

## Diş Hekimliğinde 3 Boyutlu - Eklemeli Üretim: Derleme

### 3D - Additive Manufacturing in Dentistry: A Review

#### ÖZ

**Giriş:** Eklemeli üretim (additive manufacturing) yani diğer bir adıyla "3 boyutlu basım (3D printing)", son zamanlarda üstünde oldukça çalışma yapılan, gelecekte diş hekimliğinde kullanımının daha da artması beklenen bir sistemdir. Diş hekimliğinde her ne kadar yeni bir sistem gibi algılsanız da aslında bu sistem yıllardır özellikle mühendislik alanında ve özellikle seri üretimde (rapid prototyping) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistem diş hekimliğinde, hem geleneksel üretim yöntemlerine, hem de eksiltmeli sistem (subtractive manufacturing) ile üretime göre pek çok avantaja sahiptir. Geleneksel üretim yöntemleriyle kıyaslandığında üretimin hızlı ve standardizasyonun sağlanmış bir şekilde yapılabilmesi, hastaya tedavi planının dijital ortamda üç boyutlu modellerde anlatılabilmesi, hekimin yazılımlar aracılığıyla yapılacak restorasyonlarda özgürce tasarım yapabilmesi bunlardan bazılarıdır. Ayrıca insan faktörü ve hata olasılığının elimine edilerek daha uygun restorasyonlar hazırlanabilmesi ve üretimde farklı materyaller kullanılabilmesine imkan tanır. Eklemeli sistem, eksiltmeli CAD-CAM (Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing) sistemi ile kıyaslandığında ise en belirgin avantajı materyal kaybının çok az miktarlara indirilmesidir.

**Sonuç:** Bu derleme, diş hekimliğinde kullanımı gitgide yaygınlaşan 3 boyutlu üretim sistemleri hakkında diş hekimlerin bilgi sahibi olmalarını amaçlamaktadır. Sahip olduğu avantajlardan dolayı gelecekte diş hekimliğinde kullanımının daha da yaygınlaşması kaçınılmazdır. Rutin tedavinin parçası olarak kullanılmaya başlandığında da üretimin maliyeti dolaylı olarak azalacaktır. Bu sistemlerin hekimler tarafından detaylı olarak öğrenilmesi gerekliliği, gelişen teknolojinin modern bir sonucu olarak karşımıza çıkacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayar Yardımlı Tasarım, Diş Hekimliği, Derleme, Printing, Üç Boyutlu, Prostodonti.

#### ABSTRACT

**Objective:** Additive manufacturing, also known as "3D printing", is a method that has been extensively studied recently and is expected to increase its use in dentistry in the future. Although it is perceived as new in dentistry, in fact, this system has been widely used for years, especially in engineering and in rapid prototyping. In dentistry, it has many advantages over both traditional and subtractive manufacturing methods. Compared to traditional method, some of these advantages include fast and standardized production, the ability to explain the treatment plan to the patient in 3D models, and the ability of the physician to freely design the restorations to be made through software. In addition, it also allows the possibility of preparing more suitable restorations by eliminating the human factor and the possibility of error, and the use of different materials in production. When the additive system is compared to the subtractive CAD-CAM (Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing) technique, the most obvious advantage is that material loss is largely prevented.

**Conclusion:** This review aims to provide dentists with information about 3D production systems, which are increasingly used in dentistry. Due to its advantages, it is inevitable that its use in dentistry will become more widespread in the future. When it starts to be used as part of routine treatment, the cost of production will indirectly decrease. The necessity for dentists to learn these systems thoroughly will emerge as a modern consequence of developing technology.

**Key Words:** Computer-Aided Design, Dentistry, Review, Printing, Three-Dimensional, Prosthodontics.

Mert ARAL<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0001-5019-9407

Yasemin KESKİN<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-9550-9920

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi,  
Diş Hekimliği Fakültesi,  
Protetik Diş Tedavisi AD,  
Ankara, Türkiye



Geliş tarihi / Received: 08.12.2023

Kabul tarihi / Accepted: 12.03.2024

**İletişim Adresi /Corresponding Address:**

Mert ARAL

Ankara Üniversitesi,

Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD,

Ankara, Türkiye

E-posta: aralmert33@gmail.com

Diş hekimliğinde bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim yani CAD/CAM (computer aided design/computer aided manufacturing), 1970'li yıllarda Dr. Duret tarafından tanıtılmıştır (1, 2). Sonrasında Dr. Moermann CEREC sistemini ve ondan sonra da Dr. Andersson Procera sistemini geliştirmiştir. CEREC başlangıçta özellikle inley ve onleyler olmak üzere sabit restorasyonlara yönelik tek ziyaret prosedürü için yalnızca hasta başı tekniği olarak tanıtılmıştır. Procera ise, hastabaşı olmayan bir CAD/CAM cihazı olarak piyasaya sürülmüştür (3, 4). Hasta başı CAD/CAM tekniği; tedavi süresinin kısalması, geleneksel tekniğe göre daha düşük hata oranı, fiziksel ölçünün elimine edilmesi, geçici restorasyona gerek olmaması ve dolaylı olarak dental hassasiyeti daha aza indirilmesi gibi avantajlara sahiptir. Yumuşak doku yönetiminin geleneksel tekniğe göre daha kritik olması en büyük dezavantajdır, ayrıca yüksek öğrenme eğrisine sahiptir ve sermaye yatırımı karşılamak için daha yüksek üretim yapılması gerekir (4).

CAD/CAM, ilk olarak 1960'lı yıllarda otomotiv ve uçak sanayisinde kullanılmak için geliştirilmiştir, ilerleyen yıllarda ise diş hekimliğinde kullanılmaya başlanmıştır. Diş hekimliğinde kullanılmaya başlandığı ilk dönemlerde inlay, onlay, veneer ve kronların yapılmasına imkan sağlamıştır. Günümüzde ise implant veya diş destekli sabit ve hareketli protezlerde ve tanı modellerinin üretilmesinde kullanılabilir. Ayrıca ortodontide şeffaf plakların üretilmesinde ve çene cerrahisinde implant uygulamalarında kullanılan cerrahi rehberlerin yapılmasında da kullanılabilir (5-7).

Diş hekimliğinde CAD/CAM teknolojisi, asıl olarak 3 sorunu çözmeyi hedeflemiştir;

- 1-Özellikle posterior dişlerde olmak üzere, restorasyonlarda yeterli dayanıklılık elde edilmesi
- 2- Doğal görünümlü restorasyonlar elde edilmesi
- 3- Restorasyonun yapım aşamasının daha hızlı, kolay ve doğru yapılması (5)

Genel olarak bakıldığında, CAD/CAM sistemleri ile geleneksel yöntem ile restorasyon elde edilmesi kıyaslandığında avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir;

### Dental CAD/CAM Sisteminin Avantajları

- 1- Daha iyi restoratif malzemeler, daha kısa sürede üretimde kullanılabilir.
- 2- Hata potansiyeli daha azdır, tekrarlanan restorasyon üretimlerinin birbirleri arasındaki tutarlılıkları çok

daha yüksektir, çünkü; insan faktörü en aza indirilmektedir.

3- İndirekt restorasyonlardan kaynaklanabilen muhtemel çapraz enfeksiyonlar önlenir.

4- Tek seansta restorasyon teslimi yapılabilir. Hem hastaya hem de hekime zaman kazancı sağlar. Azalan laboratuvar zamanının maliyeti azaltma potansiyeli vardır.

5- Dijital tarama cihazları bu yöntemde rahatlıkla kullanılabilir ve kullanıldığında ölçüler çok daha hızlı alınabilir. Dijital ölçü vagal refleksi fazla olan hastalar tarafından daha konforlu bir yöntem olarak görülmektedir. Ayrıca geleneksel ölçü yönteminde oluşabilecek hava kabarcığı gibi sorunlar elimine edilir.

6- Bilgisayar ortamında verilerin saklanabilmesi hem daha kolay hem de daha güvenlidir.

7- Tasarım ve üretim bilgisayar ortamında gerçekleştiği için teknisyenin iş yükü azalır (8-10).

### Dental CAD/CAM Sisteminin Dezavantajları

1- Birçok yeni malzeme ve yöntem geliştirilmesine rağmen hala ekonomik bir yöntem değildir. Çok fazla restorasyon yapmayan hekimlerin bu sisteme yaptıkları yatırım sonrasında bekledikleri geliri alamamaları da muhtemeldir.

2- Hekimin ve teknisyenin yeterli teknik bilgi ve donanımına sahip olması gereklidir.

3- Monokromatik blokların kullanılması ideal estetik beklentilerin her zaman karşılanamamasına neden olmaktadır. Ancak farklı renklerde blokların geliştirilmesi ile bu sorun azalmaya başlamıştır.

4- Üretimde standardizasyon sağlansa da, insan faktörü elimine edildiği için birbirlerinin kopyası restorasyonlar elde edilir ve bu kimi kişilerce estetik olmayan bir unsur olarak kabul edilebilir.

5- Dijital tarama yöntemi ile daha hızlı ölçü alınabilmesine rağmen derin subgingival marjnlere sahip dişler tarama aşamasında hekime zorluk yaratabilir, bu nedenle geleneksel sabit protez yapımında olduğu gibi iyi bir dişeti retraksiyonu yapmak zorunlu hale gelmektedir.

6- Milleme sırasında kesici uçlar köreldiği için belli aralıklarla yenilenmesi gerekir, bu da maliyeti artırır (8-10).

Tüm CAD/CAM sistemler aşağıda belirtilen 3 ortak noktaya sahiptir:

- 1- Verilerin elde edilmesi ve/veya taranması
- 2- Bilgisayar yardımıyla tasarım (CAD)
- 3- Bilgisayar yardımıyla üretim (CAM) (11)

Bu 3 ana unsuru barındırarak, fiziksel iş gücünün mümkün mertebe elimine edildiği iş akışına dijital iş akışı (digital workflow) denmektedir (12).

Dijital iş akışındaki ilk basamak verilerin elde edilmesi ve/veya taranmasıdır. Hastalardan intraoral tarayıcılar kullanılarak direkt olarak veya ekstraoral olarak klasik ölçü yöntemleriyle elde edilen ölçülerden tarama yapılabilir. Üreticiye bağlı olarak burada elde edilen veriler, paylaşımlarına göre kapalı veya açık sistem olarak adlandırılır. Açık sistemler, elde edilen verinin başka firmalar ve üreticilerle paylaşılmasını sağlarken, kapalı sistemler sadece tek bir şirketin yazılımına sahip kuruluşlarla veri aktarımı yapılmasını sağlar (10,13,14).

Dişlerin ve ağız içi dokuların dijital ölçüsünü elde etmek için farklı teknolojiler kullanılabilir. Bu teknolojiler hekimin ve hastanın konforunu, taramanın kalitesini ve hızını arttırmak üzere sürekli olarak iyileştirilmektedir. Maksimum tarama verimliliği ve kaliteli sonuçlar için rutin hale getirilmiş, tüm alanları ve açılı yakalayan stratejik bir tarama tekniği kullanılmalıdır. İntraoral tarayıcıların diş hekimliğinde kullanımının yaygınlaşması, gelişen CAD/CAM sistemleri ile birlikte hekimler için birçok avantaj sağlamıştır. Güncel ağız içi tarayıcılar, bir zamanlar gerekli olan yansıma önleyici toza ihtiyaç duymaz ve renkleri taramanın yanı sıra diş tonlarını belirleme yeteneğine de sahiptir. Tarayıcılar arasında tarama hızları ve maliyetleri arasında farklılıklar vardır ancak bu iki özelliğin tutarlı bir korelasyonu yoktur. Bazı tarayıcılar, bilgisayar gibi ek donanımlara ihtiyaç duyarlar (15-17). Dijital iş akışında sıradaki aşama CAD'dir. İlk aşamada elde edilen veriler yazılımda kullanılmak üzere genelde DICOM yada OBJ formatına dönüştürülür ve sonrasında bilgisayar ortamında 3 boyutlu dizayn aşamasına geçilir (14). Bu aşamada elde edilen dizaynı yapılmış protezler genelde STL dosya formatında depolanır (18).

## 1. Diş Hekimliğinde Eksiltmeli ve Eklemeli CAD/CAM Sistemleri

Günümüzde kullanılan çoğu CAM sistemi, eksiltmeli üretim (EÜ, subtractive manufacturing) üretim yöntemini kullanmaktadır. Bu teknikte çeşitli eksenlerde hareket edebilen kesici uçlarla, blok halindeki malzeme (ingot) mekanik olarak millenir ve bilgisayarın yönlendirmelerine göre ortaya arzu edilen geometrik şekil çıkartılır. Bu yöntemde günümüzde çeşitli metal, rezin ve seramik malzemeler kullanılmaktadır (8,12,19).

Eklemeli üretim (EkÜ, additive manufacturing) üretim, arzu edilen geometrik şeklin, istenilen malzemenin tabaka tabaka eklenmesi ile elde edilmesi yöntemidir (19). EkÜ, aynı zamanda "3 Boyutlu baskı (3B baskı-3D printing)" ve "hızlı prototipleme (rapid prototyping)" isimleri ile de anılmaktadır (20). Bu üretim tekniği, ilk olarak plastik malzeme ile yapılan

ürünleri içerdiği için "3B baskı" ismi ile anılmıştır, ancak ilerleyen teknoloji ile beraber seramik, titanyum, paslanmaz çelik alaşımları gibi metal tozlarının da kullanılmasıyla eklemeli üretim ismini almıştır (7). Hızlı prototipleme ise, elde edilen modelin bir kopyasının hızlı şekilde üretilmesinden dolayı verilmiştir (20). EN ISO/ASTM 52,900 terminoloji standardına göre eklemeli üretim süreci, eksiltmeli üretim yöntemlerinin aksine, malzemeleri 3 boyutlu model verilerinden nesnel oluşturmak için genellikle katman katman birleştirme işlemidir (21). EkÜ'nin EÜ'ye göre en büyük avantajı malzeme kaybının çok daha az olmasıdır (%40'a kadar), ayrıca milledede kullanılan kesici uç boyutundan daha ince ayrıntılar dahi elde edilebilir (19). EkÜ, CAD sisteminin gelişmesi ile birlikte, özellikle 1980'li yıllardan beri yoğun olarak çalışılmaktadır. Stereolitografi (SLA) yönteminin yaratıcılarından olan Chuck Hull, 1986 yılında bu yöntemin patentini almıştır. Bu gelişmenin hemen ardından EkÜ teknolojilerinde alternatif yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır (20). 3B yazıcı sistemleri ile seramik elde edilmesi, ilk olarak 1990'lı yıllarda Marcus ve ark. ile Sachs ve ark. tarafından rapor edilmiştir (22). Gelişen EkÜ sistemleri günümüz diş hekimliğinde; 3B basılmış kişisel dental implantların, maksillofasiyal implant ve protezlerin, sabit ve hareketli protezlerin, inley ve onley restorasyonların, okluzal splintlerin, dental modellerin, cerrahi rehberlerin, kişisel ölçü kaşıklarının, kesim için rehber modellerin ve mock-up modellerin (özellikle anteriordaki estetik restorasyonlarda), ortodontik model ve cihazların üretiminde kullanılabilir (23-25).

## 2. Eklemeli CAD/CAM Sistemlerinin Sınıflandırılması

EkÜ sistemleri, üretimde kullanılan boyutsal düzen, kullanılan malzeme cinsi, kullanılan malzemenin fazları, malzemenin bir araya getirilme şekilleri, ısı kaynağı gibi farklı parametreler kullanılarak sınıflandırılabilir. Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı yani ISO'nun 2015 yılındaki eklemeli üretim hakkında yayınladığı yayına göre eklemeli sistemler aşağıdaki şekilde 7 farklı grupta incelenmektedir (26).

- 1- Malzeme Çıkarması (Material Extrusion)
- 2- Fotopolimerizasyon (Photopolymerization)
- 3- Toz Yatak Kaynaştırma (Powder Bed Fusion)
- 4- Malzeme Püskürtme (Material Jetting)
- 5- Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting)
- 6- Tabaka Laminasyonu (Sheet Lamination)
- 7- Yönlendirilmiş Enerji Biriktirmesi (Directed Energy Deposition)

## 2.1. Malzeme Çıkarması (Material Extrusion)

Malzeme çıkarması (MÇ), 1980'lerin sonlarında S. Scott Crump tarafından icat edilmiştir. 1990 yılında kendi şirketi Stratasys tarafından "Kaynaşmış Biriktirme Modellemesi (Fused Deposition Modeling)" ismi altında tescillenmiş ve ticarileştirilmiştir. Bundan dolayı genelde bu iki terim birbirleriyle eş anlamlı kullanılmaktadır (12).

MÇ'de, termoplastik malzeme ısıtılır ve katman katman ilave edilerek arzu edilen geometrik şekil elde edilir. Baskı malzemesi genelde bir makaraya sarılmış filaman formundadır. Mumlar ve polimerler, bu yazıcılar için yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bir nesne oluşturmak için, baskı ve destek filamentlerinin ekstrüde edilmek üzere ısıtılmış bir delikten geçmesi gerekir. Baskı yapan kısımda çok uçlu bir parça kullanarak çeşitli malzemeler aynı anda püskürtülebilir. Püskürtücü uç, her bir çapraz bağlantı (cross-section) tabakasının şeklini tasarlamak için x ve y yönlerinde hareket eder ve malzeme delikten ekstrüde edildikten hemen sonra sertleşir. Genellikle üretim sonrası her katmanda çizgiler gösteren çıkıntılara neden olur. Bu çizgilerden kurtulmak için cilalama ve zımparalama gibi ek işlemlere ihtiyaç duyulabilir. Üretim sırasında destekleyici malzemelere ihtiyaç duyulabilir ve sıcaklıklarda dalgalanmalar olabilir. MÇ, dental modellerin yanı sıra cerrahi kılavuzlar ve şablonların üretiminde de kullanılabilir. Bu sistemin avantajları, makul fiyatlı ve neme dayanıklı yüksek dirençli malzemeler üretebilmesidir, aynı zamanda birden fazla malzeme rengi de kullanılabilir. Dezavantajları; mekanik özelliklerin ve yüzey kalitesinin zayıf olması ve kullanılabilen termoplastik malzeme sayısının sınırlı olmasıdır. Ayrıca, vat fotopolimerizasyon (VFP) ve malzeme püskürtmeye (MP) göre yüzey pürüzlülüğü daha fazladır ve doğruluk oranları daha düşüktür. Bununla birlikte seramik kronlarının üretiminde otomatik döküm (robocasting), gelecekte potansiyel kullanım sunabilir (12,23,27,28).

Otomatik döküm, bu teknolojinin baskı ucu aracılığıyla bir seramik bulamacının soğuk çıkarılmasına dayanan bir çeşidir. Aynı zamanda doğrudan mürekkeple yazma (direct ink writing) olarak da adlandırılmaktadır. Basılan yeşil gövde, daha sonra istenen yoğunluk ve mekanik özellikleri elde etmek için sinterlenir. Seramik bulamacının viskozitesi, pH değeri gibi parametreleri uygun koşullarda sağlandığı takdirde doğrudan seramik restorasyonlar üretmek için gerekli tüm özelliklere sahiptir. Wang ve ark, bu işlem parametrelerini araştırmış ve bu yöntemle porselen kronlar elde etmişlerdir. Elde edilen kronların yüzey kalitesinin klinik olarak kabul edilebilir (20 ile 50 µm aralığında) olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Silva ve ark,

zirkonya kopinglerin üretimi için benzer bir teknik kullanmış ve benzer sonuçlar bulmuşlardır (12,28).

## 2.2. Fotopolimerizasyon (Photopolymerization)

Fotopolimerizasyon 3B baskı teknolojisi, aynı temel stratejiye dayanan birkaç farklı işlemi kapsar. Bu sistemlerde bir haznede bulunan sıvı fotopolimer, ısı kaynağı tarafından seçici olarak sertleştirilir. Bu hazneye ingilizcede "vat" denildiği için, bu yöntem aynı zamanda "Vat Fotopolimerizasyon (VFP, Vat Photopolymerization)" olarak da isimlendirilir (21,29). Fotosensitif malzemelerin polimerizasyonu başlarda stereolitografi (SLA) yöntemindeki lazer ile sağlanırken günümüzde başka yöntemler de gelişmiştir. Özellikle günümüzde dijital ışık işleme (Dİİ, digital light processing) projektörleri, düşük maliyetleri ve çok yüksek çözünürlükleri nedeniyle malzemeleri fotopolimerize etmenin popüler bir yolu haline gelmiştir. Geliştirilmiş ve gelişmekte olan daha başka yöntemler olmasına karşın, diş hekimliğinde 3B üretim ile ilgili yayınlar incelendiğinde genelde bu iki yöntemden bahsedildiği görülmektedir (21,29).

### 2.2.1. Stereolitografi (Stereolithography)

SLA yöntemi, bir haznede bulunan ışığa duyarlı rezin kaplı seramik bulamacının, boyutsal olarak kontrollü polimerizasyonunun sağlanmasına dayanır. Bulamacın yüzeyi, elde edilmek istenen nesnenin şekli tarafından yönlendirilmiş bir biçimde, bilgisayar kontrollü bir lazer ışımına veya ultraviyole (UV) ışığa maruz bırakılır. Sonuç olarak, aydınlatılmış rezin katmanı katılır ve altındaki platforma yapışır. Sonrasında ise platform tekrar eden aralıklarla rezinin bulunduğu hazneye iner ve başka bir bulamaç tabakası ile yeniden kaplanır, ardından tekrar fotopolimerizasyon yapılır (12).

SLA teşhis ve ana modellerin, cerrahi rehberlerin, kişisel maksillofasiyal implantlar ve protezlerin, protez kaidelerinin, ortodontik şeffaf plakların, ağız koruyucularının, geçici restorasyonların ve tüm seramik restorasyonların üretimi için kullanılabilen bir yöntemdir. Tek günde üretim yapılabilmesi, kullanımının nispeten basit olması, diğer yöntemlerle kıyaslandığında yüzey pürüzlülüğünün görece daha az olması, ince detayların daha rahat verilebilmesi ve çözünürlüğünün daha fazla olması, avantajları arasındadır. Ancak bu yöntem seri üretimde kullanılmaya uygun değildir. Ayrıca oluşturulan parçanın dayanıklılığı ve cihazın maliyetinin yüksek olması bu yöntemi sınırlandıran faktörlerdendir (12, 26, 29).

Bu yöntemde kullanılmak üzere çeşitli seramikler, farklı renklerde ve farklı fiziksel özelliklere sahip fotopolimer rezinler geliştirilmiştir. Rezinler arasında sert rezin, düşük kalıntılı rezin (hassas döküm için), şeffaf rezin ve esnek poliüretan rezin bulunur (27, 29).



Bulamacın reolojik davranışı kuru madde içeriğinden, parçacık boyutundan ve seramiğin yapısından etkilenir. Yeşil gövdenin deformasyon veya çatlama olmaksızın ısı işlemlere dayanabilmesi için, bulamacın kuru madde içeriği hacimce %50'yi aşmalıdır. Kuru madde içeriği artışı, sinterlemede meydana gelen termal büzülme azaltır ve vizkoziteyi azaltır. Optimum reolojik özelliklere ve kuru madde içeriğine ek olarak, SLA ile işlenmiş seramiklerin klinik uygulamalarda restoratif malzeme olarak kullanılabilmesi için, yüksek yoğunlukta olmaları gerekmektedir (12).

### 2.2.2. Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing)

Dijital Işık İşleme (Dİİ) ve SLA istenilen malzemenin fotopolimerizasyon ile sertleşmesi prensibi ile çalışan yazıcılardır. İki farklı teknik olmalarına rağmen birbirlerine oldukça benzerlerdir. Dİİ ile SLA arasındaki temel fark, kullanılan ışık kaynağıdır. SLA yazıcıda, fotopolimer bir lazer ışını yardımıyla kürlenir. Dİİ yazıcıları bunun yerine, kısa dalga ışığının (şu anda kullanılan dalga boyları: 380 nm ve 405 nm) Dİİ teknolojisinin temelini oluşturan bir dijital mikro ayna cihazı aracılığıyla yönlendirildiği projeksiyon teknolojisini kullanır. SLA'da bir yüzey kademeli olarak işlenirken, Dİİ büyük bir yüzeydeki tüm rezini tek katman olarak işleyebilme avantajına sahiptir. Ancak bu durumun dezavantajı büyük parçalar üretildiğinde düşük çözünürlüğe sahip olunmasıdır. Bundan dolayı cerrahi rehber gibi yüksek çözünürlük gerektiren parçaların üretimi için uygun bir yöntem değildir (21, 30).

Işık, yarı saydam bir fotopolimer teknesinde (fotopolimer banyosu) bulunan yapı platformuna veya dağınık bir yüzeye (soğurucu) optik olarak yönlendirilir. Her bir katman işlendikten sonra yapı platformu z-ekseni boyunca hareket eder, nesnenin altındaki boşluğa akan yeni malzeme fotopolimerize edilir ve böylece diğer katmanların basımı gerçekleşir. Dİİ teknolojisini kullanırken, basım süresindeki belirleyici faktör, basılmak istenen ürünün z-eksenindeki boyutudur. Projektör, dijital bir ekran olduğu için her katmanın görüntüsü kare piksellerden oluşur ve voksel adı verilen küçük dikdörtgen tuğlalardan oluşan bir katman ortaya çıkar. Dİİ'de malzemenin, SLA'daki gibi lazerle aşamalı olarak çizilmesi yerine her katmanın tek seferde pozlanmasından dolayı, Dİİ bazı parçalar için daha hızlı üretim sağlayabilir (21,29).

### 2.3 Toz Yatak Kaynaştırma (Powder Bed Fusion )

Toz yatak kaynaştırmada(TYK), özellikle lazer veya elektron ışını gibi bir ısı kaynağı kullanılarak toz parçacıklar katman katman kaynaştırılır ve katı bir

parça oluşturulur. Bu yöntemle çok çeşitli, geometrik olarak karmaşık ürünlerin üretilmesi mümkündür (29). TYK'da, rezervuarda bulunan toz halindeki malzeme, silindirler yardımıyla yapım platformuna yayılır. Daha sonra, yapılmış olan CAD dosyasının çapraz bağlantılarının biçimine göre, toz parçacıklarının seçici olarak kaynaştırılması için bir lazer veya bir elektron ışını kullanılır. Her seferinde yapım platformu, basılı katmanın kalınlığı kadar alçalır (12).

TYK, restoratif diş hekimliğinde kron kopinglerinin, maksillofasiyal implantların ve dental modellerin imalatında kullanılabilir. TYK başlığı altında bir çok teknoloji olmasına rağmen sıklıkla kullanılanlar; seçici lazer sinterleme (SLS, selective laser sintering), seçici lazer eritme (SLE, selective laser melting) ve elektron ışını ile eritme (EIE, electron beam melting)'dir. TYK sahip olduğu çeşitli uygulanabilir teknolojiler ve malzemeler ile kullanıcılara önemli bir tasarım özgürlüğü sunarlar (12, 29).

#### 2.3.1. Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering)

Temel olarak bu teknik, katı bir yapı oluşturmak için toz halindeki malzemeyi katman katman sinterlemek veya birleştirmek için lazerler (örneğin; Nd-YAG) kullanılması esasına dayanır. Bu yöntemde çeşitli termoplastik malzemeler, polimerler, metaller ve seramikler kullanılabilir (23, 27).

Seramiklerin yüksek erime noktaları ve düşük plastisiteleri nedeniyle, diğer malzemelere göre SLS ile üretilmeleri daha zordur. SLS ile seramik üretimi, direkt ve indirekt teknik olmak üzere ikiye ayrılır. Direkt teknikte sinterlenmiş nesneyi elde etmek için seramik parçacıkları birleştirilir, indirekt teknikte ise, seramik partiküllerin füzyonu polimerik bağlayıcı faza dayanır. Oluşturulan yeşil gövdeler (green body) daha sonra 2 adet ısı işleminden geçer. Bunlar bağlanmanın çözülmesi ve sinterlemedir (debinding and sintering) (12).

Bu sistemin avantajları; üretim sırasında destek malzeme kullanımına ihtiyaç duyulmaması, üretilen yapının yüksek dayanıklılık ve sertliğe sahip olmasıdır. Ayrıca çeşitli bitirme ve polisaj seçenekleri mevcuttur. Dezavantajları ise; malzeme yüzeylerinin pörozlü olması ve katmanlar arası bağlantıyı sağlamak için siyanoakrilat gibi yapıştırıcıların kullanılması gerekebilmesidir (23).

#### 2.3.2. Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (Direct Metal Laser Sintering - DMLS)

SLS ve Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS), aynı şekilde üretim yapılmasını sağlar ve genelde eş anlamlı olarak kullanılırlar. Ancak aradaki fark, SLS

çeşitli malzemelere (plastikler, camlar, seramikler) uygulanan işlemi ifade etmek için kullanılırken, DMLS metal alaşımlarına uygulanan prosesi ifade eder (27).

Bu teknoloji, yüksek doğruluk ve daha iyi mekanik dirence sahip malzemeler oluşturmak için kullanılır. Bu teknikte metal tozunu eritmek için lazer ışınları kullanılır ve metaller katman katman üretilir. Sistemin avantajları; yüksek dirençli malzemeler üretebilmesi, yüksek doğruluk oranına sahip olması ve verimli bir şekilde karmaşık morfolojiler üretebilmesidir. Dezavantajları; malzemeye bağlı olarak pörözite ve büzülmeyle ilgili boyutsal olarak bozulmanın gözlemlenebilmesidir (23).

### 2.3.3. Seçici Lazer Eritme (Selective Laser Melting)

Bu üretim tekniğinde SLS ve DMLS üretim tekniklerinde gözlemlenen kısmi erimenin aksine metal tozu tamamen eritilir ve bundan dolayı bu teknikte daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur. Malzemenin tamamen erimesi sayesinde gözenekli iç yapıların ve yüzeylerin oluşması önlenir. Bu yöntemle üstün mekanik özelliklere ve daha yüksek yoğunluklara sahip malzemeler üretilmektedir. Metal tozunu işlemek için SLE’de kullanılan en yaygın lazer, CO2 lazeridir. Bu üretim tekniğinin dezavantajı ise üretim sırasında sıcaklıklarda dalgalanmalar olmasıdır. Bu durum üretilmek istenen malzemedeki yüksek iç gerilim nedeniyle meydana gelir. Malzemeler işlendikten sonra ısı işlem görmeleri gerekmektedir (23).

### 2.3.4. Elektron Işını ile Eritme (Electron Beam Melting)

Bu teknikte, diğer toz yataklı yöntemlere göre daha az artık gerilim olur, böylece üretilen nesnede daha az bozulma meydana gelir. SLS'den daha az enerji kullanılır ve katmanlar daha hızlı üretilir. Bu yöntem, en çok havacılıkta, savunma sanayisinde, motor sporları ve tıbbi protez gibi pahalı endüstrilerde kullanışlıdır (12, 29). Hammadde (metal tozu veya tel) vakumlu bir ortama yerleştirilir ve bir elektron ışınıyla ısıtılarak eritilip birbirine kaynaştırılır. Bu sistemin avantajları; ince ışın demetleriyle yüksek enerji seviyeleri elde edebilmesi, vakumlu ortamda yabancı maddeleri temizleyebilmesi, düşük enerji tüketimine sahip olması ve az bakım gerektirmesidir. Dezavantajları ise; sistemin çalışması için gerekli olan vakumun pahalı olması, sık bakım gerektirmesi ve üretim sırasında x ışınları üretmesidir (27).

## 2.4. Malzeme Püskürtme (Material Jetting) ve Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting)

İki yöntem de aslında birbirine çok benzerdir. Temel olarak malzeme püskürtme (MP) teknolojilerinde, tüm malzeme bir yazıcı uç kafasından dağıtılır. Bunun yerine bağlayıcı püskürtme (BP) teknolojisinde, bir bağlayıcı veya başka bir katkı maddesi, parçaların büyük kısmını oluşturan bir toz yatağı üzerine basılır (31).

### 2.4.1. İnkjet 3B Baskı (Inkjet 3D Printing)

İnkjet 3B baskı (İB) yada diğer kullanılan adı ile doğrudan inkjet baskı (direct inkjet printing), 3 boyutlu seramik üretiminde kullanılan ana yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, seramik süspansiyon damlacıklar halinde alt tabaka üzerinde toplanır. Daha sonra damlacıklar katman katman ilave edilerek kalınlaştırılır ve yeterli direnç elde edilir. Üretim esnasında iki ana seramik türü, mum esaslı mürekkepler ve sıvı süspansiyonlar kullanılır. Mum esaslı mürekkepler eritilir ve soğuk hammadde üzerinde toplanır. Sıvı süspansiyonların kıvamı ise sıvıların buharlaştırılması ile arttırılır. Partiküllerin boyutlarının dağılımı, viskozitesi, katı malzeme içeriği, çıkarılma hızı, delik boyutu ve üretim hızı üretilen objenin kalitesini belirleyen özelliklerdendir. Bu sistemin avantajları; karmaşık malzemeleri daha kısa sürede ve daha az bir masrafla üretebilmesidir. Dezavantajları ise; üretim sürecinin zor olması, çözünürlüğünün düşük olması, katmanlar arasındaki yapışmanın korunmasının zor olması, üretilebilecek objelerin boyutlarının sınırlı olması ve cihazın pahalı olmasıdır (23).

### 2.4.2. Multijet 3B Baskı ve Polijet 3B Baskı (Multijet 3D Printing and Polyjet 3D Printing)

Multijet ve Polijet, genelde eş anlamlı olarak kullanılır. Bu iki farklı terim, farklı üreticilerin (Stratasys - PolyJet ve 3DSystems - Multijet) aldıkları farklı patentlerden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, bu iki sistem arasında baskı işleminin gerçekleştirilme biçiminde neredeyse hiçbir farklılık yoktur, asıl farkları basımdan sonra destek yapıların uzaklaştırılmasındaki aşamalarıdır. Polijet 3B baskı(PJB)’de destek yapı malzemesi propilen, akrilik monomer, polietilen ve gliserin kombinasyonundan oluşmaktadır. Destek yapının kaldırılması için oluşturulan parçalar yüksek basınç altındaki su püskürtme sistemine tabi tutulur. Daha sonra pürüzlü yüzeylerin düzleştirilmesi için kimyasal bir çözeltiliye daldırılır. Multijet 3B Baskı (MJB)’de ise destek yapı malzemesi parafin mumudur. Üretilen parçalar, mum desteğinin erimesi için bir fırında tutulur. Bu zaman olarak görece daha uzun sürmesine rağmen tek bir işlem olması ve insan faktörünün minimum olması PJB’ye göre sahip olduğu önemli bir avantajdır. MJB’deki tüm bu işlemler, PJB’ye kıyasla daha kolaydır ve daha az çaba gerektirir (32).

Bu iki teknoloji genel olarak çok benzer olduklarından genelde beraber eş anlamlı olarak incelenirler. Bu teknolojilerde, SLA'nın yüksek çözünürlük ve iyi yüzey kalitesi ile MP'nin yüksek üretim hızı ve geniş üretim kapasitesi avantajları birleştirilmiştir. Üretim sırasında iki malzeme oluşturulur, bunlar üretim ve destek malzemeleridir. Avantajlarından biri, çeşitli optik ve mekanik özelliklere sahip farklı malzemelerden yapılan nesnelere, ek yapım aşamalarına gerek duyulmadan üretilmesidir. Ayrıca SLA ve DII ile üretimi zor olan 3 boyutlu renkli objeler üretilmesi de mümkündür (örneğin; Colorjet 3D Sytems). Dezavantajları ise diğer üretim yöntemlerinin aksine destek malzemesinin daha yoğun bir yapıya sahip olması ve bu nedenle daha fazla malzeme kullanımı gerektirmesidir. Ayrıca seri üretimde kullanılmaya uygun değildir (23,27).

## 2.5. Tabaka Laminasyonu (Sheet Lamination)

Tabaka laminasyonu ile eş anlamlı olarak lamine obje üretimi (LOÜ, laminated object manufacturing) de kullanılmaktadır. Aslında LOÜ sadece tabaka laminasyonunun bir türüdür. Tabakalı laminasyon sistemlerinin her biri farklı bir üretici firmaya aittir. Genelde LOÜ'nün eş anlamlı kullanılmasının sebebi, en eski ve en çok kullanılan yöntem olmasından dolayıdır. Diğer sistemler hala gelişmektedir ve kullanımları LOÜ kadar yaygın değildir, ancak son yıllarda ultrasonik yöntemlerin kullanılması popülerleşmiştir (28,33,34). Tabaka laminasyonunda 3B modeller, lazer kullanımıyla tabaka tabaka eklenerek yapılır. Oluşturulan tabakaları birbirine bağlamak için yapıştırıcılar kullanılır. Bu sistemlerin avantajı, hızlı bir şekilde yüksek direnç ve doğruluk oranlarına sahip büyük ebatlı malzemelerin üretilmesidir. Dezavantajları; üretimin çok fazla tecrübe ve zaman gerektirmesi ile üretilen malzemelerin yüzey kalitesinin ve boyutsal stabilitesinin düşük olmasıdır. Ayrıca, üretim sonrası ihtiyaç fazlası malzemenin uzaklaştırılması, TYF yöntemlerinin aksine zaman alıcıdır. Bu nedenle karmaşık geometrilere sahip şekillerin üretilmesi için bu yöntem tavsiye edilmez (23).

## 2.6. Yönlendirilmiş Enerji Biriktirmesi (Directed Energy Deposition)

Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme (YEB), tel veya toz halindeki malzemeyi gerekli enerji ile eritip katman katman birikimini sağlayan bir yöntemdir. YEB, malzemeyi eritmek için kullandığı enerji kaynağına göre farklı gruplara ayrılabilir. YEB'in sahip olduğu farklı avantajlar ve dezavantajlar, mevcut bir parçaya onarım veya ekleme yapılmasında kullanımının uygun olmasını sağlamaktadır. Malzeme olarak, erimiş bir

havuzda stabil olan herhangi bir toz malzeme veya toz karışımı üretimde kullanılabilir. Genel olarak altın, bazı alüminyum ve bakır alaşımları gibi yüksek yansıma ve ısı iletkenliğine sahip metallerin işlenmesi zordur. Diğer metallerin çoğunun, uygun olmayan atmosferik hazırlık olmadığı ve oksit oluşumu tarafından bağlanma engellenmediği sürece işlenmeleri oldukça kolaydır. Genel olarak, makul derecede iyi kaynaklanabilirlik sergileyen metalik malzemelerin işlenmesi kolaydır. Seramiklerin işlenmesi daha zordur, çünkü çok azı erimiş bir havuz oluşturacak kadar ısıtılabilir. Seramik malzeme eritilebilse dahi, soğuma sırasında genelde termal şok nedeniyle çatlaklar meydana gelir. Bu nedenle YEB kullanılarak işlenen çoğu seramik, bir seramik matrisin veya metal matris kompozitinin bir parçası olarak işlenir (34).

## 3. Eklemeli CAD/CAM Sistemlerinde Kullanılan Malzemeler

### 3.1. Metal ve Metal Alaşımları

Metal ve metal alaşımları geleneksel döküm, eklemeli ve eksiltmeli CAD/CAM yöntemleriyle üretilmektedir. Metallerin 3B üretimi ham metal malzemenin (toz veya tel) lazer veya elektron ışını ile eritilmesiyle yapılır. Erimiş malzeme tabaka tabaka eklenerek katı bir hale getirilir. Bu malzemeler eklemeli üretim yöntemleriyle yüksek doğrulukta ve hızlı bir şekilde üretilir (35).

SLS ile üretilen titanyum alaşımlar (özellikle Ti6Al4V) üzerinde yapılan oldukça iyi tasarlanmış çalışmalar olmasına rağmen, aynı yöntemle üretilen diğer malzemeler hakkında az çalışma mevcuttur. DMLS gibi eklemeli yöntemler, geleneksel döküm veya eksiltmeli yöntemlerde krom-kobalt gibi yüksek sertliğe sahip malzemelerin üretiminde karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek için kullanılmıştır. Ayrıca malzemenin tabakalar halinde konulması, geleneksel döküm yöntemlerindeki boyutsal büzülme dezavantajını da ortadan kaldırmıştır (23).

### 3.2. Polimer ve Kompozit Malzemeler

Farklı yöntemlerle uygulanabilmesinden ve malzemenin kendi içindeki çeşitliliğinden dolayı polimerler, 3B üretimde yaygın olarak kullanılmaktadır. 3B üretimde termoplastik filament, reaktif monomer, rezin veya toz halinde kullanılabilirler. Maliyeti ucuzdur ve yüksek doğruluğa sahiptir. Ancak dayanıklılıklarının düşük olması yüzünden kullanım alanları sınırlıdır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda polimerlerin yapısına fiber eklenmesinin, mekanik özelliklerini arttırdığı rapor edilmiştir (23).

İyi üretilmiş bir geçici kaplama, kaliteli bir nihai protez elde etmede hayati öneme sahiptir. Geçici kaplama dişin pozisyonunu korumalı, pulpayı korumalı, periodontal



ilişkiyi sürdürmeli, fonksiyon ve estetiği sağlamalıdır (36). Bu malzemelerin rolünü yerine getirebilmesi için yeterli mekanik özelliklere, uyum doğruluğuna, renk stabilitesine ve sertliğe sahip olması önemlidir. Geleneksel geçici malzemeler, monometakrilatlar veya akrilik reçineler ve dimetakrilatlar veya bisfenol A-glisidil dimetakrilat ve ışıkla polimerize edilebilir üretilen dimetakrilat gibi bis-akril/kompozit reçineler olarak sınıflandırılır. İşleme yöntemindeki farklılık nedeniyle basılabilir polimerlerin geleneksel olanlarla aynı olup olmadığı literatürde belirsizdir ve eksiktir. Bu bilgi eksikliğinden dolayı her ne kadar malzemelerin fiziksel özellikleri hakkında çalışmalar ve kıyaslamalar yapılmış olsa da, geçici sabit protezlerin bağlantı alanları için gereken minimum boyutlar veya mümkün olan köprü sayısı ile ilgili önerilerde bulunmak zordur. Bu malzemelerin klinik senaryolardaki dayanıklılığı ve uzun ömürlülüğü de hala şüphelidir (37).

### 3.3. Seramikler

Diş hekimliğinde kullanılan seramiklerin içeriği çoğunlukla çeşitli silikatlardan oluşmaktadır. Silikatlar, yerleşik birimler olarak Si-tetrahedronlardan (SiO<sub>4</sub>) oluşur. Diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan seramikler, hem geleneksel laboratuvar yöntemleriyle hem de CAD/CAM ile üretilebilmektedir. Günümüzde, geleneksel seramik üretim yöntemlerinin zaman alıcı, tekniğe duyarlı ve birçok değişken nedeniyle öngörülemez olduğu, bundan dolayı da CAD/CAM'in hem diş hekimleri hem de laboratuvarlar için iyi bir alternatif olabileceği tanımlanmaktadır (38).

EÜ tekniğinde, seramiğe kesici uçlar ile millenip şekil verilmesi ve restorasyon elde edilmesi, yapısının çok sert ve kırılğan olmasından dolayı oldukça zordur. Bu yöntemle iyi bir yüzey kalitesi ve boyutsal stabilite elde etmek de zordur. Ayrıca kullanılan kesici uçlar zamanla kullanıma bağlı sık sık körelir. Bu yöntemde özellikle presinterize bloklar kullanıldığında çatlak görülme olasılığı artmaktadır (39).

Seramik üretiminde İB, TYF ve SLA eklemeli üretimde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir (35). İB, üretim sonrası süreçlere ihtiyaç duymayacak yoğun seramik üretiminin ana yöntemi olarak kabul edilir. İB'de kolayca akan, tıkanmayan, etkili bir kurutma süreci içeren, kontrollü reolojiye sahip stabil bir süspansiyon gerektirir (40).

SLA'da, ışığa duyarlı maddeler içeren seramik süspansiyonu hareket eden ışın tarafından polimerize olur. Sonuç olarak seramik toz partikülleri barındıran bir organik matrikse sahip malzeme üretilmiş olur. Bu parçaya aynı zamanda yeşil gövde (green body) de denmektedir. Seramiklerin eklemeli üretimi, 3 aşamaya sahip bir süreçtir. Yeşil gövdeler oluştuktan sonra iki basamaklı bir ısı işlemi (bağlanmanın çözülmesi ve sinterleme ve /debinding and sintering) gerekmektedir. Bağlanmanın çözülmesi aşamasında, 550° C'ye kadar çıkan sıcaklıklarda organik matriks yakılır. Bu aşamada seyreltici buharlaşır ve bundan dolayı yeşil gövdede pörözite meydana gelir. Pöröziteler daha sonra pirolize polimer bileşenlerinin difüzyonunu ve buharlaşmasını kolaylaştırır. Piroliz, çok yüksek sıcaklıklarda (suyun veya diğer çözücülerin kaynama noktasının üzerinde) oluşan çeşitli kimyasal bozunma işlemlerinden biridir. Genellikle oksijen (yanmada) veya su (hidrolizde) gibi diğer reaktiflerin eklenmesini içermemesi bakımından, yanma ve hidroliz gibi diğer işlemlerden ayrılır. Organik maddenin yakılması ve sonrasında yapılan sinterleme işlemi hacmin ve ağırlığın azalmasına sebep olur (23). Seramiklerde kullanılan başka bir eklemeli üretim sistemi ise SLS'dir. Ancak, kaynaşma sırasındaki ısınma ve üretimden sonra malzemenin oda sıcaklığına kadar soğuması, termal şoka ve bundan kaynaklı olarak seramikte çatlaklara neden olabilir (38).

### 4. Seramik İşlenmesinde Kullanılan Eklemeli Sistemler

Bugüne kadar seramik işlemleri için araştırılan eklemeli sistem teknolojileri, Tablo 1'de gösterilmiştir (12).

<b>Stereolitografi</b>	Zirkonya, Aluminya
<b>Malzeme Çıkarması</b>	Feldspatik porselen, Zirkonya
<b>Toz Yatak Kaynaştırma</b>	Feldspatik porselen
<b>İnkjet 3B Baskı</b>	Zirkonya
<b>Bağlayıcı Püskürtme</b>	Feldspatik porselen

**Tablo 1.** Bugüne kadar seramik işlemleri için araştırılan eklemeli sistem teknolojileri.



Bu sistemlerin avantajları ve dezavantajları Tablo 2’de gösterilmiştir (12).

<b><i>Eklemleri Sistem Teknolojisi</i></b>	<b><i>Avantajlar</i></b>	<b><i>Dezavantajlar</i></b>
<b>Stereolitografi</b>	-Yüzeylerin bitim ve polisajı iyi yapılabilir ve yüksek doğruluk oranına sahiptir -Yapım platformu büyüktür -Hızlıdır	-Destek altyapıya ihtiyaç duyar -Pahalıdır -Üretim sonrası uygulanan işlemler uzun süre alır
<b>Malzeme Çıkarması</b>	-Ucuzdur	-Delğin çapının bir fonksiyonu olarak doğruluk oranı sınırlıdır
<b>Toz Yatak Kaynaştırma</b>	-Ucuzdur -Prototip yapımına uygundur -Ek destek yapılara ihtiyaç yoktur	-Yüzey bitimi ve polisajı partikül boyutuna bağlıdır -Yavaşdır -Yüksek güç gereksinimi vardır
<b>İnkjet 3B Baskı</b>	-Damlacık birikimi ile yüksek doğruluk oranı yakalanır -Açığa çıkan artık madde miktarı azdır -Birden çok malzeme ve renk başarılı bir şekilde kullanılabilir	-Kullanımı mürekkep şekline dönüştürülebilen malzemelerle sınırlıdır -Genelde destek malzemesine ihtiyaç duyar
<b>Bağlayıcı Püskürtme</b>	- Birden çok malzeme ve renk başarılı bir şekilde kullanılabilir -Hızlıdır	- Üretim sonrası uygulanan işlemler uzun süre alır -Bağlayıcı ile uyumsuz malzemeler kullanılamaz

**Tablo 2.** Bugüne kadar seramik işlemleri için araştırılan eklemeli sistem teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları.

## SONUÇ

Günümüzde 3B üretim sistemleri hızla gelişmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki günümüzde gelişmekte olan bir diğer teknoloji ise yapay zekadır ve bu eklemeli sistemlerin gelişmesinin önünü daha da açacaktır. Ayrıca eklemeli üretim dış hekimliği haricinde birçok alanda da gelişmekte olan güncel bir konu olduğundan, bu sistemler hakkında yapılan çalışmaların ve ayrılan bütçelerin artması da kaçınılmazdır. Bunlardan dolayı dış hekimlerinin eklemeli sistemler hakkında bilgi sahibi olmaları, hem ileride yaşadıkları çağı yakalayıp ayak uydurmalarını, hem de dünyada gelişen olayları daha iyi anlamlandırmalarını sağlayacaktır.

Her ne kadar oluşturulan ürünlerin çoğu özelliği genelde geleneksel yöntemlerle oluşturulanlara göre aynı veya daha kötü olsa da, eklemeli sistemlerin artık

maddeyi neredeyse hiçe indirmesi başta olmak üzere göz ardı edilemeyecek bir sürü avantajı mevcuttur. Konu hakkındaki makaleler tarandığında ise yapılan klinik çalışmaların gerçekten umut verici olduğu görülmektedir. Ancak halen uygun malzemelerin, bunların işleme tekniklerinin ve özellikle de bunların pratik hayata nasıl daha iyi adapte edilebileceklerinin detaylı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Aynı zamanda, konu hakkında makaleler tarandığında daha da iyi anlaşılacağı üzere, dış hekimlerinin konu hakkındaki gerekli terminolojik ve teknik bilgiyi edinmelerine ve bu konu hakkında daha net ve güncel sınıflamalar yapılmasına ihtiyaç vardır.

1. The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition. *J Prosthet Dent.* 2017;117(5S):e1-e105.
2. Duret F, Preston JD. CAD/CAM imaging in dentistry. *Curr Opin Dent.* 1991;1(2):150-54.
3. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J.* 2009;28(1):44-56.
4. Gupta C, Mittal A. Role of digital technology in prosthodontics: A step toward improving dental care. *Indian J Oral Health Res.* 2018;4:35-41.
5. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2011;55(3):559-70.
6. Lim SH, Kim MK, Kang SH. Genioplasty using a simple CAD/CAM (computer-aided design and computer-aided manufacturing) surgical guide. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2015;37(1):44.
7. Katkar RA, Taft RM, Grant GT. 3D Volume Rendering and 3D Printing (Additive Manufacturing). *Dent Clin North Am.* 2018;62(3):393-402.
8. Karaalioğlu OF, Duymuş ZY. Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. *Atatürk Diş Hek Fak Derg.* 2008;(1):25-32
9. Ting-Shu S, Jian S. Intraoral Digital Impression Technique: A Review. *J Prosthodont.* 2015;24(4):313-21.
10. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):149.
11. Alharbi N, Wismeijer D, Osman RB. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *Int J Prosthodont.* 2017;30(5):474-84.
12. Methani MM, Revilla-León M, Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(2):182-92.
13. Zandparsa R. Digital imaging and fabrication. *Dent Clin North Am.* 2014;58(1):135-58.
14. Burgess J. Digital DICOM in Dentistry. *Open Dent J.* 2015;9:330-36.
15. Blatz MB, Conejo J. The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin North Am.* 2019;63(2):175-97.
16. Fung L, Brisebois P. Implementing Digital Dentistry into Your Esthetic Dental Practice. *Dent Clin North Am.* 2020;64(4):645-57.
17. Güngör BE, Yılmaz M, Çelikkol O. İnteraoral Tarayıcılarda Doğruluk. *Aydın Dental Journal.* 2022;8(2):123-41.
18. Kamio T, Suzuki M, Asaumi R, Kawai T. DICOM segmentation and STL creation for 3D printing: a process and software package comparison for osseous anatomy. *3D Print Med.* 2020;6(1):17.
19. Azari A, Nikzad S. The evolution of Rapid Prototyping in Dentistry: A Review. *Rapid Prototyping Journal* 2009;15(3):216-25.
20. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D Printing in Dentistry-State of the Art. *Oper Dent.* 2020;45(1):30-40.
21. Schweiger J, Edelhoff D, Güth JF. 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *J Clin Med.* 2021;10(9):2010.
22. Chen Z, Li Z, Li J, et al. 3D printing of Ceramics: A Review. *Journal of the European Ceramic Society.* 2019;39(4):661-87.
23. Demiralp E, Doğru G, Yılmaz H. Additive Manufacturing (3D printing) methods and applications in dentistry. *Clinical and Experimental Health Sciences.* 2021;11(1):182-90.
24. Acharya A, Chodankar RN, Patil R, Patil AG. Assessment of knowledge, awareness and practices toward the use of 3D printing among dental laboratory technicians in Karnataka, India: A cross-sectional study. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2023;13(4):476-81.

25. Kihara H, Sugawara S, Yokota J, Takafuji K, Fukazawa S, Tamada A, Hatakeyama W, Kondo H. Applications of three-dimensional printers in prosthetic dentistry. *J Oral Sci.* 2021;63(3):212-16.
26. ISO/ASTM 52900:2021 (en) [İnternet] ISO - International Organization for Standardization. Erişim:<https://www.iso.org/obp/ui/%23iso:std:iso-astm:52900:ed-1:v1:en>. (Erişim tarihi 04.07.2023)
27. 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):179-85.
28. Methani MM, Cesar PF, et al. Additive manufacturing in dentistry: current technologies, clinical applications, and limitations. *Current Oral Health Reports,* 2020;7:327-34.
29. 3D Printing-Additive [İnternet] 3D Experience. Erişim:<https://make.3dexperience.3ds.com/processes/photopolymerization>. (Erişim Tarihi: 05.07.2023)
30. Pillai S, Upadhyay A, Khayambashi P, Farooq I, Sabri H, Tarar M, Lee KT, Harb I, Zhou S, Wang Y, Tran SD. Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. *Polymers (Basel).* 2021;13(1):157.
31. Metal injection molding vs. Binder jetting [2/2] [İnternet] TAV Vacuum Furnaces. Erişim: <https://www.tav-vacuumfurnaces.com/blog/42/en/metal-injection-molding-vs-binder-jetting-2>. (Erişim Tarihi: 05.07.2023)
32. PolyJet vs Multijet printing (MJP) [İnternet] FacFox Manufacturing. Erişim: <https://facfox.com/docs/kb/polyjet-mjp-comparison>. (Erişim Tarihi: 05.07.2023)
33. Ligon SC, Liska R, Stampfl J, Gurr M, Mülhaupt R. Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chem Rev.* 2017 Aug 9;117(15):10212-290.
34. Gibson I, Rosen D, Stucker B, Khorasani M. *Additive Manufacturing Technologies*, 3rd ed. Switzerland: Springer; 2021;253-318.
35. Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KTQ, Hui D. Additive Manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering.* 2018;143:172-96.
36. Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, et al. Physical and Mechanical Properties of 3D-Printed Provisional Crowns and Fixed Dental Prosthesis Resins Compared to CAD/CAM Milled and Conventional Provisional Resins: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers (Basel).* 2022;14(13):2691.
37. Sulaiman TA. Materials in digital dentistry-A review. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(2):171-81.
38. Li RW, Chow TW, Matinlinna JP. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *J Prosthodont Res.* 2014;58(4):208-16.
39. Silva LHD, Lima E, Miranda RBP, Favero SS, Lohbauer U, Cesar PF. Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Braz Oral Res.* 2017;31:e58.
40. Travitzky N, Bonet A, Dermeik B, et al. Additive manufacturing of ceramic-based materials. *Advanced Engineering Materials.* 2014;16(6):729-54.