



Yüz Defektlerinin Rehabilitasyonunda Kullanılan Güncel Teknikler

Current Techniques Used in Rehabilitation of Facial Defects

Helin KAYA ÖZCAN¹, Erkin ÖZCAN², Furkan İŞBİLEN³, Gülümser EVLİOĞLU⁴

HKÖ: 0000-0003-4718-9210 EÖ: 0000-0002-1743-2403 Fİ: 0009-0008-8804-1697 GE: 0000-0003-4688-8204

¹ İstanbul Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İstanbul-Türkiye

² İstanbul Atlas Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İstanbul-Türkiye

³ Ege Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, İzmir-Türkiye

⁴ İstanbul Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İstanbul-Türkiye

Öz

Bu derlemede, çene-yüz protezlerinin üretiminde güncel tekniklerin uygulama aşamalarının araştırılmasına odaklanılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretimin diş hekimliğinde uygulama alanları son yıllarda oldukça genişleme kaydetmiştir. Derleme, dijital ölçü alımı, sanal ortamda modelleme ve tasarım ile hızlı prototipleme üretim tekniklerinin bir özeti olarak düzenlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: çene-yüz protezi, dijital ölçü, 3 boyutlu yazıcı

Abstract

This study investigates the application stages of current techniques in the production of maxillofacial prostheses. The application areas of computer-aided design and production in dentistry have expanded considerably in recent years. The compilation is organized as a summary of rapid prototyping production techniques, digital impression-taking, and virtual modeling and design.

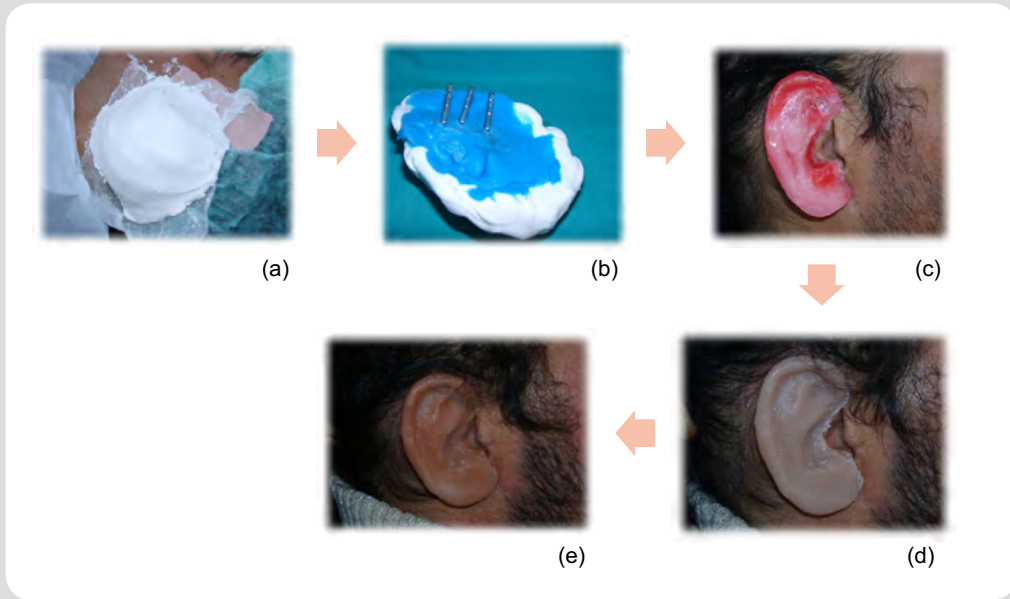
Keywords: maxillofacial prosthesis, digital impression, 3d printer

Giriş

Çene-yüz protezleri doğumsal anomaliler veya kanser cerrahisi, travma, enfeksiyöz hastalıklar gibi sonradan ortaya çıkan sebeplerle oluşan defektlerin kapatılmasında kullanılan protezlerdir. Yüz defektleri, gerekli fonksiyonların karşılanması, daha estetik bir görünüm sağlanması, yumuşak ve sert doku devamlılığının sağlanması ve hasta üzerinde olumsuz psikolojik etki yaratabilecek doku kaybını telafi etmek için cerrahi veya protetik olarak tedavi edilir (1). Geometrik gereksinimler ve etkilenen doku tiplerinin (kemik, kıkırdak, kas ve deri) çokluğu nedeniyle kraniyofasiyal defektlerin tedavisi zordur (2). Yüz protezleri göz protezleri, kulak protezleri, burun protezleri ve orta yüz defekt protezleri olarak 4 ana gruba ayrılır. Son birkaç on yılda, çoğunlukla yaşlı nüfustaki artış ve yüz dokularını içeren kanser sağkalım oranlarındaki iyileşme nedeniyle, yüz protezi gerektiren hasta sayısı artmıştır (3).

Çene-yüz protezlerinin üretiminde geleneksel yöntemde defekt bölgesinden silikon veya aljinatla ölçü alınır. Elde edilen alçı model üzerinde mum modelaj yapılır. Mum model muflaya alınır ve silikon protez elde edilir. Gerekirse diş boyamalarla nihai protez elde edilir.

Geleneksel yöntemlerle alınan ölçülerin uyguladığı basınç hastanın defekt bölgesindeki hassas yumuşak dokuları tahriş etmekte ve işlem hastayı oldukça rahatsız edebilmektedir. Ayrıca ölçü maddesinin sahip olduğu ağırlık ve hastanın pozisyonu sebebiyle dokuda meydana gelen distorsiyonlar yanlış kayıtların alınmasına sebep olabilmektedir. Mum modelaj zaman alan ve iyi el becerisi gerektiren bir tekniktir. Bu teknikle defekt bölgesine simetriğiyle birebir, hassas kenar uyumuna sahip protezlerin yapılması oldukça zordur ve tecrübe gerektirmektedir.



Şekil 1. Geleneksel iş akışı: (a) Defekt ölçüsünün alınması. (b) Alçı model eldesi. (c) Yapılan mum modelajın provası. (d) Silikon protezin provası. (e) Dış boyamalarla nihai protezin teslimi.

Yeni teknolojilerin ve tekniklerin benimsenmesi, bu protezlerin imalatını ve yapımını büyük ölçüde geliştirmiştir. Çene-yüz protezlerinin yapımında teknolojinin kullanılması, protezlerin imalatında yer alan karmaşık adımların kolaylaştırılmasına, protezlerin üretim sürelerinin kısaltılmasına, hasta konforunun artırılmasına yardımcı olmaktadır. Silikon protezlerin sınırlı bir kullanım ömrü olduğu için CAD/CAM kullanmanın bir diğer avantajı da bilgisayar ortamında tasarlanan protezlerin saklanabilmesidir. Bu teknoloji ile hekim, önceki tüm adımlar gerekli olmadığı için herkes için önemli bir zaman tasarrufu ile sınırsız yeni protezi aynı şekilde elde edebilir ve çoğaltabilir (4). Ancak en büyük sorun, epitez üretiminde kullanılan silikon 3D yazıcıların yaygın olarak bulunmaması ve hala pahalı olmasıdır(5). Ayrıca yazıcılarda kullanılan malzemelerin gelişimi hala devam etmektedir. Eggebeer ve ark., burun protezi için geleneksel ve dijital teknikleri karşılaştırırken, geleneksel yöntemle üretilen protezin silikonunun, dijital yöntemle üretilen protezin silikonuna göre aşınmaya ve yırtılmaya

karşı daha dirençli olduğunu bulmuşlardır (6).

Bilgisayar destekli tasarımda defekt bölgesi taranır ve sanal ortama aktarılır. Burada 3 boyutlu model elde edilir ve bilgisayar ortamında protez tasarımı yapılır. Daha sonra tasarım yapılan protezler 3 boyutlu yazıcılarda üretilir.

Tablo 1. Geleneksel, hibrit ve dijital iş akışlarının karşılaştırılması

Geleneksel İş Akışı	Hibrit İş Akışı	Dijital İş Akışı
Defektin dijital ölçüsü	Defektin dijital ölçüsü	Defektin dijital ölçüsü
Alçı model eldesi	Sanal model eldesi	Sanal model eldesi
Mum Modelaj	Dijital mum model tasarımı	Protez tasarımı
Nihai Protez	Hızlı prototipleme ile model eldesi	Hızlı prototipleme ile nihai silikon protez üretimi
	Geleneksel yöntem ile nihai protez üretimi	

Dijital Ölçü Yöntemleri

Defekt bölgesinin dijital kaydı alınırken konik ışınlı bilgisayarlı tomografiden (CBCT), manyetik rezonans (MR), fotogrametriden, lazer tarayıcılardan ve yapılandırılmış ışık tarayıcılardan faydalanılır.

1. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi: X-ışını kullanılarak vücudun incelenen bölgesinin kesitsel görüntüsünü oluşturmaya yönelik radyolojik teşhis yöntemidir. Ağız boşluğunun ve çevresindeki sert dokuların alınan görüntüleri ile tarama modeli elde edilebilir (7). Bu görüntüleme yönteminde hasta yüksek dozda radyasyona maruz kalmaktadır. Ayrıca hastanın istirahat halindeyken, gülerken ve görüntülerinin alınması, hastanın aldığı radyasyon miktarını ve maliyeti önemli ölçüde arttırmaktadır.

2. Manyetik Rezonans: Doku ve yapıların, manyetik alan ve radyo dalgalarıyla görüntülerinin alındığı yöntemdir. Hasta radyasyona maruz kalmaz. Ancak pahalı ve uzun zaman gerektirir.

3. Fotogrametri: En doğru ve net dijital ölçülerin alınmasını sağlayan yöntemlerden biridir (7). Stereofotogrametri (statik) ve monoskopik fotogrametri (taşınabilir) olmak üzere iki çeşidi vardır. Stereofotogrametride, nesnenin iki farklı düzlemde fotoğraflanmasıyla 3 boyutlu bir nesne oluşturulur. Mesafe, yüzey alanı ve hacmin hesaplanmasına izin verir (8). Tüm görüntüler aynı anda farklı kameralar tarafından çekilir ve kameralar farklı açı ve yüksekliklerde yerleştirilir. Bu kameralar aynı anda çekim yapan ve üç boyutlu yapılandırma yazılımına sahiptirler. Bir saniyeden daha kısa sürelerde çekimi ger-

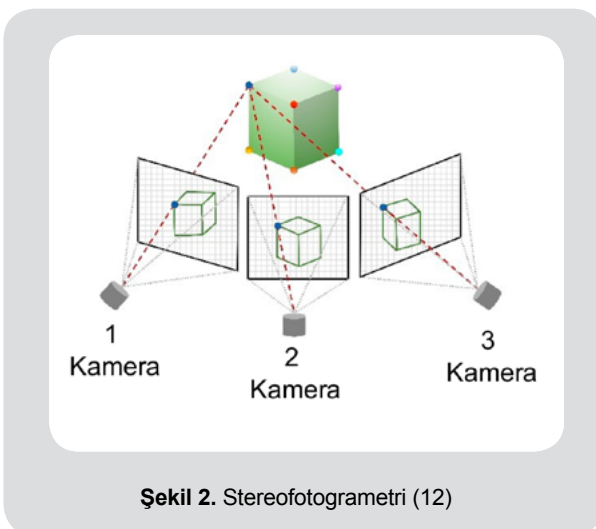
çekleştirirler. Ancak pahalıdırlar, özel alan gerektirirler ve kolayca demonte edilemezler. Ayrıca cihazın her hasta için ayarlanması için zaman almaktadır (7). Monoskopik fotogrametri tekniğinde ise farklı açılarda ve yüksekliklerde farklı görüntüler yakalayan tek bir kamera kullanılmaktadır (9, 10). Gibelli ve ark. taşınabilir sistemlerin sabit sistemlerden daha hızlı tekrarlanabilirliğe ve daha yavaş üç boyutlu işlemeye sahip olduğunu göstermiştir (11).

4. Lazer Tarayıcılar: Trigonometrik üçgenlemeye dayalı bir yöntemdir. 3 boyutlu görüntüleri yeniden oluşturmak için yansıyan bir lazer ışınının algılanması kullanılır (13, 14). Lazer noktası (veya çizgisi), sensör ve lazer yayıcı bir üçgen oluştururlar. Tarayıcı, aktif sensörler kullanır ve lazer kaynağından bilinen bir mesafede konumlandırılır; böylelikle lazer ışığının yansıma açısı hesaplanarak noktaların hassas ölçümleri yapılır. Tarayıcı ile nesne arasındaki mesafeyi bilen tarama donanımı, nesnenin yüzeyini haritalayabilir ve 3 boyutlu olarak kaydedebilir.

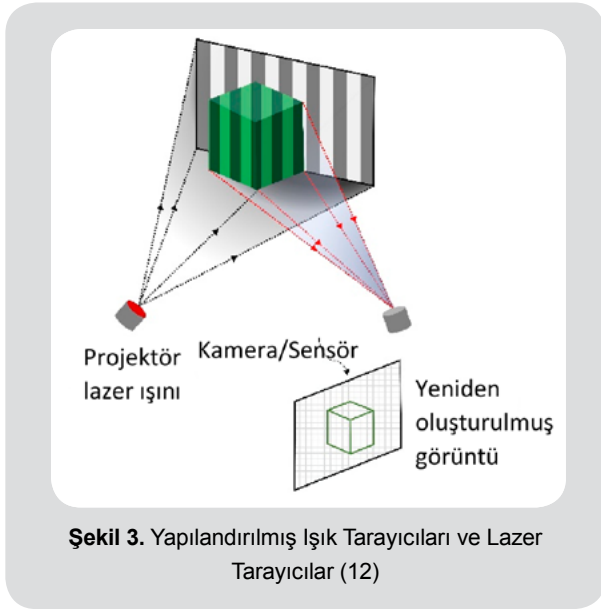
5. Yapılandırılmış Işık Tarayıcılar: Lazer tarayıcılarıdaki gibi trigonometrik üçgenleme kullanılır, ancak bu yöntemde taranacak yüze bir ışık deseni yansıtılır. Bu teknoloji aynı zamanda aktif sensörler kullanır. Bir veya daha fazla sensör (veya kamera), ışık düzeninin şeklini gözlemler ve görüş alanındaki her nokta arasındaki mesafeyi hesaplar. En yaygın ışıklı tarayıcılar mavi ışıktan veya beyaz ışıktan oluşur. Bununla birlikte, daha kısa bir dalga boyu yayan ve bu nedenle yansımaya daha az eğilimli olan mavi ışık daha doğru bir tarama sağladığından, beyaz ışıklı tarayıcılar aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmaktadır (15). Yapılandırılmış ışık tarayıcılarının avantajları arasında hızı, doğruluğu ve tekrarlanabilirliği yer alır. Ancak bu tarama yöntemi, ek ortam ışığının taramayı bozabileceği aydınlatma koşullarına duyarlıdır (15). Reitemeier ve ark. CT çekmeden yapılandırılmış ışık tarayıcısı ile dijital ölçü alınmasının istemsiz hareket eden çocuklar veya hastalar için hareket artefaktına izin verdiğini belirtmişlerdir (16).

Lazer tarayıcılar yaklaşık 30 saniye ile en uzun tarama süresine sahiptirler. Statik stereofotogrametriden ise 0.03-0.09 s ile en hızlı tarama yapan cihazlardır. En pahalı cihazlar lazer tarayıcılar ve statik stereofotogrametridir(7).

Çene-yüz protezinin tasarımı, açık kaynaklı veya ticari olarak temin edilebilen çok çeşitli mevcut CAD programları ve yazılım takımları kullanılarak elde edilir. Tasarım aşaması öncesinde hastadan elde edilen görüntüleri bilgisayar ortamında modellemek için yazılımlardan faydalanılır. Defekt



Şekil 2. Stereofotogrametri (12)



Şekil 3. Yapılandırılmış Işık Tarayıcıları ve Lazer Tarayıcılar (12)

bölgesinde tasarlanacak protez için de ayrı yazılım programlarından faydalanılır (17).

Üretim Teknikleri

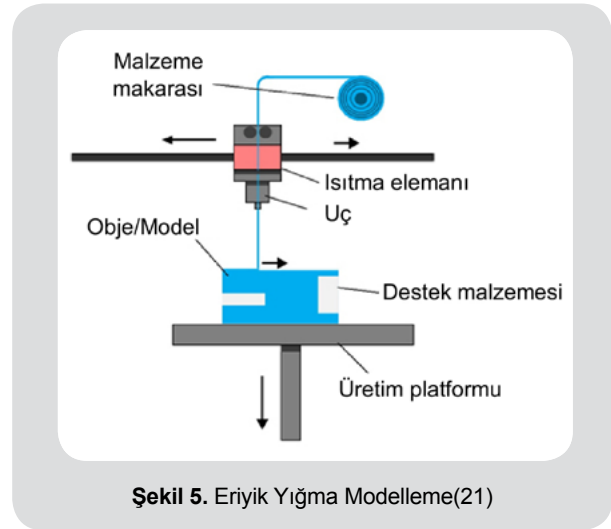
Birkaç 10 yıldır, 3 boyutlu yazıcıların gelişimi ile diş hekimliğinde kullanım alanları genişlemiştir. Eklemeli üretim tekniklerinden olan 3 boyutlu yazıcı ile farklı materyallerden değişken mekanik ve fiziksel özelliklerde 3 boyutlu ürünler ortaya çıkartılabilmektedir (18).

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarında modelleme yapılır, 3 boyutlu yazıcı ile arasında iletişimi sağlayan 3 boyutlu dilimleme yazılımları ile yazıcı arasında veri aktarımı sağlanır. Yazıcının katman katman, modellemesi yapılan ürünü 3 boyutlu nesne haline getirmesi ile üretim süreci tamamlanmış olur (19).



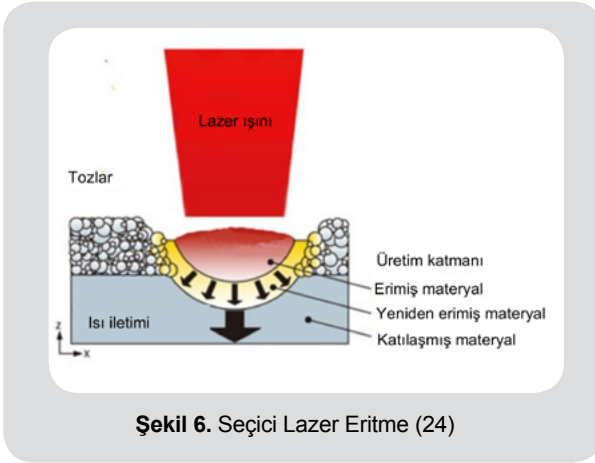
Şekil 4. 3 boyutlu yazıcıların üretiminde iş akışı

1. Seçici Lazer Eritme (Selective Laser Melting-SLM): Eriyik yığıma modelleme, termoplastik filamanların bir yapı platformu üzerinde katman katman biriktirme işlemidir. Polimer filaman, yarı katı bir duruma ısıtılır ve ısıtılmış platform üzerinde biriktirilir. Eritilmiş malzeme, uç ile katmanda bilgisayarla modellenmiş enine kesit yolunu takip eder. Katman tamamlandıktan sonra platform aşağı, uç ise yukarı hareket eder ve diğer katmanlarda da eritilmiş malzeme uçtan akarak tekrarlanan bu süreçlerle üretim tamamlanmış olur (20).



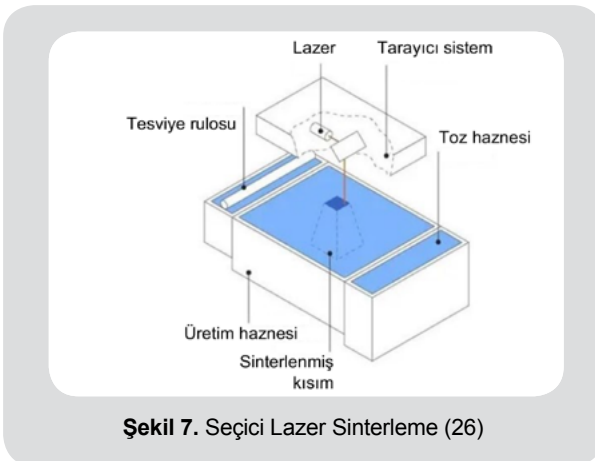
Şekil 5. Eriyik Yığıma Modelleme(21)

2. Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS): Seçici lazer eritme, metalik tozları eritmek ve kaynaştırmak için yüksek güç yoğunluklu lazer kullanmak üzere tasarlanmış bir üretim tekniğidir (22). Üretim prensibi, bir veya birkaç lazer ışınının neden olduğu termal enerji ile tamamen eriyen çok ince metalik toz katmanları ile uygulanan bir platform ile başlar. Tasarlanan modelin enine kesit alanı, her katmanda metalik tozların seçici olarak eritilmesi ve yeniden katılaştırılmasıyla oluşturulur. Platform daha sonra alçaltılır ve yeni bir toz tabakası biriktirilerek yeni katman oluşturulur (23).



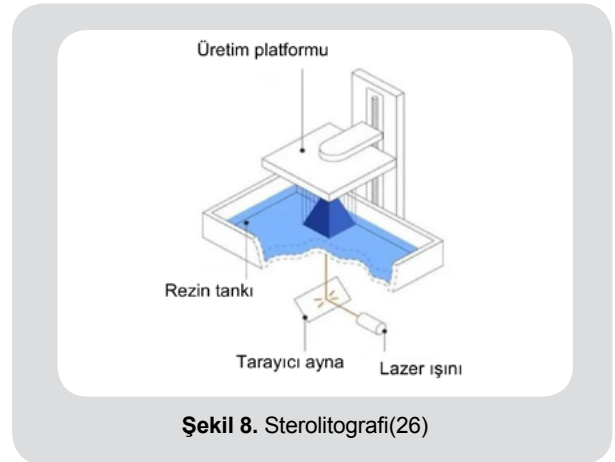
Şekil 6. Seçici Lazer Eritme (24)

3. Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS): Toz halindeki hammaddenin bir tabaka halinde işlem tablasına yayılarak, lazer ışınının yüzeye çarptığı noktalarda oluşan sıcaklıkla toz malzemenin eritilmesi mantığına dayanır. Lazer ışınının yarattığı sıcaklık nedeniyle eriyen toz taneleri temas halinde olduğu diğer toz taneleriyle doğal olarak birleşir ve her katmanda tekrarlanan bu işlem sonrasında parça üretimi tamamlanır(25). Tozlar katı hal sinterleme, kimyasal olarak indüklenen bağlama, sıvı faz sinterleme (kısmi erime) ve tam erime gibi farklı parçacık bağlama mekanizmalarıyla kaynaştırılabilir(20). Yazıcı sistemi, bir lazer besleme kaynağı, tarama sistemi, silindir, toz besleme platformu ve bir sinterleme platformundan oluşur. Genellikle tozlar, yüksek güçlü bir lazerin etkisi altında moleküler difüzyonla kaynaştırılır. İlk toz tabakası eritildikten sonra sinterleme platformu bir adım aşağı hareket eder ve bir sonraki toz tabakası kaynaştırılır. Sinterleme işlemi tamamlandıktan sonra sinterlenmemiş toz alınır ve parça platformdan çıkarılır(20).



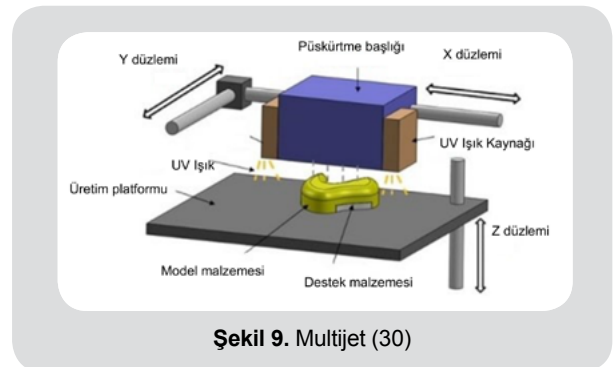
Şekil 7. Seçici Lazer Sinterleme (26)

4. Sterolitografi (Stereolithography-SLA): Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan fotopolimer reçine tabakasının noktasal bir morötesi (ultraviyole) lazer ışını vasıtasıyla belirli bölgelerinin kürleştirilmesi prensibine dayanır ve katman katman tekrar edilir (25). Katman kalınlığı, ışık kaynağının enerjisi ve maruz kalma süresi ile kontrol edilir (20). Fotopolimerizasyon, önceden var olan makromoleküllerin foto-çapraz bağlanmasıyla sonuçlanan bir zincir polimerizasyon sürecini ilerletmek için ışık ışınlarını kullanan bir tekniği ifade eder (27).



Şekil 8. Sterolitografi(26)

5. Multijet (Material Jetting-Polyjet): Bir yazıcı başlığının ultraviyole (UV) ışık uygulamasından sonra sertleşen ışığa duyarlı sıvı malzeme (akrilik) damlacıkları dağıtarak katman katman bir model oluşturduğu sistemdir (28). Juneja ve ark. üretim tekniklerini kıyasladıkları bir çalışmada 3B üretilen modellerin boyutsal ölçümlerinde hata eğilimleri PolyJet<SLA<SLS<FDM şeklinde görülürken, bu modellerin 3B üretilmesi sırasında oluşan maliyet ise FDM<PolyJet<SLA<SLS şeklinde görülmüştür (29).



Şekil 9. Multijet (30)

6. DLP (Digital Light Processing): Stereolitografinin lazerin optik yolunda tarama ihtiyacını ortadan kaldırarak ve böylece tek bir pozda tam bir katman oluşturmaya izin veren bir dijital mikro ayna cihazı (DMD) dahil edilerek modifiye edilmiş halidir (31). Lazer tabanlı SLA yazıcılarla karşılaştırıldığında, DLP yazıcılar daha hızlı, daha verimli ve çok çeşitli dalga boylarında çalışmaya izin verir. Üretim için çok az miktarda reçine kullanma esnekliği sunmayan lazer tabanlı SLA yazıcıların aksine, DLP yazıcılar özelleştirilmiş reçine rezervuarlarına ve küçük hacimlerde foto reaktif polimerlere uyarlanabilir (32).

Sonuç ve Öneriler

Yüz defektlerinin rehabilite edilmesi, hastalarda kaybolan fonksiyon ve psikolojinin yeniden kazandırılması için önem arz etmektedir. Geleneksel iş akışında süreç uzamakta hem hasta hem de hekim için tekrar eden seanslar yorucu olmaktadır. Tam veya hibrit dijital iş akışı ile tekrar eden seansların azaltılması ve tekrar edilebilir üretimler ile kabul edilebilir epitezlerin üretimi hedeflenmektedir. Dijital iş akışının yaygınlaşması ile, insan kaynaklı hatalar ortadan kalkacak, defekt bölgelerine uyumu ve estetiği daha iyi olan protezler üretilecektir.

Received/Geliş Tarihi: 28.03.2023

Accepted/Kabul Tarihi: 23.05.2023

Kaynaklar

1. Diken Türksayar AA, Sağlam SA, Bulut AC. Retention systems used in maxillofacial prostheses: A review. *Niger J Clin Pract.* 2019;22(12):1629-34. doi: 10.4103/njcp.njcp_92_19. PubMed PMID: 31793467.
2. Nyberg EL, Farris AL, Hung BP, Dias M, Garcia JR, Dorafshar AH, et al. 3D-Printing Technologies for Craniofacial Rehabilitation, Reconstruction, and Regeneration. *Annals of Biomedical Engineering.* 2017;45(1):45-57. doi: 10.1007/s10439-016-1668-5.
3. Tetteh S, Bibb RJ, Martin SJ. Maxillofacial prostheses challenges in resource constrained regions. *Disabil Rehabil.* 2019;41(3):348-56. Epub 20171024. doi: 10.1080/09638288.2017.1390697. PubMed PMID: 29065718.
4. Bachelet JT, Jouan R, Prade V, Francisco C, Jaby P, Gleizal A. Place of 3D printing in facial epithesis. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2017;118(4):224-7. Epub 20170619. doi: 10.1016/j.jormas.2017.05.008. PubMed PMID: 28642185.
5. Egelhoff K, Idzi P, Bargiel J, Wyszynska-Pawelec G, Zapala J, Gontarz M. Implementation of Cone Beam Computed Tomography, Digital Sculpting and Three-Dimensional Printing in Facial Epithesis—A Technical

Note. *Applied Sciences.* 2022;12(23):11974. PubMed PMID: doi:10.3390/app122311974.

6. Eggbeer D, Bibb R, Evans P, Ji L. Evaluation of direct and indirect additive manufacture of maxillofacial prostheses. *Proc Inst Mech Eng H.* 2012;226(9):718-28. doi: 10.1177/0954411912451826. PubMed PMID: 23025173.
7. Antonacci D, Caponio VCA, Troiano G, Pompeo MG, Gianfreda F, Canullo L. Facial scanning technologies in the era of digital workflow: A systematic review and network meta-analysis. *J Prosthodont Res.* 2022. Epub 20220903. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_22_00107. PubMed PMID: 36058870.
8. Hong C, Choi K, Kachroo Y, Kwon T, Nguyen A, McComb R, et al. Evaluation of the 3dMDface system as a tool for soft tissue analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research.* 2017;20(S1):119-24. doi: https://doi.org/10.1111/ocr.12178.
9. Kim AJ, Gu D, Chandiramani R, Linjawi I, Deutsch ICK, Allareddy V, et al. Accuracy and reliability of digital craniofacial measurements using a small-format, handheld 3D camera. *Orthod Craniofac Res.* 2018. Epub 20180604. doi: 10.1111/ocr.12228. PubMed PMID: 29863289.
10. Camison L, Bykowski M, Lee WW, Carlson JC, Roosenboom J, Goldstein JA, et al. Validation of the Vectra H1 portable three-dimensional photogrammetry system for facial imaging. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018;47(3):403-10. Epub 20170914. doi: 10.1016/j.ijom.2017.08.008. PubMed PMID: 28919165; PubMed Central PMCID: PMC5803347.
11. Gibelli D, Pucciarelli V, Cappella A, Dolci C, Sforza C. Are Portable Stereophotogrammetric Devices Reliable in Facial Imaging? A Validation Study of VECTRA H1 Device. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(8):1772-84. Epub 20180131. doi: 10.1016/j.joms.2018.01.021. PubMed PMID: 29458028.
12. Mai HN, Lee DH. Effects of Artificial Extraoral Markers on Accuracy of Three-Dimensional Dentofacial Image Integration: Smartphone Face Scan versus Stereophotogrammetry. *J Pers Med.* 2022;12(3). Epub 20220318. doi: 10.3390/jpm12030490. PubMed PMID: 35330489; PubMed Central PMCID: PMC8951552.
13. Joe PS, Ito Y, Shih AM, Oeststad RK, Lungu CT. Comparison of a Novel Surface Laser Scanning Anthropometric Technique to Traditional Methods for Facial Parameter Measurements. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* 2012;9(2):81-8. doi: 10.1080/15459624.2011.640557.
14. Kovacs L, Zimmermann A, Brockmann G, Gühring M, Baurecht H, Papadopulos NA, et al. Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2006;59(11):1193-202. Epub 20060309. doi: 10.1016/j.jbjs.2005.10.025. PubMed PMID: 17046629.
15. Lee JD, Nguyen O, Lin Y-C, Luu D, Kim S, Amini A, et al. Facial Scanners in Dentistry: An Overview. *Prosthesis.* 2022;4(4):664-78. PubMed PMID: doi:10.3390/prosthesis4040053.
16. Coward TJ, Watson RM, Wilkinson IC. Fabrication of a wax ear by rapid-process modeling using stereolithography. *Int J Prosthodont.* 1999;12(1):20-7. PubMed PMID: 10196824.



17. 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. PubMed PMID: doi:10.3390/app11030973.
18. Bangeas P, Drevelegas K, Agorastou C, Tzounis L, Chorti A, Paramythiotis D, et al. Three-dimensional printing as an educational tool in colorectal surgery. *FBE*. 2019;11(1):29-37. doi: 10.2741/e844.
19. Shahrubudin N, Lee TC, Ramlan R. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*. 2019;35:1286-96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.
20. Kafle A, Luis E, Silwal R, Pan HM, Shrestha PL, Bastola AK. 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). *Polymers (Basel)*. 2021;13(18). Epub 20210915. doi: 10.3390/polym13183101. PubMed PMID: 34578002; PubMed Central PMCID: PMC8470301.
21. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>.
22. Yap CY, Chua CK, Dong ZL, Liu ZH, Zhang DQ, Loh LE, et al. Review of selective laser melting: Materials and applications. *Applied Physics Reviews*. 2015;2(4):041101. doi: 10.1063/1.4935926.
23. Song X, Zhai W, Huang R, Fu J, Fu MW, Li F. Metal-based 3D-printed micro parts & structures. 2022.
24. SLM – SELECTIVE LASER MELTING. <https://www.materflow.com/en/slm-selective-laser-melting-2/>.
25. Sun J, Zhang FQ. The application of rapid prototyping in prosthodontics. *J Prosthodont*. 2012;21(8):641-4. Epub 20120723. doi: 10.1111/j.1532-849X.2012.00888.x. PubMed PMID: 22823471.
26. www.liqcreate.com.
27. Bagheri A, Jin J. Photopolymerization in 3D Printing. *ACS Applied Polymer Materials*. 2019;1(4):593-611. doi: 10.1021/acsapm.8b00165.
28. Msallem B, Sharma N, Cao S, Halbeisen FS, Zeilhofer HF, Thieringer FM. Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology. *J Clin Med*. 2020;9(3). Epub 20200317. doi: 10.3390/jcm9030817. PubMed PMID: 32192099; PubMed Central PMCID: PMC7141211.
29. Juneja M, Chawla J, Dhingra G, Bansal I, Sharma S, Goyal P, et al. Analysis of additive manufacturing techniques used for maxillofacial corrective surgeries. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2022;236(14):7864-75. doi: 10.1177/09544062221081992.
30. Udroui R, Braga I. Polyjet technology applications for rapid tooling. *MATEC Web of Conferences*. 2017;112:03011. doi: 10.1051/mateconf/201711203011.
31. Lu Y, Mapili G, Suhali G, Chen S, Roy K. A digital micro-mirror device-based system for the microfabrication of complex, spatially patterned tissue engineering scaffolds. *J Biomed Mater Res A*. 2006;77(2):396-405. doi: 10.1002/jbm.a.30601. PubMed PMID: 16444679.
32. Kadry H, Wadnap S, Xu C, Ahsan F. Digital light processing (DLP) 3D-printing technology and photoreactive polymers in fabrication of modified-release tablets. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019;135:60-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2019.05.008>.