



ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN DENTAL KULLANIMINDA GÜNCEL PROTETİK YAKLAŞIMLAR

CURRENT PROSTHETIC APPROACHES IN THE DENTAL USE OF THREE DIMENSIONAL PRINTERS

Dt Betül ARSLAN*
Prof Dr A. Dilek NALBANT*

Prof Dr Levent NALBANT*
Dt Matlab NADİROV*

Makale Kodu/Article code: 4368

Makale Gönderilme tarihi: 21.04.2020

Kabul Tarihi: 02.10.2020

DOI : 10.17567/ataunifd.804342

Betül Arslan : ORCID ID: 0000-0003-2990-1577

Levent Nalbant : ORCID ID: 0000-0003-0727-5739

A. Dilek Nalbant : ORCID ID: 0000-0002-0554-5208

Matlab Nadirov: ORCID ID: : 0000-0003-4238-5212

ÖZ

Diş hekimliğinde, diğer birçok alanda olduğu gibi, dental materyallerin üretimi de dijitalleşmekte, bilgisayar destekli tasarım ve üretim giderek yaygınlaşmaktadır. Bilgisayar destekli üretim yöntemlerinden biri olan eklemeli üretimin diş hekimliğinde kullanım alanları, tasarım özgürlüğü, hızlı ve hatasız üretim, malzeme ve iş gücü tasarrufu gibi avantajlarıyla son yıllarda artmıştır. Dijital ortodonti, cerrahi kılavuzlar, üç boyutlu modeller, dental implantlar ve protetik restorasyonlar olmak üzere çok geniş bir alanda kullanılan üç boyutlu yazıcıların, gelecekte diş hekimliğinde dijital üretim için ana yöntem haline geleceği öngörülmektedir. Bu derlemenin amacı mevcut eklemeli üretim teknolojisinin ana süreçlerini, malzemelerini ve uygulamalarını gözden geçirmek, son yıllarda avantajları ve dezavantajlarıyla üç boyutlu yazıcıların dental kullanımını ve protetik gelişmeleri değerlendirmektir. Anahtar kelimeler: Eklemeli üretim; üç boyutlu yazıcılar; hızlı prototipleme

ABSTRACT

In dentistry, as in many other fields, the production of dental materials is digitized, computer-aided design and production is becoming more common. The usage areas in dentistry have increased in recent years with the advantages of additive manufacturing, which is one of the computer-aided production methods, with design freedom, fast and faultless production, material and labor savings. It is predicted that 3D printers, which are used in a wide range of fields including digital orthodontics, surgical guides, three-dimensional models, dental implants and prosthetic restorations, will become the main method for digital production in dentistry in the future. In this review, it is aimed to define the main processes, materials and applications of current additive manufacturing technology, and to evaluate the dental use and prosthetic developments of three-dimensional printers with their advantages and disadvantages in recent years.

Key words: Additive manufacturing; three dimensional printer; rapid prototyping

* Gazi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Ankara.

Kaynakça Bilgisi: Arslan B, Nalbant L, Nalbant AD, Nadirov M. Üç boyutlu yazıcıların dental kullanımında güncel protetik yaklaşımlar. Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg 2021; 31: 459-70.

Citation Information: Arslan B, Nalbant L, Nalbant AD, Nadirov M. Current prosthetic approaches in the dental use of three dimensional printers. J Dent Fac Atatürk Uni 2021; 31: 459-70.

GİRİŞ

Eklemeli üretim, ilk olarak 1986 yılında Charles Hull tarafından kullanılan, üç boyutlu model verilerinden çeşitli yapıların ve karmaşık geometrilerin üretimini sağlayan bir teknolojidir. Bir çok alanda, çok çeşitli ürün oluşturma kapasitesiyle günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır ve önümüzdeki yıllarda artarak devam edeceği öngörülmektedir.^{1,2}

ASTM (American Society of Testing and Material) F42 Teknik Komitesi, eklemeli üretimi (Additive manufacturing, AM) "Çıkarmalı üretim sistemlerinin aksine, üç

boyutlu (3D) model verilerinden, tabaka üzerine tabaka getirilerek malzemelerin birleştirilme işlemi" olarak tanımlanmaktadır.³ Ayrıca, doğrudan dijital üretim, hızlı prototipleme, hızlı üretim, katmanlı üretim olarak da adlandırılabilir.^{4,5} Biyolojik kökenli materyaller de dahil olmak üzere tüm materyal çeşitlerinin (metaller, polimerler, seramikler ve kompozitler) üretilmesine izin veren çok çeşitli alanlarda büyük gelişmelere yol açmıştır.⁶

Endüstriyel ürünler, savunma, havacılık, tıp gibi çeşitli alanlarda kişiselleştirme ve hızlı üretim için eklemeli üretim yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir.^{7, 8} Bu



yöntemle nispeten düşük maliyetli, kişiselleşmiş ürünleri üç boyutlu üretmek mümkündür.⁹

Diş hekimliğinde eklemeli üretimin kullanılması, geleneksel üretim yöntemlerine göre çeşitli avantajlar sağlamaktadır;¹⁰⁻¹⁴

1. Karmaşık ayrıntılara sahip (düzensiz oluklar, çukurlar), kişiye özel, net biçimli ürünlerin üç boyutlu üretimine izin verir. Ürün karmaşıklığı, tasarım aşamasının ötesinde ürüne maliyet katmaz.
2. İşlemler sırasında insan hatasını en aza indirir. Daha az üretim adımı nedeniyle az insan müdahalesi gerekir.
3. Ürünlerin üretim zamanının ve dolayısıyla teslim süresinin kısaltılmasına izin verir.
4. Malzeme israfını ve enerji tüketimini azaltır. Geleneksel üretim araçlarının (driller) kullanımını ortadan kaldırır.
5. Pasif üretim yapılır, frezleme için kuvvet gerekmez.
6. Çıkarılabilir üretime kıyasla büyük nesnelere üretme kolaylığı sağlar.
7. Sayısallaştırılmış verilere dayalı ayrıntılı üretim (CT, MRI) ve tekrarlanabilirlik ile karakterizedir.

1. Eklemeli Üretim Yöntemleri

Eklemeli üretimin temel prensibi, doğrudan bilgisayar ortamında tasarlanmış bir üç boyutlu model oluşturmaktır.¹⁵ Bu teknoloji Charles Hull tarafından stereolitografi adı verilen yöntem ile kullanılmış daha sonra toz yataklı füzyon, eriyik yağma modelleme, inkjet baskı gibi yöntemlerle geliştirilmiştir.

Büyük yapıları üretebilme, hataları azaltma ve mekanik özellikleri geliştirme yeteneği, bu teknolojinin önemli avantajlarından bazılarıdır. Eriyik yağma modelleme, toz yataklı füzyonu, mürekkep püskürtmeli baskı, stereolitografi, direkt enerji depolama ve lamine nesne üretimi eklemeli üretimin ana yöntemleridir.¹

1.1. Eriyik Yağma Modelleme (FDM/Fused Deposition Modelling)

Üç boyutlu üretim teknolojilerinden en yaygın ve ucuz olanıdır. Düşük maliyet, yüksek hız ve işlemin basitliği FDM'nin temel avantajlarından. Zayıf mekanik özellik, tabaka-tabaka görünüm, düşük yüzey kalitesi ve sınırlı sayıda termoplastik malzeme ana dezavantajlarıdır.^{16,17} FDM yönteminde, termoplastik polimer filamentler kullanılır. Filamentler, yarı sıvı hale getirmek için ısıtılır ve daha sonra plaka üzerine ekstrüde edilir.¹⁶

1.2. Toz Yataklı Füzyonu (Powder Bed Fusion)

Toz yataklı füzyonu üretim teknikleri seçici lazer sinterleme (SLS), doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS), seçici lazer ergitme (SLM) ve elektron ışını

ergitme (EBM) olarak dörde ayrılır.¹⁸

Toz yataklı füzyon işlemleri, bir platform üzerine yayılmış ve sıkı bir şekilde paketlenmiş tozların, bir lazer ışını veya bir bağlayıcı ile birlikte kaynaştırılmasından oluşur. Ardından gelen toz katmanları önceki katmanların üstüne yuvarlanır ve üç boyutlu kısım üretilene kadar bir araya getirilir.¹⁹⁻²¹

İnce çözünürlük ve yüksek baskı kalitesi, toz yataklı füzyonun ana avantajlarıdır. Bununla birlikte, yavaş bir işlem olan bu yöntemin dezavantajları, toz bağlayıcı ile kaynaşırken yüksek gözeneklilik ve maliyettir.²²

1.3. Mürekkep Baskı ve Kontür Üretimi (Inkjet Printing And Contour Crafting)

Mürekkep baskı, seramiklerin eklemeli üretimi için ana yöntemlerden biridir. Kararlı seramik süspansiyonda zirkonyum oksit tozu pompalanır ve enjeksiyon yoluyla alt tabakaya damlacıklar halinde toplanır. Düzlemsel yüzeyde biriken damlacıklar etkileşir, daha sonra kuruyup katlaşıp üç boyutlu modeli oluşturur.¹

Karmaşık yapıların hızlı bir şekilde üretimini sağlayan verimli bir yöntemdir.²³ Kötü çözünürlük ve katmanlar arasında birleşme eksikliği bu yöntemin ana dezavantajlarıdır.²⁴

1.4. VAT Polimerizasyonu / Stereolitografi (SLA)

İlk eklemeli üretim teknolojisidir. Bu yöntemde, seramik tozu ile karıştırılan ışıkla işlem görmüş fotopolimer rezin içeren bir kaptaki her seferinde bir katman oluşturmak için belirli bir ışık türü (lazer veya LED ışığı) kullanılır. Işık her katmanı sıvı rezinin yüzeyinden geçirir. Daha sonra levha başka bir rezin katmanının yüzeye yayılmasına izin vererek alçılır ve böylece işlem tekrarlanır.²⁵ Işık kaynağı ve maruz kalma enerjisi, her katmanın kalınlığını kontrol eden ana faktörlerdir.²⁶

SLA hızlı üretim sağlar, yüksek doğruluk ve iyi sonuç seviyesiyle karmaşık şekiller oluşturmaya olanak sağlar.²² Yüksek kaliteli parçaları 10 µm kadar düşük bir çözünürlükte üretir.²⁷ Diğer taraftan nispeten yavaş, pahalı ve malzeme aralığı sınırlıdır (fotoaktif monomerler, hibrit polimer seramik). Ayrıca, reaksiyonun kinetiği ve sertleştirme işlemi karmaşıktır.²⁶

1.5. Direkt Enerji Depolama (DED/Direkt Energy Deposition)

Doğrudan enerji biriktirme (DED), mevcut bileşenlere malzeme eklemek için yaygın olarak kullanılan daha karmaşık bir eklemeli üretim yöntemidir.²⁸ Doğrudan hammaddenin küçük bir bölgesine odaklanır ve eritmek için bir enerji kaynağı (lazer veya elektron ışını) kullanılır. Erimiş malzeme daha sonra çöktürülür ve



alt tabakaya kaynaşır. Bu adımlar, tüm katmanlar çökene kadar tekrar edilir.^{28,29}

Genel olarak DED, yüksek hızlarda büyük çalışma modelleri ile karakterizedir. Bununla birlikte, daha düşük hassasiyete ve daha düşük yüzey kalitesine sahiptir ve toz yataklı füzyona kıyasla daha az karmaşık parçalar üretilebilir.²⁸

1.6. Lamine Nesne Üretimi (LOM-Laminate Object Manufacturing)

Lamine nesne üretimi, tabaka rulolarının laminasyonu temeline dayanan eklemeli üretim yöntemlerinden biridir. Ardışık katmanlar, mekanik bir kesici veya lazer kullanılarak kesilir ve birbirine bağlanır.³⁰

LOM polimerler, kompozitler, seramikler, kağıt ve metal dolgulu bantlar gibi çeşitli malzemeler için kullanılabilir. Maliyet ve üretim sürelerinden kazanç sağlayan büyük yapılar için en iyi eklemeli üretim yöntemlerinden biridir. Bununla birlikte, daha düşük yüzey kalitesine sahiptir ve boyutsal hassasiyeti düşüktür. Ayrıca, karmaşık şekiller için önerilmez.¹

2. Eklemeli Üretimde Kullanılan Materyaller

Metaller ve alaşımlar, polimerler, kompozitler ve seramikler eklemeli üretimde kullanılan başlıca materyallerdir.^{1,13,31}

Metaller havacılık endüstrisindeki ileri uygulamalar, biyomedikal, savunma ve otomotiv endüstrilerinde kullanılmaktadır.^{1,6,32} En yaygın kullanılan üretim tekniği toz yataklı füzyondur. Bu teknoloji düşük maliyetle yüksek kaliteli ürünlerin seri üretim avantajına sahiptir.³³

Polimerler, çeşitliliği ve farklı üretim işlemlerine uyum kolaylıkları nedeniyle üç boyutlu üretimde en yaygın kullanılan malzemelerdir ve termoplastik filamentler, reaktif monomerler, rezin veya toz formunda bulunurlar. Polimerlerin ve kompozitlerin eklemeli üretimde kullanım alanları; uzay, mimari ve tıbbi uygulamalardır.¹ Fakat diş hekimliğinde eklemeli üretim için kullanılacak polimer malzeme sayısı diğer alanlara göre daha az ve uygulama alanları kısmen sınırlıdır (çalışma modelleri, çene yüz protezleri, ortodontik aletler vb.).¹⁴

Polimerlerin ve kompozitlerin üretimi için çeşitli eklemeli üretim teknikleri mevcuttur; SLA, SLS, FDM. FDM yaygın olarak düşük erime noktalarına sahip polimerlerin ve termoplastiklerin üretiminde kullanılır.²⁷

Üç boyutlu üretim için ortaya çıkan diğer malzemeler, sinterleme sıcaklıkları azaltılabilen, mekanik ve elektriksel özellikleri geliştirilebilen nanomalzemelerdir.³⁴ Nanokompozitler, termal iletkenliklerinin ve dayanıklılıklarının iyi ve hafif olmaları gibi özellikleri

nedeniyle tercih edilmektedir.³⁵

Seramikler, işleme zorlukları nedeniyle eklemeli üretim teknolojilerinde gelişmeleri devam eden materyallerdir. Seramik malzemelerin erime noktaları genellikle normal ısıtma yöntemleri altında eriyemeyecek kadar yüksektir. Bazı seramikler eritilebilmelerine rağmen, yeni faz oluşumu ve emilim kabiliyetlerini değiştirebilen karmaşık faz diyagramları vardır.³⁶

3. Eklemeli Üretim Kullanım Alanları

Eklemeli üretim, iş gücünden ve üretim süresinden tasarruf sağlama gibi avantajlarıyla havacılık, otomotiv, inşaat ve enerji gibi birçok sektörde sıklıkla kullanılmaktadır.²²

Son on yılda üç boyutlu üretim yöntemlerine olan ilginin artmasının ardından, rejeneratif tıpta ve doku mühendisliğinde kullanımı en çok araştırılan konular arasındadır.³⁷ Yapay dokuların ve karmaşık üç boyutlu in vitro modellerin üretimine izin vermektedir.^{37,38}

Kişiselleştirme eklemeli üretimde önemli bir faktördür. Hastanın ihtiyaçlarını karşılayan, spesifik özelliklere sahip çeşitli ürünlerin üretilebilmesi başlıca avantajlarından. Örneğin; tanı platformları, ortopedik ve dental implantlar, ilaç üretme sistemleri, tıbbi cihazlar, yapay dokular ve organlar üretmek mümkündür.³⁹⁻⁴¹ Eklemeli üretim yoluyla biyofabrikasyon son yıllarda doku üretimi için yeni bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır.⁴²

3.1. Dental Kullanım Alanları

3.1.1. Dijital Ortodonti

Eklemeli üretim, ortodonti de dahil olmak üzere diş hekimliğinde kişiselleştirme ve yeniden üretilebilirlik olanaklarına sahiptir.⁴³ Hekim dişleri taradıktan sonra ortodontik braketler tasarlayıp üretebilmektedir.⁴⁴ Braket üretimi sırasında açılma, bükülme ve malzeme seçimi açısından hastaya özel ayarlamalar yapmak mümkündür.⁴⁵ Klinik çalışmalar, bu tekniğin kullanıldığı vakalarda hasta memnuniyeti belirtse de, üç boyutlu yazıcılarla üretilen ortodontik braketlerin stabilitesi için daha fazla çalışma gereklidir.⁴⁶ Dijital ortodontide ayrıca hizalayıcı(Invisalign®) ve üç boyutlu model üretmek için hastanın dişlerini dijital olarak planlayan sistemler mevcuttur.⁴⁷

Eklemeli üretimle ortodontik amaçlı doğru ve tekrarlanabilir dental modeller oluşturmak mümkündür.⁴⁸ Kompleks oral dokuya benzer modeller, ortodontik tedavi nedeniyle oluşan kuvvetlere biyolojik tepkileri ölçmek için kullanılabilir ve bu modellerin şu anda kullanımda olan hayvan deneylerine alternatif olabileceği bildirilmiştir.⁴⁹



Temporomandibular eklem disfonksiyonu (TMJ) bozukluğu olan hastalar için sert diş hizalayıcıları ve okluzal splintlerin yapımında üç boyutlu yazıcılar kullanılabilir. ^{50,51} Ayrıca Herbst, Andresen ve uyku apnesi cihazları gibi yardımcı cihazlar, bu teknoloji ile üretilmektedir. ⁵²

3.1.1 Cerrahi Kılavuzlar ve Modeller

Eklemli üretim kullanım alanlarından biri de anatomik çalışma modellerinin ürettiği tıbbi modelledir. ⁵³ Bu modellerle, karmaşık anatomiyi dikkatle gözden geçirmek ve cerrahi öncesi planlama yapmak mümkündür. ⁵⁴ Modeller tanı, cerrahi öncesi planlama, cerrahi işlem sırasında referans olarak kullanılabilir. Eklemli üretim oral ve çene-yüz cerrahisi alanında neredeyse otuz yıldır kullanılmaktadır. ^{55,56}

Daniel ve ark. ⁵⁷ flepsiz cerrahi tekniğiyle, bilgisayarlı tomografi(BT) görüntülerine dayanan bir tedavi planlama prosedürü ve üst çenenin derhal yüklenmesi için sabit protez rekonstrüksiyonunu içeren konsepti değerlendirip protokolün başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Eufinger ve ark. ⁵⁸ BT verilerine dayanarak implantın ameliyat öncesi modellemesi için CAD/CAM tekniklerini incelemiş, kranyofasiyal kemik defektlerinin, tomografi verisine dayalı bireysel implantlarla rekonstrüksiyonunun, geleneksel yöntemlerden daha üstün olduğunu belirtmişlerdir.

Revilla-Leon ve ark. ⁵⁹ bir koordinat ölçme makinesi kullanılarak alçı model ve eklemli üretim ile üretilen polimerlerden yapılan tam dişsiz maksiller modellerdeki implant analog pozisyonlarının doğruluğunu analiz edip, aralarında anlamlı bir fark olmadığını bildirmişlerdir.

Geniş klinik uygulamalarla birlikte üç boyutlu üretim, oral cerrahide eğitim ve öğretim için işlevsel bir araçtır. Öğrencilerin ve pratisyenlerin çene-yüz ameliyatları pratiği için, orofasiyal anatominin hassas ve hızlı bir şekilde çoğaltılabilmesine olanak sağlar. ⁶⁰

3.1.2 Dental İmplantlar

Günümüzde üç boyutlu yazıcılarla, gözenekli ve pürüzlü bir yüzeye sahip dental implant üretmek mümkündür. ⁶¹ Bu teknolojiyle daha az klinik adımla, daha minimal invaziv ve maksimum doku korumayla, optimal bir rehabilitasyon sağlamanın mümkün olduğu bildirilmiştir. ^{62,63}

Metal implantlar EBM, SLM ve DMLS yöntemleri ile üretilir. ⁶⁴⁻⁶⁶ Eklemli üretim işlemleri sırasında karmaşık metalurjik işlemlerle kişiye özgü, iyi mekanik özelliklere sahip ince ölçekli mikro yapılar üretilir.

Bu yöntemle üretilen gözenekli yapılar, vaskülarizasyona izin vererek ve kemik dokusuna tutunma bölgeleri sağlayarak, hızlandırılmış osseointegrasyonu teşvik etmektedir. ^{36,64}

Chen ve ark. ⁶¹ fabrikasyon implantlarla karşılaştırılabilen bükülme direnci ile yüksek dayanıma sahip implantlar üretmişlerdir ve bu implantların granül bir yüzeye sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Peng ve ark. ⁶⁷ Shaoki ve ark. ⁶⁸ Ramakrishnaiah ve ark. ⁶⁹, üç boyutlu üretilmiş implantlarda çeşitli geometrilere gözenekli yüzeylerin olduğu bildirilmiştir. Hyzy ve ark. ⁷⁰, geleneksel yöntemle üretilmiş yüzeye kıyasla benzer veya artırılmış pürüzlülük oluşturduğunu saptamışlardır.

Osman ve ark. ⁷¹ eklemli yöntem ile üretilmiş kişiye özel zirkonya dental implantların yeterli boyutsal hassasiyete sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu sistemle üretilmiş implantların mekanik özelliklerinin, geleneksel yöntemlere yakın bükülme direnci gösterdiği bildirilmiştir.

Wang ve ark. ⁷² FDM ile yüksek doğrulukta polietileneterketon (PEEK) dental implant üretmiş, kemiğe yakın elastisite modülü ve azalmış alerji riski ile metal ve zirkonya implantlara alternatif olarak kullanılabilirliğini bildirmişlerdir.

Sonuç olarak eklemli yöntemle implant üretimi; tasarımında kişiselleştirme, kimyasal ve fiziksel parametrelerin manipülasyonu gibi avantajlara sahiptir. ⁷³ İmplantlar, yeni kemik oluşumunu teşvik eden ve osseointegrasyon sürecini iyileştiren gözenekli bir yapıya sahiptir. ⁶⁷⁻⁷⁰ Bununla birlikte yüzey kalitesi, boyutsal hassasiyet ve ürünün yetersiz mekanik özellikleri gibi sorunlar devam etmektedir. ⁷⁴ Tekniğin yakın zamanda diş hekimliğine getirilmiş olması nedeniyle etkinliği, avantajları, dezavantajları ve endikasyonları gibi konular hala tam olarak cevaplandırılmamıştır. ^{73,74}

3.1.3 Protetik Restorasyonlar:

Bilgisayar destekli üretimin (çıkarmalı ve eklemli üretim) gelişimi ve uygulanması, protetik restorasyonların üretiminde alternatif bir yol sağlamıştır. ⁷⁵ Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, bilgisayar destekli üretim ölçü, mum modelaj ve döküm gibi hataya yol açabilen basamakları atlama avantajına sahiptir. ⁷⁶

Bilgisayar destekli üretim yöntemlerinden biri olan eklemli üretim; üretim kolaylığı, malzeme tasarrufu, karmaşık şekillerin seri üretimi gibi avantajlarıyla oldukça popüler hale gelmiştir. ⁷⁴ Sabit ve hareketli protezler, bölümlü protez için iskeletler, mum modeller, metal altyapılar, zirkonyum kronlar, çene yüz



protezleri ve tam protezler gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir.⁷⁷

Üç boyutlu modelleme

Üç boyutlu yazıcılarla üretilen çalışma modelleri iş gücünden ve zamandan tasarruf, düşük maliyet gibi avantajlarıyla geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif olmuştur.⁷⁸ Jeong ve ark.⁷⁹ çıkarmalı yöntem ve üç boyutlu yazıcıyla üretilmiş dental modellerin doğruluğunu değerlendirmiş, eklemeli üretimin daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Park ve ark.⁸⁰ geleneksel yöntemlerle dökülen alçı modeller ve üç boyutlu hazırlanan modellerin doğruluğunu ve tekrar edilebilirliğini karşılaştırdıkları çalışmalarında geleneksel yöntemden daha güvenilir olduğunu bildirmişlerdir.

Protetik restorasyonların üretim aşamasında, üç boyutlu yazıcılarla mum modelajlar ve iskelet modeller üretilebilmektedir.⁸¹ Wu ve ark.⁸² SLA yöntemiyle üretilen iskelet modellerini geleneksel yöntemlerle dökümüş, sonucu başarılı bulmuştur. Fathi ve ark.⁸³ döküm yöntemiyle üretilmek üzere farklı yöntemlerle mum modeller hazırlayıp döküm sonrası marjinal ve internal uyumlarını değerlendirmiş, üç boyutlu yazıcıyla üretilen mum modeller daha başarılı bulunmuştur. Homsy ve ark.⁸⁴ farklı yöntemlerle üretilmiş mum modelasyonlar kullanılarak üretilen lityum disilikat cam-seramik kronların marjinal ve internal uyumlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, çıkarmalı yöntem ile üretilen mum modellerin kullanıldığı kronların daha yüksek uyum gösterdiği bildirilmiştir.

Geçici protezler

Üç boyutlu yazıcılarla sabit ve hareketli geçici restorasyonlar üretmek eklemeli üretim teknolojileriyle mümkündür.⁸⁵ Lin ve ark.⁸⁶ üç boyutlu üretilen rezinlerin doğruluğunu, mekanik ve biyolojik özelliklerini değerlendirdikleri çalışmalarında, sonuçlar klinik uygulama için başarılı bulunmuştur. Digholkar ve ark.⁸⁷ eklemeli üretim geçici materyalini (E-dent 100; Nexdent) mevcut geçici dental materyallerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha düşük bükülme direnci ve yüksek mikro sertlik sergilediğini bildirmişlerdir.

Lin ve ark.⁸⁸ üç boyutlu yazıcıyla (MAX; Asiga) geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede ve düşük maliyetle hareketli geçici protez üretmiş fakat klinik çalışmalar eksik olduğundan, uzun vadeli boyut ve renk stabilitesinin, biyoyoumluluğunun ve mekanik özelliklerinin bilinmediğini bildirmişlerdir.

Alharbi ve ark.⁸⁹ Lee ve ark.⁹⁰ üç boyutlu üretilmiş geçici restorasyonların, çıkarmalı yöntem ile üretilen restorasyonlara göre daha yüksek internal uyum gösterdiğini bildirmişlerdir. Choi ve ark.⁹¹ farklı

üretim teknikleriyle üretilmiş üç üyeli geçici köprülerin marjinal ve internal uyumlarını değerlendirmiş, eklemeli üretim ile üretilenlerin daha iyi uyum ancak zayıf hassasiyet gösterdiğini bulmuşlardır. Benzer şekilde Peng ve ark.⁹² dijital üretilmiş geçici kronların geleneksel yöntemlerle üretilenlerden daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Mai ve ark.⁹³ üç boyutlu yazıcıyla üretilen geçici kuronlarda, özellikle okluzal bölgelerinde yüksek uyum bildirmişlerdir.

Tahayeri ve ark.⁹⁴ eklemeli üretim doğruluğunun sınırlı bilgisine rağmen, geçici restorasyonların intraoral kullanımı için yeterli mekanik özelliklere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut veri eksikliği nedeniyle, maksimum gövde sayısı belirsizliğini korumaktadır. Bu malzemelerin tamir edilemeyeceği veya geleneksel malzemelerle tamirinin uygun olup olmadığı da belirsizdir. Ayrıca, bu materyallerin ağızdaki zamana bağlı değişimleri henüz incelenmemiştir.⁸⁵

Hareketli protezler

Tam dişsiz hastaların tedavisi için öncü CAD/CAM yöntemlerinde biri de hızlı prototiplemedir. Dijital sistemlerin geliştirilmesi, geleneksel ve dijital işlemlerin kombinasyonu ile total protez üretimini mümkün kılmaktadır.^{95,96} Inokoshi ve ark.⁹⁷ geleneksel yöntemle ve eklemeli üretimle elde edilen maksiller ve mandibular tam protezleri karşılaştırmıştır. Hastalar tarafından her iki teknik de protezlerin konforu ve genel memnuniyet açısından eşit olarak değerlendirilmiştir; ancak protez uzmanlarının değerlendirmesinde, koltuk süresi ve genel memnuniyet açısından eklemeli üretim daha avantajlı bulunmuştur.

Eklemeli üretimle rezin içerikli dişler üretilebilmektedir.⁹⁸ Park ve ark.⁹⁹ SLA yöntemiyle üretilen metakrilat esaslı fotopolimerize rezin içerikli dişlerin (Dentca) kırılma direncini, geleneksel prefabrik dişlerle karşılaştırdıkları çalışmalarında, yeterli kırılma direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Protetik restorasyonlarda renk stabilitesi, hem protezlerin uzun ömürlü olmasında, hem de hasta memnuniyetinde önemli bir faktördür. Koh ve ark.¹⁰⁰ çeşitli renklendiricilerde, SLA ile üç boyutlu üretilmiş dişlerin renk stabilitesini, farklı fabrikte dişlerle karşılaştırmış, aralarında anlamlı bir fark bulmamışlardır.

Hareketli bölümlü protezlerin üç boyutlu üretiminde, iskeletler metalden veya rezinden üretilebilir.^{101,102} Kruth ve ark.¹⁰³ SLS ve SLM yöntemleriyle, farklı materyaller ile karmaşık şekilli iskeletlerin doğru bir şekilde üretilebildiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, bu yöntemle hareketli protezler için iskelet üretim



maliyetleri hala oldukça yüksektir ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.^{82,104}

Çene Yüz Protezleri

Eklemeli üretim ile çene yüz protezlerinin üç boyutlu tasarım ve üretimi ile fasiyal defektlerin protetik rehabilitasyonu yapılabilmektedir.² Böylece, hekimin başarılı tedavi sonuçları elde etmesi ve yüz ameliyatı geçiren hastaların görünüşünün ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesi sağlanmış olur.¹⁰⁵

Eklemeli üretimle birlikte bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans kullanılarak, ölçü almadan defekt bölgesine uyumlu çene yüz protezleri üretilebilmektedir.^{21,106} Morfoloji ve ortalama yüz formu kolayca elde edilebileceği için daha doğal protez üretimi dijital teknoloji ile mümkündür.¹⁰⁶

Unkovskiy ve ark.¹⁰⁷ dijital iş akışının ilerlemesiyle çene yüz protezlerinin başarılı bir estetik sağlayan silikondan üç boyutlu üretiminin ve hasta için randevu sayısını azaltmanın mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Kim ve ark.¹⁰⁸ palatal rezeksiyon sonrası defektin kapatılması için eklemeli yöntem kullanarak obturatör iskeletleri tasarlamış ve klinik sonucunun tatmin edici olduğunu bildirmişlerdir.

Metal Alt Yapılar

Eklemeli üretim yöntemlerinin protetik kullanım alanlarının biri de sabit restorasyonların metal alt yapılarının üretimidir. Kayıp mum tekniğine alternatif olan bu yöntemde restorasyon, lazer ışını ile toz halindeki metal alaşımı üzerinde seçilmiş alanlar sinterlenerek üretilmektedir.^{21,109} Çok üyeli restorasyonlarda geleneksel yöntemlerle uygun bir pasif uyum sağlanamadığından, CAD/CAM yöntemlerinin daha iyi internal ve marjinal uyum sağlayacağı bildirilmiştir.¹¹⁰

Uçar ve ark.¹¹¹ eklemeli üretim ve geleneksel döküm tekniği ile üretilen metal altyapıların internal uyumlarını kıyaslamış, aralarında belirgin bir farklılık olmadığını, eklemeli üretimin klinik kullanımda güvenilir olduğunu bildirmişlerdir. Kim ve ark.¹¹² kayıp mum tekniği, çıkarmalı ve eklemeli üretim yöntemleri kullanılarak üretilen kobalt-krom (Co-Cr) alt yapıların marjinal ve internal boşluklarını değerlendirmiş, eklemeli üretimi başarısız bulmuşlardır. Park ve ark.¹¹³ yaptıkları benzer çalışmada eklemeli üretimin klinik olarak kabul edilebilir başarı gösterdiğini fakat hala geleneksel yöntemlerden üstün olmadığını bildirilmiştir.

Presetto ve ark.¹¹⁴ SLM ile üretilen üç üyeli sabit protez metal alt yapıların boyutsal hassasiyetini geleneksel yöntem ve çıkarmalı üretim ile karşılaştırmış, eklemeli üretim yönteminin diğerlerinden başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Akçin ve ark.¹¹⁰ kayıp mum

tekniği, çıkarmalı üretim ve lazer sinterleme ile üretilen, üç, dört ve beş üye implant üstü metal altyapıların marjinal ve internal uyumunu karşılaştırdıkları çalışmada, çıkarmalı yöntem ile üretilmiş beş üyeli alt yapılar en düşük marjinal uyum değerlerine sahipken, kayıp mum tekniği üye sayısından bağımsız en iyi sonuçları göstermiştir. SLM klinik uygulama için iyi bir üretim yöntemidir, ancak implant destekli sabit protezlerin gerilim, gerinim, marjinal uyum ve boyutsal kesinlik ile ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaçları vardır.¹¹⁴

Hang ve ark.¹¹⁵ Co-Cr alaşımından geleneksel döküm, çıkarmalı yöntem ve SLM ile üretilen örneklerin mekanik özelliklerini, metal-seramik bağlanma dayanımlarını ve mikro yapılarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, eklemeli üretimin gelişmiş mekanik özellik ve metal-seramik bağlanma dayanımı gösterdiği ve sabit restorasyonların üretimi için geleneksel yöntemlerden daha başarılı olduğu bildirilmiştir.

Seramikler

Otuz yıla aşkın bir süredir eklemeli üretim teknolojileri polimerik veya metalik malzemelerden prototipler veya modeller üretmek için kullanılmıştır. Son zamanlarda, bu teknolojiyle seramiklerin üretimi popülerlik kazanmıştır. Seramik malzemelerin işleme yöntemleri komplike ve kapsamlıdır. Öte yandan, eklemeli üretim teknolojilerinin başarılı olduklarında, seramiklerin endüstriyel üretimi üzerinde önemli bir etki göstermesi ve yeni kullanım alanları açması beklenmektedir.¹¹⁶

Toz yatağı füzyonu işlemleri, seramik üretimi için kullanılan ilk eklemeli üretim teknolojisidir. Isı kaynağı olarak elektron ışını kullanılması, çatlama ve yapısal bozulma gibi zorluklar nedeniyle ilgi görmemiştir.^{117,118} Wilkes ve ark.¹¹⁹ zirkonya ve alümina seramik malzemelerinin SLM ile üretimini araştırmış, herhangi bir sinterleme işlemi veya bir son işlem olmaksızın seramik üretiminin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Eklemeli üretim seramikleri ile yapılan son araştırmaların çoğu SLA tabanlı teknolojilerin kullanımına odaklanmaktadır.^{118,120} Bu yöntemde, yüksek miktarda seramik dolgulu, ışıkla sertleşen bir bağlayıcı kullanılır. Bağlayıcının ışıkla sertleşmesini sağlamak için, daha iyi ışık saçılma özelliklerine sahip daha küçük seramik parçacıkları tercih edilir.²³

Xing ve ark.¹²¹ SLA yöntemiyle yüksek boyutsal hassasiyete sahip kompleks zirkonya seramikler üretilmiş, bu seramiklerin çıkarmalı yöntemle üretilmiş zirkonyaya yakın mekanik özelliklere (kırılma tokluğu ve sertliği) sahip olduğunu bildirilmiştir.



Üç boyutlu üretilen seramiklerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik farklı yöntemler ve malzemeler araştırılmıştır. Li ve ark.¹²² kalsiyum sülfat ve dekstrin ilavesiyle gözenekli bir alümina seramik geliştirmiş, seramiğin çok yüksek bir eğilme dayanımı gösterdiği bildirilmiştir.

Scheithauer ve ark.¹²³ termoplastik bağlayıcı sistemli yüksek dolduruculu üç boyutlu sistemler kullanarak yoğun alümina parçalarının basma direncini araştırmış, yüksek yoğunluklu, homojen mikro yapıları olan katmanlar arasında çok iyi bağlanma bildirmişlerdir. SLS, üç boyutlu seramik üretimi için yaygın bir yöntemdir.²³ Seramiklerin partikül büyüklüğü ve dağılımı, ürünün akışkanlığını, yoğunluğunu ve büzülmesini etkiler, daha yüksek miktarda ve ince parçacıklar akışkanlığı azaltmaktadır.¹²⁴

Wang ve ark.¹²⁵ eklemeli ve çıkarmalı yöntemle üretilmiş zirkonya restorasyonun üç boyutlu gerçekliğini değerlendirmiş, gruplar arasında yüzey doğruluğu farkı olmadığını bildirmişlerdir. Zandinejad ve ark.¹²⁶ zirkonya abutment üzerine simante edilen, çıkarmalı yöntemle üretilmiş zirkonya, lityumdisilikat ve eklemeli yöntemle üretilmiş zirkonya kronlar üzerine dikey yönde kuvvet uygulayarak kırılma dirençlerini analiz etmiş, gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığını bildirmişlerdir.

Li ve ark.¹²⁷ üç boyutlu üretilmiş farklı okluzal geometrilere ve kenar kalınlığına sahip monolitik zirkonya restorasyonları çıkarmalı yöntemle üretilen restorasyonlarla doğruluk ve kenar özellikleri yönünden karşılaştırmış, eklemeli yöntemle üretilen zirkonya restorasyonların daha doğru kenar özelliklerine sahip olduğu ve bu yöntemin karmaşık geometrileri daha etkin oluşturduğu bildirilmiştir.

SONUÇ

Eklemeli üretim, kişiselleştirme, tasarım özgürlüğü, karmaşık yapıların minimum atıkla, seri ve düşük maliyetle üretilebilmesi ve yedeklemeyi kolaylaştırması ile farklı disiplinlerde geniş uygulama alanları sunmaktadır. Sınırlı üretim adımı nedeniyle az insan müdahalesi gerekliliği bu yöntemin en önemli avantajlarından. Öte yandan yüzey kalitesi, boyutsal doğruluk ve mekanik stabilite gibi özelliklerin geliştirilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Gelecekte eklemeli üretimin dental kullanımının giderek artacağı ve yakın gelecekte dijital üretim için ana teknolojilerden biri haline geleceği öngörülmektedir.

Bu çalışma, çalışmayı yürüten tüm yazarlar tarafından okunmuş ve onaylanmış orijinal bir çalışmadır. Herhangi bir yazar, kurum ya da kuruluş ile çıkar çatışması olmadığını belirtmek isteriz.

KAYNAKLAR

1. Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KT, Hui D. Additive manufacturing (3d printing): A review of materials, methods, applications and challenges. Compos B Eng 2018; 143: 172-96.
2. Van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent Mater J 2012; 28: 3-12.
3. Monzón M, Ortega Z, Martínez A, Ortega F. Standardization in additive manufacturing: Activities carried out by international organizations and projects. Int J Adv Manuf Tech 2015; 76: 1111-21.
4. Guo N, Leu MC. Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. Front Mech Eng-Prc 2013; 8: 215-43.
5. Campbell I, Bourell D, Gibson I. Additive manufacturing: Rapid prototyping comes of age. Rapid Prototyping J 2012; 18: 255-58.
6. Gao W, Zhang Y, Ramanujan D, Ramani K, Chen Y, Williams CB, et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. Computer-Aided Design 2015; 69: 65-89.
7. Mohd Javid AH. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. J Oral Bio Craniofac Res 2019; 8: 179-85.
8. Cebeci NÖ, Tokmakçıpölu HH. Protetik diş tedavisinde eklem yöntemi ile üretim. SAK 2018; 3: 66-86.
9. Berman B. 3-d printing: The new industrial revolution. Bus horiz 2012; 55: 155-62.
10. Tofail SA, Koumoulos EP, Bandyopadhyay A, Bose S, O'Donoghue L, Charitidis C. Additive manufacturing: Scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. Mat Today 2018; 21: 22-37.
11. Braian M, Jimbo R, Wennerberg A. Production tolerance of additive manufactured polymeric objects for clinical applications. Dent Mater J 2016; 32: 853-61.
12. Bhushan B, Caspers M. An overview of additive manufacturing (3d printing) for microfabrication. Microsyst Technol 2017; 23: 1117-24.
13. Prakash KS, Nancharaih T, Rao VS. Additive manufacturing techniques in manufacturing-an overview. Mater Today 2018; 5: 3873-82.
14. Jockusch J, Özcan M. Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes,



- materials and applications. *Dent Mater J* 2020; 39: 345-54.
15. Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *J Oral Bio Craniofac Rec* 2019; 9(3): 179-85.
 16. Mohamed OA, Masood SH, Bhowmik JL. Optimization of fused deposition modeling process parameters: A review of current research and future prospects. *Adv Manuf* 2015; 3: 42-53.
 17. Chohan JS, Singh R, Boparai KS, Penna R, Fraternali F. Dimensional accuracy analysis of coupled fused deposition modeling and vapour smoothing operations for biomedical applications. *Compos Part B-Eng* 2017; 117: 138-49.
 18. Shirazi SFS, Gharekhani S, Mehrali M, Yarmand H, Metselaar HSC, Kadri NA, et al. A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering: Selective laser sintering and inkjet 3d printing. *Sci Adv Mater Technol* 2015; 16: 033502.
 19. Mazzoli A, Ferretti C, Gigante A, Salvolini E, Mattioli-Belmonte M. Selective laser sintering manufacturing of polycaprolactone bone scaffolds for applications in bone tissue engineering. *Rapid Prototyping J* 2015; 21: 386-92.
 20. Taylor AC, Beirne S, Alici G, Wallace GG. System and process development for coaxial extrusion in fused deposition modelling. *Rapid Prototyping J* 2017; 23: 543-50.
 21. Yıldırım MP, Bayındır F. Protetik diş tedavisinde hızlı prototip üretim teknolojileri. *Atatürk Üniv Diş Hek Fakül Derg* 2013; 23: 430-35.
 22. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dent Mater* 2019; 35: 825-846.
 23. Travitzky N, Bonet A, Dermeik B, Fey T, Filbert-Demut I, Schlier L, et al. Additive manufacturing of ceramic-based materials. *Adv Eng Mater* 2014; 16: 729-54.
 24. Khoshnevis B. Automated construction by contour crafting related robotics and information technologies. *Automat Constr* 2004; 13: 5-19.
 25. Wu H, Cheng Y, Liu W, He R, Zhou M, Wu S, et al. Effect of the particle size and the debinding process on the density of alumina ceramics fabricated by 3d printing based on stereolithography. *Ceram Int* 2016; 42: 17290-94.
 26. Melchels FP, Feijen J, Grijpma DW. A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials* 2010; 31: 6121-30.
 27. Wang X, Jiang M, Zhou Z, Gou J, Hui D. 3d printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Compos Part B-Eng* 2017; 110: 442-58.
 28. Gibson I, Rosen DW, Stucker B. *Additive manufacturing technologies*. 2 ed. London, UK; Springer: 2015. p. 245-68
 29. Edgar J, Tint S. Additive manufacturing technologies: 3d printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. *Johnson Matthey Technol Rev* 2015; 59: 193-98.
 30. Geschke R. Ceramic gap-fills for ceramic restoration. *The conservator* 2004; 28: 74-83.
 31. Stansbury JW, Idacavage MJ. 3d printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dent Mater* 2016; 32: 54-64.
 32. Horn T J, Harrysson O L. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications. *Sci Prog* 2012; 95: 255-282.
 33. Jin Lee HJ, Song JG, Ahn DG. Investigation into the influence of feeding parameters on the formation of the fed-powder layer in a powder bed fusion (PBF) system. *Int J Precis Eng Manuf* 2017; 18: 613-21.
 34. Chen Y, Mao J, Wu J. Microwave transparent crosslinked polystyrene nanocomposites with enhanced high voltage resistance via 3d printing bulk polymerization method. *Compos Sci Technol* 2018; 157: 160-67.
 35. Nguyen Q, Ngo T, Tran P, Mendis P, Zobec M, Aye L. Fire performance of prefabricated modular units using organoclay/glass fibre reinforced polymer composite. *Constr Build Mater* 2016; 129: 204-15.
 36. Bose S, Ke D, Sahasrabudhe H, Bandyopadhyay A. Additive manufacturing of biomaterials. *Prog Mater Sci* 2018; 93: 45-111.
 37. Zhang YS, Yue K, Aleman J, Mollazadeh-Moghaddam K, Bakht SM, Yang J, et al. 3d bioprinting for tissue and organ fabrication. *Ann Biomedical Eng* 2017; 45: 148-63.
 38. Blakely AM, Manning KL, Tripathi A, Morgan JR. Biopick, place, and perfuse: A new instrument for three-dimensional tissue engineering. *Tissue Eng Part C: Methods* 2015; 21: 737-46.
 39. Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3d printing of biomaterials. *J Bio Eng* 2015; 9: 4.
 40. Giannatsis J, Dedoussis V. Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: A review. *Int J Adv Manuf Tech* 2009; 40: 116-27.
 41. Sachlos E, Czernuszka J. Making tissue engineering scaffolds work. Review: The application of solid freeform fabrication technology to the production of



- tissue engineering scaffolds. *Eur Cell Mater* 2003; 5: 39-40.
42. Derakhshanfar S, Mbeleck R, Xu K, Zhang X, Zhong W, Xing M. 3d bioprinting for biomedical devices and tissue engineering: A review of recent trends and advances. *Bioact Mater* 2018; 3: 144-56.
 43. Jheon A, Oberoi S, Solem R, Kapila S. Moving towards precision orthodontics: An evolving paradigm shift in the planning and delivery of customized orthodontic therapy. *Orthod Craniofac Res* 2017; 20: 106-13.
 44. Evans J, Desai P. Applications for three-dimensional printing in dentistry. *Decisions in Dent* 2016; 1: 28-30.
 45. Krey K-F, Darkazanly N, Kühnert R, Ruge S. 3d-printed orthodontic brackets-proof of concept. *Int J Comput Dent* 2016; 19: 351-62.
 46. Oberoi G, Nitsch S, Edelmayer M, Janjić K, Müller AS, Agis H. 3d printing—encompassing the facets of dentistry. *Front Bioeng biotechnol* 2018; 6: 172.
 47. Papadimitriou A, Mousoules S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of invisalign orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod* 2018; 19: 37.
 48. Hazeveld A, Slater JJH, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofac* 2014; 145: 108-15.
 49. Liu Y, Song F, Wu S, He S, Meng M, Lv C, et al. Protein and mrna expressions of il-6 and its key signaling factors under orthodontic forces in mice: An in-vivo study. *Am J Orthod Dentofac* 2017; 152: 654-62.
 50. Pugalendhi A, Ranganathan R, Chandrasekaran M. Novel fabrication method for clear and hard tooth aligner through additive manufacturing technology: A pilot study. *Mater Today* 2020; 28: 551-55.
 51. Salmi M, Paloheimo K-S, Tuomi J, Ingman T, Mäkitie A. A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: A clinical pilot study. *J R Soc Interface* 2013; 10: 20130203.
 52. Al Mortadi N, Eggbeer D, Lewis J, Williams RJ. Cad/cam/am applications in the manufacture of dental appliances. *Am J Orthod Dentofac* 2012; 142: 727-33.
 53. Ramasamy M, Giri RR, Subramonian K, Narendrakumar R. Implant surgical guides: From the past to the present. *J Pharm Bioallied Sci* 2013; 5: 98.
 54. Dawood A, Tanner S, Hutchison I. Computer guided surgery for implant placement and dental rehabilitation in a patient undergoing sub-total mandibulectomy and microvascular free flap reconstruction. *J Oral Implantol* 2013; 39: 497-502.
 55. Erickson DM, Chance D, Schmitt S, Mathts J. An opinion survey of reported benefits from the use of stereolithographic models. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57: 1040-43.
 56. Xia J, Ip HH, Samman N, Wang D, Kot CS, Yeung RW, et al. Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3d virtual osteotomy. *Int J Oral Max Surg* 2000; 29: 11-17.
 57. Van Steenberghe D, Glauser R, Blombäck U, Andersson M, Schutyser F, Pettersson A, et al. A computed tomographic scan-derived customized surgical template and fixed prosthesis for flapless surgery and immediate loading of implants in fully edentulous maxillae: A prospective multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7: 111-20.
 58. Eufinger H, Wehmöller M, Machtens E, Heuser L, Harders A, Kruse D. Reconstruction of craniofacial bone defects with individual alloplastic implants based on cad/cam-manipulated ct-data. *J Cranio Maxill Surg* 1995; 23: 175-81.
 59. Revilla-León M, Gonzalez-Martín Ó, Pérez López J, Sánchez-Rubio JL, Özcan M. Position accuracy of implant analogs on 3d printed polymer versus conventional dental stone casts measured using a coordinate measuring machine. *J Prosthodont* 2018; 27: 560-67.
 60. Werz S, Zeichner S, Berg BI, Zeilhofer HF, Thieringer F. 3d printed surgical simulation models as educational tool by maxillofacial surgeons. *Eur J Dent Educ* 2018; 22: 500-05.
 61. Chen J, Zhang Z, Chen X, Zhang C, Zhang G, Xu Z. Design and manufacture of customized dental implants by using reverse engineering and selective laser melting technology. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 1088-95.
 62. Xiong Y, Qian C, Sun J. Fabrication of porous titanium implants by three-dimensional printing and sintering at different temperatures. *Dent Mater J* 2012; 31: 815-20.
 63. Tunchel S, Blay A, Kolerman R, Mijiritsky E, Shibli JA. 3d printing/additive manufacturing single titanium dental implants: A prospective multicenter study with 3 years of follow-up. *Int J Dent* 2016; 2016: 1-9.
 64. Bağış N, Altıntop Y, Adımcı P, Bağış B. KİŞİYE ÖZGÜ dental İmplantlar: Derleme. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg* 2016; 26: 187-92.



65. Figliuzzi M, Mangano F, Mangano C. A novel root analogue dental implant using ct scan and cad/cam: Selective laser melting technology. *Inter J Oral Max Surg* 2012; 41: 858-62.
66. Mangano F, Mangano C, Piattelli A, Iezzi G. Histological evidence of the osseointegration of fractured direct metal laser sintering implants retrieved after 5 years of function. *BioMed Res Int* 2017; 2017: 1-7.
67. Peng W, Xu L, You J, Fang L, Zhang Q. Selective laser melting of titanium alloy enables osseointegration of porous multi-rooted implants in a rabbit model. *Biomed Eng online* 2016; 15: 85.
68. Shaoki A, Xu J-y, Sun H, Chen X-s, Ouyang J, Zhuang X-m, et al. Osseointegration of three-dimensional designed titanium implants manufactured by selective laser melting. *Biofabrication* 2016; 8: 045014.
69. Ramakrishnaiah R, Mohammad A, Divakar DD, Kotha SB, Celur SL, Hashem MI, et al. Preliminary fabrication and characterization of electron beam melted ti-6al-4v customized dental implant. *Saudi J Biol Sc* 2017; 24: 787-96.
70. Hyzy SL, Cheng A, Cohen DJ, Yatzkaier G, Whitehead AJ, Clohessy RM, et al. Novel hydrophilic nanostructured microtexture on direct metal laser sintered ti-6al-4v surfaces enhances osteoblast response in vitro and osseointegration in a rabbit model. *J Biomed Mater Res Part A* 2016; 104: 2086-98.
71. Osman RB, van der Veen AJ, Huiberts D, Wismeijer D, Alharbi N. 3d-printing zirconia implants; a dream or a reality? An in-vitro study evaluating the dimensional accuracy, surface topography and mechanical properties of printed zirconia implant and discs. *J Mech Behav Biomed* 2017; 75: 521-28.
72. Wang Y, Müller W-D, Rumjahn A, Schwitalla A. Parameters influencing the outcome of additive manufacturing of tiny medical devices based on peek. *Materials* 2020; 13: 466.
73. Oliveira TT, Reis AC. Fabrication of dental implants by the additive manufacturing method: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2019; 122: 270-74.
74. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3d printing in dentistry. *Br Dent J* 2015; 219: 521.
75. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: A review of the available streams. *Int J Dent* 2014; 2014: 783948.
76. Miyazaki T, Hotta Y. Cad/cam systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J* 2011; 56: 97-106.
77. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. *J Dent* 2015; 16: 1.
78. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, et al. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3d digital study models. *Biomed Eng online* 2013; 12: 49.
79. Jeong Y-G, Lee W-S, Lee K-B. Accuracy evaluation of dental models manufactured by cad/cam milling method and 3d printing method. *Journal of Adv Prosthodont* 2018; 10: 245-51.
80. Park M-E, Shin S-Y. Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3d printers. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 861 e1-e7.
81. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: Current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont* 2019; 28: 146-58.
82. Wu J, Wang X, Zhao X, Zhang C, Gao B. A study on the fabrication method of removable partial denture framework by computer-aided design and rapid prototyping. *Rapid Prototyp J* 2012; 18: 318-23.
83. Fathi HM, Al-Masoody AH, El-Ghezawi N, Johnson A. The accuracy of fit of crowns made from wax patterns produced conventionally (hand formed) and via cad/cam technology. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2016; 24: 10-17.
84. Homsy FR, Özcan M, Khoury M, Majzoub ZA. Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate inlays fabricated with milling, 3d printing, and conventional technologies. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 783-90.
85. Revilla-León M, Meyers MJ, Zandinejad A, Özcan M. A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. *J Esthet Restor Dent* 2019; 31: 51-7.
86. Lin C-H, Lin Y-M, Lai Y-L, Lee S-Y. Mechanical properties, accuracy, and cytotoxicity of uv-polymerized 3d printing resins composed of bisema, udma, and tegdma. *J Prosthet Dent* 2019; 123: 349-54.
87. Digholkar S, Madhav V, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *J Indian Prosthodont Soc* 2016; 16: 328.



88. Lin W-S, Harris BT, Pellerito J, Morton D. Fabrication of an interim complete removable dental prosthesis with an in-office digital light processing three-dimensional printer: A proof-of-concept technique. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 331-34.
89. Alharbi N, Alharbi S, Cuijpers VM, Osman RB, Wismeijer D. Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3d-printed interim restorations fabricated on different finish line designs. *J Prosthodont Res* 2018; 62: 218-26.
90. Lee W-S, Lee D-H, Lee K-B. Evaluation of internal fit of interim crown fabricated with cad/cam milling and 3d printing system. *J Adv Prosthodont* 2017; 9: 265-70.
91. Choi J-W. Marginal and internal discrepancy of 3-unit fixed dental prostheses fabricated by subtractive and additive manufacturing. *J Korean Acad Prosthodont* 2020; 58: 7-13.
92. Peng CC, Chung KH, Ramos Jr V. Assessment of the adaptation of interim crowns using different measurement techniques. *J Prosthodont* 2020; 29: 87-93.
93. Mai H-N, Lee K-B, Lee D-H. Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3d printing. *J Prosthet Dent* 2017; 118: 208-15.
94. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3d printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater* 2018; 34: 192-200.
95. Sun Y, Lü P, Wang Y. Study on cad&rp for removable complete denture. *Comput Meth Prog Bio* 2009; 93: 266-72.
96. Bilgin MS, Erdem A, Aglarci OS, Dilber E. Fabricating complete dentures with cad/cam and rp technologies. *J Prosthodont* 2015; 24: 576-79.
97. Inokoshi M, Kanazawa M, Minakuchi S. Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. *Dent Mater J* 2012; 31:40-6.
98. inaya Pereyra NM, Marano J, Subramanian G, Quek S, Leff D. Comparison of patient satisfaction in the fabrication of conventional dentures vs. Dentca (cad/cam) dentures: A case report. *J N J Dent Assoc* 2015; 86: 26-33.
99. Park J-H, Cho I-H, Shin S-Y, Choi Y-S. The treatment of an edentulous patient with dentca™ cad/cam denture. *J Korean Acad Prosthodont* 2015; 53: 19-23.
100. Koh E-S, Cha H-S, Kim T-H, Ahn J-S, Lee J-H. Color stability of three dimensional-printed denture teeth exposed to various colorants. *J Korean Acad Prosthodont* 2020; 58: 1-6.
101. Bibb R, Eggbeer D, Williams R. Rapid manufacture of removable partial denture frameworks. *Rapid Prototyp J* 2006; 12: 95-9.
102. Eggbeer D, Bibb R, Williams R. The computer-aided design and rapid prototyping fabrication of removable partial denture frameworks. *P I Mech Eng H* 2005; 219: 195-202.
103. Kruth J-P, Vandenbroucke B, Van Vaerenbergh J, Naert I. Digital manufacturing of biocompatible metal frameworks for complex dental prostheses by means of sls/slm. *Proc VRAP, Leiria* 2005: 139-46.
104. Lima JMC, Anami LC, Araujo RM, Pavanelli CA. Removable partial dentures: Use of rapid prototyping. *J Prosthodont* 2014; 23: 588-91.
105. Davis BK. The role of technology in facial prosthetics. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surgery* 2010; 18: 332-40.
106. Feng Z, Dong Y, Zhao Y, Bai S, Zhou B, Bi Y, et al. Computer-assisted technique for the design and manufacture of realistic facial prostheses. *Brit J Oral Max Surger* 2010; 48: 105-09.
107. Unkovskiy A, Spintzyk S, Brom J, Huettig F, Keutel C. Direct 3d printing of silicone facial prostheses: A preliminary experience in digital workflow. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 303-08.
108. Kim M-S, Lee J-Y, Shin S-W. Fabricating an obturator using rapid prototyping to design the framework: A case report. *Int J Prosth* 2014; 27: 439-41.
109. Akova T, Ucar Y, Tukay A, Balkaya MC, Brantley WA. Comparison of the bond strength of laser-sintered and cast base metal dental alloys to porcelain. *Dent Mater* 2008; 24: 1400-04.
110. Akçin ET, Güncü MB, Aktaş G, Aslan Y. Effect of manufacturing techniques on the marginal and internal fit of cobalt-chromium implant-supported multiunit frameworks. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 715-20.
111. Ucar Y, Akova T, Akyil MS, Brantley WA. Internal fit evaluation of crowns prepared using a new dental crown fabrication technique: Laser-sintered co-cr crowns. *J Prosthet Dent* 2009; 102: 253-59.
112. Kim D-Y, Kim J-H, Kim H-Y, Kim W-C. Comparison and evaluation of marginal and internal gaps in cobalt–chromium alloy copings fabricated using subtractive and additive manufacturing. *J Prosthodont Res.* 2018; 62: 56-64.
113. Park J-K, Lee W-S, Kim H-Y, Kim W-C, Kim J-H. Accuracy evaluation of metal copings fabricated by computer-aided milling and direct metal laser



- sintering systems. *J Adv Prosthodont* 2015; 7: 122-28.
114. Presotto AGC, Barão VAR, Bhering CLB, Mesquita MF. Dimensional precision of implant-supported frameworks fabricated by 3d printing. *J Prosthet Dent* 2019; 122: 38-45.
115. Han X, Sawada T, Schille C, Schweizer E, Scheideler L, Geis-Gerstorfer J, et al. Comparative analysis of mechanical properties and metal-ceramic bond strength of co-cr dental alloy fabricated by different manufacturing processes. *Materials* 2018; 11: 1801.
116. Zocca A, Colombo P, Gomes CM, Günster J. Additive manufacturing of ceramics: Issues, potentialities, and opportunities. *J Am Ceram Soc* 2015; 98: 1983-2001.
117. Bourell D, Kruth JP, Leu M, Levy G, Rosen D, Beese AM, et al. Materials for additive manufacturing. *Cirp Annals* 2017; 66: 659-81.
118. Yang L, Miyanaji H. Ceramic additive manufacturing: A review of current status and challenges. *Solid Free Fabr 2017 Proc 28th Annu Int* 2017: 652-79.
119. Wilkes J, Hagedorn YC, Meiners W, Wissenbach K. Additive manufacturing of zro2-al2o3 ceramic components by selective laser melting. *Rapid prototyp J* 2013; 19: 51-57
120. Halloran JW. Ceramic stereolithography: Additive manufacturing for ceramics by photopolymerization. *Annu Rev Mater Res* 2016; 46: 19-40.
121. Xing H, Zou B, Li S, Fu X. Study on surface quality, precision and mechanical properties of 3d printed zro2 ceramic components by laser scanning stereolithography. *Ceram Int* 2017; 43: 16340-47.
122. Li X, Gao M, Jiang Y. Microstructure and mechanical properties of porous alumina ceramic prepared by a combination of 3-d printing and sintering. *Ceram Int* 2016; 42: 12531-35.
123. Scheithauer U, Schwarzer E, Richter HJ, Moritz T. Thermoplastic 3d printing—an additive manufacturing method for producing dense ceramics. *Int J Appl Ceram Technol* 2015; 12: 26-31.
124. Sun C, Tian X, Wang L, Liu Y, Wirth CM, Günster J, et al. Effect of particle size gradation on the performance of glass-ceramic 3d printing process. *Ceram Int* 2017; 43: 578-84.
125. Wang W, Yu H, Liu Y, Jiang X, Gao B. Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 285-91.
126. Zandinejad A, Methani MM, Schneiderman ED, Revilla-León M, BDS DM. Fracture resistance of additively manufactured zirconia crowns when cemented to implant supported zirconia abutments: An in vitro study. *J Prosthodont* 2019; 28: 893-97.
127. Li R, Chen H, Wang Y, Zhou Y, Shen Z, Sun Y. Three-dimensional trueness and margin quality of monolithic zirconia restorations fabricated by additive 3d gel deposition. *J Prosthodont Res* 2020; 64: 478-84.

Sorumlu Yazarın Yazışma Adresi

Dt. Betül ARSLAN

Gazi Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi

Tel: 0555 560 10 91

E-mail: arslanbtl.btl@gmail.com

