

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİNDE YENİLİKÇİ DİJİTAL YAKLAŞIMLAR

Editör
ERHAN DİLBER



BİDGE Yayınları

**PROTETİK DİŞ TEDAVİSİNDE YENİLİKÇİ DİJİTAL
YAKLAŞIMLAR**

Editör: ERHAN DİLBER

ISBN: 978-625-372-823-6

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 26.09.2025

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

DİJİTAL DİŞ HEKİMLİĞİNDE ÖLÇÜ DOĞRULUĞUNU ARTIRAN FAKTÖRLER.....	4
ERHAN DİLBER	4
UMUT BARAN SÖNMEZ	4
GELENEKSELDEN DİJİTALE ARTİKÜLATÖRLER ve YÜZ ARKLARI.....	19
ERHAN DİLBER	19
HAVVA PELİN ÜNAL	19
ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA ÜRETİLEN ZİRKONYA VE LİTYUM DİSİLİKAT RESTORASYONLAR.....	38
ERHAN DİLBER	38
AYŞE NUR ÜREDİ.....	38
EMİNE DİLARA ÇOLPAK	38

DİJİTAL DİŞ HEKİMLİĞİNDE ÖLÇÜ DOĞRULUĞUNU ARTIRAN FAKTÖRLER

ERHAN DİLBER¹
UMUT BARAN SÖNMEZ²

Giriş

Dijital diş hekimliği son yıllarda hızla gelişen ve klinik uygulamalarda önemli avantajlar sağlayan bir alan haline gelmiştir. Özellikle dijital ölçü sistemleri, tedavi planlaması ve protetik restorasyonların başarısında kritik bir rol oynamaktadır. Bu derlemede, dijital ölçü doğruluğunu etkileyen faktörler detaylı olarak ele alınacaktır.

Dijital Ölçü Kavramı ve Önemi

Dijital ölçü, ağız içi yapılar veya implant konumlarının optik tarayıcılar yardımıyla üç boyutlu olarak elde edilmesi sürecidir. Geleneksel yöntemlere kıyasla hasta konforunu artırmakta ve klinik

¹ Doç. Dr. Erhan DİLBER, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Bölümü Orcid: 0009-0003-2209-1070

² Arş. Gör. Dt. Umut Baran SÖNMEZ, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Bölümü, Orcid: 0009-0000-3689-9802

süreçleri hızlandırmaktadır. Ölçü doğruluğu, tedavi sonucunu doğrudan etkilemektedir (Jamjoom & ark., 2024).

Tek diş restorasyon vakalarında, veri toplama amacıyla ağız içi tarayıcı (IOS) kullanımı, geleneksel analog ölçülere göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Örneğin, fiziksel ölçü materyalleri ve elde edilen alçı modeller, kaçınılmaz hatalara yol açabilen yapısal sınırlamalara sahiptir; oysa IOS sistemleri bu sınırlamaları potansiyel olarak ortadan kaldırabilmektedir. IOS kullanımıyla fiziksel ölçülerde karşılaşılan kullanım süresi kısıtlaması, depolama alanı gereksinimi ve ölçülerin/laboratuvar modellerinin fiziksel olarak taşınma zorunluluğu gibi problemler de ayrıca ortadan kalkmaktadır (Vag & ark., 2023).

Geleneksel implant ölçüleriyle karşılaştırıldığında, dijital implant ölçülerinin; ölçü alma süresinin kısalması, ölçü materyalinden kaynaklanan hasta rahatsızlığının ortadan kalkması, ölçüde hacim değişikliğinin olmaması ve dezenfeksiyonun kolay olması gibi avantajları bulunmaktadır. Dijital ölçüler, geleneksel yöntemlere göre daha verimli model saklama olanağı sunmaktadır (Ting-shu & Jian, 2015).

IOS, restorasyon üretimi için gereken süreyi azaltmakta ve hem hasta hem de operatör tarafından geleneksel ölçülere göre daha fazla tercih edilmektedir. Birçok sistematik derleme ve meta-analiz, dijital iş akışı ile üretilen tek diş restorasyonların, geleneksel yöntemlerle üretilenlerle aynı düzeyde hatta daha iyi uyum sağladığını ortaya koymuştur (Vag & ark., 2023). Genellikle döküm veya presleme teknikleriyle üretilen materyaller CAD/CAM (Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim) ile frezeleme ve 3B (3 boyutlu) baskı dijital teknolojileriyle daha avantajlı bir şekilde üretilabilmektedir (Vag & ark., 2023).

İlk nesil IOS sistemleri, bölgesel (kuadrant) taramalar için en uygun seçenek iken, tam ark taramalarında belirgin derecede

doğruluk kaybı göstermekteydi. Görüş alanlarının küçük olması (bir ile üç diş) bu tarayıcıların tam ark modellerini doğru şekilde oluşturma yeteneğini sınırlamaktaydı. Bu modeller, IOS tarafından yakalanan üst üste bindirilmiş verilerin 'birleştirilmesi' yoluyla oluşturulmaktadır. Uzun dişsiz alanların ve hareketli mukoza bölgelerinin taranmasında, belirgin anatomik referans noktalarının bulunmaması nedeniyle bu zorluklar daha da belirgin hale gelmektedir. IOS sistemlerinin donanım ve yazılımındaki gelişmelerin, tam dişli ark taramalarının doğruluğunu önemli ölçüde artırdığı belgelenmiştir. Nitekim önceki bir çalışmada, tam dişli arklar için alınan dijital taramaların, aljinat veya polieter ölçülere göre daha yüksek gerçeklik (trueness) değerleri sağladığı; ancak polivinilsiloksan (PVS) ölçülere kıyasla yetersiz kaldığı gösterilmiştir (Vag & ark., 2023).

Dijital taramaların doğruluğunu ölçmek için Uluslararası Standardizasyon Örgütü'nün (ISO) 5725-1 standardına göre yapılan değerlendirme hem 'gerçeklik' (trueness) hem de 'tekrarlanabilirlik' (precision) kavramlarını içerir. Gerçeklik, test edilen örneklerin kabul edilen referans değere ne kadar yakın olduğunu tanımlar; tekrarlanabilirlik ise aynı örneğin tekrar edilen ölçümlerinin birbiriyle ne kadar uyumlu olduğunu ifade eder (Jamjoom & ark., 2024).

Tam dişsiz arkların dijital ağız içi taramaları, doğruluk seviyeleri açısından geleneksel yöntemlere kıyasla uygun bir alternatif olarak kabul edilse de tam dişsiz arkların dijital taramalarını etkileyen değişkenler henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Kullanılan tarama stratejisinin, dijital taramaların gerçeklik ve tekrarlanabilirliği üzerinde, kullanılan tarayıcı tipine bağlı olarak etkili olduğu bulunmuştur. Taranan arkin tipi de, tam dişsiz arkların dijital taramalarının tekrarlanabilirliğini etkilemektedir (Jamjoom & ark., 2024).

Tarayıcı Başlıklar (Scanner Tips)

Tarayıcı başlıklar, dijital ölçü sistemlerinin ağız içi veri toplama sürecinde kullanılan en uç parçalardır. Başlık tasarımı, optik özellikleri ve malzeme yapısı ölçü kalitesini doğrudan etkileyebilmektedir. Tarayıcı tipi ve tarama stratejisi, tam dişsiz arkların dijital taramalarının gerçekliği ve tekrarlanabilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tarayıcı başlık ve tarama stratejisi ile tam dişsiz ark taramalarının gerçeklik değerleri ile anlamlı bir etkileşim bulunmuştur (Jamjoom & ark., 2024).

Tarama Gövdeleri (Scanbodies)

İmplant üzerine yerleştirilen tarama gövdeleri, implantın konum ve açısını doğru şekilde dijital ortama aktarmak için kullanılmaktadır. Tarama gövdesinin materyali, yüzey işlemesi ve geometrik tasarımı, taramanın doğruluk değerlerini etkileyebilmektedir. Tam ark implant rehabilitasyonu için tamamen dijital bir iş akışının kullanımı çeşitli zorluklar içermektedir. Dişsiz ark bölgelerinde belirgin anatomik referans noktalarının bulunmaması, ağız içi tarayıcı ile dijital ölçü almayı zorlaştırmaktadır. Tarayıcıların kaydettiği ardışık görüntülerin hatalı birleştirilmesi veya üst üste bindirilmesi, hatalı veri elde edilmesine yol açabilmekte ve bu durum, nihai restorasyonun doğruluğunu ve uyumunu olumsuz etkilemektedir. Artan tarama alanı ve implantlar arasındaki mesafe de taramaların doğruluğunu etkileyen faktörler arasında yer almaktadır (Saaedi & Thabet, 2024).

Tarama sürecini kolaylaştırmak için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bir çalışmada, tamamen dijital iş akışıyla protez üretimi için dijital taramaların eşleştirilmesine yönelik bir teknik gösterilmiştir (Mizumoto & Yilmaz, 2018). Bu teknikte, sert damaktaki keratinize mukozaya referans işaretleyicileri yerleştirilmiş ve üst çene arkı için tamamen dijital bir iş akışı uygulanmıştır. Başka bir çalışmada ise, tarama gövdelerine sıkıca

sabitlenen yardımcı geometrik aparatların etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda bu yardımcı geometrik aparatların kullanımının anatomik referans eksikliğini giderdiği ve dişsiz çenelerde daha doğru tam ark dijital taramalar elde edilmesini sağladığı belirtilmiştir. Bu aparat, tarama sürecinin daha akıcı bir şekilde ilerlemesine de olanak tanımıştır (Iturrate & ark., 2019).

Diğer bir çalışmada Aşamalı Tarama Stratejisi (Continuous Scan Strategy - CSS) olarak adlandırılan ve ağız içi dijital ölçülerin doğruluğunu artırmaya yönelik bir teknik önerilmiştir. Bu teknikte, implant tarama gövdeleri termoplastik rezin kullanılarak doğrudan birbirine bağlanmakta ve ardından zikzak şeklinde bir tarama protokolü izlenmektedir. Bu stratejinin amacı, tarama gövdeleri arasındaki boşlukları ortadan kaldırmak ve tarama hatalarını en aza indirmektir. Bu tarama stratejisinin (CSS) uzun aralıklı implant destekli restorasyonların üretimi için yüksek doğrulukta ağız içi dijital ölçüler elde ettiği tespit edilmiştir (Imburgia & ark., 2020). Bir çalışmada, tarama gövdelerinin geometrisinin ve kullanılan tarama stratejisinin, dijital ağız içi ölçülerin kalitesini etkilediği ortaya konmuştur (Motel & ark., 2020). Diğer bir çalışmada, tarama gövdelerinin konumunun taramaların gerçekliğini (mesafe sapmasını) etkilediği bildirilmiştir (Çakmak & ark., 2022).

Tarama gövdelerinin materyal ve şeklinin, tamamen dişsiz ark bölgelerinde tarama doğruluğu ve süresi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, tarama gövdelerinin tasarımının ve kullanılan materyalin dijital ölçülerin doğruluğunu etkileyebileceği tespit edilmiştir (Zhang & ark., 2021) (Arcuri & ark., 2020). Kendine özgü şekillere sahip polietereeterketon (PEEK) tarama gövdelerinin, basit silindirik şekilli titanyum tarama gövdelerine kıyasla doğrusal ve açısız olarak daha yüksek doğruluk değerleri sağladığı ve daha kısa sürede tarama yaptığı tespit edilmiştir (Karthhik & ark., 2022).

Piyasada bulunan tarama gövdeleri temel olarak üç bölümden oluşur: tarama bölgesi, gövde ve taban (Mizumoto & Yilmaz, 2018). Resim 1’de PEEK tarama gövdelerine ait bir görsel gösterilmektedir.



Resim 1: Farklı geometrik tasarımlardaki PEEK tarama gövdeleri. (Saaedi & Thabet, 2024)

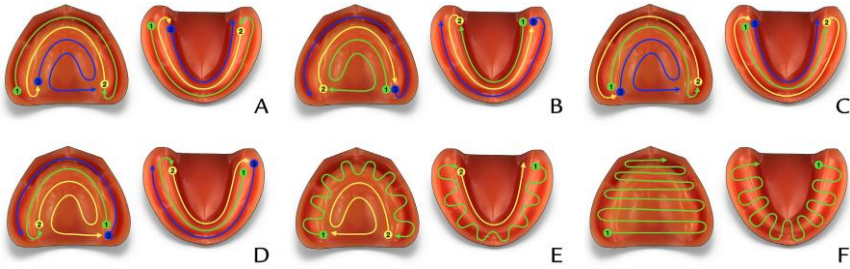
Tarama Stratejileri

Tarama işlemi sırasında izlenen yol, ölçünün hem doğruluğunu hem de sürekliliğini etkiler. Farklı stratejilerin avantaj ve dezavantajları literatürde detaylı olarak tartışılmıştır. Farklı IOS üreticileri, kullandıkları teknolojiye bağlı olarak farklı tarama stratejileri önermektedir (Jamjoom & ark., 2024).

Tarama stratejisi, IOS başlığının taranan obje boyunca izlediği belirli yolu ifade eder. Tarama stratejisinin gerçek etkisi henüz tam olarak anlaşılmamış olsa da, kullanılan tarama stratejisine bağlı olarak ölçü doğruluğunda farklılıklar bildirilmektedir. Tarama stratejisinin dijital taramaların doğruluğu üzerindeki etkisinin kullanılan IOS sistemine göre değişiklik gösterdiği de rapor edilmektedir (Jamjoom & ark., 2024).

Çoğu IOS üreticisi, sistemleri için belirli bir tarama stratejisi önermektedir; ancak bu strateji genellikle dişli arklar için tanımlanmıştır. Dişsiz arkların taranması için farklı tarama stratejileri ve teknikleri tanımlanmış olsa da, doğruluk değerleri için yapılan analizler henüz yetersizdir (Jamjoom & ark., 2024). Farklı

tarama stratejilerinin ağız içi taramaların doğruluk değerleri üzerindeki etkisi in vitro olarak incelenmiş ve özellikle anatomik referans noktalarının iyi tanımlandığı durumlarda tarama stratejisinin doğruluk değerleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır (Jamjoom & ark., 2024). Tam dişsiz arkların taranmasında palatinal-oklüzal-bukkal sıralamasını uygulayan tarama stratejisi en iyi sonucu sunmaktadır (Jamjoom & ark., 2024). Resim 2’de tam dişsiz arklar için oluşturulan tarama stratejisi çeşitleri görsel olarak sunulmuştur.



Resim 2: Tam dişsiz arklar için oluşturulan tarama stratejisi çeşitleri. (Jamjoom & ark., 2024)

Diş tipi, alt yapı materyali, diş preparasyonunun şekli, ark genişliği ve geometrisi ile tarama stratejisi gibi birçok faktörün dijital taramaların doğruluğunu etkilediği gösterilmiştir (Vag & ark., 2023).

Fotogrametri Tekniği

Fotogrametri, özellikle çok üniteli implant vakalarında yüksek hassasiyet sağlamak amacıyla kullanılan alternatif bir ölçü yöntemidir. Bu teknikte anatomik referans noktaları yerine hedef işaretleri kullanılarak ölçü alınır. Fotogrametri tekniği 1994 yılında diş hekimliği araştırmalarına dahil edilmiştir ve ilk olarak 2005 yılında implant tedavileri için uygulanmıştır (Jemt & Lie, 1995) (Ortorp, Jemt, & Back, 2005).

Fotogrametri, fotoğraflar içerisindeki referans noktaları kullanılarak hassas ölçümler yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Geçmişte fotogrametri için özel kameralar ve stereo-optik analiz istasyonları gerekirken, dijital kamera ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde kolayca temin edilebilen yazılımlar ve ticari dijital kameralar ile güvenilir ve yüksek hassasiyette ölçümler yapılabilmektedir (Bergin & ark., 2013).

Ağız dışı fotogrametri sistemleri, anatomik referans noktalarına ihtiyaç duymadan, farklı yönlerden hedeflerin dağılımını analiz ederek çoklu dayanakların sanal koordinatlarını ve yönelimini hesaplamak için yalnızca özel tarama başlıkları üzerindeki birkaç hedef noktayı yakalamaktadırlar (Bratos & ark., 2018) (Bergin & ark., 2013) (Revilla-León & ark., 2021). İmplantlar arası açılanmalar veya çenenin türü (maksilla veya mandibula) ile mesafe ya da açıl sapmalar arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Dışsı bir mandibulanın ağız içi taramasında alveolar rezorpsiyon, dil hareketleri ve hareketli mukoza gibi nedenler çoğu zaman zorluk çıkarsa da fotogrametrik görüntüleme gün geçtikçe mandibulanın dijital görüntülenmesi için bir alternatif haline gelmektedir (Zhang & ark., 2023).

Fotogrametri yönteminin tekrarlanabilirliğinin CMM ile benzer düzeyde ve geleneksel yöntemle göre daha iyi olduğu söylene de doğruluk değerleri açısından, fotogrametri yöntemi ile geleneksel ölçü yöntemleri arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Bergin & ark., 2013). Fotogrametri tekniği, ağız içi tarama ve geleneksel ölçü tekniklerine oranla implantların pozisyonunu kaydetmede daha iyi doğruluk değerleri göstermiştir (Sallorenzo & Gómez-Polo, 2022). Fotogrametri tekniği kullanılarak yapılan doğru taramalara rağmen, üretim sırasında oluşan hatalar daimi protezin pasif uyumunu yine de olumsuz etkileyebilir (Al-Meraikhi & ark., 2018). Fotogrametriyle üretilen iskeletler daimi bir model kullanılmadan üretildiğinden, bu

iskeletlerin pasif uyumunu doğrulamak zor olmaktadır (Rutkunas & ark., 2020). Resim 3'te ağız içi implant ve bayrak tasarımı şeklinde fotogrametrik başlıklar gösterilmiştir.



Resim 3: Ağız içi implant ve bayrak tasarımı fotogrametrik başlıklar (Rutkunas & ark., 2020)

Tam ark implant destekli protezlerin fotogrametrik görüntülemesinin doğruluğu, klinik olarak kabul edilebilir hata aralığı içerisinde olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir. İmplantlar arası mesafe arttıkça sapmalar da artış göstermektedir. İmplantlar arası aılanmalar ve çenenin türü ise fotogrametrik görüntülemenin doğruluğu üzerinde anlamlı bir etki göstermemektedir (Zhang & ark., 2020).

Klinik Uygulamalarda Karşılaşılan Zorluklar ve öneriler

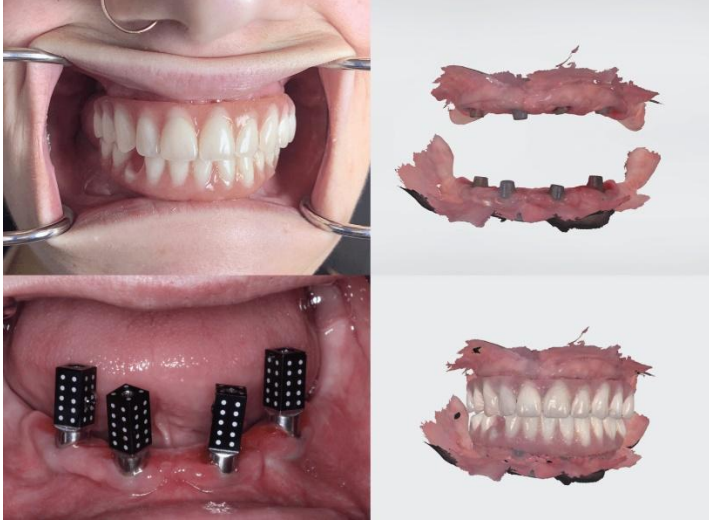
Dijital l sürecinde karşılaşılan başlıca problemler; kullanıcı kaynaklı hatalar, ekipman uyumsuzlukları ve materyalden kaynaklı sapmalardır (Jamjoom & ark., 2024). Dijital taramanın genel doğruluğu, kullanılan IOS sistemi, ışık kaynağı, tarama alanı, operatörün deneyimi ve uygulanan tarama stratejisinden etkilenmektedir (Jamjoom & ark., 2024). Ağız içi tarayıcıların doğruluğunu etkileyen birçok faktör vardır. Bunlara donanım faktörleri (rneđin farklı veri yakalama prensipleri), yazılım faktörleri ve taranan obje faktörleri (model malzemeleri, restorasyon malzemeleri, ölçü uzunluğu, ek yüzey modifikasyonları ve farklı klinik durumlar) rnek olarak verilebilir (Vıtai & ark., 2023).

Dijital ölçü doğruluğunu etkileyen çevresel koşullar (ortam ışığı, nem, sıcaklık ve ağız içindeki tükürük ya da ıslaklık) da ölçü sonucunu etkileyebilir. Ölçümlerde kullanılan yöntemler ise CMM, kumpas, mesafe ölçümleri, bölgesel uyum karşılaştırmaları ve 3B analizler gibi farklı teknikler olabilir. Bunların yanı sıra referans alınan standartlar da doğruluğu belirlemede önemlidir (Vitai & ark., 2023).

Taranan ark, tam dişsiz arkların dijital taramalarının tekrarlanabilirliği üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olup, üst çene arkı alt çene arkına göre daha iyi tekrarlanabilirlik değerleri gösterse de arkın gerçeklik değerleri üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Bunun sebebi üst çenedeki dokuların daha stabil olmasındandır ve alt çeneden alınan ölçü esnasında hareketli bir yumuşak doku olan dil ölçünün tekrarlanabilirlik değerini düşürmeye sebep olmaktadır (Jamjoom & ark., 2024).

Yapılan bir sistematik derlemeye göre, IOS kullanılarak alınan tam ark dijital implant ölçüleri, klinik uygulamalar için yeterli doğruluk değerlerine sahip değildir (Vitai & ark., 2023).

Görüntü birleştirme (stitching) süreci, tarama doğruluğunu etkileyebilir; bu sebeple protetik çalışma süreci için iyi kalitede bir tarama elde edilebilmesi adına tüm ark boyunca oluşan sapmanın kabul edilebilir düzeyde olması gerekir (Vitai & ark., 2023). Resim 4'te ağız içi tarama örnekleri ve fotogrametrik başlıklar sunulmuştur.



*Resim 4: Ağız içi tarama örnekleri ve fotogrametrik başlıklar.
(Vitai & ark., 2023)*

Sonuç

Sonuç olarak, bazı istisnalar dışında klinik olarak kabul edilebilir tam ark dijital ölçülerin elde edilmesi için IOS sistemleri yeterli doğruluk değerlerine sahiptir. Farklı klinik senaryolarda IOS'ların tam ark ölçü doğruluk değerleri değişkenlik gösterebilir. IOS sistemleri, implant üstü tam ark dijital ölçüler de yeterli doğruluk değerleri gösterememektedir. Farklı IOS sistemleri arasında doğruluk değerleri açısından farklılıklar bulunmuştur. Yeni nesil IOS sistemleri her zaman en yüksek doğruluğa sahip olmasa da, IOS teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte doğruluk düzeyinin zamanla arttığı gözlemlenmektedir (Vitai & ark., 2023).

Dijital ölçülerin doğruluğunu etkileyen faktörlerin farkında olmak ve uygun klinik protokolleri uygulamak, başarılı protetik sonuçlar elde edilmesinde büyük önem taşımaktadır (Vitai & ark., 2023).

Kaynakça

Al-Meraikhi, H., Yilmaz, B., McGlumphy, E., Brantley, W., & Johnston, W. M. (2018). In vitro fit of CAD-CAM complete arch screw-retained titanium and zirconia implant prostheses fabricated on 4 implants. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(3), 409-416. doi:10.1016/j.prosdent.2017.04.023.

Arcuri, L., Pozzi, A., Lio, F., Rompen, E., Zechner, W., & Nardi, A. (2020). Influence of implant scanbody material, position and operator on the accuracy of digital impression for complete-arch: A randomized in vitro trial. *Journal of prosthodontic research*, 64(2), 128-136. doi:10.1016/j.jprior.2019.06.001.

Bergin, J. M., Rubenstein, J. E., Mancl, L., Brudvik, J. S., & Raigrodski, A. J. (2013). An in vitro comparison of photogrammetric and conventional complete-arch implant impression techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 110(4), 243-251. doi:10.1016/S0022-3913(13)60370-4.

Bratos, M., Bergin, J. M., Rubenstein, J. E., & Sorensen, J. A. (2018). Effect of simulated intraoral variables on the accuracy of a photogrammetric imaging technique for complete-arch implant prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(2), 232-241. doi:10.1016/j.prosdent.2017.11.002.

Çakmak, G., Yilmaz, H., Treviño Santos, A., Kökat, A. M., & Yilmaz, B. (2022). Effect of Scanner Type and Scan Body Location on the Accuracy of Mandibular Complete-Arch Digital Implant Scans: An In Vitro Study. *Journal of Prosthodontics*, 31(5), 419-426. doi:10.1111/jopr.13418

Imburgia, M., Kois, J., Marino, E., Lerner, H., & Mangano, F. G. (2020). Continuous Scan Strategy (CSS): A Novel Technique to Improve the Accuracy of Intraoral Digital Impressions. *The*

European journal of prosthodontics and restorative dentistry, 28(3), 128-141. doi:10.1922/EJPRD_2105Imburgia14.

Iturrate, M., Eguiraun, H., Etxaniz, O., & Solaberrieta, E. (2019) Accuracy analysis of complete-arch digital scans in edentulous arches when using an auxiliary geometric device. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(3), 447-454. doi:10.1016/j.prosdent.2018.09.017.

Jamjoom, F. Z., Aldghim, A., Aldibasi, O., & Yilmaz, B. (2024). Impact of intraoral scanner, scanning strategy, and scanned arch on the scan accuracy of edentulous arches: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(6), 1218-1225. doi:10.1016/j.prosdent.2023.01.027.

Jemt, T., & Lie, A. (1995). Accuracy of implant-supported prostheses in the edentulous jaw. Analysis of precision of fit between cast gold-alloy frameworks and master casts by means of a three-dimensional photogrammetric technique. *Clinical Oral Implants Research*, 6(3), 172-180. doi:10.1034/j.1600-0501.1995.060306.x.

Mizumoto, R. M., & Yilmaz, B. (2018). Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(3), 343-352. doi:10.1016/j.prosdent.2017.10.029.

Motel, C., Kirchner, E., Adler, W., Wichmann, M., & Matta, R. E. (2020). Impact of Different Scan Bodies and Scan Strategies on the Accuracy of Digital Implant Impressions Assessed with an Intraoral Scanner: An In Vitro Study. *Journal of Prosthodontics*, 29(4), 309-314. doi:10.1111/jopr.13131.

Ortorp, A., Jemt, T., & Back, T. (2005). Photogrammetry and Conventional Impressions for Recording Implant Positions: A Comparative Laboratory Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7(1), 43-50. doi:10.1111/j.1708-8208.2005.tb00046.x.

Revilla-León, M., Att, W., Özcan, M., & Rubenstein, J. (2021). Comparison of conventional, photogrammetry, and intraoral scanning accuracy of complete-arch implant impression procedures evaluated with a coordinate measuring machine. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(3), 470-478. doi:10.1016/j.prosdent.2020.03.005.

Rutkunas, V., Larsson, C., Vult von Steyern, P., Mangano, F., & Gedrimiene, A. (2020). Clinical and laboratory passive fit assessment of implant-supported zirconia restorations fabricated using conventional and digital workflow. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 22(2), 237-245. doi:10.1111/cid.12885.

Saaedi, T. M. A. S. E., & Thabet, Y. G. (2024). Customized scan bodies to facilitate intraoral scanning for full arch implant prosthesis: A dental technique. *Journal of Prosthodontics*, 33(3), 297-300. doi:10.1111/jopr.13728.

Sallorenzo, A., & Gómez-Polo, M. Comparative study of the accuracy of an implant intraoral scanner and that of a conventional intraoral scanner for complete-arch fixed dental prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(5), 1009-1016. doi:10.1016/j.prosdent.2021.01.032.

Ting-shu, S., & Jian, S. (2015). Intraoral Digital Impression Technique: A Review. *Journal of Prosthodontics*, 24(4), 313-321. doi:10.1111/jopr.12218.

Vag, J., Stevens, C. D., Badahman, M. H., Ludlow, M., Sharp, M., Brenes, C., . . . Renne, W. (2023). Trueness and precision of complete arch dentate digital models produced by intraoral and desktop scanners: An ex-vivo study. *Journal of Dentistry*, 139, 104-764. doi:10.1016/j.jdent.2023.104764.

Vitai, V., Németh, A., Sólyom, E., Czumbel, L. M., Szabó, B., Fazekas, R., . . . Borbély, J. (2023). Evaluation of the accuracy of

intraoral scanners for complete-arch scanning: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 137, 104636. doi:10.1016/j.jdent.2023.104636.

Zhang, Y.-J., Qian, S.-J., Lai, H.-C., & Shi, J.-Y. Accuracy of photogrammetric imaging versus conventional impressions for complete arch implant-supported fixed dental prostheses: A comparative clinical study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(2), 212-218. doi:10.1016/j.prosdent.2021.09.035.

Zhang, Y.-J., Shi, J.-Y., Qian, S.-J., Qiao, S.-C., & Lai, H.-C. (2021). Accuracy of full-arch digital implant impressions taken using intraoral scanners and related variables: A systematic review. *International journal of oral implantology (Berlin, Germany)*, 14(2), 157-179.

GELENEKSELDEN DİJİTALE ARTİKÜLATÖRLER ve YÜZ ARKLARI

ERHAN DİLBER¹
HAVVA PELİN ÜNAL²

Giriş

Protetik diş tedavisi, hastanın fonksiyonel, estetik ve fonetik gereksinimlerini karşılayan restorasyonların tasarımını amaçlar. Bu hedefe ulaşabilmek için çene eklemi hareketlerinin doğru analiz edilmesi ve dental ark ilişkilerinin doğru şekilde laboratuvara aktarılması gereklidir. Artikülatörler, mandibular hareketleri belirli bir düzeyde taklit ederek üst ve alt çene modellerinin karşılıklı ilişkilerini inceleme olanağı sunar (Karakış, 2012). Geleneksel artikülatörler, menteşe tipi basit modellerden yarı ayarlanabilir ve tam ayarlanabilir sistemlere kadar farklı tasarımlar içerir (Türkay & ark., 2024). Özellikle yarı ve tam ayarlanabilir artikülatörlerde kondil yolu eğimi, bennett açısı ve interoklüzal mesafe gibi parametreler bireysel olarak ayarlanabilmekte ve bu durum klinik doğruluğu arttırmaktadır (Türkay & ark., 2024).

¹ Doç. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Orcid: 0009-0003-2209-1070

² Arş. Gör. Dt., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD Orcid: 0009-0009-3237-094X

Analog yüz arkları ise maksillanın kafatasına göre uzaysal konumunu referans anatomik noktalar yardımıyla belirler ve daha sonra bu konumu artikülatöre aktarmada önemli yere sahiptir (Prosthodontics, 1999). Ortalama eksenli (basit) yüz arkları populasyon verilerine dayalı standart eksen kabul ederken, kinematik yüz arkları hastaya özel menteşe eksenini belirler (Nagy & Goldstein, 2019).

Dijital teknolojilerin gelişimiyle birlikte dijital artikülatörler ve dijital yüz arkı sistemleri klinik diş hekimliğinde önemli bir yer edinmiştir. Konvansiyonel yüz arkı kayıtları, laboratuvar tarayıcıları kullanılarak dijitalleştirilebilir ve maksiller modelin sanal artikülatöre aktarılmasında kullanılabilir. Dijital yüz arkı kayıt yöntemleri, referans düzlemini yakalamak ve maksiller modeli sanal artikülatöre aktarmak amacıyla farklı dijital veri elde etme teknolojilerini içerebilir. Dijital yüz arkı teknikleri arasında lateral sefalometrik radyograflar, dijital fotoğraflar, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntüleme, yüz tarayıcıları ve çene izleme sistemleri yer almaktadır (Lepidi & ark., 2021). Dijital sistemler sayesinde daha hızlı, tekrarlanabilir ve hassas veri aktarımı sağlanır (Lobo ve ark., 2025). Bu derleme, geleneksel ve dijital sistemlerin sınıflandırılması, yapısal özellikleri ve klinik kullanım alanlarını kapsamlı şekilde ele alarak diş hekimliği pratiğinde doğru yöntem seçimi için katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Geleneksel Artikülatör Sistemleri

Artikülatörler çene hareketlerinin tümünü veya bir kısmını taklit etmek üzere tasarlanmış, alt ve üst alçı modellerin aktarılabilirdiği, çenelerin ve temporomandibular eklem (TME) taklit edilebildiği mekanik aletlerdir (Karakış, 2012). Bu cihazlar protetik diş tedavisi planlamasında ve tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Doğru restorasyon için alt çene hareketlerinin artikülatör üzerinde analiz edilmesi oldukça önemlidir.

Geleneksel Artikülatörlerin Basit Sınıflaması

1.Sadece menteşe hareketi yapan artikülatörler (Gariot): Bu tip artikülatörler sadece açma-kapama hareketi yapmaktadır (Türkay & ark., 2024).

2.Kesici ve kondil yolu eğimleri ortalama bir değere göre ayarlanmış artikülatörler (Bonwill, Gysi Simplex): TME'ye göre ayarlanamazlar (Türkay & ark., 2024).

3.Kişiye özel ayarlanabilen artikülatörler

a.Yarı ayarlanabilen artikülatörler (Hanau Model H, Dentatus, Gerber, Condylator): Kondiler eğim, bennett açısı ve interokluzal mesafe bu tip artikülatörlerde ayarlanabilir (Türkay & ark., 2024).

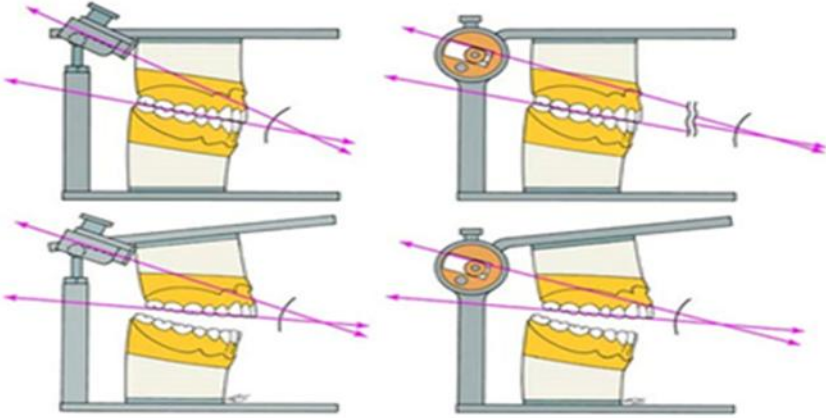
b.Tam ayarlanabilen artikülatörler (TMJ, Denar): Alt çenenin bütün yönlerdeki hareket yolları üç boyutlu dinamik kayıtlar ile ayarlanarak alt çene hareketlerini taklit ederler (Türkay & ark., 2024). Kişiye özel uyumlanabilen parçaları vardır. Kondil yolu eğimleri, bennett açısı, kondiller arası mesafe ayarlanabilir (Türkay & ark., 2024). Doğru menteşe eksenini lokalizasyonu, pantografik kayıt ve interoklüzal kayıtlar ile ayarlanır (Türkay & ark., 2024).

Yapısal olarak ise yarı ayarlanabilir geleneksel artikülatörler, arkon ve non-arkon olarak iki gruba ayrılır (Aljohani & ark., 2023). Arkon tipi artikülatörlerde kondil elemanı artikülatörün alt parçasında bulunurken, glenoid fossa elemanı aletin üst parçasında bulunmaktadır (Aljohani & ark., 2023). Non-arkon sistemlerde ise bu durum tam tersidir yani kondil elemanı artikülatörün üst parçasında bulunurken glenoid fossa elemanı alt parçasında bulunmaktadır (Aljohani et al., 2023). Her iki tip yarı ayarlanabilir artikülatörler üzerinde oluşturulan restorasyonların doğruluğu aynı olsa da bazı operatörler arkon tipi artikülatörlerin aşağıdaki

nedenlerden dolayı non arkon artikülatörlerden daha iyi ve üstün olduğuna inanmaktadır.

Non-arkonlarda kondiller, fossa yolunda kısıtlı hareket yapar bu da sentrik pozisyon ile interküspal pozisyon arasındaki doğru kaymayı sınırlar fakat arkon tipi artikülatörde bu kayma hareketi mümkündür (Aljohani & ark., 2023).

Kondiler yol eğimi ile maksiller oklüzal düzlem arasındaki açı, arkon tasarımı açılıp kapanırken sabittir ancak bu açı non-arkon tasarımı sabit değildir (Türkay & ark., 2024). Bu durum, protrüziv ısırma kaydı alındıktan sonra kondil açısı ile üst çene modeli arasındaki ilişkinin hatalı yansıtılmasına yol açabilir. Sonuç olarak, kondil yolu ile üst çene modeli birbirine daha paralel hale gelir ve bu da doğal diş yapısında olmayan restorasyonların yapımına yol açar.



Resim 1: Arkon-Non arkon Artikülatörler

(Khmaj & ve ark., 2023)

Geleneksel Artikülatörlerin Klinik Kullanımları

1. Oklüzal ilişkilerin ve kapanışın değerlendirilmesi:

Artikülatörler dişlerin konumu ve dişlerin birbirleriyle olan ilişkisini kısmen taklit ederek restorasyon planlaması yapılmasında aktif rol oynar (Türkay & ark., 2024).

2. Restoratif tedavi planlamasının desteklenmesi:

Artikülatörler, sabit ve hareketli protezlerin laboratuvarında üretimi sırasında hasta ağzını taklit ederek doğru restorasyon tasarımına yardımcı olmaktadır (Türkay & ark., 2024).

3. Ortodontik ve cerrahi vakalarda analiz:

Artikülatörler, ortognatik cerrahi ya da kompleks ortodontik tedavi planlamasında yardımcı simülasyon cihazı olarak kullanılmaktadır.

Geleneksel Artikülatörlerin Klinik Sınırlılıkları

1. Dinamik Hareketlerin Sınırlılığı: Artikülatörler, sadece belirli hareketleri (açma, kapama, protrüzyon, lateral hareketler) yansıtabilir. Gerçek çiğneme ve konuşma gibi fonksiyonel hareketleri simüle edemezler (Karakış, 2012).
2. Gerçek Kas ve Eklem ilişkisini yansıtamama: Artikülatörler, hastanın kasları, bağ dokuları ve TME'nin tüm fonksiyonel özelliklerini tam olarak gösteremez. Bu nedenle, ağız içi ortamla tamamen aynı sonuçlar vermeyebilirler (Karakış, 2012).
3. Artikülatörler, üretim hassasiyeti, metal yorgunluğu ve aşınmaya maruz kalan makineleşmiş cihazlardır (Karakış, 2012).
4. Operatöre Bağlı Hatalar: Artikülatörle çalışmak, deneyim ve hassasiyet gerektirir. Yüz arkı transferindeki hatalar, interoklüzal kayıt hataları ve transfer sırasında oluşan sapmalar restorasyonun uyumunu etkileyebilir (de Carvalho, 1998).

5. Zaman ve Maliyet: Artikülatörlerin doğru kullanımı zaman alıcıdır. Özellikle tam ayarlanabilir artikülatörlerin kullanımı, eğitilmiş uygulayıcı gerektirir ve laboratuvar maliyetlerini arttırabilir.

Analog Yüz Arkları

Geleneksel yüz arkları, maksillanın kafatasına göre konumunu belirlemeye yardımcı mekanik cihazlardır (Nagy & Goldstein, 2019). Protetik tedavilerde bu cihazın kullanılmasının temel sebebi, çiğneme sisteminin fizyolojik hareketlerini daha doğru biçimde taklit etmek ve hastaya özgü kapanış ilişkilerini daha iyi kaydederek daha doğru bir tasarım planlamaktır (Suman, Sonnahalli, & Chowdhary, 2021).

Geleneksel Yüz Arklarının Sınıflandırılması

1.Ortalama Eksenli (Basit) Yüz Arkları

Basit yüz arkları, dış kulak yolu (eksternal akustik meatus) ve nazal referans noktaları gibi sabit anatomik yapıları kullanarak kondil konumunu ortalama olarak belirlenmektedir (Kommi & ark., 2020). Bu yüz arklarında ısırma çatalı üst çeneye bağlanır (Çölgeçen & Köse, 2021). Menteşe ekseninin genellikle tragustan göz kenarına uzanan çizgi üzerinde, tragustan yaklaşık 11–13 mm anterior ve 6–7 mm inferiorda bulunduğu kabul edilir. Bu cihazların kullanımı kolaydır kısa klinik süreye sahiptir ve düşük maliyet avantajı sunmaktadır. Bu nedenle günlük protez uygulamalarında yaygın şekilde tercih edilmektedir ancak bireysel kondil hareketlerini yansıtmazlar.

2.Gerçek Eksenli (Kinematik) Yüz Arkları

Kinematik yüz arkları, alt çenenin rotasyon eksenini olan gerçek menteşe eksenini bireysel olarak belirleyebilen, daha kompleks ve hassas sistemlerdir (Kommi & ark., 2020). Bu cihazlar, kondil bölgesine yerleştirilen ve ayarlanabilir kollara sahip, pergel

benzeri yapılarıdır (Çölgeçen & Köse, 2021). Kayıt sırasında hastanın mandibulası açılıp kapatıldığında, menteşe eksenindeki hareketler izlenir ve bu eksenin tam yeri belirlenir. Bu yöntem, özellikle gnatoloji temelli yaklaşımlarda ve tam ayarlanabilir artikülatörlerin kullanıldığı ileri protetik rehabilitasyonlarda tercih edilmektedir. Kinematik yüz arklarının en büyük avantajı, hastaya özel bir eksen belirleyerek maksimum fonksiyonel uyum sağlamalarıdır. Ancak bu cihazlar, kullanım zorlukları, uzun klinik süre ve deneyim gereksinimi nedeniyle yaygın günlük kullanımda tercih edilmemektedir.

Analog Yüz Arkı Kayıt Aşamaları

1. Isırma çatalının yerleştirilmesi

Sterilize edilmiş bir ısırma çatalı, ısırtılarak hastanın üst çenesine yerleştirilir. Hasta, belirli bir kapanış pozisyonunda çiğneme yapmadan çatala hafifçe bastırır. Bu işlem sırasında, çiğneme kaslarının etkinliği en aza indirilmelidir (Çalikkocaoğlu, 2010).

2. Yüz arkı transferi

Yüz arkı, ısırma çatalı ile bağlantılı hale getirilir. Yüz arkında bulunan, sağ ve sol kulak yoluna yerleştirilen özel parçalar sayesinde posterior işaretleme yapılır. Böylece yüz arkı kafatasına göre sabitlenmiş olur (Çalikkocaoğlu, 2010).

3. Anterior Referans Noktasının Ayarlanması:

Nazal çubuk (infraorbital pin) yardımıyla, yüz arkı başın yatay düzlemine göre hizalanır. Çoğu sistemde bu referans, Frankfurt düzlemi ile paralel olacak şekilde konumlandırılır (Çalikkocaoğlu, 2010).

4. Elde edilen kayıt, transfer çatalı ve artikülatör transfer standı kullanılarak artikülatöre aktarılır. Böylece üst çene modelinin

kafatasına göre yaklaşık pozisyonu belirlenmiş olur (Çalikkocaoğlu, 2010).

Geleneksel kayıt yöntemleri, özellikle yarı ayarlanabilir artikülütörlerle uyumlu olarak kullanıldığında klinikte yeterli sonuçlar verebilse de daha hassas ve komplike restorasyonlarda veya TME ilişkilerinin kritik olduğu vakalarda dijital sistemler tercih edilmelidir (Çölgeçen & Köse, 2021).

Dijital Artikülütörler

Dijital artikülütörler, çene hareketlerini ve oklüzyon ilişkilerini dijital ortamda simüle eden yazılım tabanlı araçlardır. Geleneksel artikülütörlerin dijital karşılığı olarak geliştirilmiş bu sistemler, kişiye özel tedavi planlaması yaparken statik ve dinamik oklüzyonun incelenmesini sağlar (Doshi & ark., 2024).

Gelişen CAD/CAM (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing) teknolojileriyle entegre çalışan sanal artikülütörler, restorasyon tasarım sürecini optimize eder, klinik ve laboratuvar arasındaki iletişimi kolaylaştırır ve manuel hataları azaltır (Lepidi & ark., 2021).

Sanal artikülütörlerin 2 ana tipi vardır bunlar tamamen ayarlanabilir sanal artikülütörler ve matematiksel simüle sanal artikülütörlerdir. (Koralakunte & Aljanakh, 2014).

Tamamen Ayarlanabilir Sanal Artikülütörler

Hastanın kondil hareket yollarını, kinematik eksen verilerini ve mandibular hareketlerini kullanarak çene hareketlerini aynı şekilde taklit eder (Koralakunte & Aljanakh, 2014). Kondil yolu eğimi, sagittal kondil yolu eğimi gibi bireysel değerler ayarlanabilir (Lepidi & ark., 2023). Kompleks protetik vakalarda tercih edilir (Lepidi et al., 2021). Örnek yazılımlar: 3Shape Virtual Articulator (Advanced mode), Exocad Virtual Articulator (Advanced), SAM AxioPrisa yazılım modülü.

Matematiksel Simüle Sanal Artikülatörler

Ortalama değerler ve belirli kondil hareket yolları kullanır (Lepidi & ark., 2023). Daha basit restorasyonlarda kullanımı uygundur (Lepidi & ark., 2021). Kullanımı kolay ve daha ucuzdur. Örnek yazılımlar: Temel Exocad Virtual Articulator, 3Shape Virtual Articulator (Basic).

Kullanılan Dijital Artikülatör Yazılımları ve Entegrasyon Sistemleri

Dijital diş hekimliği pratiğinde sanal artikülatör modülleri sunan başlıca sistemler şunlardır:

- 3Shape Virtual Articulator (TRIOS tarayıcı ile entegre) (Risciotti & ark., 2024)
- Exocad Dental CAD / Virtual Articulator (Lobo & ark., 2025)
- DentalCAD (Exocad'in modülü)
- SAM AxioPrisa (Lepidi & ark., 2021)
- Modjaw 4D Live (Lepidi & ark., 2021)
- Zebris Jaw Motion Analyzer (Lepidi & ark., 2021)
- Amann Girrbach Ceramill Artex Virtual (Lepidi & ark., 2021)

Bu sistemler, hareket verilerinin entegrasyonu ve yüz arka transferi gibi önemli işlemleri CAD/CAM tasarım aşamasına dahil eder (Lepidi & ark., 2021).

Tablo 1: Piyasadaki sanal artikülâtör (VF) yazılımlarının mevcut durumunun özeti

Firma	Dijital Yüz Arkı	Teknoloji	Özellikler	Özellikleri
ZEBRIS MEDICAL (Almanya)	JAW MOTION ANALYSER	Ultrason (3D)	Sanal artikülâtör tarafından desteklenir	Açık
ZEBRIS MEDICAL (Almanya)	JMAOptic / Aksiyograf-Kondilograf	Optik sensör teknolojisi / Optik (4D)	Sanal artikülâtör tarafından desteklenir, Splint ve mandibula pozisyonunun yeniden konumlandırılması	Açık
ZIRKOZAHN (İtalya)	PlaneSystem	Ultrason (3D)	Sanal artikülâtör tarafından desteklenir	Açık
KAVO DENTAL (Almanya)	ARCUSdigma	Ultrason (3D)	Çatal (Fork)	Açık
SAM (Almanya)	SAM Axiogquick	Ultrasonik aksiyografi (3D)	Çatal (Fork), Axiocomp yazılımı ile desteklenir	Açık
AMANN GIRRBAACH (Avusturya)	Zebris for Ceramill	Ultrason (3D)	Çatal (Fork)	Kapalı
MODJAW (Fransa)	MODJAW	Optik (4D)	Çatal (Fork)	Açık

Kaynak: (Lepidi & ark., 2021)

Sanal artikülâtörde üst çene modelinin kafa tabanına göre konumlandırılması için direkt ve indirekt yöntemler vardır (Lepidi & ark., 2021).

Direkt Yöntem

İntraoral tarayıcılar (IOS) kullanılarak ağız içi doğrudan dijital tarama yapılır (Yang & ark., 2024). Üst çenenin kafatasına göre konumunun verileri ve mandibular hareket verileri doğrudan dijital sisteme aktarılır (Lepidi et al., 2021). Analog bir aşama olmadan tamamen dijital iş akışı sağlanır (Lepidi & ark., 2021).

Örnek: 3Shape TRIOS + 3Shape Virtual Articulator.

İndirekt Yöntem

Geleneksel ölçüler (aljinat, silikon) ve geleneksel yüz arkı kayıtları kullanılır. Laboratuvar tarayıcılarında (ekstraoral tarayıcılarda) geleneksel ölçüyle elde edilen modeller ve yüz arkı plakaları dijitalleştirilir (Lepidi & ark., 2021). Bu dijital veriler yazılıma aktarılır. Daha düşük maliyetlidir fakat daha fazla manuel işlem içerir (Lepidi & ark., 2021).

Örnek: Konvansiyonel SAM yüz arkı + masaüstü tarayıcı + Exocad.

Tablo 2: VA'nın (sanal artikülatör) transfer adımları

İndirekt	Direkt
Konvansiyonel ölçü, alçı modeller	Intraoral tarama
Mum ısıma kaydı MIP - CR	Sanal interoklüzal kayıt
Mekanik yüz arkı	Sanal yüz arkı
Mekanik artikülatör	Verilerin üst üste bindirilmesi
Masaüstü laboratuvar tarayıcı	
Dosyaların VA'ya aktarılması	

MIP: Maksimum interküspidasyon

CR: Sentrik ilişki

(Lepidi & ark., 2021)

Dijital İş Akışı ve Transfer Prosedürü

Sanal artikülatörde transfer için genel iş akışı şöyledir:

1. Ağız içi tarama ile üst ve alt çene dijital modellerinin elde edilmesi (Solaberrieta & ark, 2015).
2. Yüz arkı transfer yönteminin seçilmesi ve maksillanın kafatasına göre konumunun aktarılması (direkt/indirekt) (Lepidi & ark., 2021).
3. Statik oklüzyonun ve aksiyograf sistemiyle mandibular hareket yollarının kaydedilmesi (Lepidi & ark., 2021).
4. Tüm verilerin yazılıma yüklenmesi ve sanal artikülatöre transfer edilmesi (Lepidi & ark., 2021).

Sanal artikülatör parametreleri geleneksel bir artikülatöre benzer şekilde ayarlanabilir. Seçilen artikülatöre bağlı olarak ayarlanabilir parametreler arasında bennett açısı, kondiler açı, oklüzyonun dikey boyutu (VDO), kesici tabla eğimi, bennett ek parçası ve kondiler ek parçası bulunur. Dijital modeller sanal artikülatöre transfer edildikten sonra protrüziv, retrüziv ve lateral hareketler simüle edilebilir. Bu hareketler sırasında oklüzal temaslar görselleştirilebilir ve oklüzal ayarlamalar otomatik olarak yapılabilir (Voß & ark., 2024). Sanal artikülatör modüllerine sahip CAD

yazılım sistemleri, STL (Stereolithography) dosyaları aracılığıyla sanal artikulatorlere transfer edilen modellerle ilgili bilgileri alabilir ve gönderebilir (Lepidi & ark., 2021).

5. CAD/CAM ile restorasyon tasarımı ve üretimi (Lepidi & ark., 2021).

Dijital Yüz Arkı

Dijital yüz arkı, mekanik yüz arkları gibi maksillanın kafatasına göre konumunu belirlemede kullanılır. Mekanik yüz arkına benzer şekilde sanal yüz arkı da ortalama değerler veya kinematik olarak kategorize edilebilir (Lepidi & ark., 2021). Dijital yüz arkları kinematik yöntemlerin temel prensiplerini dijital teknolojilerle birleştirerek, kondiler hareketlerin ve rotasyonel menteşe ekseninin daha doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar. Bu sistemlerde, anatomik kondiler projeksiyonların konumlandırılması için geleneksel yöntemlerde olduğu gibi cilt üzerindeki işaret noktalarına ihtiyaç duyarlar. Sanal bir yüz arkı kullanımından önce uygulayıcının bir referans düzlemi belirlemesi gerekmektedir. Bu referans düzlemi üç noktadan geçmelidir. İki posteriorda ve biri anteriorda olmalıdır. İki posterior işaret noktası (rastgele veya anatomik) bir terminal enine menteşe eksenini belirler (Lepidi & ark., 2021).

Dijital Yüz Arkı Transfer Yöntemleri

Maksiller modelin kafatasına göre konumlandırılması için kullanılan birçok dijital yüz arkı transfer yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler hem hasta konforunu artırmayı hem de dijital tasarım süreçlerinde doğruluk ve tekrarlanabilirlik değerlerini yükseltmeyi amaçlarken bunlara örnek olarak; sefalometrik görüntüler, üç boyutlu optik tarayıcı kullanılarak baş referans alınarak altı pozisyonunda bir işaretleyicinin pozisyonunun taranması, üç boyutlu yüz taramasına dönüştürülen bir dizi fotoğraflar, dijital

aksiyografiler, stereofotogrametriler, standartlaştırılmış ekstraoral fotoğraflar ve hesaplanmış konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) ler verilebilir. (Lepidi & ark., 2021)

Sefalometrik Görüntüler

Lateral sefalogramlar veya CBCT'den oluşturulan sefalometrik görüntüler, kraniyal referans noktalarını belirleyerek maksiller modelin dijital artikülatöre yerleştirilmesinde öncülük eder. (Lepidi & ark., 2021) Bu teknik ortodontik tedavilerde ve kompleks protetik tedavilerde vakaları iskeletsel olarak değerlendirme imkânı sunsa da iki boyutlu sefalogram kullanımında bazı sorunlar oluşabilir. Süperpozisyon ve ölçüm hatası gibi riskler mevcuttur (Revilla-León, Zeitler, & Kois, 2024).

Üç Boyutlu Optik Tarayıcı ve İşaretleyici Tabanlı Yöntemler

Hastanın başına veya yüzüne yerleştirilen altı noktalı işaretleyicilerin üç boyutlu optik tarayıcı ile farklı pozisyonlarda taranması, anatomik düzlemlerin dijital olarak elde edilmesini sağlar (Lepidi & ark., 2021). Bu sistemlerde işaretleyici pozisyonları, yazılım tarafından analiz edilerek sanal artikülatörde maksiller ark konumlandırılır (Lepidi & ark., 2021). Yöntemin avantajı, analog transfer aparatları kullanılmadan direkt dijital akışı sağlamasıdır.

Fotoğraf Serileri ile Üç Boyutlu Yüz Taraması

İki boyutlu fotoğraf serileri özel algoritmalarla üç boyutlu yüz taramasına dönüştürülür ve dijital modelle hizalanmaktadır (Lepidi & ark., 2021). Bu teknikte farklı açılardan çekilen standartlaştırılmış fotoğraflar kullanılır ve yazılım, yüzün üç boyutlu geometrisini hesaplar (Anes & ark., 2024). Özellikle mobil cihazlarla entegrasyonundan dolayı düşük maliyetli ve erişilebilir bir alternatif olsa da ışığın durumu ve hasta hareketi gibi etkenler hatalara sebep olabilir (Anes & ark., 2024).

Dijital Aksiyografi

Dijital aksiyografik sistemler (ör. Zebris, Modjaw), mandibular hareketleri gerçek zamanlı olarak kaydeder ve sanal artikülatöre aktarır (Lepidi & ark., 2023). Bu sistemler yalnızca kondiler hareket yollarını değil, aynı zamanda üst çenenin konumlandırılması için gerekli eksen-düzlem verilerini de sağlar. Hareket temelli incelemeler, fonksiyonel oklüzyon planlamasında ve tasarımında büyük avantaj sunar.

Stereofotogrametri

Stereofotogrametri, hastanın yüzü üzerinde yer alan referans noktalarının çoklu kameralarla senkronize çekimleriyle üç boyutlu bir model oluşturur. Bu yüksek hassasiyetli yüz taraması yöntemi, maksiller modelin dijital yüz üzerine konumlandırılmasını sağlamaktadır (D'Albis & ark., 2025). Özellikle ortognatik cerrahi planlamalarında tercih edilmektedir (D'Albis & ark., 2025).

Standartlaştırılmış Ekstraoral Fotoğraflar

Ekstraoral fotoğraf teknikleri, Frankfurt yatay düzlemi ve pupiller hat gibi referansları içerecek şekilde standart yöntemlerle çekilen fotoğraflardan yararlanır (Lepidi & ark., 2021). Bu görüntüler, ağız içi tarama verileriyle hizalanarak sanal ortamda üst çene konumlandırması sağlanır. Diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetli ve pratik bir seçenek sunar fakat kullanıcı deneyimine bağlıdır.

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT)

CBCT verileri, maksiller ve mandibular arkların, iskeletsel referans noktalarıyla birlikte üç boyutlu olarak dijital ortama transfer edilmesini sağlamaktadır. En yüksek anatomik doğruluğu sağlayan yöntemlerden biri olsa da bu tekniğin radyasyon dozu ve maliyet gibi dezavantajları bulunmaktadır (Kim, Kang, & Kim, 2025).

Sonuç

Protetik diş hekimliğinde artikülatör ve yüz arkı sistemleri, oklüzal ilişkilerin ve çene hareketlerinin gerçeğe yakın şekilde incelenmesini sağlayarak tedavi planlamasında önemli bir rol oynar. Geleneksel artikülatörler ve analog yüz arkları, uzun yıllardır güvenilir bir sistem olarak kullanılmakta ve çeşitli klinik ihtiyaçlara yanıt verse de son yıllarda dijital artikülatörler ve dijital yüz arkı sistemlerinin gelişimi, protetik tedavi süreçlerinde önemli bir değişim başlatmıştır.

Dijital sistemler, hasta verilerinin üç boyutlu olarak ve yüksek hassasiyetle kaydedilmesine, sanal ortamda analiz edilmesine ve kişiye özel restorasyon tasarımlarının yapılmasına olanak tanır. Dijital yüz arkı transfer yöntemleri; sefalometrik görüntüler, üç boyutlu yüz taramaları, dijital aksiyografi ve CBCT gibi farklı teknolojileri entegre ederek klinik doğruluğu ve tekrarlanabilirliği artırır. Ayrıca dijital iş akışı, manuel hataları azaltarak laboratuvar ve klinik arasındaki iletişimi güçlendirir.

Sonuç olarak, dijital artikülatör ve yüz arkı sistemleri, protetik tedavilerde daha hızlı, hassas ve hasta odaklı çözümler sunarken, klinisyenin vakaya özel en uygun yaklaşımı seçebilmesi için hem geleneksel hem de dijital yöntemlerin avantaj ve sınırlılıklarını iyi değerlendirmesi gerekmektedir. Dijital teknolojilerin entegrasyonu, diş hekimliğinde tedavi kalitesini ve hasta memnuniyetini yükseltecek bir standart oluşturmaya çalışmaktadır.

Kaynakça

Aljohani, A. O., Sghaireen, M. G., Abbas, M., Alzarea, B. K., Srivastava, K. C., Shrivastava, D., ... Alsharari, M. A. D. (2023). Comparative evaluation of condylar guidance angles measured using arcon and non-arcon articulators and panoramic radiographs—A systematic review and meta-analysis. *Life*, 13(6), 1352. <https://doi.org/10.3390/life13061352>.

Anes, L., Cardoso, J. A., Azevedo, L., Oliveira, K., & Maligno, F. (2024). Mounting digital casts on a virtual articulator by using two-dimensional facial photographs with a facebow: A technique. *Journal of Prosthetic Dentistry*. S0022-3913(24)00065-9. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.01.032>.

Çalikkocaoğlu, S. (2021). Dişsiz Hastaların Protetik Tedavisi: Klasik Tam Protezler. İstanbul: Quintessence Yayıncılık. 8, 268-278.

Çölgeçen, Ö., & Köse, M. (2021). Digital facebows in prosthetic dentistry. *International Archives of Dental Sciences*, 42(1), 65–69.

D’Albis, G., Forte, M., Stef, L., Feier, D. R., García, V. D. F., Corsalini, M., & Capodiferro, S. (2025). A digital workflow for virtual articulator mounting using face scan and facebow capture: A proof-of-concept. *Dentistry Journal*, 13(8), 1–10. <https://doi.org/10.3390/dj13080378>.

de Carvalho, O. d. T. (1998). A new fully adjustable articulator system and procedure. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 80(3), 376–386. [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(98\)70141-6](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(98)70141-6).

Doshi, K. N., Sathe, S., Dubey, S. A., Bhoyar, A., Dhamande, M., & Jaiswal, T. (2024). A comprehensive review on virtual

articulators. Cureus, 16(1), e52554.
<https://doi.org/10.7759/cureus.52554>.

Karakış, D. (2012). Artikülörler; sınıflaması ve artikülör seçimi. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 6(1), 1090–1094.

Khmaj, A. B., Albeshti, R. M., Khmaj, M. R., & Khmaj, Z. A. (2023). Articulators in prosthodontics and dentofacial orthopedics: A review paper. *Libyan Journal of Medical Research*, 17(1), 70–79.

Kim, S.-J., Kang, Y.-J., & Kim, J.-H. (2025). Comparison of the accuracy of a cone beam computed tomography-based virtual mounting technique with that of the conventional mounting technique using a facebow. *The Journal of prosthetic dentistry*, 134(2), 450–459.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.08.025>.

Kommi, V., Reethega, L., Sasanka, L., RV, G., & Ganapathy, D. (2020). Awareness about face bow and its types among dental professionals—a questionnaire-based survey. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 14(4), 321–326.

Koralakunte, P. R., & Aljanakh, M. (2014). The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 8(7), ZE25–ZE28.
<https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/8929.4648>.

Lepidi, L., Galli, M., Mastrangelo, F., Venezia, P., Joda, T., Wang, H. L., & Li, J. (2021). Virtual articulators and virtual mounting procedures: where do we stand? *Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists*, 30(1), 24–35. <https://doi.org/10.1111/jopr.13240>.

Lepidi, L., Grande, F., Baldassarre, G., Suriano, C., Li, J., & Catapano, S. (2023). Preliminary clinical study of the accuracy of a digital axiographic recording system for the assessment of sagittal

condylar inclination. *Journal of Dentistry*, 135, 104583.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104583>.

Lobo, S., Argolinha, I., Machado, V., Botelho, J., Rua, J., Li, J., & Mendes, J. J. (2025). Advances in digital technologies in dental medicine: Enhancing precision in virtual articulators. *Journal of Clinical Medicine*, 14(5), 1495.
<https://doi.org/10.3390/jcm14051495>.

Nagy, W. W., & Goldstein, G. R. (2019). Facebow use in clinical prosthodontic practice. *Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists*, 28(7), 772–774.
<https://doi.org/10.1111/jopr.12944>.

American College of Prosthodontists. (1999). The glossary of prosthodontic terms (Vol. 117). *Journal of Prosthetic Dentistry*, 81(1), 39–110.

Revilla-León, M., Zeitler, J. M., & Kois, J. C. (2024). An overview of the different digital facebow methods for transferring the maxillary cast into the virtual articulator. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(12), 1675–1686.
<https://doi.org/10.1111/jerd.13264>.

Risciotti, E., Squadrito, N., Montanari, D., Iannello, G., Macca, U., Tallarico, M., ... Fiorillo, L. (2024). Digital protocol to record occlusal analysis in prosthodontics: A pilot study. *Journal of Clinical Medicine*, 13(5), 1370.
<https://doi.org/10.3390/jcm13051370>.

Solaberrieta, E., Garmendia, A., Minguez, R., Brizuela, A., & Pradies, G. (2015). Virtual facebow technique. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(6), 751–755.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.06.012>.

Suman, V., Sonnahalli, N. K., & Chowdhary, R. (2021). Use of facebow device in prosthodontics: A systematic review on

randomized control trials. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 21(1), 11–18. https://doi.org/10.4103/jips.jips_197_20.

Türkay, T., Güven, M. F., Demir, N., & Yöndem, İ. (2024). Eksantrik kayıtlar ile artikülatör programlama: Olgu sunumu. *Selcuk Dental Journal*, 11(1), 69–74.

Voß, A. S., Bunz, O., Kurbad, O., & Bürgers, R. (2024). Fully digital workflow of an occlusal device including digital facebow record: A clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry*. S0022-3913(24)00061-1. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.01.027>.

Yang, S., Wu, L., Alabkaa, B., Lepidi, L., Yue, L., & Li, J. (2024). Intraoral scanner-based virtual facebow transferring: A chairside dental technique. *Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists*, 10.1111/jopr.13897. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/jopr.13897>.

ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA ÜRETİLEN ZİRKONYA VE LİTYUM DİSİLİKAT RESTORASYONLAR

**ERHAN DİLBER¹
AYŞE NUR ÜREDİ²
EMİNE DİLARA ÇOLPAK³**

Giriş

Günümüzde 3 boyutlu (3B) baskı olarak da adlandırılan eklemeli üretim (EÜ) teknolojisi bilgisayarlı bir 3B modele dayalı olarak malzeme ekleyerek parçalar oluşturmaya olanak tanıyan yeni bir teknoloji türü olarak ortaya çıkmıştır (Galante, Figueiredo-Pina, & Serro, 2019).

EÜ, 1986 yılında Charles W. Hull'ın 3B yazıcının patentini alması ile dental yapıların üretiminde umut vadeden bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Su & ark. (2023). Geleneksel yöntemlerle

¹ Doç. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Orcid: 0009-0003-2209-1070

² Arş. Gör. Dt., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Orcid: 0009-0004-6048-9992

³ Dr. Öğretim Üyesi., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5334-2421>

Üretilen seramik restorasyonlar çeşitli dezavantajlara sahiptir. Bu yöntemlerde istenilen düzeyde yüzey kalitesine ve boyutsal hassasiyete ulaşmak genellikle güç olmakla birlikte üretim sürecinin uzun olması ve yüksek maliyetli oluu bu tekniklerin kullanımını kısıtlayan önemli etkenler arasında yer almaktadır. Bu zorluklar seramiklerin üretiminde farklı yöntemlerin araştırılmasına yol açmıştır. Günümüzde dijital teknolojilere dayalı üretim teknikleri daha hızlı, hassas ve ekonomik çözümler sunarak geleneksel yöntemlere önemli bir alternatif oluşturmaktadır (W.-S. Lin & Chen, 2025). Üç boyutlu yazıcının tıp alanındaki en büyük avantajı kişiye özel tıbbi cihaz ve ürünlerin üretilmesine olanak tanınmasıdır. Bu durum, özellikle kişiye özel dayanaklar, implantlar ve cerrahi ekipmanların üretiminde önemli bir avantaj sağlamaktadır (L. Lin & ark., 2019).

Seramikler, ağız ortamıyla yüksek uyumluluk göstermeleri, iyi kimyasal direnç sergilemeleri ve doğal dii taklit edebilecek uygun mekanik ve optik özelliklere sahip olmaları nedeniyle di hekimliği alanında önemli bir rol oynamaktadır (Alghauli, Alqutaibi, Wille, & Kern, 2024).

Seramikler geleneksel olarak eksiltmeli üretim teknikleriyle işlenmektedir. Bu yöntemler, seramik blokları aındırmakta ve yüksek oranda malzeme israfına neden olmaktadır. Karmaşık geometrilere sahip restorasyonların üretimini de sınırlamaktadır (Branco, Colao, Figueiredo-Pina, & Serro, 2023). 3B yazıcılar karmaşık geometriye sahip restorasyonların üretimine olanak tanımmasının yanı sıra geleneksel üretim tekniklerine kıyasla daha ekonomik ve verimli olması, malzeme kaybını önemli ölçüde azaltması gibi avantajlar sunmaktadır (Abdulkareem & Al-Shamma, 2024).

Eklemeli Üretim Teknolojileri

Eklemeli üretim sürecinin ilk aşaması, bilgisayar destekli tasarım (Computer aided design - CAD) yazılımları kullanılarak bir modelin oluşturulmasıdır. Bu süreçte, tasarlanan model genellikle Standard Triangle Language (STL) formatında kaydedilir. STL formatı, eklemeli üretim cihazları için kabul görmüş standart dosya formatıdır. CAD modeli tamamlandıktan sonra, bu dosya STL formatında kaydedilerek üç boyutlu yazıcıya aktarılır (Abdulkareem & Al-Shamma, 2024). Baskı öncesi, cihazın parametrelerinin kalite standartlarını karşılayacak şekilde doğru biçimde ayarlanması gerekmektedir. Bu parametreler arasında katman kalınlığı, baskı açısı, enerji yoğunluğu, pozlama süresi ve ışık şiddeti yer almaktadır (Revilla-León & Özcan, 2019). 3B yazıcı, STL dosyasını x-y düzleminde birçok yatay katmana ayırarak işler. Dikey hassasiyet z eksenini tanımlanan katman kalınlığına bağlıdır. Katman kalınlığının azaltılması, baskı yüzeyinin pürüzsüzlüğünü artırmakla birlikte, baskı süresinde artışa neden olmaktadır (Abdulkareem & Al-Shamma, 2024).

Baskı işleminin ardından, kullanılan teknolojiye ve malzemeye bağlı olarak son işlem (post-processing) aşaması kritik öneme sahiptir. Özellikle ışıkla kürlenerek üretilen teknolojilerde, üretim sonrası işlemler zorunludur. Diğer bazı üretim tekniklerinde bu aşamaya ihtiyaç duyulmayabilir (Karakurt & Lin, 2020).

EÜ teknolojileri, üretim yöntemlerine göre yedi ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu yöntemlerin bazıları diş hekimliği uygulamaları açısından daha fazla tercih edilmekte olup, estetik restorasyonlardan implant üretimine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Aşağıda yer alan Tablo 1, bu teknolojileri ve diş hekimliğindeki kullanım alanlarını sınıflandırmaktadır (Türk, Dündar Çömlekoğlu, & Çömlekoğlu).

Tablo 1 Diş hekimliğinde kullanılan eklemeli üretim teknolojileri

Eklemeli Üretim Teknolojisi	Diş Hekimliğinde Kullanımı (Alt Teknikler)
Vat fotopolimerizasyonu (VPP)	Stereolitografi (SLA), Direkt Işık İşleme (DLP), Devamlı Direkt Işık İşleme (CDLP), Direkt UV Baskı (DUP)
Malzeme ekstrüzyonu (MEX)	Birleşik Depo Modelleme (FDM) / Birleşik Filaman Üretimi (FFF)
Malzeme püskürtme (MJT)	-
Bağlayıcı püskürtme (BJT)	-
Toz yatak füzyonu (PBF)	Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Direkt Metal Lazer Sinterleme (DMLS) / Seçici Lazer Eritme (SLM)
Yönlendirilmiş enerji biriktirme (DED)	-
Sac laminasyonu (SHL)	-

Kaynak: (Methani, Revilla-León, & Zandinejad, 2020)

Diş hekimliğinde en sık kullanılan teknikler arasında özellikle Vat fotopolimerizasyonu (SLA / Stereolitograf ve Direkt Işık İşleme / DLP) ve Toz yatak füzyonu (SLS / Seçici Lazer Sinterleme ve SLM / Seçici Lazer Eritme) ön plana çıkmaktadır. Bu yöntemler, yüksek hassasiyet, yüzey kalitesi ve biyouyumlu malzeme seçenekleri sayesinde klinik uygulamalarda etkin şekilde kullanılmaktadır (W.-S. Lin & Chen, 2025).

Ancak, tüm 3B baskı teknolojileri seramik malzemelerin üretimi için uygun değildir (Alghauli & ark., 2024).

Seramiklerin Üretimi

Diş hekimliği alanında dijitalleşme ile bilgisayar destekli tasarım / bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM (computer aided manufacturing)) teknolojilerinin gelişimi, seramik restorasyonların tasarımı ve üretimine yönelik yeni teknik ve klinik protokollerin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Unkovskiy & ark., 2022). Eksiltmeli üretim yöntemleri, frezeleme aletlerinin erişemeyeceği alanların

varlığında bazı tasarımların uygulanmasını sınırlamaktadır. Bu da istenilen restorasyonun üretimini kısıtlayabilmektedir.

Bu gibi durumlarda, EÜ tabaka tabaka ilerleyen çalışma prensibi sayesinde eksiltmeli üretim yöntemlerinin önüne geçmektedir (Unkovskiy & ark., 2022).

Dijital iş akışı, çok aşamalı klasik üretim süreçlerinde ortaya çıkabilecek hataların önüne geçebilmesi açısından geleneksel sisteme göre daha avantajlıdır ve dijital üretim süreçleri insan kaynaklı hataların da ortadan kaldırılmasına olanak sağlamaktadır. Bazı laboratuvar çalışmaları geleneksel yöntemlerle üretilen tek kron restorasyonların, CAD/CAM sistemleriyle üretilenlere kıyasla daha hassas ve daha iyi uyumlu marjnlere sahip olduğunu bildirirse de son yıllarda diş hekimliğinde dijital iş akışı; zaman açısından verimli, işlevli, kullanıcı dostu ve erişilebilir bir yaklaşım olarak kendini kanıtlamıştır (Alghauli & ark., 2024).

3B baskı teknikleri ile üretilen yüksek dayanımlı %3 mol Yttria ile stabilize edilmiş tetragonal zirkonya polikristali (3Y-TZP) restorasyonlar literatüre son yıllarda dahil olmuştur. Bu yöntemle üretilen restorasyonların geleneksel CAD/CAM teknolojisiyle karşılaştırıldığında doğruluğu konusunda çelişkili bulgular bildirilmektedir (Alghauli & ark., 2024)

Vat-fotopolimerizasyon yöntemlerinden biri olan SLA teknolojisi, ışığa duyarlı reçine ile kaplanmış seramik reçine bulamacının kontrollü polimerizasyonuna dayanmaktadır. Bu işlem, bir tank içerisine yerleştirilmiş seramik süspansiyonun yüzeyine bilgisayar kontrollü bir lazer ışını, ultraviyole (UV) ışık ya da dijital ışık projeksiyonu (DLP) ile seçici olarak ışık gönderilmesiyle gerçekleştirilir. Bu şekilde ilk katman, ışık etkisiyle polimerize olarak sertleşir ve üretim platformuna yapışır. Ardından üretim platformu sırasıyla aşağı doğru hareket eder, tank yüzeyi yeniden bulamaç ile kaplanır ve aynı fotopolimerizasyon işlemi tekrarlanır.

Bu süreç sonucunda oluşan 'yeşil parça' olarak adlandırılan reçine matrisinin uzaklaştırılması amacıyla debinding (bağlayıcı uzaklaştırma) işlemine tabi tutulur. Sonrasında ise sinterleme işlemi uygulanır.

SLA üretim teknolojisi, tanı modellerinin, cerrahi rehberlerin, maksillofasiyal implant ve protezlerin, hareketli protez kaidelerinin, şeffaf plakların, ağız koruyucularının, geçici restorasyonların ve tam seramik restorasyonların üretiminde başarıyla kullanılmaktadır (Methani & ark., 2020).

Litography-based Ceramic Manufacturing (LCM), yüksek yoğunlukta seramik toz içeren fotopolimer reçinelerin ışığa duyarlı olarak katman katman polimerize edilmesi esasına dayanan bir VAT fotopolimerizasyon tekniğidir. LCM yöntemi, özellikle yüksek çözünürlük, düzgün yüzey kalitesi ve biyouyumlu dental seramiklerin üretilmesi sayesinde diş hekimliği uygulamaları için önemli avantajlar sunmaktadır (Stampfl, Schwentenwein, Homa, & Prinz, 2023).

LCM ile restorasyon üretimi genel olarak şu aşamalardan oluşur:

1. Reçine bulamacının hazırlığı; Fotopolimer bazlı organik bir matris içinde homojen şekilde dağıtılarak hacimce %45–60 oranında seramik partikülleri içeren bir süspansiyon hazırlanır. Bu bulamaç, düşük viskoziteli çözücü, akrilat/metakrilat monomerler, foto başlatıcılar ve dispersiyon-stabilite sağlayıcı maddelerle formüle edilir (Rasaki & ark., 2021).
2. Polimerizasyon; Hazırlanan bulamaç, üretim platformu üzerinde her katman DLP veya SLA tekniği ile polimerize edilir. Her bir katman, öncekiyle kimyasal bağ kuracak şekilde sertleştirilir. Bu işlem 10–100 µm

kalınlıktaki katmanlarla gerçekleştirilir (Schwentenwein & Homa, 2015).

Debinding (Bağlayıcı uzaklaştırma) ve sinterleme; Baskı sonrası elde edilen yeşil parça içeriğindeki polimer fazın termal olarak uzaklaştırılması için yavaş ısıtma altında 200–600 °C aralığında debinding işlemine alınır. Bu aşamada gaz çıkış yollarının açık olması, iç gerilme ve çatlamayı önlemek açısından kritiktir (Branco & ark., 2023). Debinding sonrası restorasyon 1350–1550 °C sıcaklıkta sinterlenir. Bu aşama, seramiğin faz stabilitesi, eğilme dayanımı ve mikroyapısal homojenliğini belirleyen en önemli süreçtir (Mohammed, Alahmari, Alkhalefah, & Abidi, 2024).

3. **Post-processing işlemleri:** Üretim teknikleri yüzey cilalama, makyaj uygulanarak restorasyon klinik kullanıma hazır hale getirilir.

Son yıllarda, litografi tabanlı seramik üretimi LCM yöntemi kullanılarak zirkonya ve lityum disilikatın katmanlı üretimi mümkün hale gelmiştir (Unkovskiy, Beuer, Hey, Bomze, & Schmidt, 2025). EÜ teknolojilerinde, fotopolimerize edilebilir reçinenin bileşimi ve formülasyonu kritik öneme sahiptir. Reçine yalnızca seramik içeriğine göre değil, aynı zamanda bu partiküllerin organik matris ile olan etkileşimi, reolojik dengesi ve ışıkla kürlenme kinetiğine göre tasarlanmalıdır (Stampfl & ark., 2023).

Güncel 3B yazıcı sistemlerinin genel özelliklerini tablo 2 ile özetleyebiliriz.

Tablo 2 3B yazıcı sistemlerini genel özellikleri

Eklemeli Üretim Teknolojisi	Avantajlar	Dezavantajlar	Üretilen Seramikler
Stereolitografi	Yüksek yüzey kalitesi ve hassasiyet Geniş yapı hacmi Hızlı	Destek yapısı gerektirir Maliyetlidir Uzun son işlem süresi	Zirkonya Alumina
Malzeme Ekstrüzyonu	Ekonomik	Hassasiyet, meme çapına bağlıdır Yavaştır	Feldspatik porselen Zirkonya
Toz Yataklı Füzyon	Ekonomik Prototip üretimi için uygundur Destek yapısı gerektirmez	Yüzey kalitesi partikül boyutuna bağlıdır Yavaştır Yüksek enerji gereksinimi vardır	Feldspatik porselen
Doğrudan Mürekkep Püskürtmeli Baskı	Damlacık konumlandırma hassasiyeti yüksektir, atık azdır Birden fazla malzeme ve renk ardışık basılabilir	Sadece mürekkep formunda işlenebilen malzemelerle sınırlıdır Genellikle destek malzemesi gerektirir	Zirkonya
Bağlayıcı Püskürtme	Birden fazla malzeme ve renk ardışık basılabilir Hızlı	Uzun son işlem süresi Bağlayıcıyla uyumsuz malzemeler için uygun değildir	Feldspatik porselen

Kaynak: (Methani & ark., 2020)

3B Baskıyla Üretilen Zirkonya ve Lityum Disilikat Restorasyonların Mekanik Özellikleri

Zirkonya ve lityum disilikat restorasyonlar günümüzde en yaygın tercih edilen iki seramik malzeme konumundadır. Her iki materyal de fotopolimer bazlı reçinenin formunda hazırlanarak, özellikle LCM gibi VAT fotopolimerizasyon sistemleriyle katman katman üretilmeye uygun hale getirilmiştir (Stampfl & ark., 2023; Rasaki & ark., 2021).

Eğilme Dayanımı (Flexural Strength)

Zirkonya restorasyonlar, polikristalin yapıları nedeniyle lityum disilikata kıyasla çok daha yüksek kırılma dayanımına

sahiptir. Literatürde, 3B baskı ile üretilen zirkonya restorasyonlar için ortalama eğilme dayanımı 800–1200 MPa, bazı çalışmalarda ise 1500 MPa kadar ulaşan değerler raporlanmıştır (Zenthöfer & ark., 2024; Schwentenwein & Homa, 2015). Buna karşılık, lityum disilikat restorasyonların, EÜ ile elde edilen örneklerinde bu değer genellikle 250–400 MPa aralığındadır (Unkovskiy & ark., 2022). Her iki materyal de ISO 6872'ye göre sınıf I (tekli kronlar) ve sınıf II (üç üyeye kadar köprüler) restorasyonlar için uygundur; ancak yük taşıyıcı alanlarda zirkonya, anterior ve estetik bölgelerde ise lityum disilikat tercih edilmektedir.

Weibull modülü (m) seramik ve kırılğan malzemelerin mekanik güvenilirliğini değerlendirmede kullanılan istatistiksel bir parametredir. Bu modül, bir malzemenin kırılma dayanımının ne kadar tutarlı olduğunu, yani örnekler arası dağılımın ne kadar dar veya geniş olduğunu göstermektedir. Zirkonya yapılar, sinterleme işleminde yüksek yoğunluğa ulaşmalarına rağmen, üretim parametrelerine bağlı olarak düşük Weibull modülü ($m \approx 2-4$) ile sınırlı güvenilirlik göstermektedirler (Zenthöfer & ark., 2024). Bu durum genellikle debinding sürecinde oluşan mikro çatlaklarla ilişkilidir. Lityum disilikat ise cam-seramik yapısından dolayı daha izotropik bir kırılma davranışı sergilemektedir, ancak daha düşük bir bükülme dayanımına sahiptir. LCM ile elde edilen örneklerde homojen partikül dağılımı ve uygun kütleme parametreleri, bu dezavantajı büyük ölçüde azaltabilmektedir (Unkovskiy & ark., 2025).

Her iki materyalin de başarılı mekanik performans gösterebilmesi, sinterleme sonrası ulaşılan yoğunluk oranı ile doğrudan ilişkilidir. LCM ile üretilen zirkonya örneklerde %99,5 üzeri teorik yoğunluk sağlanabilirken (Schwentenwein & Homa, 2015), lityum disilikat örneklerinde bu oran %95–98 düzeyindedir (Hartmann, Pfaffinger, & Stampfl, 2021). Lityum disilikatta, cam

matris içinde kristal fazların düzgün dağılması yüzey kalitesi ve kırılma davranışı açısından kritik önemdedir.

3B baskı teknolojileriyle her iki materyal de başarıyla işlenebilmekte, ancak kullanım endikasyonları farklılık göstermektedir. Zirkonya, yüksek kırılma dayanımı ve düşük ışık geçirgenliği nedeniyle posterior bölgelerde ve yük taşıyıcı alanlarda; lityum disilikat ise estetik beklentinin yüksek olduğu anterior bölgelerde ve ince yapılı lamina restorasyonlarında tercih edilmektedir (Unkovskiy & ark., 2025; Alghauli & ark., 2024).

Estetik Özellikler ve Biyouyumluluk

Dental restorasyonlarda materyal seçimini etkileyen başlıca faktörlerden biri de estetikdir. Özellikle ışık geçirgenliği (translusensi) ve renk uyumu gibi optik özellikler öne çıkmaktadır. EÜ ile üretilen zirkonya ve lityum disilikat restorasyonlar, bu açıdan farklı materyal karakteristikleri göstermektedir. Restorasyonun klinik başarısında, yalnızca mekanik dayanıklılık değil, aynı zamanda doğal dişe benzerlik ve çevre dokularla renk bütünlüğü de kritik rol oynamaktadır (Unkovskiy & ark., 2025).

Zirkonya (3Y-TZP)

3Y-TZP zirkonya, yüksek opaklığı nedeniyle anterior bölgede estetik beklentileri karşılamakta sınırlı kalabilir. Bu durum, malzemenin polikristalin yapısı ve düşük ışık geçirgenliği ile ilişkilidir (Alghauli & ark., 2024). 3B baskı teknikleriyle üretilen zirkonya restorasyonlarda bu sınırlılık daha belirgindir, çünkü yüksek seramik içeriği (> %50 hacim) ve katman katman yapı nedeniyle ışık yayılımını daha da kısıtlayabilir (Stampfl & ark., 2023). Bu yüzden renkli reçine kullanımı, baskı sonrası infiltrasyon teknikleri ve renk gradyanlı baskı gibi yöntemlerle estetik özellikler artırılabilir. Literatürde, farklı pigmentlerle katman katman üretilen, dentin–mine geçişi oluşturulan restorasyonların elde edilebildiği,

hem estetik hem de optik derinlik açısından umut verici olduğu gösterilmiştir (Rasaki & ark., 2021).

Lityum Disilikat

Lityum disilikat seramikler, amorf ve kristalin fazları bir arada barındıran yapısı sayesinde yüksek translusensi ve renk doygunluğu sunmaktadır. Özellikle anterior bölgede restorasyonlarda doğal diş dokusuna optik açıdan benzerlik sağlaması nedeniyle önem taşır. 3B baskı ile üretilen lityum disilikat restorasyonlarda da bu estetik üstünlük korunabilmekte, hatta baskı sırasında pigment içeren ve içermeyen reçinelerin aynı yapı içinde kombine edilmesiyle “core-shell” tipi restorasyonların üretimi mümkün hâle gelmektedir (Unkovskiy & ark., 2025). Bu yöntemle, mine tabakasına benzer translusent dış katman ile dentin benzeri opak iç yapı aynı restorasyon içinde üretilebilmektedir. Bu teknik, yalnızca estetik açıdan değil, aynı zamanda restorasyonun ışıkla sertleşme dinamiklerini dengelemesi açısından da önemlidir.

EÜ ile üretilmiş zirkonya ve lityum disilikat restorasyonların biyolojik performansı, yüzey morfolojisi ve materyalin oral çevreyle olan etkileşimi ile yakından ilişkilidir. LCM ve DLP sistemlerinde üretim sonrası yüzey pürüzlülüğü genellikle frezelenmiş restorasyonlara kıyasla daha yüksektir. Bu durum plak birikimini ve mikrobiyal kolonizasyonu artırılrsa da uygun cilalama ve temizlik protokolleri ile bu olumsuzluklar azaltılabilir (Coppola & ark., 2022).

Her iki materyal de, in vitro çalışmalarda yüksek biyouyumluluk göstermiştir. Lityum disilikat örneklerinde fibroblast proliferasyonu ve hücre adezyonu yeterli düzeyde gözlenmiş, zirkonya örneklerinde ise cilalanmış yüzeylerde daha düşük bakteri tutunumu raporlanmıştır (Unkovskiy & ark., 2022; Rasaki & ark., 2021). Bu bulgular, 3B baskılı seramik restorasyonların klinik olarak güvenli kullanım potansiyelini desteklemektedir.

Tablo 3 Zirkonya ile lityum disilikat restorasyonların estetik özellikleri

ÖZELLİKLER	ZİRKONYA (3Y-TZP)	LİTYUM DİSİLİKAT
Işık geçirgenliği	Düşük-opak	Yüksek-transludent
Renk uymu	Sınırlı, modifiye edilebilir	Yüksek, doğal dişe yakın
Parlaklık ve cilananabilirlik	Yüksek	Yüksek, cam benzeri parlaklık
Estetik bölge kullanımı	Sınırlı, posterior bölgede tercih edilir	Uygun, özellikle anterior bölgede

Kaynak: (Alghauli & ark., 2024; Hartmann & ark., 2021; Rasaki & ark., 2021; Stampfl & ark., 2023; Unkovskiy & ark., 2025; Unkovskiy & ark., 2022)

Klinik Kullanım

3B baskı teknolojileriyle üretilen zirkonya ve lityum disilikat restorasyonlar, kişiye özel üretim, malzeme tasarrufu ve geometrik özgürlük gibi avantajlarla klinik uygulamalarda dikkat çekmektedir. Özellikle LCM yöntemi, karmaşık anatomik yapılar ve ince restorasyonların üretiminde yüksek potansiyel sunmaktadır (Stampfl & ark., 2023).

Bununla birlikte, debinding sürecinde oluşan mikro çatlaklar, boyutsal küçülme riski ve uzun dönem kullanımla ilgili klinik verilerin eksikliği, bu teknolojilerin rutin kullanımı kısıtlamaktadır (Zenthöfer & ark., 2024; Alghauli & ark., 2024).

Sonuç

3B baskı teknolojileri seramik restorasyon üretiminde sunduğu geometrik özgürlük, kişiye özel tasarım olanağı ve malzeme israfını azaltma gibi avantajlarıyla geleneksel üretim yöntemlerine güçlü bir alternatif haline gelmiştir. Bu teknolojiler sayesinde zirkonya ve lityum disilikat gibi yüksek performanslı seramikler, özellikle litografi tabanlı sistemlerle (LCM, SLA, DLP) klinik olarak uygulanabilir nitelikte üretilabilmektedir.

3B baskı ile üretilen zirkonya restorasyonlar, yüksek eğilme dayanımı ve yapısal stabiliteleriyle yük taşıyıcı bölgelerde kullanım açısından avantajlıdır. Lityum disilikat ise translusensi ve renk uyumu bakımından öne çıkmakta, estetik bölgelerde tercih edilmektedir. Her iki materyal de in vitro çalışmalarda biyouyumlu olarak değerlendirilmiş; uygun yüzey işlemleriyle mikrobiyal tutunma riskleri minimize edilmiştir. Bu teknolojilerin yaygın klinik uygulamaya geçebilmesi için çözülmesi gereken bazı kısıtlamalar mevcuttur. Özellikle debinding sürecine bağlı mikro çatlak oluşumu, pigmentasyon sınırlılıkları, üretim parametrelerinin henüz tam olarak standardize edilmemiş olması ve uzun dönem klinik verilerin eksikliği, bu sistemlerin rutin kullanımını kısıtlamaktadır.

Sonuç olarak, 3B baskı teknolojileri, seramik restorasyon üretiminde çığır açıcı bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin klinik pratiğe güvenle entegre edilebilmesi için üretim sürecine dair bilimsel verilerin detaylandırılmasına, biyolojik testlerin standardize edilmesine ve uzun vadeli klinik çalışmalarla desteklenmesine ihtiyaç vardır.

Kaynakça

Abdulkareem, M. A., & Al-Shamma, A. M. (2024). Additive Manufacturing Technologies in Dentistry (A Review). *Tikrit Journal for Dental Sciences*, 12(1), 21-32.

Alghauli, M., Alqutaibi, A. Y., Wille, S., & Kern, M. (2024). 3D-printed versus conventionally milled zirconia for dental clinical applications: Trueness, precision, accuracy, biological and esthetic aspects. *Journal of dentistry*, 144, 104925.

Branco, A. C., Colaço, R., Figueiredo-Pina, C. G., & Serro, A. P. (2023). Recent advances on 3D-printed zirconia-based dental materials: a review. *Materials*, 16(5), 1860.

Galante, R., Figueiredo-Pina, C. G., & Serro, A. P. (2019). Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental materials*, 35(6), 825-846.

Hartmann, M., Pfaffinger, M., & Stampfl, J. (2021). The role of solvents in lithography-based ceramic manufacturing of lithium disilicate. *Materials*, 14(4), 1045.

Karakurt, I., & Lin, L. (2020). 3D printing technologies: techniques, materials, and post-processing. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 28, 134-143.

Lin, L., Fang, Y., Liao, Y., Chen, G., Gao, C., & Zhu, P. (2019). 3D printing and digital processing techniques in dentistry: a review of literature. *Advanced Engineering Materials*, 21(6), 1801013.

Lin, W.-S., & Chen, L. (2025). 3D-Printed Zirconia and Lithium Disilicate in Dentistry and Their Clinical Applications. *International Journal of Prosthodontics*, 38(1), 12-26.

Methani, M. M., Revilla-León, M., & Zandinejad, A. (2020). The potential of additive manufacturing technologies and their

processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 182-192.

Mohammed, M. K., Alahmari, A., Alkhalefah, H., & Abidi, M. H. (2024). Evaluation of zirconia ceramics fabricated through DLP 3d printing process for dental applications. *Heliyon*, 10(17), e36725.

Rasaki, S. A., Xiong, D., Xiong, S., Su, F., Idrees, M., & Chen, Z. (2021). Photopolymerization-based additive manufacturing of ceramics: A systematic review. *Journal of Advanced Ceramics*, 10(3), 442-471.

Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019). Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *Journal of Prosthodontics*, 28(2), 146-158.

Schwentenwein, M., & Homa, J. (2015). Additive manufacturing of dense alumina ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 12(1), 1-7.

Stampfl, J., Schwentenwein, M., Homa, J., & Prinz, F. B. (2023). Lithography-based additive manufacturing of ceramics: Materials, applications and perspectives. *MRS Communications*, 13(5), 786-794.

Su, G., Zhang, Y., Jin, C., Zhang, Q., Lu, J., Liu, Z., . . . Ma, J. (2023). 3D printed zirconia used as dental materials: a critical review. *Journal of biological engineering*, 17(1), 78.

Türk, A. G., Dündar Çömlekoğlu, M., & Çömlekoğlu, M. E. Eklemleri Bilgisayar Destekli Üretim Yöntemleri. *International Archives Of Dental Sciences*, 43 (Supp: Özel Sayı), 85-94.

Unkovskiy, A., Beuer, F., Hey, J., Bomze, D., & Schmidt, F. (2025). 3D-Printed Ultra-Thin Non-Prep Lithium Disilicate Veneers: A Proof-of-Concept Clinical Case. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, in press*(6), 1311–1315.

Unkovskiy, A., Beuer, F., Metin, D. S., Bomze, D., Hey, J., & Schmidt, F. (2022). Additive manufacturing of lithium disilicate with the LCM process for classic and non-prep veneers: preliminary technical and clinical case experience. *Materials*, 15(17), 6034.

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİNDE YENİLİKÇİ DİJİTAL YAKLAŞIMLAR

