

Derleme

Yüz Protezlerinin Yapımında Dijital Yöntemlerin Kullanımı

Use of Digital Methods for Facial Prosthesis Manufacturing

Ceyda Başak İnal ¹, Necla Kılıçkaya ², Seçil Karakoca Nemli³ 

ÖZET

Yüz protezlerinin yapımında kullanılan geleneksel yöntemler birden fazla aşamayı içermekte, yoğun emek ve zaman gerektirmektedir. Ayrıca bu protezlerin belirli aralıklarla yenilenmesi gerekmektedir. Yüz protezlerinin yapımında dijital yöntemlerin kullanılması bu aşamaları kısaltırken hastaya konfor sağlamaktadır. 3 boyutlu üretim yöntemleri kullanılarak yapılan yüz protezleri, veri toplama, tasarım ve üretim aşamalarını içermektedir. Protezlerin yapımında ilk aşama olan veri toplama, bilgisayarlı tomografi gibi görüntüleme yöntemlerinden dijital kameralarla elde edilen görüntülere kadar çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında değerlendirilerek üretimi yapılacak nesnenin tasarımı gerçekleştirilmektedir. 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak protez direkt veya indirekt olmak üzere iki şekilde üretilebilir. Direkt yöntem protezin 3 boyutlu yazıcılardan doğrudan üretimini, indirekt yöntem ise daha sonra protezin üretiminde kullanılacak şablon veya kalıp üretimini içermektedir. Bu derlemede, yüz protezlerinin yapımında kullanılan dijital yöntemler, yüz protezlerinin yapım aşamaları ve kullanılan çeşitli malzemeler açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: 3B görüntüleme; 3B yazma; Silikon; Yüz protezleri

ABSTRACT

The traditional methods for making facial prosthesis include multiple stages and require intensive labor and time. Besides, these prostheses should be replaced at regular intervals. The use of digital methods in manufacturing prosthesis shortens these stages and provides comfort to the patient. Manufacturing facial prosthesis using 3-dimensional production methods include data collection, design, and production stages. Data collection, which is the first stage in the manufacturing of prosthesis, can be performed with various imaging methods ranging from CT scans to digital cameras. The collected data, then, evaluated in a computer to design the prosthesis or mold. The prosthesis can be produced in two ways using 3D printers: direct or indirect. The direct method includes manufacturing of the prosthesis directly from printers, and the indirect method includes template or mold production used for making the prosthesis. The digital technologies used in the manufacturing of facial prosthesis, the stages of facial prosthesis manufacturing, and various materials are explained in this review.

Keywords: 3D imaging; 3D printing; Maxillofacial prosthesis; Silicone

Makale gönderiliş tarihi: 13.07.2023; Yayına kabul tarihi: 10.11.2023

İletişim: Dr. Dt. Ceyda Başak İnal

Emek Mah. Kazakistan Cd. 138/B Çankaya, Ankara

E-posta: ceydainal@aol.com

¹ Dr. Dt., Özel Klinik, Ankara, Türkiye

² Dr. Dt., Özel Klinik, Ankara, Türkiye

³ Prof. Dr., Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

Geleneksel yöntemlerle yüz protezlerinin yapımı; ölçü alınması ve defekti doğru yansıtan bir tanı modelinin hazırlanması, protezin 3 boyutlu örneğinin modelajı ve bunun hasta üzerinde uyumlanması, kalıp hazırlanması ve protez materyalinin renklendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu yöntem; çok sayıda klinik ve laboratuvar aşaması gerektirmekle beraber klinisyenin tecrübesi ve becerisi gibi sübjektif koşullardan büyük oranda etkilenmektedir.^{1,2} Tıp ve diş hekimliğinin birçok alanında olduğu gibi gelişen dijital teknolojiler maksillofasiyal protez alanında da önemli avantajları beraberinde getirmiştir.^{3,4} Dijital teknolojiler ile yüz protezlerinin yapım süreci hızlanmıştır, protezin başarısındaki yapıma bağlı faktörler azaltılmıştır ve hastanın estetik ve fonksiyonel beklentisini karşılayan protezlerin yapımı kolaylaşmıştır.⁵

Maksillofasiyal defekti olan hastaların tedavisinde dijital iş akışı; görüntüleme (veri toplama), planlama (tasarım) ve üretim aşamalarını içermektedir.

Görüntüleme

Maksillofasiyal protez yapımında dijital iş akışı veri toplama ile başlar. İlk aşama defekt bölgesinin ve yüzün üç boyutlu olarak bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. Bu veriler genellikle, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), lazer tarama, dijital kamera ve stereo-fotogrametri yöntemleriyle elde edilmektedir.⁶

Bilgisayarlı Tomografi (BT)

Bilgisayarlı tomografi istenen bölgeden geçen x-ışınlarının atenuasyon miktarlarının detektörlerle ölçülerek görüntüye dönüştürüldüğü yöntemdir. Çok kesitli (multislice) teknoloji mekanik taramalı bilgisayarlı tomografi cihazları içinde günümüzde kullanılan en yeni teknolojidir.^{7,8} Konvansiyonel radyografilerde oluşan süperpozisyon veya distorsiyon gibi dezavantajlar BT ile ortadan kaldırılmış olur. BT'nin en büyük avantajı hem sert hem de yumuşak dokuların bir arada görüntülenebilmesidir. BT'nin üç boyutlu görüntülemenin yanı sıra ölçüm yapabilme ve hacim oluşturabilme gibi avantajları da bulunmaktadır. Bu yöntemin dezavantajları arasında maliyetli bir cihaz olması, uzun çekim süresi, hastanın yüksek dozda radyasyona maruz kalması, sert dokulara kıyasla yumuşak dokuyu ayırt edebilme özelliğinin daha yetersiz olması sayılabilmektedir.⁹

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)

MRG yönteminde manyetik alan ve radyofrekans dalgaları vücut dokularının üç boyutlu görüntülenmesi amacıyla kullanılmaktadır.⁷ Yumuşak dokuların kontrastının yüksek olması, iyonize radyasyon kullanılmaması ve hasta sabit tutularak her düzlemde görüntü alınabilmesi bu yöntemin avantajları arasındadır.⁸ MRG'nin başlıca dezavantajları arasında ise yüksek maliyeti, uzun görüntüleme ve yorumlanma süreleri bulunmaktadır. Kalp-pili olan veya metalik protez kullanan hastalar, kapalı alan fobisi olan veya sabit durmada güçlük çeken ve kooperasyonu zayıf olan hastalarda MRG'nin kullanımı kontrendikedir.^{7,10,11}

Lazer Tarama

Objelerden yansıyan ışınları kaydedip nokta bulutu verisine dönüştüren araçlardır. Lazer tarayıcı, taranan nesneye göre hareket ettirilen bir lazer çizgisinden oluşur. Hastaya temas etmeden verileri toplayıp görüntü elde edilmesini sağlar.¹³ Bu yakın mesafeli tarayıcı üçgenleme ölçüm yöntemini kullanır ve hastanın yüzüne ince lazer çizgileri gönderir. Lazer ışını daha sonra yansıtılır ve bir kamera sensörü tarafından kaydedilir; verici ve sensor arasındaki bağıl mesafe bilindiğinden yüz üzerindeki noktaların yeri değerlendirilebilmektedir.¹⁴

Dijital Kamera

Dijital kameranın, MRG'den daha ucuz olduğu ve BT'de gözlenen yüksek radyasyon maruziyetini ortadan kaldırdığı öne sürülmüştür.¹⁵ Lazer tarayıcıya göre avantajı ise, dijital görüntülerle hassas renk uyumunun sağlanabilmesidir. Bu özellik maksillofasiyal protezler için önem taşımaktadır.¹⁶

Stereo-Fotogrametri

Aynı nesnenin farklı görüş açılarından alınan birden çok görüntüsünü, 3B modeli yeniden yapılandırmak için kullanır. Her görüntüde ortak noktalar belirlenir ve nesnenin 3B görüntüsü elde edilir.¹⁴ Fotogrametrik tarayıcı, bir vakada anatomik noktalar arası mesafelerin ölçümü için kullanılmış ve doğruluğu kanıtlanmıştır.¹⁷ Ancak çoğu fotogrametri tarayıcısı ile alınan görüntüler kullanılarak üretilen 3 boyutlu modellerin ciltteki detayları yansıtabilecek çözünürlüğe sahip olmadığı da belirtilmektedir.¹⁸ Ayrıca bu modellerin BT ile elde edilen görüntüden üretilen modele göre doğruluğunun daha az olduğu gösterilmiştir.¹⁹

Maksillofasiyal protezlerin üretiminde veri toplama yöntemlerinin etkinliğinin araştırıldığı bir derlemede, burun protezlerinde lazer taramanın, kulak protezlerinde lazer taramaya ek olarak BT ve dijital fotoğrafların birlikte kullanılmasının daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Orbital protezlerde stereo-fotogrametri ve lazer tarama sıklıkla tercih edilmektedir.²⁰ Büyük yüz defektlerinde dijital fotoğrafların ve stereo-fotogrametrinin, obturatörlerin yapımında ise MRG ve BT görüntülerinin birlikte kullanılmasının veri toplama açısından daha üstün olduğu belirtilmiştir.²¹

Dijital 3B yüz tarama; biyomedikal mühendisliği, 3B animasyon ve diş hekimliği alanlarında geniş bir uygulama yelpazesi olan ve hızla gelişen bir teknolojidir. Teknoloji son zamanlarda tüm ağız rehabilitasyonundan hastanın dış profiline kadar bilgi sağlayarak sanal hasta kaydını tamamlamak için kullanılmaya başlanmıştır.²² Maksillofasiyal protez alanında kullanılan 2 ana ağız dışı optik 3B tarayıcı türü, saçaklı (fringe) projeksiyon teknolojisi ve 3B lazer tarama sistemine dayanmaktadır.¹⁶ Yüzün lazer ile taranması daha uzun tarama süreleri gerektirir; bu nedenle, solunum veya kas kasılmaları gibi başın kontrolsüz hareketleri, özellikle yüksek çözünürlük gerektiren kulak gibi küçük ölçekli bir bölgenin ölçümünde hatalara neden olabilir.²³ Ayrıca lazerin göz üzerindeki olumsuz etkileri de yöntemin diğer



Resim 1. Ağız içi tarayıcı ile kulağın taranması

bir dezavantajdır. Saçaklı projeksiyon yöntemi bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için kullanılmaya başlanmıştır. 3B lazer yöntemine göre daha hızlı olan saçak projeksiyonunda kullanılan ışık vücuda zararsızdır, kısa sürede ve tek seferde tüm yüzün taraması gerçekleştirilebilmektedir.²⁴

2000'li yılların başlarında, ağız içi tarayıcılar diş hekimliğinde başarıyla uygulanmaya başlanmıştır (Resim 1). Son çalışmalar, diş dokularının 3B geometrisinin ağız içi tarayıcılar ile taranmasının, karmaşık diş morfolojisini yakalamak için gereken doğruluğu ve hassasiyeti gösterdiğini ortaya koymuştur.²⁵ Ballo ve ark.²⁶ bilgisayarlı tomografinin radyasyonundan kaçınmak amacıyla ve dijital tarayıcının lazer ışığının kulağın arkasındaki alanları yakalayamaması nedeniyle ağız içi tarayıcılar ve ağız dışı işaretleyici kullanarak kulağın doğrudan dijital kaydı için yeni bir teknik tanıtmışlardır. Ağız içi tarayıcı diş morfolojisindeki küçük bölgelerden ayrıntı görüntü yakalayabilir ancak ağız dışındaki yumuşak dokularda bu çok zordur bu sebeple işaretleyici kullanılarak bu zorluğun üstesinden gelinmiştir.

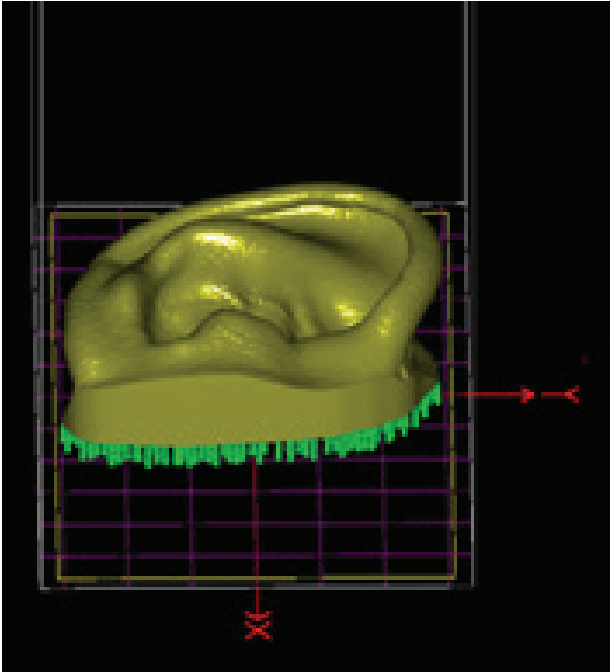
Protez Tasarımı

Yüz protezlerinin bilgisayar ortamında 3B tasarımının yapılabilmesi için hastanın yüzü ve defekt bölgesinden toplanan verinin tasarım yazılımına uygun bir formatta transfer edilmesi gerekir. BT ve MRG gibi tıbbi görüntüleme verileri genellikle DICOM (dijital görüntüleme ve tıp verilerinde iletişim) formunda elde edilir.²⁷ 3B modelleme için DICOM verilerinin STL (standart mozaikleme dili) dosya formatında oluşturulması ve kaydedilmesi gerekir. Diğer dijital sistemler, elde edilen verileri doğrudan STL dosya formatında kaydedilebilirler (Resim 2). 3B modelleme ve tasarım yazılımı kapsamlı araç setleri sunarak anatomik detayların şekillendirilmesine ve çeşitli şekillerde olabilen defekt bölgesinin sanal modellerinin dijital iş akışında değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar.²⁸ Protezin son tasarımı defekt modeliyle eşleştirilebilir ve maksillofasiyal protez tedavisinin üçüncü unsuru olan üretimden önce uygunluk açısından hızlı bir şekilde değerlendirilebilir.⁵

Maksillofasiyal protezlerin sanal ortamda hasta yüzüne uygun bir şekilde doğru konturlarda hazırlanabilmesi için bazı yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Protezin kalıp modelini veya şablonunu elde edilebilmek için kullanılan yazılımlar; 3B tarayıcı veya



Resim 2. Kulağın taranması sonrası elde edilen 3B görüntü



Resim 3. 3B modelin baskı öncesi hazırlanması

MRG/BT den elde edilen görüntünün 3B modele dönüştürülmesi, yansıtma, varsa kütüphaneden model elde etme veya serbest modellemeyle yeni bir vücut parçası üretme aşamalarının yapılmasını sağlamaktadır.²⁹ Şu anda, bu işlevlerin tümü bir yazılım programında birleştirilmemiştir. BT veya MRG verilerinin dönüştürülmesi için çoğunlukla Mimics (Materialise, Belçika) kullanılmaktadır. 3B tarayıcılardan

gelen verileri dönüştürmek için Geomagic (Geomagic GmbH, Almanya), Rapidform (Geomagic GmbH, Almanya), Zbrush (Pixologic, ABD), 3D Slicer (The Slicer Community, ABD), gibi yazılımlar kullanılabilir. Modelleme için Freeform Model Plus (SensAble Technologies, ABD) Design X (Geomagic GmbH, Almanya), Blender (Blender Foundation, Hollanda), Meshmixer (Autodesk, ABD) ve Rhino (McNeel, ABD) gibi uygulamalar kullanılabilir.¹⁴ Bu programlarla DICOM verilerinin STL verilerine dönüştürülmesi sırasındaki hatalar düzeltilebilmektedir. Ayrıca bilateral organlardan birinin sağlıklı olduğu durumlarda ayna görüntüsünün alınması ve sadece ilgili bölgenin seçilerek üretilebilmesi ile protezin hastanın yüzüne tam oturması ve düzgün konturlara sahip olması sağlanmaktadır (Resim 3).^{20,30}

Üretim

Sıklıkla kullanılan 3B üretim yöntemleri sterolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP), eriyik yığıma modellemesi (FDM) ve inkjet baskı yöntemleridir.⁵

3B baskı teknolojisindeki son gelişmeler, plastikten (akrilonitril bütadien stiren) metal alaşıma kadar çeşitli materyallerin kullanılmasını mümkün kılmıştır.³¹ Yazıcı seçimi amaçlanan uygulamaya bağlıdır. Yazıcı seçerken göz önünde bulundurulması gereken bazı faktörler maliyet, doğruluk, hız ve mevcut baskı materyalleridir.⁶

Eklemeli üretim veya hızlı prototipleme olarak da isimlendirilen 3B baskı teknolojisinin maksillofasiyal protezlerde kullanımı ikiye ayrılır. 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.²⁰ Dijital ölçü, geleneksel ölçü yöntemlerinin bazı zorluklarını özellikle burun protezi için ölçü alınırken nefes almayı önlemesi ve küçük yaşta hastalarda kooperasyon güçlüğü gibi durumları ortadan kaldırmaktadır.³² 3B kalıbın hazırlanması veya protezin 3B olarak basılmasını karşılaştıran bir çalışmada, en iyi yöntemin 3B baskı yöntemiyle negatif kalıbın hazırlanması olduğunu bildirmiştir. Bu durumun sebebi, güncel 3B baskı yöntemleriyle silikon protezin doğrudan basılmasının materyalin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği şeklinde açıklanmaktadır.^{33,34}

a- Protezin direkt üretimi

Günümüzde maksillofasiyal protezlerin 3B yazıcılarla basılabilmesi için geliştirilen silikon tozları kullanılarak inkjet baskı (binder jetting) yöntemiyle protezlerin doğrudan üretimi gerçekleştirilebilmektedir.³⁵ Inkjet baskı yöntemi toz hammaddenin yapıştırıcı bir diğer madde ile birbirine yapıştırılarak tabakalar halinde 3B cismin oluşturulması şeklinde çalışmaktadır. Ürüne daha sonra boşlukların doldurulması amacıyla likit fazdaki materyal ile infiltrasyon uygulanması yapılarak daha dayanıklı bir son ürün oluşturulur. Ayrıca orijinal renklere sahip maksillofasiyal protez üretimi için kullanılabilir tek metod binder jetting yöntemidir. Çok fazla renk tonu seçeneği olmaması, mekanik özelliklerin ve rengin kullanıma bağlı hızlı bozulması ve nemden etkilenmesi bu teknolojinin maksillofasiyal protez üretiminde kullanılmasını sınırlandırmaktadır.³⁶ Bu yöntem kullanılarak burun protezi üretimi yapılan bir çalışmada, doğrudan 3B baskı yöntemi ile üretilen protez yüzey yapısı ve renk olarak yetersiz bulunduğundan, yüzey düzeltmesi yapılmış ve ilave silikon kaplanarak dış renklendirme yapılmıştır. Direkt yöntemle üretilen protezin uyumu klinik olarak kabul edilebilir düzeyde bulunmuş ancak protez kenarlarında bir miktar uyumsuzluk gözlemlenmiştir. Bu durumun üretim sırasında belirlenen tabaka kalınlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.³⁷

Geleneksel yöntemlerle 3B yöntemlerin maksillofasiyal protez üretimi açısından karşılaştırıldığı bir çalışmada; nişasta benzeri bir tozdan inkjet baskı (binder jetting) yöntemi kullanılarak üretilen ve daha sonra basınç altında silikon infiltrasyonu uygulanarak hazırlanan protezler, geleneksel yöntemlerle üretilenlerden daha hafifken, mekanik özellikleri daha zayıf ve esnemeye daha dirençsiz oldukları tespit edilmiştir.³⁶

Doğrudan protez üretimi için kullanılan diğer bir yöntem ise malzeme püskürtme (material jetting) yöntemidir.³³ Bu yöntemle hem sert hem de yumuşak parçaları bir arada bulduran ürünler elde edilebilmektedir. Genellikle hammadde olarak polimerler kullanılmaktadır.³⁸ Protezin 3B yazıcı ile doğrudan üretimi ile geleneksel yöntemlerden daha hızlı üretim yapılabilmektedir.³⁹ Ancak mevcut eklemeli imalat teknolojileri kullanılarak doğrudan üretilen maksillofasiyal protezler renk, yüzey dokusu, sertlik gibi

gerçekçi detaylara sahip olmamaktadır. Bu durumda 3B yazıcılarla proteze bir altyapı üretilmesi ya da protez üretimi için kalıp veya şablon üretilmesi sonrasında geleneksel yöntemlerle silikon protezlerin üretimi yapılabilir.³³

SLA (stereolitografi) yönteminde fotopolimerize olabilen sıvı reçine hammadde kullanılmaktadır. Bu hammaddenin bulunduğu platform, lazer ışık yardımıyla sıvı reçine sertleştirildikçe hareket etmekte ve 3 boyutlu nesne bu şekilde eklemeli olarak üretilmektedir. DLP (digital light processing-dijital ışık işleme) yönteminin SLA yönteminden farkı ışık kaynağı ve ışık kaynağının reçinenin bulunduğu tankın altında konumlanmasıdır.³⁸ SLA ve DLP yöntemi ile doğrudan protez üretiminde poliüretan-silikon kopolimer materyali kullanılabilir. Ancak bu materyalin mikrobiyal atıklardaki enzimlerle ve hidrojen peroksitle teması sonrası yapısal olarak bozunması, bakteriyel tutulumu sebep olması, düşük renk stabilizasyonu, doku adezivlerine düşük bağlanma göstermesi ve tek renkli protezler üretilmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır.⁴⁰

b- Protezin indirekt üretimi

Defekt bölgesinin dijital ortama aktarılması ve protez tasarımı yapıldıktan sonra 3B yazıcılarla protezin şablonu ya da silikon tepiminin yapılacağı negatif modeller üretilmektedir. Proteze şablon olarak kullanılacak ürünün mumdan veya sert bir malzemedan üretilip silikon ölçü materyali ile ölçüsü alınarak daha sonra içine mum dökülmesiyle de protezin mum kopyası oluşturulabilir. Şablonlar ya da kalıplar 3B baskı yöntemlerinden bazıları kullanılarak üretilmektedir (Resim 4).



Resim 4. 3B yazıcıdan basılmış plastik kulak modeli

Bu alanda kullanılan en eski yöntemlerden biri olan selektif lazer sinterleme yönteminde toz hammadde güçlü bir lazer ışınıyla eritilip kaynaştırılarak 3 boyutlu metal, plastik veya seramik nesnelere üretilmektedir.⁶ Bu yöntem ile de silikon protezlerin üretimi için kalıp veya şablonlar elde edilebilmektedir.⁴¹ Jiao ve ark.⁴² kulak protez yapımı için bilgisayarlı tomografi yöntemiyle yüzün tüm çevresini spiral CT ile taramış ve 3D yazılıma yüklenmiştir. Yansıtma yöntemiyle elde edilen sağlam kulağın görüntüsü sayesinde lazer sinterleme yöntemiyle kalıp üretilmiştir. Üretim sırasında kulağın kıvrım bölgelerinde yırtılma olmaması için kalıbın dört parça halinde üretilmesi tercih edilmiştir. Üretilen dört parça halindeki kalıp birleştirilerek içine oda sıcaklığında vulkanize olan silikon materyali yerleştirilmiş ve gerekli düzenlemeler yapılarak protez tamamlanmıştır.

3B baskı yöntemlerinden olan SLA ve DLP üretim yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, SLA yöntemi ile üretilen şablonların orijinal doku katlanmalarını daha az yansıttığı ve DLP ile üretilen şablona göre orijinalinden daha fazla sapma gösterdiği bildirilmiştir.⁴³

3B kalıp ve şablon üretiminde kullanılabilen diğer bir yöntem ise birleştirmeli yığılma ile modelleme (FDM, fused deposition modelling) yöntemidir.⁴⁴ Orbitanın da dahil olduğu yüz defekti olan bir hastanın 3B yöntemiyle protezinin üretilmesi bir çalışmada protezin negatif modeli FDM yöntemi ile hazırlanmıştır. FDM 3B yazıcılar düşük maliyetli cihazlar olup çeşitli hammaddelerin kullanılabilmesi gibi avantajlara sahiptir. FDM yönteminde SLA yönteminden farklı olarak UV ışınlarla kürlenmiş likit hammadde yerine termoplastik bir hammadde kullanılmaktadır. Sıcak bir uçtan üretim tablasına tabakalar halinde dökülen filament olarak adlandırılan bu hammadde tabakalar halinde birbirine yapışır ve soğuduğunda istenen katı cisim ortaya çıkar.^{30,45} Bu çalışmada model biyolojik olarak parçalanabilir bir termoplastik olan polilaktik asitten (PLA) üretilmiştir. Büzülmenin düşük olması ve toksik olmaması nedeniyle 3B baskıda en sık kullanılan materyallerdendir.³⁰

Defekt bölgesi çeşitli görüntüleme yöntemleriyle dijital ortama aktarıldıktan sonra hazır kütüphanelerden veya tasarım programlarında teknisyenler tarafından protezin tasarımı hazırlanır. Daha sonra bu protezin negatifini taşıyan kalıp akrilonitril bütadien sitren

(ABS), PLA gibi materyallerden üretilir. Bu kalıp kullanılarak protezin mum modelasyonu hazırlanır ve devamında geleneksel silikon protez üretim aşamaları takip edilir. Din ve ark.⁴⁶ orbital protezi yapımı amacıyla FDM yöntemiyle kalıp elde etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise dijital arşiv yardımıyla hastanın yüzüne uygun burun modeli seçilip tasarlanarak ABS materyalinden kalıp üretilmiştir.^{45,46} Ek olarak binder jetting yöntemi doğrudan protez üretiminde kullanılabilir gibi şablon veya kalıp üretiminde de kullanılabilir.³²

SONUÇ

Maksillofasiyal protezler zaman içinde çevre şartlarına ve vücut sıvılarına maruz kalmaları nedeniyle renklerini kaybetmekte ve yapısal olarak bozulmaktadır. Bu nedenle sık aralıklarla yenilenmesi gerekmektedir.^{20,47} Her üretim için geleneksel yöntemler kullanıldığında ölçü alımı, model üretimi ve protezin üretimi için uzun bir süre harcanmaktadır. Dijital yöntemlerin kullanımıyla bu süreçler kısaltılabilmektedir. 3B yazıcılar ile kalıp üretilmesi, düzenli aralıklarla tekrar üretilmesi gereken protezlerin üretim sürecinde kullanılan alçı gibi tek veya az sayıda kullanıma izin veren malzemelere ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır. Aynı zamanda eski protezinin görünümünden memnun olan hastalar için aynı tasarımın veya kalıbın dijital olarak saklanabilmesi, aynı şekle sahip protezin tekrar üretilmesi avantajına da sahiptir. Dijital sistemler hem ilk protez üretiminde hem de takip eden tekrar üretimlerde süreci kısaltmakta ve kolaylaştırmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Liacouras P, Games J, Roman N, Petrich A, Grant GT. Designing and manufacturing an auricular prosthesis using computed tomography, 3-dimensional photographic imaging, and additive manufacturing: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2011;105:78-82.
2. Thongthammachat S, Moore BK, Barco MT, 2nd, Hovijitra S, Brown DT, Andres CJ. Dimensional accuracy of dental casts: influence of tray material, impression material, and time. *J Prosthodont* 2002;11:98-108.
3. Sykes LM, Parrott AM, Owen CP, Snaddon DR. Applications of rapid prototyping technology in maxillofacial prosthetics. *Int J Prosthodont* 2004;17:454-9.
4. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012;28:3-12.
5. Elbashti ME, Sumita YI, Kelimu S, Aswehlee AM, Awuti S, Hattori M, *et al.* Application of Digital Technologies in Maxillofacial

- Prosthetics Literature: A 10-Year Observation of Five Selected Prosthodontics Journals. *Int J Prosthodont* 2019;32:45-50.
6. Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-Dimensional printing and medical imaging: A review of the methods and applications. *Curr Probl Diagn Radiol* 2016;45:2-9.
 7. White SC, Pharoah MJ. *Oral radiology-E-Book: Principles and Interpretation*, 7th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier Health Sciences; 2014. p. 185-190
 8. Harorlı A, Akgül M, Dağıstan S. *Diş Hekimliği Radyolojisi Kitabı*. Atatürk Üniversitesi Yayınları; 2006. s. 80-150.
 9. Başaran M. Manyetik Rezonans Görüntüleme Disk Deplasmanı Saptanan Hastalarda Temporomandibular Eklem Yapılarının Morfolojik, Morfometrik ve Hacimsel Ölçümlerinin Değerlendirilmesi [tez]. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2018.
 10. Herek D, Karabulut N. Manyetik rezonans görüntüleme. *TTD Toraks Cerrahisi Bülteni* 2010;1:214-22.
 11. Kaplan PA, Helms CA. Current status of temporomandibular joint imaging for the diagnosis of internal derangements. *AJR Am J Roentgenol* 1989;152:697-705.
 12. Ciocca L, De Crescenzo F, Fantini M, Scotti R. CAD/CAM bilateral ear prostheses construction for Treacher Collins syndrome patients using laser scanning and rapid prototyping. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2010;13:379-86.
 13. van der Meer WJ. 3D workflows in orthodontics, maxillofacial surgery and prosthodontics [PhD Thesis]. Groningen: Rijksuniversiteit; 2016.
 14. Chiu M, Hong SC, Wilson G. Digital fabrication of orbital prosthesis mold using 3D photography and computer-aided design. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2017;255:425-6.
 15. Ciocca L, Scotti R. CAD-CAM generated ear cast by means of a laser scanner and rapid prototyping machine. *J Prosthet Dent* 2004;92:591-5.
 16. Khambay B, Nairn N, Bell A, Miller J, Bowman A, Ayoub AF. Validation and reproducibility of a high-resolution three-dimensional facial imaging system. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2008;46:27-32.
 17. Littlefield TR, Kelly KM, Cherney JC, Beals SP, Pomatto JK. Development of a new three-dimensional cranial imaging system. *J Craniofac Surg* 2004;15:175-81.
 18. Lincoln KP, Sun AY, Prihoda TJ, Sutton AJ. Comparative accuracy of facial models fabricated using traditional and 3d imaging techniques. *J Prosthodont* 2016;25:207-15.
 19. Farook TH, Jamayet NB, Abdullah JY, Rajion ZA, Alam MK. A systematic review of the computerized tools and digital techniques applied to fabricate nasal, auricular, orbital and ocular prostheses for facial defect rehabilitation. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 2020;121:268-77.
 20. Suresh N, Janakiram C, Nayar S, Krishnapriya VN, Mathew A. Effectiveness of digital data acquisition technologies in the fabrication of maxillofacial prostheses - A systematic review. *J Oral Biol Craniofac Res* 2022;12:208-15.
 21. Hassan B, Gimenez Gonzalez B, Tahmaseb A, Greven M, Wismeijer D. A digital approach integrating facial scanning in a CAD-CAM workflow for complete-mouth implant-supported rehabilitation of patients with edentulism: A pilot clinical study. *J Prosthet Dent* 2017;117:486-92.
 22. Zhao YJ, Xiong YX, Wang Y. Three-dimensional accuracy of facial scan for facial deformities in clinics: A new evaluation method for facial scanner accuracy. *PLoS One* 2017;12:e0169402.
 23. Chen X, Sun J, Xi J, Xiong Y, Qiu J, Gu X, editors. Development of a 3D optical measurement system based on fringe projection for facial prosthesis. 2011 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, IEEE I2MTC.
 24. Ballo AM, Nguyen CT, Lee VSK. Digital workflow of auricular rehabilitation: A technical report using an intraoral scanner. *J Prosthodont* 2019;28:596-600.
 25. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, *et al*. Intraoral scanner technologies: A review to make a successful impression. *J Healthc Eng* 2017;2017:8427595.
 26. Grauer D, Cevidanes LS, Proffit WR. Working with DICOM craniofacial images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:460-70.
 27. Kim MS, Lee JY, Shin SW. Fabricating an obturator using rapid prototyping to design the framework: a case report. *Int J Prosthodont* 2014;27:439-41.
 28. Eggbeer D, Evans PL, Bibb R. A pilot study in the application of texture relief for digitally designed facial prostheses. *Proc Inst Mech Eng H* 2006;220:705-14.
 29. Sherwood RG, Murphy N, Kearns G, Barry C. The use of 3D printing technology in the creation of patient-specific facial prostheses. *Ir J Med Sci* 2020;189:1215-21.
 30. Berman B. 3D printing: the new industrial revolution. *IEEE Eng Manag Rev* 2013;41:72-80.
 31. Grant GT, Aita-Holmes C, Liacouras P, Ganes J, Wilson WO, Jr. Digital capture, design, and manufacturing of a facial prosthesis: Clinical report on a pediatric patient. *J Prosthet Dent* 2015;114:138-41.
 32. Eggbeer D, Bibb R, Evans P, Ji L. Evaluation of direct and indirect additive manufacture of maxillofacial prostheses. *Proc Inst Mech Eng H* 2012;226:718-28.
 33. Ross MT, Cruz R, Hutchinson C, Arnott WL, Woodruff MA, Powell SK. Aesthetic reconstruction of microtia: a review of current techniques and new 3D printing approaches. *Virtual Phys Prototyp* 2018;13:117-30.
 34. Lee YC, Zheng J, Kuo J, Acosta-Vélez GF, Linsley CS, Wu BM. Binder jetting of custom silicone powder for direct three-dimensional printing of maxillofacial prostheses. *3D Print Addit Manuf* 2022;9:520-34.
 35. Zardawi FM, Xiao K, van Noort R, Yates JM. Mechanical

properties of 3D printed facial prostheses compared to handmade silicone polymer prostheses. *European Scientific Journal* 2015;11:1-11.

36. 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;120:303-8.

37. Karagöz İ, Bekdemir AD, Özlem T. 3B yazıcı teknolojilerindeki kullanılan yöntemler ve gelişmeler üzerine bir derleme. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021;9:1186-213.

38. Nuseir A, Hatamleh MM, Alnazzawi A, Al-Rabab'ah M, Kamel B, Jaradat E. Direct 3d printing of flexible nasal prosthesis: Optimized digital workflow from scan to fit. *J Prosthodont* 2019;28:10-4.

39. Mitra A, Choudhary S, Garg H. Maxillofacial prosthetic materials-an inclination towards silicones. *Journal of clinical and diagnostic research: J Clin Diagn Res* 2014;8:1-13.

40. 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. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2010;48:105-9.

41. Jiao T, Zhang F, Huang X, Wang C. Design and fabrication of auricular prostheses by CAD/CAM system. *Int J Prosthodont* 2004;17:460-3.

42. Unkovskiy A, Brom J, Huettig F, Keutel C. Auricular prostheses produced by means of conventional and digital workflows: a clinical report on esthetic outcomes. *Int J Prosthodont* 2018;31:63-6.

43. He Y, Xue GH, Fu JZ. Fabrication of low cost soft tissue prostheses with the desktop 3D printer. *Sci Rep* 2014;4:6973.

44. Abdullah AM, Mohamad D, Din TNDT, Yahya S, Akil HM, Rajion ZA. Fabrication of nasal prosthesis utilising an affordable 3D printer. *Int J Adv Manuf Technol* 2019;100:1907-12.

45. Din TNDT, Jamayet N, Rajion ZA, Luddin N, Abdullah JY, Abdullah AM, *et al.*, editors. Design and fabrication of facial prostheses for cancer patient applying computer aided method and manufacturing (CAD/CAM). *AIP conference proceedings*;2016: AIP Publishing LLC.

46. Goiato MC, Pesqueira AA, Santos DMd, Zavanelli AC, Ribeiro PdP. Color stability comparison of silicone facial prostheses following disinfection. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 2009;18:242-4.

47. Eleni PN, Perivoliotis D, Dragatogiannis DA, Krokida MK, Polyzois GL, Charitidis CA, *et al.* Tensile and microindentation properties of maxillofacial elastomers after different disinfecting procedures. *J Mech Behav Biomed Mater* 2013;28:147-55.