinin veya alçı modellerin bir laboratuvar tarayıcısı ile taramasından daha iyi doğruluk ve kesinlik sağladığını bildirmiştir.

Aynı zamanda referans modellere göre ağız dışı laboratuvar tarayıcıları ile ağız içi tarayıcılar arasında doğruluk ve kesinlik açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir.<sup>32</sup> Ağız içi ve ağız dışı tarayıcıların performansı birbirine yakın olsa da, tarama aşamasında bulunan ve bazen kontrol edilemeyen koşullar (sıcaklık, ışık ve nem) nedeniyle ağız dışı tarayıcıların daha doğru olduğu kabul edilmektedir ancak bunun doğruluğunun kabul edilmesi için daha fazla in vivo çalışmaların yapılması gerekliliği vurgulanmaktadır.<sup>21,29</sup>

### **Protetik Diş Tedavisinde Üç Boyutlu Baskı ile Üretilen Kaide Materyalleri ve Kimyasal Yapıları**

Günümüzde üç boyutlu üretim materyalleri yapılarında rezinler, kompozitler, metaller, seramikler ve biomateryalleri içermektedir. Üç boyutlu üretimde en sık kullanılan rezinler ise polimetilmetakrilat (PMMA), akrilonitril butadin stiren (ABS), polikarbonat (PC), polilaktik asit (PLA) ve polietermittir. (PEI).<sup>23</sup> Akrilik polimerleri içeren rezinler polimerizasyon yöntemlerine göre ısı ile polimerize, otopolimerize ve ışıkla polimerize (fotopolimerize) akrilik rezinler olarak üç kategori altında sınıflanmaktadır.<sup>33,34</sup>

PMMA esaslı rezinler özellikle ısı ile polimerize olan akrilik hareketli protezlerin kaide materyali olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.<sup>23,34</sup> Bu materyal üretim kolaylığı, düşük maliyet, hafiflik, biyouyumluluk, ağız ortamında stabilite ve kabul edilebilir estetik gibi kaide üretimi için gerekli birçok avantaja sahiptir.<sup>33</sup> Bununla birlikte, boyutsal değişiklik, eğilme ve kırılma mukavemeti dâhil olmak üzere yetersiz mekanik özellikler ve polimerizasyon sonrası büzülme gibi dezavantajları bulunmaktadır.<sup>33,35</sup>

Hareketli protez kaidelerinin üç boyutlu baskı yöntemi olarak DLP yöntemi tercih edilmektedir. Ayrıca akrilik oligomerler, akrilik monomerler, reaktif seyrelticiler ve foto başlatıcılar içerebilen, ışığa duyarlı mürekkeplerin formülasyonunun belirlenmesi çok önemli olduğunda ışıkla polimerize PMMA rezinlerin üç boyutlu üretiminde özellikle DLP tekniği kullanılmaktadır. Fakat ışıkla polimerize PMMA rezinlerin yüksek büzülme oranı ve ısı ile sertleşen PMMA göre zayıf mekanik özellikleri dezavantajlarıdır.<sup>36</sup>

Bisfenol A-glisidil metakrilat (Bis-GMA) ve uretan dimetakrilat (UDMA) ışıkla polimerize kompozit rezin-

lerin doğal biyouyumluluğu ve yüksek kullanılabilirliğe sahiptir. Poliüretanların diş hekimliğinde ve biyomedikal cihazlarda kullanımı yaygındır.<sup>36,38</sup> Fakat üç boyutlu baskı ile üretilen uretan akrilat (UA) esaslı fotopolimer rezinler ve polimer kompozitler hala araştırma aşamasındadır.<sup>36,37</sup> Tzeng ve ark., %40 alifatik uretan akrilatın DLP tekniği ile basılabilir protez kaide rezin materyali olarak kullanılabilirliği ve yüksek ticari potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir.<sup>36</sup> Ali ve ark., ısı ve ışıkla polimerize UDMA protez kaide materyali, ısıyla polimerize ve otopolimerize protez kaide polimerlerinden istatistiksel olarak daha yüksek yüzey sertliği ve bükülme dayanımına sahip olduklarını bildirmişlerdir.<sup>38</sup>

Hipoalerjenik protez kaide materyalleri, metil metakrilat monomer (MMA) kalıntıları tarafından indüklenen olumsuz reaksiyon riskini en aza indirmek için geleneksel PMMA'ya bir alternatif olmuştur. MMA yerine diüretan dimetakrilat, poliüretan, polietilentereftalat ve polibutilentereftalat gibi hipoaerjenik rezinler kullanılmıştır.<sup>39</sup> Böylece MMA içermeyen birçok ışıkla polimerize olan üç boyutlu baskı üretimine uygun rezinler piyasaya sürülmüştür.<sup>36,39</sup>

### **Üç Boyutlu Baskı ile Üretilen Hareketli Protez Kaide Materyallerinin Üretim Teknikleri**

Dijital ölçü ile üretilen kaide materyallerinin kullanıldığı farklı vaka raporlarında bu üretim yöntemi ile ilgili çeşitli avantajlar gösterilmiştir.<sup>31,40</sup> Bu avantajlardan hareketli protezlerin kaybı veya kırılması durumunda, tasarımın elektronik ortamda kayıt edilebilirliği sayesinde tekrar ölçü aşamalarına gerek kalmadan yeni protez üretimine kolaylık sağlamasıdır.<sup>32</sup> Bilgisayarla tasarlanmış hareketli protezler, geleneksel yaklaşımlarla karşılaştırıldığında daha hızlı ve ekonomiktir.<sup>40</sup> Takadan ve ark., protezlerin dijital verilerinin, mevcut protezlerin istenen özelliklerini korurken gerekli onarım ve değişikliklerin yapılmasına olanak tanıdığını belirtmişlerdir.<sup>40</sup>

Hareketli protezlerin dijitalizasyon aşamaları, laboratuvar tarayıcı ile geleneksel olarak alınan fonksiyonel ölçülerin veya alçı modellerin taranmasıyla başlamaktadır. Tarama işleminden sonra bilgisayarda kaidelerin ve dişlerin pozisyonlarının, hatta final ürünün tasarımı yapılır. Bilgisayarda tasarlanmış hareketli protez STL formuna getirilip üç boyutlu baskı cihazının yazılım programına gönderilir ve ardından üretim süreci başlar.<sup>41</sup>

Kamal Emera ve ark., dimetakrilat esaslı reçineler kullanılarak Masked stereolithography apparatus (MSLA) tekniği ile üretilen tam protezler, tatmin edici protez kaidesi adaptasyonu ve tutuculuğu ile geleneksel olarak üretilmiş tam protezlere bir alternatif olabileceğini açıklamıştır.<sup>42</sup> MSLA üretim tekniğinin SLA üç boyutlu baskının modifiye edilmiş halidir. MSLA yazıcıları tasarımı oluşturmak için bir LCD ekranla seçici olarak maskelenen daha büyük bir ultraviyole ışık kaynağı kullanılmaktadır. Stereolitografi yazıcılarında çözünürlük lazer ışınının çapına bağlıyken MSLA'da LCD ekranın çözünürlüğüne bağlıdır. Bu yeni teknoloji daha hızlı bir üretim sunmaktadır.<sup>42,43</sup>

Stereolitografi üç boyutlu yazıcı, ışığa duyarlı rezini polimerize etmek için ultraviyole lazer kullanarak katman katman polimerizasyon gerçekleştiren bir teknolojidir.<sup>16</sup> Lazer ışınının hareketinden kaynaklanan sertleşme oranı nedeniyle düşük bir üretim hızına sahiptir ve böylece üretim maliyeti artmaktadır.<sup>44</sup> Bu teknik metal kaidelerin üretiminde sıklıkla görülmektedir. You ve ark., yaptıkları bir çalışmada eksiltme, DLP ve SLA teknolojilerini kullanarak tam protezler için metal kaide üretmişler ve kaidelerin adaptasyonunun kullanılan teknikler arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğini ancak klinik olarak kabul edilebilir sınırlarda kaldığını ve tam protez metal kaide üretiminde SLA grubunun en yüksek hassasiyeti gösterdiğini bildirmişlerdir.<sup>45</sup>

Üç boyutlu DLP yazıcı, ışığa duyarlı rezini polimerize etmek için yüksek güçlü LED ışığı ve görüntüyü yansıtan aynaları kullanan bir teknolojidir. Mikro aynalar, görüntünün her bir pikselini yansıtır ve böylece üretim süresi en aza indirilir.<sup>44,45,46</sup> Hwang ve ark., DLP tekniği kullanarak üst çene tam protez kaideleri ile eksiltme ve presleme tekniği ile üretilen kaidelerle karşılaştırmışlar, doğruluk ve doku yüzeyi adaptasyonu açısından daha iyi performans gösterdiklerini bildirmişlerdir.<sup>47</sup> Yoon ve ark., DLP ve eksiltme yöntem ile yapılan tam protez kaidelerini incelemişler, üst ve alt çene için klinik olarak kabul edilebilir bir doku yüzeyi adaptasyonu gösterdiklerini bildirmişlerdir.<sup>48</sup> Tosun ve ark., DLP ve enjeksiyon metodu teknikleri kullanılarak üretilen maksiller protez kaidelerini karşılaştırmışlar, LCD ve kompresyon metodu tekniklerine göre DLP ile üretilen kaidelerin daha yüksek yüzey adaptasyonu gösterdiğini belirtmişlerdir.<sup>49</sup>

Stereolitografi ve DLP üretim tekniklerini karşılaştıran çalışmalar çoğunlukla çene-yüz protezleri alanında ya da dental modellerin üretimi ile ilgili çalışmalardır. You ve ark., yaptıkları çalışmada DLP, SLA ve eksiltme yöntemleri ile üretilen tam protezlerin metal kaidelerinin adaptasyonu araştırmışlar ve kullanılan teknikler arasında önemli ölçüde farklılık gösterse de klinik olarak izin verilen bir aralık içinde kalmıştır. Ayrıca, protez metal kaidelerinin üretiminde SLA grubu en yüksek hassasiyete sahip olduğunu bildirmiştir.<sup>45</sup> Unkovsky ve ark., fotopolimerize rezinleri kullanarak SLA ve DLP kullanılarak üretilen protez kaidelerinde yüzey doğruluğunu ve üretim açısının etkisini araştırmışlar ve SLA yöntemi ile DLP'den daha iyi doğrulukta bir protez iç yüzeyi üretildiği, protez kaidelerinin üç boyutlu baskısı için benzer hassasiyet gösterdiği ve 90°'lik yapı yönünün SLA ve DLP için en iyi doğruluğu sağlayabildiğini belirtmişlerdir.<sup>50</sup>

### **Üç Boyutlu Eklemeli Yöntem ve Geleneksel Yöntem ile Üretilen Hareketli Protez Kaidelerinin Farklı Özellikleri Açısından Karşılaştırılması**

#### **1. Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler**

Gad ve ark., üç boyutlu baskı yöntemi ile üretilen rezinin, ısıyla polimerize olan rezinden daha düşük bükülme dayanımına, darbe dayanımına ve sertlik değerlerine sahip olduğunu ancak üstün yüzey pürüzsüzlüğüne sahip olduğunu göstermiştir.<sup>51</sup> Prpic ve ark., eksiltme yöntemi ile üretilen kaidelerin, ısıyla polimerize olan ve üç boyutlu baskı yöntemi ile üretilen kaidelere göre daha yüksek bükülme dayanımı gösterdiğini, üç boyutlu baskı yöntemi ile üretilen kaidelerin en düşük bükülme dayanımına sahip olduğunu bildirmişlerdir.<sup>52</sup>

Isıyla polimerize edilmiş PMMA kaideleri ile eksiltme yöntemi ile üretilmiş protez kaidelerinin bükülme dayanımı açısından karşılaştırıldıkları çalışmalarda ısı ile polimerize olan kaidelerde daha düşük bükülme dayanımı değerleri elde edilmiştir.<sup>53,54</sup> Al-dwairi ve ark., üç boyutlu baskı yönteminde kullanılan protez kaide rezinlerinin mekanik özelliklerini ve ısıyla polimerize olan PMMA içerikli kaide materyali ile karşılaştırmışlar ve ısıyla polimerize olan akrilik rezinin daha yüksek bükülme dayanımı gösterdiğini bulmuştur.<sup>55</sup>

Fiore ve ark., eksiltme yöntemi, 3 boyutlu baskı ve ısı ile polimerize olan PMMA protez kaide rezinlerinin bü-

külme dayanımını ve yüzey özelliklerini karşılaştırmışlar, CAD grubunun diğer gruplardan anlamlı bir şekilde daha yüksek bükülme dayanımını gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca ısı ile polimerize olan ve 3 boyutlu baskı yöntemi ile üretilen PMMA kaide materyalleri benzer mekanik özellikler gösterirken, test edilen tüm PMMA içerikli kaide materyallerinin polisaj işleminden sonra benzer yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu belirtilmiştir.<sup>56</sup>

Gad ve ark., silikon dioksit nano parçacıkları ilave edilen üç boyutlu baskı yöntemi ile üretilen rezinin, nano parçacıkları ilave edilmeyen rezine göre bükülme dayanımının ve yüzey sertliğinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğünde önemli bir değişiklik göstermediği ve sonuç olarak nano parçacık ilavesinin mekanik özellikleri artırması açısından bir alternatif olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.<sup>57</sup> Diğer bir çalışmada, ZrO<sub>2</sub> nano parçacıkları iki farklı 3 boyutlu baskı yöntemi ile üretilen rezinlere dahil edilmiş ve ısı ile polimerize olan rezinlere göre bükülme dayanımı, elastik modülü, yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. ZrO<sub>2</sub> parçacıklarının eklenmesi ile elastik modülü ve yüzey sertliği artarken, yüzey pürüzlülüğünde de artış olduğu bildirilmiştir.<sup>58</sup>

## 2. Biyouyumluluk ve Toksisite

De Freitas ve ark., eksiltme yöntemi ve 3 boyutlu baskı yöntemi ile üretilen kaide materyallerini karşılaştırmışlar ve eksiltme yöntemi ile üretilen kaidelerin daha düşük *Candida albicans* biyofilm oluşumu ve daha yüksek bükülme dayanımı gösterdiği bulunmuştur.<sup>59</sup> Yapılan bir başka çalışmada ise, eksiltme ve 3 boyutlu baskı yöntemi ile üretilen rezinlerin biyouyumluluk ve yüzey pürüzlülüğü açısından benzer sonuçlar verdiği bildirilmiştir.<sup>60</sup> Shim ve ark, farklı baskı yöntemleri kullanarak üretilen rezinleri baskı doğruluğu, mekanik özellikleri, yüzey özellikleri ve mikrobiyal tutulumu açısından değerlendirmişler ve 0° yönü ile üretilen numunelerin en yüksek bükülme dayanımı ve daha düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçları verdiği ve 90° yönü ile üretilen örneklerin ise en düşük *Candida albicans* kolonizasyonuna izin verdiği belirtilmiştir.<sup>61</sup> Diğer bir çalışmada gümüş yükleme mezogözenekli silika nanopartiküllerinin üç boyutlu baskı rezinlerine ilave edilmesi, protez kaidelerinin uyumunu olumsuz yönde etkilemeden mekanik ve antimikrobiyal özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği ve bu 3 boyutlu

baskılı nanokompozit rezinlerin stomatiti sorunuyla ilişkili olan *Candida albicans*'a karşı önemli bir antimikrobiyal aktivite geliştirme potansiyeli göstermiştir.<sup>62</sup> Ayrıca, üç boyutlu baskı rezinleri ve geleneksel akrilik rezinlerin uzun süreli kullanımda benzer ve karşılaştırılabilir sitotoksik etkiye sahip olduğu bildirilmiş ve üç boyutlu baskı rezinlerin biyolojik olarak uyumlu ve uzun süreli ağız içi kullanım uygun olduğu bildirilmiştir.<sup>63</sup> Müller ve ark., biyouyumluluk açısından, insan epitel hücre ve gingival hücre büyümesi açısından eksiltme ve üç boyutlu baskı yöntemlerinde kullanılan rezinleri karşılaştırmışlar ve gruplar arasında fark bulmamışlardır.<sup>64</sup>

## 3. Renk Stabilitesi

Dimitova ve ark., farklı renklendirici materyallerin 3 boyutlu baskı ve ısı ile polimerize olan rezinlerin renk değişimine etkisini araştırmışlar ve çalışmalarının sonucunda üç boyutlu baskı rezininin, ısı ile polimerize olan rezine göre daha iyi renk stabilitesi gösterdiğini bildirmişlerdir. Kırmızı şarap ve kolanın en fazla pigment etkisine sahip olduğu ve en yüksek renk değişiminin 21'inci günde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.<sup>65</sup> Benzer bir çalışmada, üç boyutlu baskı yöntemi ile kullanılan rezinlerin renk farklılığına yaşlandırma, mekanik fırçalama ve renklendirmenin etkisi incelenmiş ve üç boyutlu baskı rezinin ısıyla polimerize olan PMMA rezine göre daha düşük renk farklılığı gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca çalışmada renklendirici sıvılar arasında en yüksek renk farklılık değerleri sırası ile limon suyunda ( $\Delta E = 1,93$ )> kola ( $\Delta E = 1,86$ )> kahve ( $\Delta E = 1,42$ ) şeklinde bulunmuştur. En az fark yapay tükürük ( $\Delta E = 1,24$ ) ile elde edilmiştir.<sup>66</sup>

Çakmak ve ark., mekanik fırçalama ve termal devirlendirme ile yaşlanmanın, üç boyutlu baskı rezinlerinin yüzey pürüzlülüğü ve renk stabilitesi üzerindeki etkisini araştırmışlar ve fırçalama ve termal devirlendirmenin renk stabilitesini etkilediği ve algılanabilir renk değişikliği olduğu ancak bu değişikliğin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu bildirilmiştir.<sup>67</sup>

Protez temizleyicilerinin farklı teknikler kullanılarak üretilen dört protez kaide rezinin renk stabilitesi üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışmada, protez temizleyici solüsyonlarda bekletildikten sonra tüm protez kaide rezinlerinde önemli bir renk değişikliği olduğu, ancak bütün grupların  $\Delta E_{00}$  değerinin klinik olarak kabul edi-



lebilir aralığın altında kaldığı belirtilmiştir.<sup>68</sup> Benzer olarak, Alqanas ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada da test edilen tüm protez temizleyicilerinin, ısı ile polimerize olan ve 3 boyutlu baskı ile üretilen rezinlerin yüzey sertliğinde, yüzey pürüzlülüğünde ve renk stabilitesinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.<sup>69</sup> Gurber ve arkadaşları ise eksiltmeli, üç boyutlu baskı ve geleneksel ısı ile polimerize olan rezinlerin renk stabiliteleri karşılaştırılmış ve üç boyutlu baskı ile üretilen rezinlerde daha düşük renk stabilitesi elde edilmiştir. Bu sonucun üç boyutlu baskı rezininde yüksek su emilimine bağlı olduğu ifade edilmiştir.<sup>70</sup> Benzer bir çalışmada da, üç boyutlu baskı rezini, konvansiyonel ve eksiltme yöntemi ile üretilen rezinlere oranla renk farklılığı ve yüzey pürüzlülüğündeki artışın daha yüksek olduğunu bildirilmiştir.<sup>71</sup>

### **Sonuç**

Üç boyutlu baskı yöntemi ile üretilen kaide materyalleri, kaide materyalinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin artırılması, üretim tekniklerinin ve iş akışlarını modernize edilmesi gibi önemli bir potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte her geçen gün yeni bir materyal ve üretim yönteminin kullanıma sunulması hala bu materyallerle ilgili araştırılması gereken farklı hususları ortaya koymaktadır. Geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede üretim yapılabilen, daha iyi estetik ve mekanik özelliklere sahip olduğu yapılan çalışmalarla bildirilen bu materyallerin geliştirilebilmesi açısından farklı özelliklerinin incelendiği ve farklı tekniklerin karşılaştırıldığı in vivo ve in vitro çalışmaların yapılması önemlidir.

### Kaynaklar

1. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dental materials*. 2012 Jan 1;28(1):3-12.
2. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dental clinics of North America*. 2011;55(3):559-ix.
3. Çelik G, Sarı T, Üşümez A. Bilgisayar destekli diş hekimliği ve güncel CAD/CAM sistemleri. *Cumhuriyet Dental Journal* 2013;16(1).
4. Gali S, Sirsi S. 3D Printing: the future technology in prosthodontics. *Journal of Dental and Orofacial Research*. 2015;11(1):37-40.
5. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry-State of the art. *Operative dentistry*. 2020;1;45(1):30-40.
6. Wohlers T, Gornet T. History of additive manufacturing. *Wohlers report*. Belgium. Wohlers Associates, INC. 2016:(1-38).
7. Liu Q, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *The international journal of advanced manufacturing technology*. 2006;29:317-35.
8. Touri M, Kabirian F, Saadati M, Ramakrishna S, Mozafari M. Additive manufacturing of biomaterials– the evolution of rapid prototyping. *Advanced Engineering Materials*. 2019;21(2):1800511.
9. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal* 2015;219(11):521–9.
10. Ramiro GP, Hassan B, Navarro AF, Coronel CA, Cortes ARG, Baptista OHP, et al. Digitalization in Restorative Dentistry. In: Tamimi F, Hirayama H, editors. *Digital Restorative Dentistry: A Guide to Materials, Equipment, and Clinical Procedures*. Switzerland: Springer International Publishing; 2019,7-39.
11. Dağ OD, Özdemir AK. *Protetik tedavide yeni nesil üretim teknikleri. Protetik Materyaller ve Güncel Uygulamaları*. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2020,1-9.
12. Lin L, Fang Y, Liao Y, Chen G, Gao C, Zhu P. 3D Printing and Digital Processing Techniques in Dentistry: A Review of Literature. *Advanced Engineering Materials*. 2019;21(6):1801013.
13. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont*. 2017;26(2):156-163.
14. Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2019;9(3):179-185.
15. Vaezi M, Chianrabutra S, Mellor B, Yang S. Multiple material additive manufacturing–Part 1: a review, this review paper covers a decade of research on multiple material additive manufacturing technologies which can produce complex geometry parts with different materials. *Virtual and Physical Prototyping*. 2013;8(1):19-50.
16. Zaharia C, Gabor A-G, Gavrilovici A, Stan AT, Idorasi L, Sinescu C, et al. Digital dentistry-3D printing applications. *Journal of Interdisciplinary Medicine*. 2017;2(1):50-3.
17. Bhargav A, Sanjairaj V, Rosa V, Feng LW, Fuh YH J. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2018;106(5):2058-64.
18. Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*. 2021:9950131.
19. Sames WJ, List F, Pannala S, Dehoff RR, Babu SS. The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing. *International materials reviews*. 2016;61(5):315-60.
20. Shimizu S, Shinya A, Kuroda S, Gomi H. The accuracy of the CAD system using intraoral and extraoral scanners for designing of fixed dental prostheses. *Dental materials journal*. 2017;36(4):402-7.
21. Ellakany P, Tantawi ME, Mahrous AA, Al-Harbi F. Evaluation of the accuracy of digital impressions obtained from intraoral and extraoral dental scanners with different CAD/CAM scanning technologies: an in vitro study. *Journal of Prosthodontics*. 2022;31(4):314-9.
22. Keul C, Güth J-F. Accuracy of full-arch digital impressions: an in vitro and in vivo comparison. *Clinical oral investigations*. 2020;24:735-45.
23. Dimitrova M, Corsalini M, Kazakova R, Vlahova A, Chuchulska B, Barile G, et al. Comparison between conventional PMMA and 3D printed resins for denture bases: A narrative review. *Journal of Composites Science*. 2022;6(3):87.
24. Lee JJ, Jeong ID, Park JY, Jeon JH, Kim JH, Kim WC. Accuracy of single abutment digital cast obtained using intraoral and cast scanners. *J Prosthet Dent*. 2017;117:253-9.
25. Güth JF, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D.

- Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clinical oral investigations*. 2013;17:1201-8.
26. Flügge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2013;144(3):471-8.
  27. Trifkovic B, Budak I, Todorovic A, Vukelic D, Lazic V, Puskar T. Comparative analysis on measuring performances of dental intraoral and extraoral optical 3D digitization systems. *Measurement*. 2014;47:45-53.
  28. Peng L, Chen L, Harris BT, Bhandari B, Morton D, Lin W-S. Accuracy and reproducibility of virtual edentulous casts created by laboratory impression scan protocols. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;120(3):389-95.
  29. Braian M, Wennerberg A. Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019;122(2):129-36-e2.
  30. Lee J-H, Yun J-H, Han J-S, Yeo I-SL, Yoon H-I. Repeatability of intraoral scanners for complete arch scan of partially edentulous dentitions: an in vitro study. *Journal of Clinical Medicine*. 2019;8(8):1187.
  31. Schimmel M, Akino N, Srinivasan M, Wittneben J-G, Yilmaz B, Abou-Ayash S. Accuracy of intraoral scanning in completely and partially edentulous maxillary and mandibular jaws: an in vitro analysis. *Clinical oral investigations*. 2021;25:1839-47.
  32. Zarone F, Ruggiero G, Ferrari M, Mangano F, Joda T, Sorrentino R. Accuracy of a chairside intraoral scanner compared with a laboratory scanner for the completely edentulous maxilla: An in vitro 3-dimensional comparative analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020;124(6):761-e1.
  33. Aati S, Akram Z, Shrestha B, Patel J, Shih B, Shearston K, et al. Effect of post-curing light exposure time on the physico-mechanical properties and cytotoxicity of 3D-printed denture base material. *Dental Materials*. 2022;38(1):57-67.
  34. Meng TR, Latta MA. Physical properties of four acrylic denture base resins. *J Contemp Dent Pract*. 2005;6(4):93-100.
  35. Falahchai M, Ghavami-Lahiji M, Rasaie V, Amin M, Neshandar Asli H. Comparison of mechanical properties, surface roughness, and color stability of 3D-printed and conventional heat-polymerizing denture base materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2023.
  36. Tzeng J-J, Yang T-S, Lee W-F, Chen H, Chang H-M. Mechanical Properties and Biocompatibility of Urethane Acrylate-Based 3D-Printed Denture Base Resin. *Polymers*. 2021;13(5):822.
  37. Karakurt I, Lin L. 3D printing technologies: techniques, materials, and post-processing. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 2020;28:134-43.
  38. Ali IL, Yunus N, Abu-Hassan MI. Hardness, flexural strength, and flexural modulus comparisons of three differently cured denture base systems. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*. 2008;17(7):545-9.
  39. Pfeiffer P, Rolleke C, Sherif L. Flexural strength and moduli of hypoallergenic denture base materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2005;93(4):372-7.
  40. Takeda Y, Lau J, Nouh H, Hirayama H. A 3D printing replication technique for fabricating digital dentures. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;124(3):251-6.
  41. Bilgin MS, Baytaroğlu EN, Erdem A, Dilber E. A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. *European journal of dentistry*. 2016;10(02):286-91.
  42. Emera RM, Shady M, Alnajih MA. Comparison of retention and denture base adaptation between conventional and 3D-printed complete dentures. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2022;16(3):179.
  43. Alfouzan AF, Alotiabi HM, Labban N, Al-Otaibi HN, Al Taweel SM, AlShehri HA. Effect of aging and mechanical brushing on surface roughness of 3D printed denture resins: A profilometer and scanning electron microscopy analysis. *Technology and Health Care*. 2022;30(1):161-73.
  44. Son K, Lee J-H, Lee K-B. Comparison of Intaglio Surface Trueness of Interim Dental Crowns Fabricated with SLA 3D Printing, DLP 3D Printing, and Milling Technologies. *Healthcare*. 2021; 9(8):983.
  45. You S-G, You S-M, Kang S-Y, Bae S-Y, Kim J-H. Evaluation of the adaptation of complete denture metal bases fabricated with dental CAD-CAM systems: An

- in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2021;125(3):479-85
46. Emir F, Ayyildiz S. Accuracy evaluation of complete-arch models manufactured by three different 3D printing technologies: A three-dimensional analysis. *Journal of prosthodontic research*. 2021;65(3):365-70.
47. Hwang H-J, Lee SJ, Park E-J, Yoon H-I. Assessment of the trueness and tissue surface adaptation of CAD-CAM maxillary denture bases manufactured using digital light processing. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019;121(1):110-7.
48. Yoon S-N, Oh KC, Lee SJ, Han J-S, Yoon H-I. Tissue surface adaptation of CAD-CAM maxillary and mandibular complete denture bases manufactured by digital light processing: A clinical study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;124(6):682-9.
49. Tosun ON, Bilmenoglu C, Özdemir AK. Comparison of denture base adaptation between additive and conventional fabrication techniques. *Journal of Prosthodontics*. 2023;32(3):e64-e70.
50. Unkovskiy A, Schmidt F, Beuer F, Li P, Spintzyk S, Kraemer Fernandez P. Stereolithography vs. direct light processing for rapid manufacturing of complete denture bases: an in vitro accuracy analysis. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(5):1070.
51. Gad MM, Fouda SM, Abualsaud R, Alshahrani FA, Al-Thobity AM, Khan SQ, et al. Strength and surface properties of a 3D-printed denture base polymer. *Journal of Prosthodontics*. 2022;31(5):412-8.
52. Prpić V, Schauerl Z, Čatić A, Dulčić N, Čimić S. Comparison of mechanical properties of 3D-printed, CAD/CAM, and conventional denture base materials. *Journal of Prosthodontics*. 2020;29(6):524-8.
53. Ayman A-D. The residual monomer content and mechanical properties of CAD\CAM resins used in the fabrication of complete dentures as compared to heat cured resins. *Electronic physician*. 2017;9(7):4766.
54. Pacquet W, Benoit A, Hatège-Kimana C, Wulfman C. Mechanical Properties of CAD/CAM Denture Base Resins. *The International journal of prosthodontics*. 2019;32(1):104-6.
55. Al-Dwairi ZN, Al Haj Ebrahim AA, Baba NZ. A Comparison of the Surface and Mechanical Properties of 3D Printable Denture-Base Resin Material and Conventional Polymethylmethacrylate (PMMA). *Journal of Prosthodontics*. 2023;32(1):40-8.
56. Di Fiore A, Meneghello R, Brun P, Rosso S, Gattazzo A, Stellini E, et al. Comparison of the flexural and surface properties of milled, 3D-printed, and heat polymerized PMMA resins for denture bases: An in vitro study. *Journal of prosthodontic research*. 2022;66(3):502-8.
57. Gad MM, Al-Harbi FA, Akhtar S, Fouda SM. 3D-printable denture base resin containing SiO<sub>2</sub> nanoparticles: An in vitro analysis of mechanical and surface properties. *Journal of Prosthodontics*. 2022;31(9):784-90.
58. Alshaikh AA, Khattar A, Almindil IA, Alsaif MH, Akhtar S, Khan SQ, et al. 3D-printed nanocomposite denture-base resins: effect of ZrO<sub>2</sub> nanoparticles on the mechanical and surface properties in vitro. *Nanomaterials*. 2022;12(14):2451.
59. Freitas RFCPd, Duarte S, Feitosa S, Dutra V, Lin WS, Panariello BHD, et al. Physical, Mechanical, and Anti-Biofilm Formation Properties of CAD-CAM Milled or 3D Printed Denture Base Resins: In Vitro Analysis. *Journal of Prosthodontics*. 2023;32(S1):38-44.
60. Srinivasan M, Kalberer N, Kamnoedboon P, Mekki M, Durual S, Özcan M, et al. CAD-CAM complete denture resins: An evaluation of biocompatibility, mechanical properties, and surface characteristics. *Journal of dentistry*. 2021;114:103785.
61. Shim JS, Kim J-E, Jeong SH, Choi YJ, Ryu JJ. Printing accuracy, mechanical properties, surface characteristics, and microbial adhesion of 3D-printed resins with various printing orientations. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;124(4):468-75.
62. Aati S, Aneja S, Kassar M, Leung R, Nguyen A, Tran S, et al. Silver-loaded mesoporous silica nanoparticles enhanced the mechanical and antimicrobial properties of 3D printed denture base resin. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2022;134:105421.
63. Farid M, Mohamed F, Mehanna R, Abd-ELLAH M, Abdelrahman H. Cytotoxic assessment of 3D printed photoinitiated prosthodontic resins versus heat polymerized acrylic resin (In-Vitro Study). *Research Square*. 1:2022.
64. Srinivasan M, Kalberer N, Kamnoedboon P, Mekki M, Durual S, Özcan M, et al. CAD-CAM complete denture resins: an evaluation of biocompatibility, mechanical

- properties, and surface characteristics. *Journal of Dentistry*. 2021;114:103785
65. Dimitrova M, Capodiferro S, Vlahova A, Kazakova R, Kazakov S, Barile G, et al. Spectrophotometric Analysis of 3D Printed and Conventional Denture Base Resin after Immersion in Different Colouring Agents—An In Vitro Study. *Applied Sciences*. 2022;12(24):12560.
  66. Alfouzan AF, Alotiabi HM, Labban N, Al-Otaibi HN, Al Taweel SM, AlShehri HA. Color stability of 3D-printed denture resins: Effect of aging, mechanical brushing and immersion in staining medium. *The journal of advanced prosthodontics*. 2021;13(3):160.
  67. Çakmak G, Molinero-Mourelle P, De Paula MS, Akay C, Cuellar AR, Donmez MB, Yilmaz B. Surface Roughness and Color Stability of 3D-Printed Denture Base Materials after Simulated Brushing and Thermocycling. *Materials*. 2022; 15(18):6441.
  68. Ain S, Sayed M, Ahmed WM, Halawi AHA, Najmi NMA, Aggarwal A, et al. An in-vitro study to evaluate the effect of denture cleansing agents on color stability of denture bases fabricated using CAD/CAM milling, 3D-printing and conventional techniques. *Coatings*. 2021;11(8):962.
  69. Alqanas SS, Alfuhaid RA, Alghamdi SF, Al-Qarni FD, Gad MM. Effect of denture cleansers on the surface properties and color stability of 3D printed denture base materials. *Journal of Dentistry*. 2022;120:104089.
  70. Gruber S, Kamnoedboon P, Özcan M, Srinivasan M. CAD/CAM complete denture resins: an in vitro evaluation of color stability. *Journal of Prosthodontics*. 2021;30(5):430-9.
  71. Mugri MH, Jain S, Sayed ME, Halawi AHA, Hamzi SAI, Aljohani RAS, et al. Effects of Smokeless Tobacco on Color Stability and Surface Roughness of 3D-Printed, CAD/CAM-Milled, and Conventional Denture Base Materials: An In Vitro Study. *Biomedicines*. 2023;11(2):491.