

Dijital Yöntemler ile Maksillofasiyal Protezler: Yenilikçi Tasarım ve Üretim Yaklaşımları

Maxillofacial Prosthesis with Digital Methods: Innovative Design and Manufacturing Approaches

İrem SÖZEN YANIK^a, Sema Merve SÜMER^a

^aHacettepe Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Ankara, Türkiye

^aHacettepe University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthetic Dentistry, Ankara, Türkiye

ÖZ

Maksillofasiyal protezler, çene ve yüz bölgesindeki eksiklik veya bozuklukların tedavisinde önemli bir rol oynar. Bu eksiklikler, doğuştan gelen durumlar, gelişimsel sorunlar, patolojiler veya travmalar sonucu olabilir ve fiziksel, psikolojik ve fonksiyonel sorunlara neden olabilir. Çağdaş dijital teknolojiler, veri toplama, maksillofasiyal protez tasarım ve üretim süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli üretim (CAM) ve üç boyutlu baskı (3B) gibi teknolojiler, maksillofasiyal protezlerin tasarım ve üretiminde daha hassas ve verimli bir yol sunar. Bu gelişmeler, maksillofasiyal protezlerin estetik, fonksiyon, maliyet ve sağlamlık açısından daha etkili bir şekilde tasarlanmasına ve üretilmesine olanak tanır. Bu nedenle, dijital teknolojilerin maksillofasiyal protez alanında kullanımı, hastaların yaşam kalitesini artırmak için umut verici bir gelişme sunmaktadır. Bu derlemede, maksillofasiyal protezlerin yapımında kullanılan dijital yöntemler, tasarım ve üretim yöntemleri açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Maksillofasiyal protezler, dijital tarama, dijital baskı

ABSTRACT

Maxillofacial prostheses play a significant role in the treatment of deficiencies or abnormalities in the facial areas. These deficiencies can result from congenital conditions, developmental issues, pathologies, or traumas, leading to physical, psychological, and functional problems. Contemporary digital technologies have greatly facilitated data collection, maxillofacial prosthesis design, and manufacturing processes. Computer-aided design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM), and three-dimensional printing (3D) technologies provide a more precise and efficient way for designing and producing maxillofacial prostheses. These advancements enable maxillofacial prostheses to be designed and manufactured more effectively in terms of aesthetics, functionality, cost, and durability. Therefore, the use of digital technologies in the field of maxillofacial prostheses holds promise for enhancing the quality of life for patients. This review outlines the digital methods, design, and manufacturing techniques used in the fabrication of maxillofacial prostheses.

Keywords: Maxillofacial prostheses, digital imaging, digital printing

GİRİŞ

Çene-yüz bölgesindeki eksiklik veya bozukluklara çene-yüz defekti denir.¹ Çene ve yüz deformiteleri konjenital olabileceği gibi gelişimsel bozukluklardan kaynaklanabilir. Nekrotizan hastalıklar, onkocerrahi işlemler veya travma gibi patolojilerden dolayı da edinilmiş olabilir.^{2,3} Çene-yüz defektleri, lokalizasyonlarına bağlı olarak hastaların fiziksel ve psikolojik sağlıklarını olumsuz yönde etkileyebilir.^{2, 4, 5} Bu tür defektlerin tedavisi için maksillofasiyal protezler kullanılmaktadır.⁶ Maksillofasiyal protezler, dokunun içine veya dışına yerleştirilebilirler. Kulak, burun, göz, orbita veya baş ve boyun bölgesindeki herhangi bir kayıp, bu bölgeye yerleştirilen bir protez ile yeniden oluşturulabilir. Bu protezlerin yapımı oldukça zorlu bir süreçtir ve bu protezlerin ömrü genellikle altı aydan birkaç yıla kadar sınırlıdır.⁷

Maksillofasiyal protezlerin tutuculuğu, anatomik, mekanik, cerrahi olarak veya adezyon ile sağlanır.⁸ Günümüzde maksillofasiyal protezlerin tutuculuğunu ve stabilitesini sağlamada osseointegrasyon implantları da kullanılır.⁹ Ekstraoral implantlar kullanıldığında retansiyon ve stabilitenin iyileşmesiyle birlikte, protez ve cilt arasındaki birleşme hatlarında gelişmiş estetik sağlanır.¹⁰ Ayrıca cilt adezivleri kullanıldığında oluşan, protez deformasyonu ve deri tahrişi gibi dezavantajların önüne geçilmiş olur.¹⁰ Literatürdeki bilgiler dahilinde günümüzde, yüz protezlerinde implantlar ile birlikte kullanılan belirli ataşman sistemleri bulunmaktadır. Bunlar manyetik ataşmanlar, bar-klips sistemleri ve küresel ataşmanlardır.¹ Bunların içinde sıklıkla tercih edilenlerden biri manyetik sistemlerdir.¹

Maksillofasiyal protez alanındaki başarı, çoğunlukla onunla ilgili uygun materyal bilgisine bağlıdır. Bu tip protezler için kullanılması gereken malzeme, standart özellikleri sergilemelidir. Bu özellikler arasında toksik olmamak, alerjik reaksiyona neden olmamak, biyolojik uyumlu olmak, boyutsal stabilite, hafiflik, düşük su emme, renk stabilitesi, iyi yırtılma dayanımı ve cilt salgılarına karşı direnç gibi özellikler bulunur.¹¹⁻¹⁴ Günümüzde, maksillofasiyal protezler üretmek için kullanılan

materyaller arasında vinil plastisol, polimetilmetakrilat (PMMA) bazlı akrilik rezinler, poliüretanlar, lateks ve silikon polimerleri bulunmaktadır.² Polidimetilsiloksanlar (PDMS) olarak da adlandırılan çeşitli özelliklerdeki silikonlar klinikte özellikle maksillofasiyal rekonstrüksiyon için en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.^{15,16} Silikon elastomerlerin kolay şekillendirilebilmesi, doku uyumunun iyi olması, iç ve dış boyamaya uygun olması, boyutsal stabilitesinin iyi olması ve geniş sıcaklık aralığında fiziksel özelliklerini korumaları gibi üstün özellikleri vardır.¹⁷

Çağdaş dijital teknolojiler tıbbi rekonstrüksiyon ve sanal cerrahi planlamada yaygın olarak kullanılmaktadır.^{18, 19} Bu teknolojiler, eksik doku yüzeylerinin yeniden yapılandırılmasında protez işlemlerine entegre edilmiştir.¹⁹ Hızlı prototipleme, CAD-CAM (Bilgisayar destekli tasarım-Bilgisayar destekli üretim) ve 3 boyutlu baskı teknolojisi gibi ileri teknolojiler tanıtılmıştır ve bunlar maksillofasiyal protezler alanında da kullanılmaktadır.^{18, 20-22} Art arda malzeme katmanları ekleyerek üç boyutlu tarama ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) ile birlikte kullanılan baskı teknolojileri, özellikle estetik, bağlantı, fonksiyon, maliyet ve sağlamlık açısından maksillofasiyal protez alanını potansiyel olarak etkileyebilir.^{2, 23} Yüzün veya ağız içi kısımların üç boyutlu taranması doğrudan bilgisayar destekli tasarım (CAD) modeline dönüştürülebilir (Şekil 1) ve eklemeli olarak üretilmiş bir protez basılabilir.²⁴

Gönderilme Tarihi/Received: 3 Aralık, 2023

Kabul Tarihi/Accepted: 11 Haziran, 2024

Yayınlanma Tarihi/Published: 23 Aralık, 2024

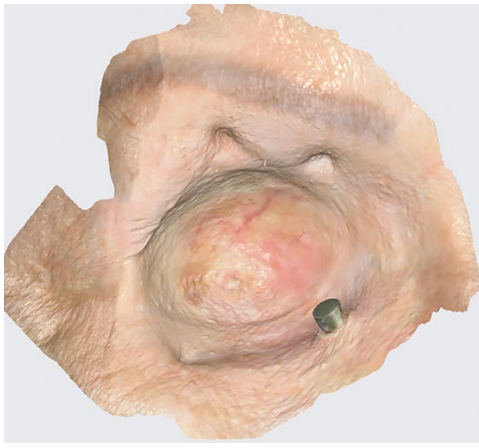
Atıf Bilgisi/Cite this article as: Sözen Yanık I, Sümer SM. Dijital Yöntemler ile Maksillofasiyal Protezler: Yenilikçi

Tasarım ve Üretim Yaklaşımları. Selcuk Dent J 2024;11(3): 356-361 Doi: 10.15311/selcukdentj.1393019

Sorumlu yazar/Corresponding Author: İrem Sözen YANIK

E-mail: iremsozen93@gmail.com

Doi: 10.15311/selcukdentj.1393019



Şekil 1. Orbita ve çevresinin üç boyutlu taranmış görüntüsü.

Üç Boyutlu Tarama ve Tasarım Teknolojisi

Maksillofasiyal protezlerin üç boyutlu tasarım aşaması kompleks bir süreçtir. Defekt alanının verileri, tıbbi taramalar ve doku yüzeyi taramaları ile elde edilebilir.²⁵ Tıbbi tarama, maksillofasiyal bölgeye özgü; bilgisayarlı tomografi (BT), konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KİBT) veya manyetik rezonans görüntüleme (MRG), lazer tarama, dijital kamera, stereo-fotogrametri gibi yöntemleri içerir.²⁶ Bu tarama yöntemlerinden MRG ve BT, Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim (DICOM) formatında dosyalar oluşturur ve hastanın spesifik anatomisinin dönüştürülebilir 3B modellerini üretir. MRG veya BT verilerinin dönüştürülmesi için çoğunlukla Mimics (Materialise, Belçika) programı kullanılmaktadır. Doku yüzeyi tarayıcıları (örneğin, lazer tarayıcılar, yapılandırılmış ışık tarayıcıları, yüz tarama cihazları ve intraoral tarayıcılar), taramaları doğrudan standart mozaikleme dili (STL) dosyaları olarak kaydedilir.²⁷ Bu tarayıcılardan gelen verileri dönüştürmek için Zbrush (Pixologic, ABD), Geomagic (Geomagic GmbH, Almanya), ve Rapidform (Geomagic GmbH, Almanya) kullanılmaktadır. Fotogrametri, anatomik parçaların iki boyutlu görüntülerinden üç boyutlu ölçümlerin çıkarılmasıyla, hastaların yüzlerinin 3B doku yüzeyi modellerinin üretilmesinde kullanılan özel yazılımları içerir.^{28,29} Ayrıca DICOM formatında olan veriler STL biçimine dönüştürülmelidir.²¹

1. Doku Yüzeyi Taranması ve Veri Dijitalleştirme:²¹

- Tarama cihazları kullanılarak doku taraması yapılır.
- Bu taramalar, hastaya özel anatomik verileri dijital bir formata dönüştürmek için bilgisayar sistemine aktarılır.

2. Dijital Modelleme ve CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım):²¹

- Dijital veriler, özel bir CAD yazılımında kullanılarak bir üç boyutlu model oluşturulur.
- Bu aşamada, yüzey detayları, kusurlar, kayıp dokular ve diğer anatomik özellikler dikkate alınır.
- Gelişmiş CAD programları, tasarımcılara, özelleştirilmiş yüzeyler, tutma elemanları ve diğer fonksiyonel unsurlar ekleme olanağı tanır.

3. Tasarımın Hasta ile Onaylanması:²¹

- Oluşturulan dijital model, hastaya sunulur ve onay alınır.
- Hasta, estetik ve fonksiyonel açıdan memnun kalana kadar revizyonlar yapılabilir.

4. Retansiyon Elemanlarının Sanal Olarak Yerleştirilmesi:²¹

- İmplant veya diğer retansiyon elemanları, protezin sabitlenmesi için sanal olarak yerleştirilir.
- İmplant pozisyonları, kemik yapısına ve hastanın ihtiyaçlarına göre optimize edilir.

5. Yüzey Detaylarının Eklenmesi:²¹

- Cilt dokusu, kırışıklıklar gibi detaylar, özel bir dijital veri tabanından veya manuel olarak eklenir.

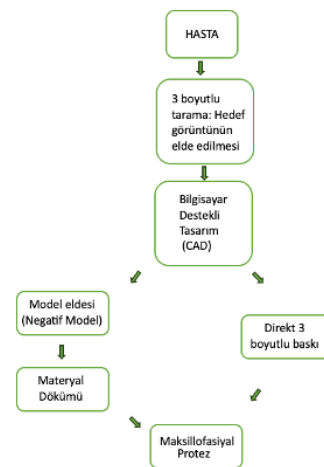
6. Prototip Üretimi ve 3B Baskı:²¹

- Tasarım, uygun bir malzeme kullanılarak 3B yazıcıda prototip olarak üretilir.
- Bu prototip, gerçek protez tasarımının fiziksel bir modelini sağlar.

Üç Boyutlu Baskı Teknolojisi ve Ekleme Yöntemi ile Üretim

Üç boyutlu (3B) baskı, eklemeli üretim veya hızlı prototipleme olarak da bilinen, malzemelerin katmanlı olarak üst üste bindirildiği bir prensibe dayanan bir üretim yöntemidir.³⁰ Bu teknoloji, bir bilgisayar destekli tasarım (CAD) modeline veya bilgisayar kontrollü bir bilgisayarlı tomografi (BT) taraması altında malzemeyi hassas bir şekilde biriktirerek karmaşık şekle sahip herhangi bir bileşeni hızla üretmek için kullanılabilir.³¹⁻³³ Son yıllarda, farklı üretim işlemleri, hastaya özel tıbbi malzemeler geliştirmek için yaygın olarak kullanılmıştır. Bu malzemeler, implantlar ve rehabilitasyon için iskeletler, farklı vücut bölgelerini desteklemek ve fonksiyonlarını iyileştirmek için ortezler, eksik vücut parçalarını yerine koymak için protezler, ilaç dağıtım cihazları ve benzerleri gibi çeşitli tıbbi cihazları içerir.^{34, 35} Bu teknoloji, özellikle metaller, polimerler, kompozitler, seramikler ve hidrojel gibi birçok farklı malzeme kullanarak, üç boyutlu tasarım modeli üzerinden işleme ihtiyacı olmadan doğrudan tam fonksiyonlu karmaşık parçalar üretebilmektedir.^{36, 37}

Eklemeli üretim teknolojisi, maksillofasiyal protezler geliştirmek için büyük bir fırsat sunmuştur,^{38, 39} çünkü daha önce kullanılan mum veya alçı gibi malzemelerden bir protez modeli oluşturan el yapımı tekniklerden daha umut verici ve güvenilir olduğu kanıtlanmıştır. Bu yöntem karmaşık, uzun ve daha yüksek bir beceri ve uzmanlık derecesi gerektirir.⁴⁰ Son derece karmaşık kraniyofasiyal geometrileri yüksek doğrulukla oluşturabilen üç boyutlu baskı teknikleri, belirli ihtiyaçların karşılanması için çok uygundur.⁴¹ Maksillofasiyal defektli bölgeler, şekil ve boyut açısından çok karmaşıktır.⁴² Bazen protez malzemesini doğrudan uygulamak kolay olmayabilir.⁴³ Hızlı prototipleme veya 3B baskı olarak bilinen eklemeli üretim, geleneksel üretim yöntemlerine göre daha esnek, hızlı ve özelleştirilebilir bir üretim süreci sunar;^{13, 31, 44} ayrıca daha az malzeme israfı, daha hızlı üretim süreleri ve karmaşık yapılar üretme yeteneği gibi pek çok avantaja sahiptir.⁴⁵ Bu durumda, stereolitografi görünümü (SLA), dijital ışık işleme (DLP), fotopolimer püskürtme, seçici lazer sinterleme (SLS), eriyik yığıma modellemesi (FDM) ve sıvı yığıma modellemesi (LDM) gibi 3B baskı teknikleri son derece faydalı olabilir.⁴⁶ Protezin doğrudan yazıcıdan basılması "direkt hızlı prototipleme" olarak adlandırılır. Şablon hazırlanarak üzerinden ölçü alınması veya negatif kalıbın basılması ve protez malzemesinin içine manuel olarak enjekte edilmesi ise "indirekt hızlı prototipleme" olarak adlandırılır (Şekil 2).⁴⁷



Şekil 2. Üç boyutlu baskı teknolojisi ile hazırlanan maksillofasiyal protez sürecini gösteren iş akış şeması.

1. İndirekt model üretim yöntemleri:

1.1 Stereolitografi (SLA)

İlk kez Charles W. Hull tarafından 1986'da tanıtılmıştır. Stereolitografi (SLA), fotopolimerizasyon sürecine dayanan üç boyutlu baskının yöntemlerinden biridir. Tipik olarak, UV (Ultraviyole) ışık ve görünür ışık radyasyonu, bir havuzda kullanılan sıvı radyasyonu sertleştirilebilir rezinler veya fotopolimerlerin polimerizasyon reaksiyonunu tetiklemek için kullanılır, bu da katı bir ürün elde edilmesiyle sonuçlanır⁽¹³⁾.

Üretimin temel aşamaları şunlardır:⁴⁸

1. CAD programında istenen objenin üç boyutlu bir modeli oluşturulur.
2. Bir yazılım paketi CAD modelini ince tabakalara ayırır.
3. Lazer, tank içindeki sıvı rezini tarar ve sertleştirerek ilk tabakayı oluşturur.
4. Platform 1 milimetreden küçük bir miktarda tank içine iner ve lazer yeni tabakayı tarar.
5. Model tamamlanana kadar bu işlem tabaka tabaka tekrarlanır.

1.2. Dijital Işık İşleme (DLP)

Dijital Işık İşleme (DLP) teknolojisi, reçinenin fotopolimerizasyonunu gerçekleştirmek için bir dijital ışık projektörü olarak kullanılan bir teknolojiye dayanmaktadır.⁴⁹ Projektör, bir katmanın görüntüsünü aynı anda yansıtır ve bu durum, katmanın tüm noktaları aynı anda kürlendiği için işlemi çok daha hızlı hale getirir. Bir DLP yazıcı, dijital mikro ayna cihazından (DMD) oluşan bir LED (ışık yayan diyot) ekranla karakterize edilir. Bu küçük mikro aynalar ışığı yoğunlaştırabilir ve reçine tankının tabanında bir tabakanın yapısını oluşturabilir. SLA gibi baskı işlemlerinin sonunda modelin yıkanması ve sonradan kürlenmesi gerekir.¹⁹

SLA yönteminde, fotopolimerize olabilen sıvı reçine malzemesi kullanılır. Bu yöntemde, lazer ışığı kullanılarak sıvı reçine sertleştirilir ve 3 boyutlu nesne adım adım oluşturulur. DLP yöntemi ise SLA'dan farklı olarak, ışık kaynağının reçine tankının altında konumlandırılmasıyla çalışır.¹⁹ SLA ve DLP yöntemleriyle doğrudan protez üretiminde poliüretan-silikon kopolimer malzeme kullanılabilir. Ancak, bu malzemenin, bakteriyel tutulma, düşük renk stabilizasyonu, doku adezivlerine düşük bağlanma gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca, sadece tek renkli protezler üretilebilir.⁵⁰

1.2. Fotopolimer Püskürtme

Fotopolimer püskürtme, üç boyutlu baskı tekniklerinden biridir ve sıvı fotopolimer mürekkeplerin seçici olarak katmanlar halinde sertleştirilmesiyle parçaların oluşturulmasını sağlar. Bu teknikte, sıvı mürekkepler başlangıçta hava çıkaran bir tankta saklanır ve standart mürekkep püskürtmeli yazıcılarına benzer şekilde yapının platformları üzerine çok ince bir malzeme katmanı oluşturmak için damlacıklar halinde püskürtülerek seçici olarak yerleştirilir.³⁴ Sertleştirme için 190 nm ile 400 nm arasında dalga boyuna sahip UV (morötesi) ışığı, malzemenin üzerine yayılır.^{13, 51} Bir katman kürlendikten sonra, malzemenin daha önce biriktirilen katman üzerine püskürtülmesini sağlamak için yapı plakası, STL dosya formatı izlenerek katman kalınlığına eşit bir mesafeye indirilir. Bu süreç, parçanın tamamının oluşmasına kadar devam eder. Taşan kısımlar, destek yapılarına maruz kalır ve sodyum hidroksit çözeltisi banyosunda ısıtılarak veya yüksek basınçlı su jeti kullanılarak kolayca çıkarılır.¹³

1.3. Seçici Lazer Sinterleme (SLS)

Seçici Lazer Sinterleme (SLS), bir veya birden fazla lazerin termal kaynak olarak kullanıldığı art arda malzeme katmanları eklenerek yapılan üç boyutlu baskı türüdür.⁵² Süreç, plastik, metal veya seramik gibi toz halindeki bir malzeme yatağı ile başlar. Lazer, toz partiküllerinin sıcaklığını artırarak seçici bir şekilde katı bir katman oluşturur. Daha sonra platform, STL dosyasına uygun katman kalınlığına eşit bir mesafeye indirilir. Bir rulo, toz malzemeyi önceki eritilmiş katmanın üzerine eşit şekilde yaymak için kullanılır ve lazer, yeni katmanı eritmek üzere ateşlenir. Bu süreç, istenen ürün oluşturulana kadar devam eder. Diğer üç boyutlu baskı yöntemlerinin aksine, sıvı rezin veya filament kullanarak öğeyi oluşturan SLS, taşan parçalar için herhangi bir destek yapıya ihtiyaç duymadan yazdırabilir.

Baskı süreci sırasında eritilmemiş toz, kendini destekleyen bir madde olarak görev yapar. Bu, tasarımcılara daha fazla yaratıcı esneklik sağlar ve karmaşık özellikler ve karmaşık geometriler geliştirmeyi mümkün kılar.^{13, 53}

Üretimin temel aşamaları şunlardır:⁴⁸

1. CAD programında istenen objenin üç boyutlu bir modeli oluşturulur.
2. Yazılım paketi, CAD modelini ince tabakalara ayırır.
3. Lazer ışınının temas ettiği yerdeki materyal, ışının sağladığı termal enerji sonucu eriyerek birleşir.
4. Her kesitin taranmasından sonra platform bir tabaka kalınlığı kadar aşağıya iner.
5. Üst yüzeye yeni materyal tabakası uygulanır.
6. Model tamamlanana kadar bu işlem tabakalı olarak tekrarlanır.

1.4 Eriyik Yığıma Modellemesi (FDM)

Eriyik Yığıma Modellemesi (FDM), malzeme ekstrüzyon tabanlı bir 3B baskı teknolojisi olarak bilinir. Bu teknoloji, termoplastik bir filamentin bir nozuldan çıkarılıp tabaka tabaka bir tablaya yerleştirilmesiyle üç boyutlu nesnelerin oluşturulmasını sağlar.⁵⁴ İşlem sırasında filament ısıtılır ve nozuldan çıkarıldığında katlaşır, ardından bir sonraki katmanı oluşturmak için bir tablanın üzerine konur.

FDM, göreceli olarak düşük maliyetlidir ve basit bir üretim sürecine sahiptir. Bu teknolojiyi kullanan yazıcılar, termoplastik malzemeleri kullanarak nesnelere üretilebilirler.¹³

Üretimin temel aşamaları şunlardır: ⁴⁸

1. CAD programında istenen objenin üç boyutlu bir modeli oluşturulur.
2. Bir yazılım paketi CAD modelini ince tabakalara ayırır.
3. Bir bobinden, biri istenen objenin materyali ve diğeri destekleyici olmak üzere 2 materyal bobinden çözülür ve nozula gider.
4. Nozul ısıtılarak materyaller eritilir. Yazılım paketi ile nozul dikey ve yatay yönde hareket ettirilebilir.
5. Küçük damlaların nozuldan çıkması ve çıkar çıkmaz sertleşmesi yoluyla tabakalar oluşur.
6. Model tamamlandıktan sonra destekleyici materyal mekanik karıştırıcı cihazla kolaylıkla çözülür.

Bu teknikte termoplastik polimerler kullanılabilirdiğinden, kulak muflası ve yüz rekonstrüksiyonunda cerrahi model eldesi kullanım alanlarıdır.^{55, 56}

Literatüre baktığımızda, Elbathi ve ark.⁵⁷ bir obturatörden tarama kayıtları aldıktan sonra bunları kullanarak FDM ile yeni bir obturatör elde etmiş ve yeni obturatörü de orijinali ile karşılaştırmıştır. FDM ile üretilen obturatörün hassasiyetini değerlendirerek, FDM ile obturatör yapımını acil vakalarda kısa sürede uygun bir çözüm olarak önermiştir.

1.5 Sıvı Yığıma Modellemesi (LDM)

Sıvı Yığıma Modellemesi (LDM), FDM tekniğine benzer şekilde, malzeme ekstrüzyonu tabanlı bir 3D baskı teknolojisi olarak kabul edilir. Bu iki yöntem arasındaki temel fark, LDM'de erimiş termoplastik yerine viskoelastik mürekkebin, bir basınç veya vida-piston düzenlemesi yardımıyla katmanlar halinde bir nozuldan yerleştirilmesidir. Her bir katman yerleştirildiğinde, baskı tablası aşağı iner ya da nozul, bir sonraki katmanın yerleştirilmesine olanak tanımak için STL dosya formatını takip ederek yukarı doğru hareket eder. Bu işlem, tasarlanan nesne tamamlanana kadar tekrarlanır.¹³

SONUÇ

Bu derleme, maksillofasiyal protez malzemelerinin eklemeli üretim süreçlerini özetlemektedir. SLA tekniği gibi protez malzemelerine özgü 3B baskı teknikleri ele alınmıştır. Şu anda maksillofasiyal protez ürünleri için çeşitli geleneksel üretim teknikleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, tüm geleneksel süreçler zaman alıcı, maliyetli ve zahmetlidirler. Maksillofasiyal protezlerin 3B baskısı, hastaya özgü protezler geliştirmek için birçok fırsat sunan yeni bir alandır ve büyük

bir hasta kitlesi için daha iyi protezlere olanak sağlar. Yüz taraması, doğrudan bir bilgisayar destekli tasarım (CAD) modeline dönüştürülebilir ve eklemeli üretim ile protezler basılabilir. Bu, daha hızlı protez tasarımı çalışmalarına olanak tanır ve daha fazla protez yeniliği ve karmaşık geometrik özelliklere yüksek hassasiyetli uyum sağlar.

Bununla birlikte, maksillofasiyal protezlerin 3B baskısı için uygun malzemelerin seçimi büyük bir zorluktur. Kullanılan malzemeler biyolojik uyumluluk, toksik olmama ve oral ortamın streslerine dayanabilecek yeterli dayanıklılığa sahip olmalıdır. Günümüzde maksillofasiyal protezlerin 3B baskısı için silikon elastomerler gibi sınırlı malzemeler uygundur. Ancak şimdye kadar, ticari olarak mevcut malzemelerin hiçbiri 3B baskı maksillofasiyal protezleri için optimum malzeme parametrelerinin tümünü karşılamamaktadır.

Son gelişmelere rağmen, gerekli dayanıklılık, şekil koruma ve renk stabilitesi gibi özelliklere sahip yeni biyouyumlu malzemelerin keşfedilmesi gerekmektedir. Ayrıca, doğrudan üç boyutlu (3B) baskı ile maksillofasiyal protez teknikleri alanında daha fazla ilerleme kaydedilmelidir.

Değerlendirme / Peer-Review

İki Dış Hakem / Çift Taraflı Körleme

Etik Beyan / Ethical statement

Bu makale, sempozyum ya da kongrede sunulan bir tebliğin içeriği geliştirilerek ve kısmen değiştirilerek üretilmemiştir.

Bu çalışma, yüksek lisans ya da doktora tezi esas alınarak hazırlanmamıştır.

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

This article is not the version of a presentation. This article has not been prepared on the basis of a master's/ doctoral thesis.

It is declared that during the preparation process of this study, scientific and ethical principles were followed and all the studies benefited are stated in the bibliography.

Benzerlik Taraması / Similarity scan

Yapıldı - ithenticate

Etik Bildirim / Ethical statement

dishekimligidergisi@selcuk.edu.tr

Telif Hakkı & Lisans / Copyright & License

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Finansman / Grant Support

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. | The authors declared that this study has received no financial support.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. | The authors have no conflict of interest to declare.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Çalışmanın Tasarlanması | Design of Study: ISY (%50), SMS (%50)

Veri Toplanması | Data Acquisition: ISY (%65), SMS (%35)

Veri Analizi | Data Analysis: ISY (%65), SMS (%35)

Makalenin Yazımı | Writing up: ISY (%65), SMS (%35)

Makale Gönderimi ve Revizyonu | Submission and Revision: ISY (%50), SMS (%50)

KAYNAKLAR

- Pehlivan N, Nemli SK, Karacaer Ö. Çene yüz protezleri ve ekstraoral implantlar. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2011;28(2):123-9.
- de Caxias FP, Dos Santos DM, Bannwart LC, de Moraes Melo Neto CL, Goiato MC. Classification, history, and future prospects of maxillofacial prosthesis. *International journal of dentistry*. 2019;2019.
- Gül EB, Atala MH, Polat NT. Ateşli Silah Yaralanmasıyla Oluşan Maksiller ve Mandibular Defektin Geç Protetik Tedavisi. *Cumhuriyet Dental Journal*. 2016;19(2):121-8.
- Goiato MC, dos Santos DM, Bannwart L, Moreno A, Pesqueira AA, Haddad M, Dos Santos E. Psychosocial impact on anophthalmic patients wearing ocular prosthesis. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2013;42(1):113-9.
- Arzu A, Günay Y. çene-yüz protezlerinde bakım. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2007(2).
- Phasuk K, Haug SP. Maxillofacial prosthetics. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*. 2018;30(4):97-107.
- Bal BT, Öztürk E, Karakoca S. Maksillofasiyal protezlerin yapımında kullanılan materyallerdeki gelişmeler. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*. 2007;1(4):63-8.
- Cobein MV, Coto NP, Junior OC, Lemos JBD, Vieira L, Pimentel M, et al. Retention systems for extraoral maxillofacial prosthetic implants: a critical review. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2017;55(8):763-9.
- Khamis MM, Medra A, Gauld J. Clinical evaluation of a newly designed single-stage craniofacial implant: a pilot study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2008;100(5):375-83.
- Soğancı G, Yazıcıoğlu H. Mıknatıs tutuculu orbital protezin yeniden yapılması: Olgu bildirim. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2010;27(1):41-5.
- Khorsandi D, Fahimpour A, Abasian P, Saber SS, Seyedi M, Ghanavati S, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta biomaterialia*. 2021; 122:26-49.
- Lewis D, Castleberry D. An assessment of recent advances in external maxillofacial materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1980;43(4):426-32.
- Das A, Awasthi P, Jain V, Banerjee SS. 3D printing of maxillofacial prosthesis materials: Challenges and opportunities. *Bioprinting*. 2023; e00282.
- Mahajan H, Gupta K. Maxillofacial prosthetic materials: A literature review. *Journal of Orofacial Research*. 2012;87-90.
- Huber H, Studer SP. Materials and techniques in maxillofacial prosthodontic rehabilitation. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*. 2002;14(1):73-93.
- Murata H, Hong G, Hamada T, Polyzois GL. Dynamic mechanical properties of silicone maxillofacial prosthetic materials and the influence of frequency and temperature on their properties. *International Journal of Prosthodontics*. 2003;16(4).
- Bellamy K, Limbert G, Waters MG, Middleton J. An elastomeric material for facial prostheses: synthesis, experimental and numerical testing aspects. *Biomaterials*. 2003;24(27):5061-6.
- Shilo D, Capucha T, Goldstein D, Bereznayak Y, Ermodi O, Rachmiel A. Treatment of facial deformities using 3D planning and printing of patient-specific implants. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*. 2020(159): e60930.
- Nuseir A, Hatamleh MMd, Alnazzawi A, Al-Rabab'ah M, Kamel B, Jaradat E. Direct 3D printing of flexible nasal prosthesis: optimized digital workflow from scan to fit. *Journal of Prosthodontics*. 2019;28(1):10-4.
- Alqutaibi AY. Materials of facial prosthesis: History and advance. *Int J Contemp Dent Med Rev*. 2015; 2015:4.
- Unkovskiy A, Wahl E, Huettig F, Keutel C, Spintzyk S. Multimaterial 3D printing of a definitive silicone auricular prosthesis: An improved technique. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021;125(6):946-50.
- Bachelet J, Jouan R, Prade V, Francisco C, Jaby P, Gleizal A. Place of 3D printing in facial epithesis. *Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery*. 2017;118(4):224-7.
- Zhou L-b, Shang H-t, He L-s, Bo B, Liu G-c, Liu Y-p, Zhao J-l. Accurate reconstruction of discontinuous mandible using a reverse engineering/computer-aided design/rapid prototyping technique: a preliminary clinical study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010;68(9):2115-21.
- Paxton NC, Nightingale RC, Woodruff MA. Capturing patient anatomy for designing and manufacturing personalized prostheses. *Current Opinion in Biotechnology*. 2022; 73:282-9.
- Cruz RL, Ross MT, Powell SK, Woodruff MA. Advancements in soft-tissue prosthetics part A: the art of imitating life. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2020; 8:121.
- Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-dimensional printing and medical imaging: a review of the methods and applications. *Current problems in diagnostic radiology*. 2016;45(1):2-9.
- Ciocca L, Mingucci R, Gassino G, Scotti R. CAD/CAM ear model and virtual construction of the mold. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2007;98(5):339-43.
- Salazar-Gamarra R, Seelaus R, da Silva JVL, da Silva AM, Dib LL. Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: a method for making facial prostheses. *Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*. 2016;45(1):1-13.
- Cristache CM, Tudor I, Moraru L, Cristache G, Lanza A, Burlibasa M. Digital workflow in maxillofacial prosthodontics—an update on defect data acquisition, editing and design using open-source and commercial available software. *Applied Sciences*. 2021;11(3):973.
- Oh J-h. Recent advances in the reconstruction of cranio-maxillofacial defects using computer-aided design/computer-aided manufacturing. *Maxillofacial plastic and reconstructive surgery*. 2018;40(1):2.
- Farré-Guasch E, Wolff J, Helder MN, Schulten EA, Forouzanfar T, Klein-Nulend J. Application of additive manufacturing in oral and maxillofacial surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2015;73(12):2408-18.
- Yan Q, Dong H, Su J, Han J, Song B, Wei Q, Shi Y. A review of 3D printing technology for medical applications. *Engineering*. 2018;4(5):729-42.
- Bibb R, Eggbeer D, Evans P. Rapid prototyping technologies in soft tissue facial prosthetics: current state of the art. *Rapid Prototyping Journal*. 2010;16(2):130-7.
- Mishra A, Srivastava V. Biomaterials and 3D printing techniques used in the medical field. *Journal of Medical Engineering & Technology*. 2021;45(4):290-302.
- Poollogasundarampillai G, Nommets-Nomm A. Materials for 3D printing in medicine: Metals, polymers, ceramics, hydrogels. *3D Printing in Medicine: Elsevier*; 2017. p. 43-71.
- Standard A. Standard terminology for additive manufacturing technologies. *ASTM International F2792-12a*. 2012:1-9.
- Aimar A, Palermo A, Innocenti B. The role of 3D printing in medical applications: a state of the art. *Journal of healthcare engineering*. 2019;2019.
- Watson J, Hatamleh MM. Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;111(5):430-6.
- Yadav S, Narayan AI, Choudhry A, Balakrishnan D. CAD/CAM-assisted auricular prosthesis fabrication for a quick, precise, and more retentive outcome: a clinical report. *Journal of Prosthodontics*. 2017;26(7):616-21.
- Jindal SK, Sherriff M, Waters MG, Smay JE, Coward TJ. Development of a 3D printable maxillofacial silicone: Part II. Optimization of moderator and thixotropic agent. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018;119(2):299-304.
- Nyberg EL, Farris AL, Hung BP, Dias M, Garcia JR, Dorafshar AH, Grayson WL. 3D-printing technologies for craniofacial rehabilitation, reconstruction, and regeneration. *Annals of biomedical engineering*. 2017; 45:45-57.
- Durmaz N. Kazanılmış maksiller defektli hastalarda protetik tedavinin başarısında 3d dijital sistemlerin etkisinin değerlendirilmesi. *Aydın Dental Journal*. 2020;6(2):129-38.
- Unkovskiy A, Spintzyk S, Brom J, Huettig F, Keutel C. Direct 3D printing of silicone facial prostheses: A preliminary experience in digital workflow. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018;120(2):303-8.
- Bikas H, Stavropoulos P, Chryssolouris G. Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016; 83:389-405.
- Owusu JA, Boahene K. Update of patient-specific maxillofacial implant. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*. 2015;23(4):261-4.

46. Schweiger J, Edelhoff D, Güth J-F. 3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(9):2010.
47. Suresh N, Janakiram C, Nayar S, Krishnapriya V, Mathew A. Effectiveness of digital data acquisition technologies in the fabrication of maxillofacial prostheses-A systematic review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. 2022;12(1):208-15.
48. CEBECİ NÖ, TOKMAKCIOĞLU HH. Protetik diş tedavisinde ekleme yöntemi ile üretim. *Sağlık Akademisi Kastamonu*. 2018;3(1):66-86.
49. Simeon P, Unkovskiy A, Sarmadi BS, Nicic R, Koch PJ, Beuer F, Schmidt F. Wear resistance and flexural properties of low force SLA-and DLP-printed splint materials in different printing orientations: An in vitro study. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2024:106458.
50. İnal CB, Kiliçkaya N, Nemli SK. Yüz protezlerinin yapiminda dijital yöntemlerin kullanimi. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*. 2024;13(1):220-7.
51. Gülcan O, Günaydın K, Tamer A. The state of the art of material jetting—a critical review. *Polymers*. 2021;13(16):2829.
52. Olakanmi EO, Cochrane RF, Dalgarno KW. A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties. *Progress in materials science*. 2015; 74:401-77.
53. Wang X, Jiang M, Zhou Z, Gou J, Hui D. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*. 2017; 110:442-58.
54. Shaqour B, Abuabiah M, Abdel-Fattah S, Juaidi A, Abdallah R, Abuzaina W, et al. Gaining a better understanding of the extrusion process in fused filament fabrication 3D printing: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021; 114:1279-91.
55. Naghieh S, Reihany A, Haghghat A, Foroozmehr E, Badrossamay M, Forooghi F. Fused deposition modeling and fabrication of a three-dimensional model in maxillofacial reconstruction. *Journal of Regeneration, Reconstruction & Restoration"(Triple R)*. 2016;1(3):139-44.
56. Żmudzki J, Burzyński M, Chladek G, Krawczyk C. CAD/CAM silicone auricular prosthesis with thermoformed stiffening insert. *Archives of Materials Science and Engineering*. 2017;83(1):30-5.
57. Elbashti M, Hattori M, Sumita Y, Aswehlee A, Yoshi S, Taniguchi H. Creating a digitized database of maxillofacial prostheses (obturators): A pilot study. *The journal of advanced prosthodontics*. 2016;8(3):219.