

DİJİTAL RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİ

Editör
EMİNE ŞİRİN KARAARSLAN



BİDGE Yayınları

DİJİTAL RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİ

Editör: EMİNE ŞİRİN KARAARSLAN

ISBN: 978-625-372-880-9

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 20.12.2025

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

RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTAL TARAYICILAR .4	
BURAK CÖMERT	4
HÜSEYİN HATIRLI.....	4
RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDE 3 BOYUTLU YAZICILAR	
.....	44
DEREN GÖKCE GÜVEN.....	44
HÜSEYİN HATIRLI.....	44
RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTAL UYGULAMALAR	
.....	69
BURAK CÖMERT	69
HÜSEYİN HATIRLI.....	69

RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTAL TARAYICILAR

BURAK CÖMERT¹
HÜSEYİN HATIRLI²

Giriş

Küresel ölçekte hızla ilerleyen dijitalleşme süreciyle birlikte, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojilerinin, yani CAD-CAM (Computer Aided Design and Manufacturing) sistemlerinin yaygınlaşması, diş hekimliği alanında köklü dönüşümlerin gerçekleşmesine olanak sağlamıştır (Chiu ve ark., 2020; Miyazaki ve ark., 2009). Dijital ağız içi tarayıcıların ilki, 1980'li yıllarda Mörmann ve Brandestini tarafından geliştirilen CEREC sistemi olarak tanıtılmıştır (Mörmann ve ark., 1989).

İlk dönemlerde dijital tarayıcılar, diş hekimliği laboratuvarlarında alçı modellerin dijital ortama aktarılması amacıyla kullanılmaktaydı. Ancak, ağız içi tarayıcı

¹ Arş. Gör. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi AD. Orcid: 0009-0002-1973-0145

² Doç. Dr. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD. Orcid: 0000-0002-4451-7576

teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler sayesinde dijital iş akışı artık doğrudan klinik ortamında ve hasta başında başlatılabilir hale gelmiştir. Bu gelişme, dijital teknolojilerin klinik uygulamalara entegrasyonunu önemli ölçüde kolaylaştırmıştır (Chiu ve ark., 2020; Mörmann, 2006). Son yirmi yıl içerisinde ağız içi tarayıcıların teknik kapasitesinin artması ve kullanıcı dostu özelliklerle donatılması, bu cihazların kliniklerde yaygın biçimde kullanılmasını sağlamıştır (Chiu ve ark., 2020; Renne ve ark., 2017).

Ağız içi tarayıcıların, klasik ölçü yöntemlerine kıyasla çok sayıda avantaj sunduğu bildirilmektedir. Bu avantajlar arasında; hastalar için daha konforlu bir tedavi süreci sunulması, klinik prosedürlerin çevreye duyarlı hale gelmesi, klinisyenler açısından kullanım kolaylığı sağlaması, ölçü alma süresini kısaltması ve geleneksel ölçü materyallerine bağlı hataları en aza indirmesi yer almaktadır. Ayrıca dijital sistemler, yumuşak dokulara basınç uygulamadan ve anatomik konumlarını değiştirmeden basınçsız bir şekilde ölçü alınmasına olanak tanır. Tüm bu nedenlerle dijital ölçü teknolojilerinin kullanımı ve popülerliği hızla artış göstermektedir (Chiu ve ark., 2020; Yuzbasioglu ve ark., 2014).

Diş hekimliğinde kullanılan CAD-CAM sistemleri, dijital teknolojilerin uygulama alanına entegre edildiği modern tedavi yaklaşımlarının temelini oluşturmaktadır. Bu sistemler; veri toplama, tasarım ve üretim olmak üzere üç aşamadan meydana gelir (Miyazaki ve ark., 2009).

Dijital iş akışının ilk basamağını oluşturan veri toplama süreci, tarama verilerinin dijital formatta kaydedilmesi esasına dayanır. Tarama sırasında diş yapıları, çevre dokular ve restorasyon planlanan bölgeler, yüksek doğrulukta üç boyutlu olarak sanal ortama aktarılır (Renne ve ark., 2017).

Tasarım aşamasında elde edilen dijital veriler, özel CAD yazılımları yardımıyla analiz edilir; restorasyonun şekli, kenar uyumu, anatomik bütünlüğü ve oklüzal ilişkileri ayrıntılı biçimde planlanır. Son aşama olan üretim sürecinde ise, dijital ortamda tasarımı tamamlanan restorasyon fiziksel hale dönüştürülür. Bu üretim, genellikle üç boyutlu yazıcılar veya kazıma sistemleri kullanılarak gerçekleştirilir (Chiu ve ark., 2020; Zimmermann ve ark., 2018).

DİJİTAL TARAYICILAR

Dijital veri kaydı, bir nesnenin yüzey özelliklerinin sayısal biçimde elde edilmesi sürecidir ve bu işlem, yüzey bilgilerini toplayarak dijital formata dönüştürme süreci olarak tanımlanmaktadır (Ireland ve ark., 2008).

Günümüzde kullanılan tarayıcı sistemleri genel olarak ağız içi (intraoral) ve ağız dışı (ekstraoral) olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmektedir. Bu tarayıcıların teknik özellikleri, kullanım alanlarına göre farklılık göstermektedir. Diş hekimliğinde dijitalleştirme işlemi ise iki temel yöntemle gerçekleştirilmektedir: doğrudan dijitalizasyon ve dolaylı dijitalizasyon. Doğrudan dijitalizasyon (DD), ağız içindeki sert ve yumuşak dokuların bir ağız içi tarayıcı aracılığıyla statik olarak kaydedilmesi sürecini ifade ederken; dolaylı dijitalizasyon (İD), geleneksel bir yöntemle alınan fiziksel ölçünün veya bu ölçüden elde edilen çalışma modelinin, ağız dışında bir tarayıcı yardımıyla dijital formata dönüştürülmesi anlamına gelmektedir (Christensen, 2008, 2009).

AĞIZ İÇİ TARAYICILAR

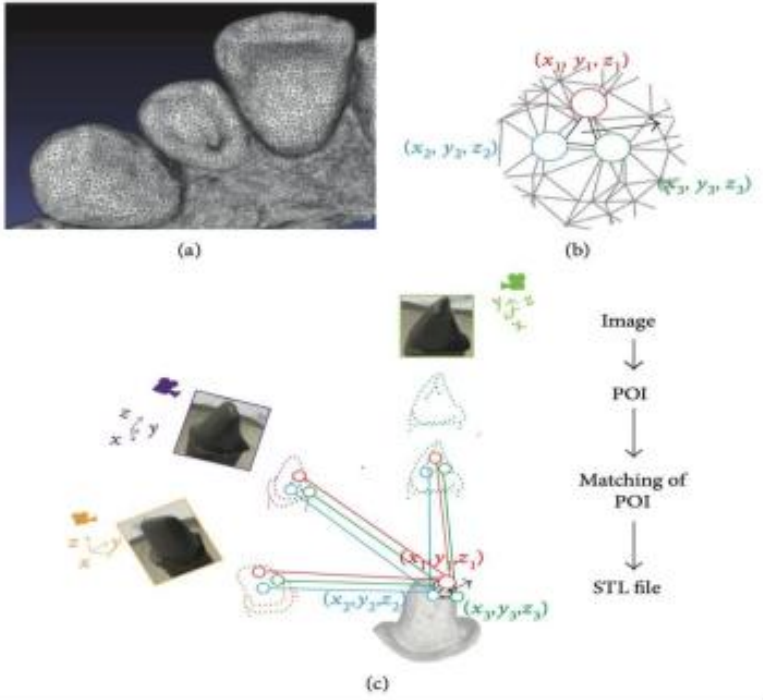
Ağız içi tarayıcı sistemleri, farklı teknolojilerden yararlanarak diş yapılarının dijital ortama aktarılmasına olanak tanır. Bu sistemler sayesinde elde edilen dijital veriler, daha sonra saklanabilir ve çeşitli dijital iş akışlarında kullanılabilir hale gelir.

Tarama verilerinin depolanması ve paylaşılmasında en yaygın tercih edilen dosya biçimi STL formatıdır. STL formatı, üç boyutlu yazıcı teknolojilerinde ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir dosya türüdür. “STL” terimi, kökenini “stereolitografi” sözcüğünden almakla birlikte, “Standard Triangle Language” veya “Standard Tessellation Language” olarak da adlandırılmaktadır (Richert ve ark., 2017).

Her STL dosyası, üç boyutlu bir modelin ya da nesnenin yüzey geometrisini tanımlayan, birbirine bağlı üçgenlerden oluşan bir ağ yapısı içerir. Tasarımın karmaşıklığı arttıkça kullanılan üçgen sayısı da artar ve buna bağlı olarak modelin çözünürlüğü yükselir (Bilmenoglu ve ark., 2020). STL formatındaki bir görüntü, genellikle “.stl” dosya uzantısı ve renk ya da doku bilgisinin bulunmamasıyla kolaylıkla ayırt edilir. Renk ve yüzey dokusu bilgisi içeren alternatif dosya biçimi ise poligon dosya formatı (PLY) olarak adlandırılır (**Şekil 1**) (Richert ve ark., 2017).

Günümüzde sıklıkla kullanılan tarayıcılardan aşağıda detaylı olarak bahsedilmiştir.

Şekil 1 Ağız içi tarayıcı kullanılarak bir STL dosyasının oluşturulması: (a) Bir STL dosyasına örnek. (b) Her bir STL dosyası üçgenlerden oluşur; her üçgen, x , y ve z koordinatlarına sahip üç noktadan ve bunların oluşturduğu bir düzlemden meydana gelir. (c) Tarama ve görüntü oluşturma teknolojisinin şematik gösterimi (Richert ve ark., 2017).



Richert, R., et al., Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. J Healthc Eng, 2017. 2017: p. 8427595.

İTero

İTero Element 5D tarayıcı, tasarım açısından İTero 2 modeline benzerlik gösterse de daha gelişmiş teknolojilere sahiptir. Bu cihaz, kullanım kolaylığı sağlayarak tekrarlanan sterilizasyon gereksinimini ortadan kaldırmakta ve aynı anda üç boyutlu ölçümler, ağız içi renkli görüntüler ve NIRİ (yakın kızılötesi görüntüleme) verilerini kaydedebilen ilk hibrit dental görüntüleme sistemi olarak

öne çıkmaktadır. TimeLapse teknolojisi sayesinde tanısal, restoratif ve ortodontik karşılaştırmalar yapılabilmekte, hastaların tedavi sürecindeki değişiklikler takip edilebilmektedir (iTero, 2025).

Tarayıcı, zararlı radyasyon kullanmadan üç boyutlu dijital ölçümler gerçekleştirebilmekte, canlı ağız içi görüntüleri yakalayabilmekte ve proksimal çürüklerin tespitine yardımcı olabilmektedir. NIRI teknolojisi ile proksimal çürükler gerçek zamanlı olarak belirlenebilmekte ve operatör tarafından izlenebilmektedir.

Ortodontik tedavi gören hastalarda, Invisalign sonuç simülatörü sayesinde tedavi öncesinde sürecin simülasyonu yapılabilmekte ve hastalar tedavi sürecine daha aktif şekilde dahil olabilmektedir. TimeLapse teknolojisi ile hastaların tedavisi sırasında meydana gelen tüm değişiklikler takip edilebilmekte, böylece hastaların ağız sağlığına olan ilgisi artmakta ve tedavi sonuçlarının kalitesi yükselmektedir. Elde edilen veriler, İTero bulut sistemi aracılığıyla doğrudan dışa aktarılabilir (iTero, 2025).

Tarayıcıda iki farklı başlık bulunmaktadır. Koruyucu başlık, cihaz kullanılmadığında optik yüzeyi korumak amacıyla tasarlanmıştır. Tarama başlığı ise tek kullanımlık olup her hasta için değiştirilir. Tarayıcı başlığının boyutları 338,5 mm uzunluk, 53,5 mm genişlik ve 69,8 mm derinliktedir. Başlık kablosuz olarak 0,47 kg ağırlığındayken, tekerlekli stant 13,6 kg ağırlığındadır (iTero, 2025).

iTero Element 5D'nin ardından geliştirilen iTero Lumina, Element 5D özelliklerine ek Multi-Direct Capture™ teknolojisi ile daha geniş bir görüş alanı sunarak tarama hızını ve doğruluğunu artıran yeni nesil bir intraoral tarayıcıdır. Bu modelde, ışığı tarayıcı gövdesinin arkasındaki sensöre yansıtmak için kullanılan geleneksel ayna uçları yerine, yakalama teknolojisi doğrudan tarayıcı ucuna entegre edilmiştir; bu da tarama sürecini hızlandırmakta ve

birleştirme hatalarını azaltmaktadır (Institute of Digital, 2024). Daha kompakt ve ergonomik el parçası, özellikle damak bölgesi ve çapraşık dişlerin bulunduğu kompleks alanlarda görüntü almayı kolaylaştırırken, fotogerçekçi görüntüleme sayesinde ayrı intraoral fotoğraf ihtiyacını azaltmaktadır. Restoratif ve ortodontik planlamalarda hızlı veri işleme, hasta simülasyonları ve yüksek çözünürlüklü 3D görseller ile klinisyen-hasta iletişimini güçlendirmekte; dijital iş akışını daha verimli hâle getirmektedir. Bununla birlikte, cihazda kablosuz tarama seçeneğinin bulunmaması, günümüzde birçok intraoral tarayıcıda standart hâline gelen mobilite avantajının sağlanamaması açısından bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir.

Şekil 2 İTero Lumina tarayıcı ve standı



iTero. iTero Element 5D. 2025; Available from: <https://itero.com/en-AU/our-scanners/itero-lumina>

Sirona CEREC Primescan

Ağız içi tarayıcı üretiminde uzun yıllara dayanan bir deneyime sahip olan Sirona (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Germany) firmasının en güncel ve gelişmiş modeli Cerec Primescan'dır (Şekil 3). Firma geçmiş dönemlerde Cerec Bluecam,

Apollo DI ve Cerec Omnicam gibi çeşitli tarayıcı modellerini de piyasaya sunmuştur (Richert ve ark., 2017).

Cerec Primescan, dental tarama teknolojisinde yeni bir referans noktası oluşturmuştur ve firmanın açıklamalarına göre son derece otomatik işleyen ve sezgisel kullanıcı arayüzü sayesinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Cihaz, sahip olduğu akıllı piksel sensörü ve dinamik derinlik tarama teknolojisi ile 20 mm derinliğe kadar yüksek doğruluk ve gerçeklikte veri elde edebilme kapasitesine sahiptir (Richert ve ark., 2017).

Primescan ile birlikte firma, hijyen standartlarını yükseltmek ve hasta güvenliğini artırmak amacıyla otoklavlanabilir manşon özelliğini de kullanıma sunmuştur. Üç farklı manşon seçeneği, hem tarama sürecini kolaylaştırmak hem de hasta sağlığını en üst düzeyde korumak amacıyla geliştirilmiştir:

- Safir cam pencereli paslanmaz çelik manşon: Çoklu kullanıma uygun olup dezenfeksiyon mendilleri ile temizlenebilir, yüksek düzeyde dezenfeksiyon uygulanabilir ve kuru ısıyla sterilize edilebilir.

- Tek kullanımlık manşon: Çapraz enfeksiyon riskini ortadan kaldırmak için üretilmiş olup her hasta için tek kullanımlıktır.

- Tek kullanımlık pencereli paslanmaz çelik manşon: Otoklavlanabilirliği mümkün kılmak amacıyla tasarlanmıştır (D., 2025).

Cerec Primescan'ın yenilikçi akıllı piksel sensörü, bir milyondan fazla üç boyutlu veri noktasını işleyerek fotogerçekçi ve yüksek doğrulukta görüntü oluşturabilmektedir. İn-vitro koşullarda gerçekleştirilen ve çeşitli ağız içi tarayıcıların karşılaştırıldığı bir çalışmada, Primescan belirli yönlerde en yüksek doğruluk değerlerine ulaşmıştır (Ender ve ark., 2019).

CEREC Primescan tarayıcının ağırlığı plastik kılıf ile 457 g, metal kılıf ile 524,5 g'dır. Tarayıcı ucunun genişliği 22,5 mm, yüksekliği 20,7 mm olup, ayna kolu uzunluğu 110 mm'dir. Standart bir tam çene taraması ise ortalama 2–3 dakika içerisinde tamamlanabilmektedir.

Cerec Primescan tarayıcının **iki farklı versiyonu** bulunmaktadır:

Primescan:

Kliniklerde yüksek çözünürlüklü veri toplama, hızlı işleme ve gelişmiş sensör teknolojisiyle üstün performans sağlayan standart modeldir. Dokunmatik ekranlı ünitesiyle birlikte gelir ve tam dijital iş akışına entegre olacak şekilde tasarlanmıştır.

Primescan

Connect:

Primescan'ın tüm temel özelliklerini sunan, ancak daha esnek ve ekonomik bir seçenektir. Dizüstü bilgisayar ile çalışır, kurulumu kolaydır ve klinik ortamına hızlıca uyarlanabilir. Hızlı tarama, taşınabilirlik ve DS Core bağlantısı gibi avantajlar sağlar.

Bu iki versiyon arasındaki temel fark, **standart Primescan'ın ünite üzerinde çalışması, Primescan Connect'in ise dizüstü bilgisayar tabanlı ve daha mobil bir çözüm sunmasıdır** (DentsplySirona, 2025).

***Şekil 3 Sirona CEREC Primescan tarayıcı ve Primescan Connect
Esnek dizüstü bilgisayar çözümü***



DentsplySirona. 2025; Available from: https://www.dentsplysirona.com/tr-tr/kesfet/konuya-gore-kesfet/kategoriye-g%C3%B6re/digital-impression/di_klini_i-icin-dijital-oelcue.html

3shape Trios Serisi

3shape Trios3

3Shape (Kopenhag, Danimarka), 2011 yılında ilk Trios Standart modelini tanıtarak dijital tarama alanındaki ürün gamını oluşturmuş, daha sonraki yıllarda Trios Color, Trios3 Basic, Trios3, Trios4 ve en son Trios 5 modelleriyle bu seriyi geliştirmeye devam etmiştir. Trios3 modeli; dokunmatik ekranlı taşınabilir bir stand ile birlikte kullanılabilmesi, yüksek grafik performansına sahip dizüstü bilgisayarlara bağlanabilmesi veya ünite üzerinde yer alan dokunmatik ekran aracılığıyla çalışabilmesi gibi farklı kullanım seçenekleri sunmaktadır (3shape, 2025).

Trios ağız içi tarayıcıları, kablosuz kullanım imkânı veren MOVE modülü ve laboratuvarlarla doğrudan veri aktarımı yapabilen bir platform gibi işlevsel özelliklerle donatılmıştır. MOVE sistemi;

üniteden bağımsız hareket edebilen dokunmatik ekran, ayarlanabilir kol yapısı ve hızlı tarama için optimize edilmiş güçlü bir bilgisayar bileşeninden oluşmaktadır (3shape, 2024c).

Şekil 4 3Shape Trios 3'ün kablolu ve kablosuz modellerine ait ağız içi tarayıcı görünümü

TRIOS 3		TRIOS 3	
Doğruluk (doğruluk)	6,9 x 0,9 µm	Doğruluk (doğruluk)	6,9 x 0,9 µm
Keskinlik (tutarlılık)	4,5 x 0,9 µm	Keskinlik (tutarlılık)	4,5 x 0,9 µm
Ağırlık	340 g	Ağırlık (pil dahil)	373 g
Işık kaynağı	LED	Işık kaynağı	LED
Güç birimi	PLY, DCM ve STL	Güç birimi	PLY, DCM ve STL
			
Boyut: 4,2 x 27,4 cm / 1 x 2 inç Cap: 12 cm / 3 inç		Boyut: 4,2 x 27,4 cm / 1 x 2 inç Cap: 12 cm / 3 inç	

3shape. TRIOS MOVE. 2024 2025-11-22; Available from:
<https://www.3shape.com/en/trios-move>

3Shape firması, ağız içi tarama alanında bir ilke imza atarak dünyanın ilk **kablosuz ağız içi tarayıcısını** geliştirmiştir. Ürün serisinde hem kablolu hem de kablosuz kullanım seçenekleri yer almakta olup, bu modeller **Şekil 4'de** görülmektedir. Tarayıcı, tek üye restorasyonlardan tüm çeneyi kapsayan geniş kapsamlı restoratif çalışmalara kadar farklı uygulamalar için dijital ölçü alınmasına olanak sağlamakta ve renkli görüntüler elde edebilmektedir (3shape, 2024c).

Bunun yanı sıra cihaz; hastanın takibinin yapılması, gülüş tasarımı oluşturulması ve tedavi sürecinin simüle edilmesi gibi ek işlevler sunmakta, ayrıca ortodontik planlama ve implant cerrahisi gibi alanlarda da kullanılabilir (3shape, 2024c).

Cihazın tasarımında, daha hassas restorasyonlar elde edebilmek için hastaya ait statik ve dinamik oklüzal temasların gösterilmesi hedeflenmiş; böylece çiğneme hareketlerinin dijital olarak kaydedilmesi mümkün hâle getirilmiştir. Ayrıca yapay zekâ

destekli algoritma sayesinde dil ve yanak gibi gereksiz yumuşak doku görüntüleri otomatik olarak taramadan ayıklanmakta, bu da ölçü alma sürecini daha akıcı bir hale getirmektedir (3shape, 2024c).

3shape trios 4

Bu model, Trios 3'ten farklı olarak tamamen **kablosuz** şekilde tasarlanarak piyasaya sunulmuştur. Trios 3 ile karşılaştırıldığında daha gelişmiş bir Wi-Fi performansına sahip olması, cihazın herhangi bir ek işlem gerektirmeden hızlıca kullanıma hazır hâle gelmesi ve uzun pil ömrü sağlaması önemli avantajları arasında gösterilmektedir. Ayrıca cihazın erken dönem çürüklerin tespitinde de kullanılabildiği belirtilmektedir. Üç adet harici pil ile birlikte satılan modelin tek pil ile çalışma süresi yaklaşık 45 dakika olup, tam şarj için ortalama 5 saat gerekmektedir.

3shape trios 5

Trios 5 modeli, hasta güvenliği ve enfeksiyon kontrolü açısından önceki serilere göre daha ileri bir standart ortaya koymuştur. Tasarımının hijyenik olması, cihazın daha küçük ve hafif bir yapıda üretilmesi ve farklı el yapılarıyla uyum sağlayacak ergonomiye sahip olması bu modelin öne çıkan özelliklerindendir. Ayrıca, tarama doğruluğunu artırmak amacıyla geliştirilen yeni ScanAssist motoru ve bağlantı stabilitesini güçlendiren TRIOS Share sistemiyle birlikte sunulmaktadır. ScanAssist motoru, tarama sürecini kolaylaştırarak elde edilen görüntülerin en güncel veriyle sürekli olarak eşleşmesini sağlar (**Şekil 5**) (3shape, 2024b).

Şekil 5 3shape Trios 5 ağız içi tarayıcı



3shape. TRIOS 5. 2024 2025-11-22; Available from:

<https://www.3shape.com/tr/scanners/trios-5>

Üç boyutlu model oluşturmak için kullanılan akıllı hizalama teknolojisi, kullanıcıya ek bir yük getirmeden hassas ve verimli taramalar yapılmasına imkân tanır. Firmanın açıklamalarına göre birçok ağız içi tarayıcı üreticisi, veri toplama doğruluğunu artırmak için belirli bir tarama stratejisi veya protokolünün izlenmesini tavsiye etmektedir. Örneğin taramaya molar dişlerin oklüzal yüzeyinden başlamak, bu bölgede ayrıntının daha sağlıklı yakalanmasını sağlayabilir. Bu tür bir protokole uyulmaması, oluşturulan 3D modelin doğru biçimde bir araya getirilememesine ve gerekirse taramanın baştan yapılmasına yol açabilir (3shape, 2024b).

Bu sorunu gidermek amacıyla firma, yeni nesil bir tarama motoru geliştirdiğini ve böylece hekimlerin taramaya diledikleri bölgeden başlayarak kendi klinik alışkanlıklarına uygun bir tarama stratejisi oluşturabileceklerini belirtmektedir (3shape, 2024b).

Medit i700

Firmanın en son piyasaya sunduğu i700 wireless modeli, saniyede **70'in üzerinde kare yakalama kapasitesi** ile kendi kategorisinde en hızlı tarayıcılardan biri olarak değerlendirilmektedir. Yaklaşık 245 gramlık hafif yapısı—firma

bunu “tüy siklet” olarak tanımlamaktadır—ve 180 derece döndürülebilen tarayıcı uçları, kullanıcıya alışılmışın dışında bir ergonomi ve kullanım deneyimi sunmaktadır (Cuesta ve ark., 2009).

Model, ağız içi taramayı daha hızlı ve verimli hâle getirmek için iki yüksek hızlı kameradan yararlanan akıllı tarama algılama sistemine sahiptir. Böylece tarama sırasında herhangi bir pudra uygulamasına gerek kalmadan kesintisiz bir görüntü elde edilebilmektedir (Medit, 2024). Medit tarayıcılara ait karşılaştırmalı özellikler **Şekil 6**’da verilmiştir.

Medit i700, tek bir pil ile **yaklaşık 30 hastada** kullanılabilecek kapasitededir. Cihazla birlikte sunulan üç pil ile bu sayı yaklaşık 90 taramaya kadar çıkmaktadır. Akıllı güç yönetimi özelliği, tarayıcı kullanılmadığı durumlarda cihazın otomatik olarak uyku moduna geçmesini sağlar ve bu modda yaklaşık sekiz saate kadar bekleyebilir. Tarayıcının yeniden aktif hâle gelmesi yalnızca birkaç saniye sürmektedir. Üç pilin tamamı tükendiğinde ise cihaz, güç kablosu bağlanarak tarama işlemine kesintisiz şekilde devam edilebilmektedir (Medit, 2024).

Şekil 6 Medit tarayıcıların özellik karşılaştırması

Category		MEDIT i500	MEDIT i600	MEDIT i700	MEDIT i700 wireless
Appearance					
Scanning Technology	Scanning Frame	Up to 30 FPS	Up to 35 FPS	Up to 70 FPS	Up to 70 FPS
	Imaging Technology	3D-in-motion video technology / 3D full color streaming capture			
	LED Source	LED			
	Anti-fogging Technology	Adaptive anti-fogging			
Accuracy	Full-arch	21.0 μm ± 1.48	10.9 μm ± 0.98		
Handpiece	Dimensions	264 x 44 x 54.5 mm	248 x 44 x 47.4 mm		313 x 44 x 47.4 mm
	Total Weight	280 g (incl. tip)	245 g (incl. tip)		328 g (incl. battery & tip)
Tip	Scan Area	14 x 13 mm	15 x 13 mm		
	Autoclavable	50 times	100 times	150 times	
		Autoclave 121°C 30mins (Gravity Type)	Autoclave 121°C 30mins (Gravity Type) Autoclave 134°C 4 mins (Pre-Vacuum Type) Autoclave 135°C 10 mins (Gravity Type)		
	Reversible Tip	No	Yes	Yes	Yes
Special Mode	Remote Control Mode	No	No	Yes	Yes
	UV-C LED Disinfection	No	No	Yes	Yes
	Smart Shade Guide	No	Yes	Yes	Yes
	HD Mode	Yes	No	Yes	Yes
macOS Compatibility*		No	Yes	Yes	Yes
Connectivity	Connection Type	Wired USB 3.0	Wired USB 3.1 Gen 1	Wired USB 3.1 Gen 1	Wireless USB 3.1 Gen 1
	Plug & Scan	No	Yes	Yes	Yes (Direct connection to wireless hub)
	Detachable Cable	No	Yes	Yes	Yes

Medit. i700. 2024 2025-11-22; Available from: <https://www.medit.com/dental-clinic-i700>.

Planmeca Emerald S

Planmeca Emerald S ağız içi tarayıcı, kompakt yapısı ve ergonomik tasarımıyla hem klinisyen hem de hasta açısından oldukça rahat bir tarama süreci sağlar. Cihaz, dijital ölçüleri yüksek verimlilikle kaydedebilir ve deneyimli bir kullanıcının bir dakikadan kısa sürede tam bir arkı taramasına olanak tanır. Elde edilen kayıtlar, Planmeca Romexis yazılımında güvenli bir biçimde saklanarak ileride kullanılmak üzere depolanmaktadır ("Planmeca Emerald® S: Compact intraoral scanner for capturing digital impressions," 2025).

Planmeca Emerald S, dijital görüntüleri canlı ve doğal renk tonlarıyla kaydeder. Bu özellik, klinisyenlerin öngörülebilir sonuçlar elde etmesine yardımcı olur ve restorasyonların uyumunu artırır. Hafif ve küçük boyutlu yapısı sayesinde kullanım sırasında el ve

bilek üzerinde minimum yük oluşturur. Cihazın kompakt tasarımı, hasta konforunu artıran önemli bir avantajdır.

Planmeca Emerald S; protez, ortodonti ve implantoloji gibi birçok alanda geniş iş akışlarını desteklemektedir. Tek dişten tam ark taramasına kadar farklı klinik ihtiyaçları karşılayacak şekilde tasarlanmış olup, elde edilen veriler hasta kayıtları, iletişim, tedavi planlaması veya restorasyon ve uygulama tasarımlarında kullanılabilir (Planmeca, 2025).

AĞIZ DIşI TARAYICILAR (İNDİREKT SİSTEM)

Ağız dışı tarayıcılar, diğeri bir ifadeyle laboratuvar tarayıcıları, ağız içi tarayıcıların bazı sınırlılıklarını gidermek amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Bu cihazlar, geleneksel ölçü yöntemleriyle elde edilen kayıtların veya bu kayıtlardan üretilmiş modellerin taranarak dijital ortama aktarılmasında kullanılmaktadır (Bosniac ve ark., 2019; Palin & Burke, 2005). Çalışma prensibi bakımından ağız içi tarayıcılara benzemekle birlikte, laboratuvar koşullarına uygun şekilde tasarlanmışlardır.

Laboratuvar tarayıcıları genel olarak üç ana grupta incelenir: beyaz LED ışık kullanan modeller, mavi LED ışıkla çalışanlar ve lazer tabanlı tarayıcılar. Lazer kullanan sistemler, çizgi deseni ile tarama yapmaları, daha düşük hassasiyet göstermeleri ve tarama hızlarının nispeten yavaş olması nedeniyle diğerilerinden ayrılmaktadır (Anh ve ark., 2016).

Mavi LED teknolojisine sahip tarayıcılar ise beyaz LED sistemlerin ulaşılması güç bölgelerde yaşadığı hassasiyet kayıplarını gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Mavi ışığın daha kısa dalga boyuna sahip olmasının sağladığı düşünülen avantaj sayesinde, bu cihazlarla daha yüksek doğrulukta ve daha hızlı taramalar yapılabilir. Bu nedenle mavi LED tarayıcıların, hassasiyet açısından diğeri sistemlerin üzerinde performans gösterdiği

belirtilmektedir (Tsirogiannis ve ark., 2016). Diş hekimliğinde kullanılan laboratuvar tarayıcıları, yazılım altyapıları ve donanım özellikleri açısından birbirlerinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

3Shape E4

Her taramada yüksek verimlilik ve tutarlı sonuçlar sunacak şekilde tasarlanmıştır. Firma verilerine göre E4, önceki model olan E3'e kıyasla iki kat daha hızlı çalışmakta, iki kat daha yüksek doğruluk sağlamaktadır ve kamera sayısı da iki kat artırılmıştır. E3 modelinde ortalama 18 saniye süren bir tarama, E4 ile birlikte 9 saniyede tamamlanabilmektedir. Cihazın hassasiyet değeri 4 mikron düzeyine kadar düşürülmüş olup, dört adet 5 MP çözünürlüklü kamerayla donatılmıştır. E4, klasik yöntemlerde olduğu gibi her bir güdüğü ayrı ayrı taramak yerine, tüm model üzerinden tarama yapabilme yeteneğine sahiptir. Hatta bazı durumlarda güdüklü model hazırlamaya gerek duyulmadan doğrudan ölçülerin taranabilmesi mümkündür. Bu özellik, laboratuvar süreçlerinde önemli ölçüde zaman tasarrufu sağlamaktadır (3shape, 2024a).

Şekil 7: 3Shape E4 Ağız dışı tarayıcı



3Shape E4 lab scanner. 3Shape, 2025 <https://www.3shape.com/tr/scanners/e4>

Sirona inEos X5

Sirona firmasının laboratuvar tipi tarayıcılar alanındaki en güncel ürünü **inEos X5** modelidir. Bu cihazla tarama işlemi, Automatic jaw scan, Free jaw scan ve Individual stump scan olmak üzere üç farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Sistem, genel olarak tüm alçı modelleri ve ölçü materyallerini tarayabilme kapasitesine sahiptir. Ancak yüzeyinde yansıma yapan, ışığı fazla emen veya kısmen saydam özellik gösteren materyallerin doğru şekilde taranabilmesi için pudralama uygulaması gerekmektedir. Firma bu amaçla, RedCam® ve Bluecam® cihazlarında kullanılmak üzere geliştirdiği “CEREC Optispray” ürününü önermektedir (Sirona, 2024).

Şekil 8: Sirona inEos X5 Ağız dışı tarayıcı



inEos X5: Extraoral scanner. Dentsply Sirona, 2025.

<https://www.dentsplysirona.com/tr-tr/kesfet/markaya-goere-kefet/ineos-x5.html>

DENTAL TARAYICILARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

1980’li yıllarda CAD/CAM teknolojilerinin gelişmeye başlamasıyla diş hekimliğinde dijital bir dönüşüm süreci başladı ve bu süreç günümüze kadar önemli ilerlemelerle devam etti. CAD/CAM sistemi; dijital görüntünün elde edilmesi, bu görüntü üzerinden protetik restorasyonun tasarlanması ve oluşturulan tasarım verilerine göre uygun bloklardan restorasyonun kazıma cihazlarıyla üretilmesi olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk dönemlerde dijital veriler laboratuvar tipi tarayıcılarla elde edilirken, 2003 yılından itibaren ağız içi tarayıcıların yaygınlaşmasıyla birlikte üç boyutlu verilerin doğrudan ağız içinden alınabilmesi mümkün hâle gelmiştir (Mörmann, 2006).

Günümüzde kullanılan doğrudan dijital iş akışındaki tarama teknolojileri, tüm arkın üç boyutlu modelini tek bir görüntüyle elde edememektedir. Bu nedenle alınan çok sayıda görüntü, yazılım tarafından üst üste getirilerek ağız içi yapıların dijital bir modeli oluşturulmaktadır. Kullanılan yöntemle bağlı olarak ağız içi tarayıcılar; dijital fotoğraflar çekip bunları ardışık bir seri hâline getiren sistemler ile bu görüntüleri dijital bir video akışına entegre eden sistemler olmak üzere iki temel grupta değerlendirilmektedir (Papaspnyridakos ve ark., 2014).

Ağız içi tarayıcılar, taranan yüzeye lazer ya da yapılandırılmış ışık göndererek çalışır. Cihazın içerisinde bulunan iki veya daha fazla kamera, ışığın yüzeyde oluşturduğu deformasyonları algılar. Güçlü işlemci ve yazılımlar sayesinde bu veriler üç boyutlu koordinatlara dönüştürülür. Yazılımın oluşturduğu nokta bulutları ve bu bulutların birbirine bağlanmasıyla yüzeyin üç boyutlu yapısı ortaya çıkar. Sistem, saniyede binlerce noktayı algılayıp işleyerek bu noktaları birleştirir ve sonuç olarak üç boyutlu bir model oluşturur (Zimmermann ve ark., 2015). Bununla birlikte, dijital ölçülerde en sık karşılaşılan hatalardan biri, bu görüntülerin

birbirleriyle birleştirildiği aşamada ortaya çıkan deformasyonlardır (Flügge ve ark., 2013).

Ağız içi tarayıcılarda, taranan yüzeyin saydam olması, ışığın komşu yüzeylerden yansımaları gibi optik özellikler ile hekim ya da hastanın tarama sırasında gerçekleştirebileceği hareketlerin yol açabileceği boyutsal sapmaları en aza indirmek için farklı veri toplama teknolojileri geliştirilmiştir (Kostiukova ve ark., 2014). Bu nedenle günümüzde ağız içi tarayıcılar yalnızca fotoğraf veya video kaydı yapan cihazlar olmaktan çıkmış, kullanılan veri toplama yöntemlerine göre sınıflandırılır hâle gelmiştir. Bu sınıflandırmada:

- Üçgenleştirme Teknikleri (Triangulasyon Yöntemi)
- Konfokal Lazer Tarama Yöntemi
- Aktif Dalga Örneklemesi (AWS – Aktif Wavefront Örneklemesi)
- Optik Koherent Tomografi (OKT)
- Stereofotogrametri
- Akordeon Şerit İnterferometrisi (AFI) gibi temel çalışma prensipleri yer almaktadır.

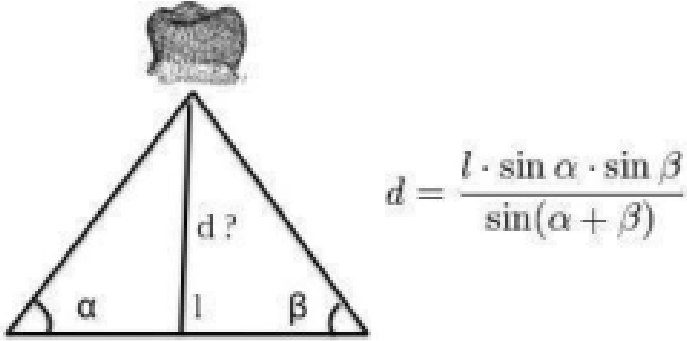
Üçgenleştirme Teknikleri (Triangulasyon Yöntemi)

Uzayda birbirleriyle üçgen oluşturan iki noktanın arasındaki mesafe ve bu noktalarla oluşturulan iki açı bilindiğinde, üçgenin kalan bileşenleri trigonometrik yöntemlerle belirlenebilir (Logozzo ve ark., 2014).

Triangulasyon teoremi, geometri ve trigonometri alanında uzun süredir kullanılan temel bir prensiptir. Bu teorem, bir noktanın diğer iki sabit noktaya göre uzaydaki konumunun; bu noktalarla yaptığı açılar ve iki nokta arasındaki bilinen mesafe kullanılarak hesaplanabileceğini ifade eder. Üç noktanın bir üçgen oluşturduğu

düşünüldüğünde, iki açı ile bir kenar uzunluğunun bilinmesi, üçgenin geri kalan tüm unsurlarının belirlenmesini sağlar (**Şekil 7**) (Logozzo ve ark., 2014).

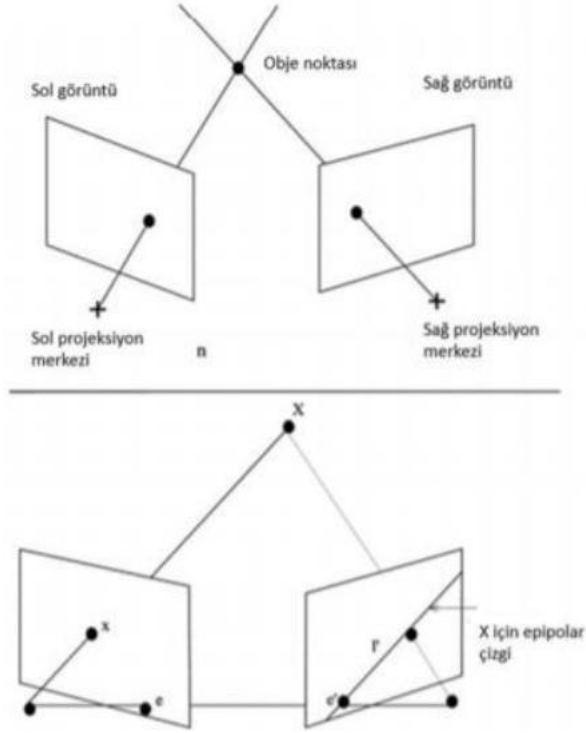
Şekil 9 Triangulasyon teoremi



Logozzo, S., et al., *Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. Optics and Lasers in Engineering*, 2014. 54: p. 203–221.

Bu yöntemde tarayıcı, üç referans noktasından yararlanarak nesnenin yüzeyini herhangi bir temas olmadan tarayabilir. Kullanılan sistem, nesneden alınan ışığın işlenme biçimine göre **pasif** veya **aktif** üçgenleme olarak iki kategoriye ayrılır. Pasif üçgenleme tekniğinde (**Şekil 8**), nesne üzerinden yansıyan ışık iki ayrı kamera tarafından algılanarak görüntüye dönüştürülür. Aktif üçgenlemede ise (**Şekil 9**) tarayıcı nesneye bir lazer ışını gönderir ve geri yansıyan ışık verileri üzerinden yüzeyin konumu belirlenir (Logozzo ve ark., 2014).

Şekil 10. Pasif triangulasyon yöntemi

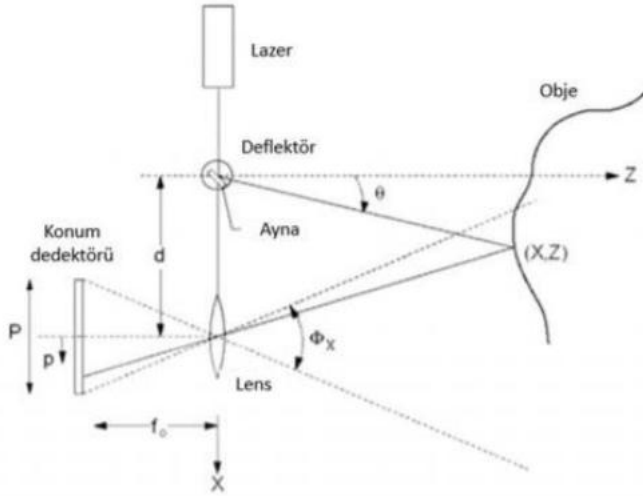


Logozzo, S., et al., *Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. Optics and Lasers in Engineering*, 2014. 54: p. 203–221.

Pasif yöntemde, konumu ve açıları bilinen iki kameradan yararlanılır. Obje ile kameralar arasında oluşan üçgensel geometri, bilgisayarın derinlik hesaplamalarını yapmasına olanak tanır. Pasif üçgenleme tekniği yüksek doğruluk sunmakla birlikte, yalnızca kontrastın yeterli olduğu yüzeylerde etkili sonuç verir. Aktif yöntemde ise lazer tarafından oluşturulan ışık demeti bir ayna aracılığıyla taranacak yüzeye yönlendirilir. Bazı sistemlerde lazer yerine LED ışığı da kullanılabilir. Pozisyona duyarlı bir görüntü detektörüne sahip kamera, nesne üzerindeki lazer noktasını izleyerek yüzeyin konumunu belirler. Lazer ışını kameranın görüş hattına paralel biçimde hareket eder ve ışının yüzeye olan uzaklığı, objenin

derinliğinin hesaplanmasını sağlar. Bu sistemin “aktif üçgenleme” olarak adlandırılmasının nedeni, kullanılan ışık kaynağının tarama sırasında hareketli olmasıdır. Kameralar ve lazer kaynağı birlikte üçgensel bir yapı oluşturur (Logozzo ve ark., 2014).

Şekil 11. *Aktif triangulasyon yöntemi*

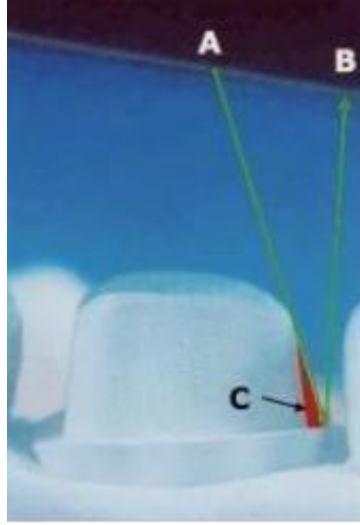


Choi, J.-H., et al., Review of recent developments for intra-oral scanners. *Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science*, 2015. **31**: p. 112-125.

Triangulasyon tekniğini temel alan tarayıcıların bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu yöntemde tarama alanı nispeten dardır, çevresel nem gibi klinik koşullardan kolayca etkilenir ve özellikle oklüzal yüzeylerin ayrıntılı morfolojisini tam olarak yansıtmakta zorlanabilirler (Persson ve ark., 2006). Bunun yanında, triangulasyon prensibiyle çalışan ağız içi tarayıcılarda sık karşılaşılan bir diğer sorun da **distal gölge fenomenidir**. Optik kameranın cismin distal tarafında oluşturduğu gölge, elde edilen görüntünün netliğini azaltır ve bu durum yalnızca distal yüzeyde ortaya çıkar. Cismin yüksekliği arttıkça veya koniklik açısı azaldıkça

bu gölge etkisi daha belirgin hâle gelir (Şekil 12) (Logozzo ve ark., 2014).

Şekil 12. *Distal gölge fenomeninin şematik gösterimi: (A) Cisme gönderilen ışık (B) Yüzeyden geri yansıyan ışık (C) Distal bölgede oluşan gölge alanı*

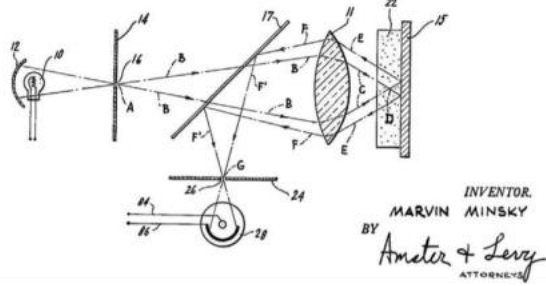


Mou, S.-H., et al., Influence of different convergence angles and tooth preparation heights on the internal adaptation of Cerec crowns. The Journal of Prosthetic Dentistry, 2002. 87(3): p. 248-255.

Konfokal Lazer Tarama Yöntemi

Konfokal görüntüleme, farklı derinliklerde hem odakta hem de odak dışında kalan görüntülerin elde edilmesi prensibine dayanan bir tekniktir. Bu yöntemle, görüntünün en net görüldüğü alan belirlenerek nesnenin lense olan uzaklığı hesaplanabilir. Nesnenin çevresinden çeşitli açılardan alınan ardışık görüntüler, yüzeyin bütüncül biçimde yeniden oluşturulmasını sağlar (Şekil 13). Böylece nesnenin konumu, elde edilen görüntülerin odak düzlemiyle ilişkisi üzerinden belirlenir (Evans ve ark., 2015).

Şekil 13 Konfokal mikroskobun çalışma prensibi



Minsky, Microscopy apparatus diagram, US Patent 3013467, Dec 1961. (Patent Filed on Nov. 7, 1957)

Netlik alanı, operatörün tarama konusundaki deneyiminden doğrudan etkilenir ve bu nedenle hareket kaynaklı bulanıklık oluşabilir. Konfokal yöntemin klinik kullanımında, geniş optik bileşenlere ihtiyaç duyulması bazı zorluklara yol açabilmektedir (Giménez ve ark., 2015b). Bu teknik, konfokal mikroskoplarda kullanılan optik yapı temel alınarak geliştirilmiş bir tarama sistemine dayanır. Tarayıcı, görüntülenecek bölgeye aynı anda yaklaşık 100.000 paralel lazer ışını gönderir ve bu ışınlar cihaz içindeki özel bir filtreden geçerek tek bir odak düzleminde toplanır. Filtrelenmiş ışık demeti hedef yüzeye ulaştıktan sonra geri yansır. Geri dönen ışınlar yeniden filtreye yönlendirilir; yalnızca odak düzlemiyle uyumlu olanlar filtreden geçebilirken, farklı odak seviyelerine sahip düzensiz ışık demetleri filtre tarafından engellenir. Bu sayede odak dışında kalan yüzeylerden gelen ışık nötralize edilir ve noktasal tarama ile birleştirme tekniği sayesinde tüm yapının üç boyutlu görüntüsü oluşturulabilir (Logozzo ve ark., 2014).

Filtreyi geçebilen ışın demetlerinin oluşturduğu veriler kullanılarak sanal görüntü elde edilir. Bu sayede odak düzlemine uymayan düzensiz ışık demetleri görüntüye dâhil olmaz ve oluşabilecek bozulmalar engellenir; sonuç olarak çok daha net bir görüntü ortaya çıkar (Richert ve ark., 2017).

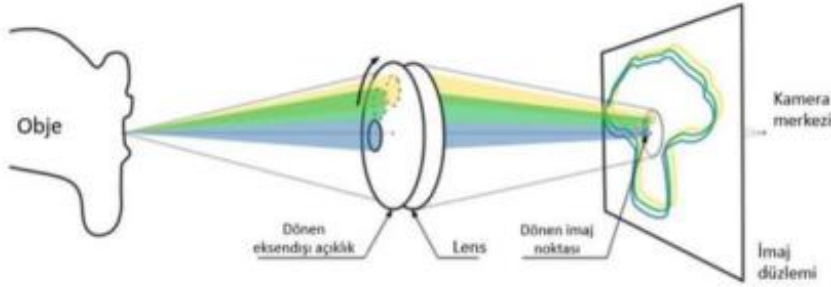
Işığın tamamen yansiyabilmesi için odak derinliğinin yaklaşık 50 mikron ya da daha düşük olması gerekir. Kırmızı lazer ışınları, dış yüzeyi üzerinde odak noktalarını algılayarak dişin anatomik yapısını kaydeder. Bu teknoloji ilk kez iTero (Cadent–Align Technology Inc.) tarafından geliştirilmiş ve CEREC Omnicam de de kullanılmıştır. Sistemin en önemli avantajlarından biri, herhangi bir pudra uygulamasına ihtiyaç duyulmaksızın yaklaşık 15 mikron hassasiyetle anatomik yapıların kaydedilebilmesidir (Richert ve ark., 2017).

Aktif dalga örnekleme (AWS) (Aktif Wavefront örnekleme)

Aktif dalga örnekleme tekniği, yüzey görüntülemesinde bir kamera ile eksen dışı konumlanan bir diyafram modülünün birlikte çalışmasına dayanır (**Şekil 14**). Bu modül, optik eksen etrafında dairesel bir hareket yaparak ilgi noktalarını farklı açılardan kaydeder. Daha sonra bu noktalardan elde edilen bilgiler işlenerek yüzeyin uzaklık ve derinlik değerleri hesaplanır (Logozzo ve ark., 2014).

Bu yöntemde tarama için lazer ışını kullanılmaz. Bunun yerine, tarayıcının ön kısmında yer alan ve hareketli bir lensle donatılmış optik bir kamera, yüzeyi video kaydı şeklinde görüntüler. Kamera, lensin farklı açılara hareket etmesiyle nesneyi çeşitli perspektiflerden algılar; yazılım da bu görselleri işleyerek nesnenin uzamsal konumunu belirler. Sistem saniyede yaklaşık 20 adet üç boyutlu görüntü üretir ve bu görüntüler yazılım tarafından birleştirilerek bütüncül bir 3D model oluşturulur (Logozzo ve ark., 2014).

Şekil 14. Aktif dalga örnekleme çalışma prensibi



Logozzo, S., et al., Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*, 2014. 54: p. 203–221.

Ağız içi tarayıcıları birbirinden ayıran birçok teknik ve pratik özellik bulunmaktadır. Tarama hızı, opak ajan kullanım gerekliliği, tarayıcı başlığının boyutları, satın alma maliyetleri ve yazılım güncellemelerinin ücretlendirilmesi bu özellikler arasında sayılabilir. Ancak dijital ölçülerin doğruluğunu belirlemede en kritik unsurun **netlik** olduğu vurgulanmaktadır (Ender ve ark., 2019; F. Mangano ve ark., 2016). Son yıllarda geliştirilen yüksek çözünürlüklü kameralar ve iyileştirilmiş yazılım algoritmaları sayesinde ağız içi tarayıcıların netlik düzeyi önemli ölçüde artmış; bu gelişme, tam çene gibi geniş alanların belirli koşullar altında klinik olarak kabul edilebilir hassasiyette dijital olarak kaydedilebilmesini mümkün hâle getirmiştir (Ender & Mehl, 2015; Ender ve ark., 2019; Patzelt ve ark., 2014).

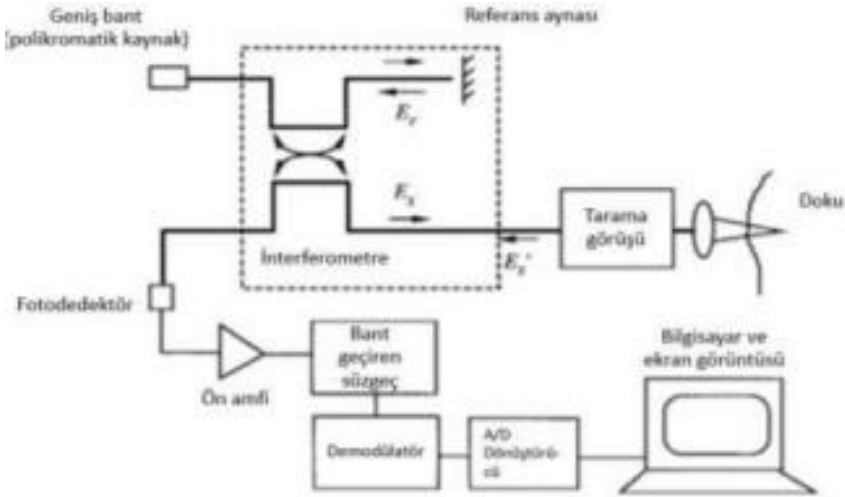
Optik Kohorent Tomografi (OKT)

Bu yöntem, biyolojik dokuların yüzey altındaki mikro yapılarının kesitsel görüntülerinin elde edilmesini sağlayan bir görüntüleme tekniğidir (Schmitt, 1999). Optik Koherens Tomografi (OKT) sistemi; geniş bant ışık kaynağı, referans kolu ve örnek kolu olmak üzere üç temel bileşenden oluşur. Örnek kolundaki ışık,

objektif lens aracılığıyla dokunun yüzey altındaki noktalara odaklanır (Miyazaki ve ark., 2009).

Referans kolu ise foto dedektörün bulunduğu yüzeyde yer alır. Dokudan geri saçılan ve optik özelliklerine göre değişime uğramış ışık, foto dedektörde referans kolundan gelen ışıkla birleşerek görüntünün oluşmasını sağlar (**Şekil 15**) (Logozzo ve ark., 2014).

Şekil 15 OKT çalışma prensibi



Logozzo, S., et al., *Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. Optics and Lasers in Engineering*, 2014. **54**: p. 203–221.

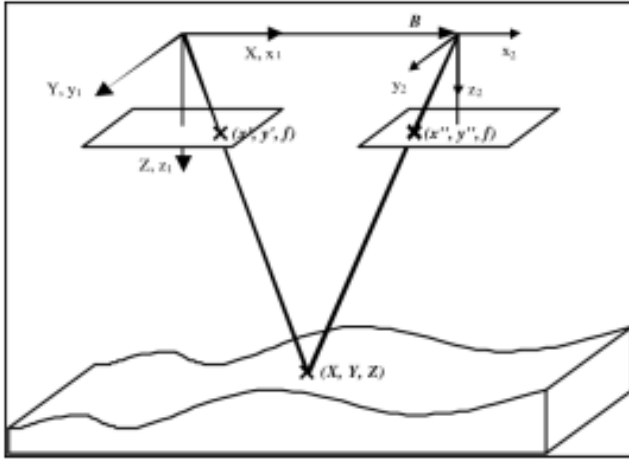
Stereofotogrametri

Stereofotogrametri, görüntülerin algoritmalar aracılığıyla analiz edilmesi sonucu tüm koordinatların (X, Y, Z) tahmin edilmesine dayanan bir yöntemdir. Bu teknikte donanım karmaşıklığından ziyade pasif ışık projeksiyonu ve yazılımın gücü ön plandadır; bu nedenle kullanılan optik kameralar daha kompakt yapıdadır ve kullanım kolaylığı sağlar. Üç boyutlu bir model

oluşturulabilmesi için taranacak yüzey, farklı konumlara yerleştirilen ışık kaynakları ve sensörler tarafından algılanır (Şekil 16). Sensör sayısının artması, elde edilen görüntünün doğruluğunu da yükseltir. Yalnızca sensör temelli bu sistem, diğer teknolojilere kıyasla daha ekonomik bir çözüm sunar (Giménez ve ark., 2015b).

Bu teknolojinin avantajları arasında kameranın daha küçük boyutlu olması, kullanımının daha kolay olması ve üretim maliyetlerinin düşük olması sayılabilir. Bu durum, pasif ışık projeksiyonuna ve güçlü yazılım altyapısına dayanmasından kaynaklanmaktadır (Richert ve ark., 2017).

Şekil 16. Stereofotogrametri çalışma prensibi



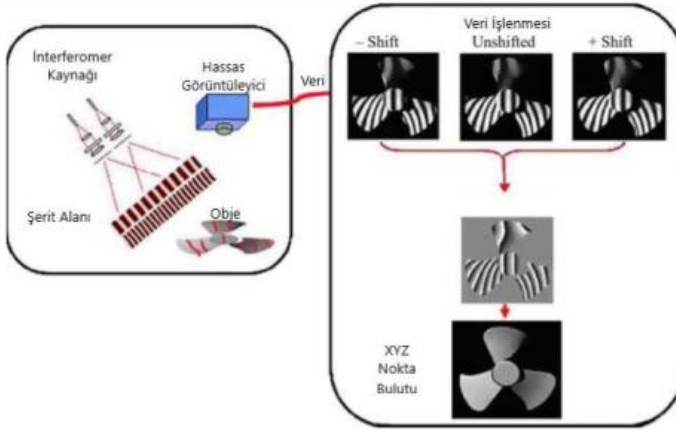
Heimonen, T., et al., Experiments in 3D measurements by using single camera and accurate motion. 2001. 356-361.

Akordeon Şerit İnterferometrisi (AFI)

Akordeon Şerit İnterferometrisi (Accordion Fringe Interferometry; AFI), klasik doğrusal lazer interferometri yönteminin üç boyutlu ölçüm yapabilecek şekilde genişletilmiş bir versiyonudur (Şekil 17). Bu teknolojinin ilk geliştirilmesi, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) Lincoln Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. AFI yönteminde iki nokta ışık kaynağı, yüzeyi

aydınlatarak bir parazit saçak deseni oluşturur. Projektörden uzak bir perspektiften bakıldığında, merceklerde ortaya çıkan saçak eğriliği yüksek çözünürlüklü dijital bir kamera tarafından kaydedilir (Bloss, 2008). Kamera ile lazer kaynağı arasındaki geometrik ilişkiler bilindiği için, kaydedilen saçak deseninin eğrilik miktarı, AFI algoritmaları tarafından yüzeyin dijital modeline dönüştürülür. Bu yöntemle çalışan görüntüleme sistemleri, kameranın her bir pikseli için X, Y ve Z koordinatlarını içeren bir yüzey noktası tanımlar (Bloss, 2008). DPI-3D tarayıcı sistemi, bu optik prensip temel alınarak geliştirilmiş bir örnek olarak gösterilebilir.

Şekil 17 Akordeon Şerit İnterferometrisi çalışma prensibi



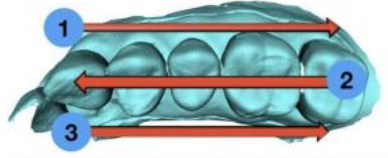
Bloss, R., Accordion fringe interferometry: a revolutionary new digital shape-scanning technology. Sensor Review - SENS REV, 2008. 28: p. 22-26.

Tarama protokolü

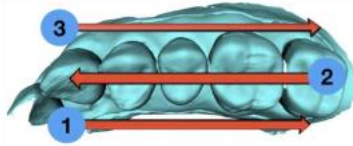
Her tarama sisteminin kendine özgü bir yazılım yapısı ve algoritması bulunur. Bu nedenle tarama sırasında cihazın önerdiği hareket yönüne uyulması ve belirtilen tarama sırasının takip edilmesi önem taşır. Üretici tarafından tavsiye edilen tarama protokolünden sapılması hâlinde, elde edilen verilerde hataların ortaya çıkabileceği bildirilmektedir (Şekil 18, 19, 20, 21, 22) (Mennito ve ark., 2018).

Tarama yolu kavramı, ağız içi tarayıcının belirli bir hareket düzeni ve yöntemle ilerlemesi gerektiğini ifade eder; bu yaklaşımın, ölçüm doğruluğunu artırdığı kabul edilmektedir (Patzelt ve ark., 2014). Yapılan çalışmalar, hem laboratuvar koşullarında hem de klinik ortamda konfokal tarayıcılarla elde edilen verilerde, takip edilen tarama yolunun doğruluk üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur (Schmitt, 1999).

Şekil 18 Tarama işlemine bukkal yüzeyden başlanan tarama yolu.



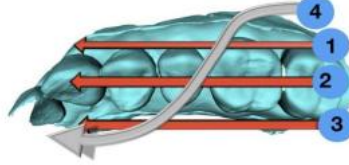
Şekil 19 Taramanın lingual yüzeyden başlatıldığı tarama yolu.



Şekil 20 Önce oklüzal yüzeylerin anteriordan posteriora tarandığı, ardından bukkal yüzeyden başlanıp linguale geçilerek posterio-anterior yönde tamamlanan tarama yolu.



Şekil 21 İkinci molardan başlayarak önce bukkal yüzeylerin, sonra oklüzal yüzeylerin ve ardından lingual yüzeylerin posteriordan anteriora doğru tarandığı; son olarak ikinci moların bukkalinden başlanıp kaninin lingual yüzeyinde bitirilen tarama yolu.



Şekil 22 Taramanın kaninden başlatıldığı, bukkal ve lingual yüzeyler arasında dönüşümlü geçiş yapılarak molara kadar ilerleyen tarama yolu (Mennito ve ark., 2018).



Mennito, A.S., et al., Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *J Esthet Restor Dent*, 2018. 30(2): p. 113-118.

Tarama sırasında elde edilen görüntüler, başlangıç noktasından itibaren küçük alanların sırayla eklenmesiyle genişletilir ve böylece daha kapsamlı bir görüntü ortaya çıkar. Ağız içi dokularının tarayıcıda oluşturduğu nihai üç boyutlu model, bu küçük görüntü parçalarının birbirini tamamlamasıyla oluşur. Bu nedenle ardışık olarak alınan görüntülerin, üst üste bindirilerek doğru şekilde birleştirilebilmesi için ortak ve uyumlu bölgelere sahip olması gerekir. Özellikle uzun, dişsiz kretlerin taranması bu nedenle güçleşebilir; çünkü bu bölgelerde yeterli referans yüzey bulunmadığından birleştirme hataları ortaya çıkabilir (Joda ve ark., 2017).

Tarama alanı genişledikçe kaydedilen veri miktarı arttığından, oluşabilecek hata oranı da yükselmektedir. Birçok çalışmada, iki implant arasındaki mesafenin gerçek değerinden sapması, özellikle geniş açıklıklarda hata oranının arttığını göstermiştir (Imburgia ve ark., 2017; F. G. Mangano ve ark., 2019;

Miyoshi ve ark., 2020). Bununla birlikte, bazı araştırmalar bu sorunun tüm ağız içi tarayıcı modelleri için geçerli olmadığını ve cihazdan cihaza farklılık gösterebildiğini bildirmektedir (Flügge ve ark., 2016; F. G. Mangano ve ark., 2019).

Tarama sırasında elde edilen veriler, genel olarak iki bölge altında değerlendirilir: taramanın başladığı **ilk görüntü alanı** ve bu bölgeden uzaklaştıkça oluşan **uzak tarama alanı**. Yapılan bir araştırmada, başlangıç noktasından uzaklaştıkça görüntüdeki bozulmaların belirgin şekilde arttığı bildirilmiştir (Giménez ve ark., 2015a).Başka bir çalışmada ise posterior bölgelerde alınan ölçümlerin, anterior bölgelere kıyasla daha az hata içerdiği gösterilmiştir. Özellikle ön bölgelerde daha yüksek sapma değerlerine rastlanması, bu bölgenin taranmasını teknik olarak daha güç hâle getirmektedir (Ender ve ark., 2019).

Günümüzde uygulama kolaylığı ve hassasiyeti ile popüler hale gelen ağız içi tarayıcıların diş hekimliği alanında gelişerek kullanımını arttıracakğı düşünülmektedir. Her yeni sistem ile mevcut durumda klinik olarak karşılaşılan problemlerin çözülmesine yönelik adımlar atılmaktadır. Restoratif diş hekimliği alanında pek çok yeni yöntem ve teknikle ağız içi tarayıcıların daha yaygın kullanılacakğı ve dijitalleşmenin devam edeceğı beklenilmektedir.

Kaynakça

3shape. (2024a, 2025-11-22). E4.
<https://www.3shape.com/tr/scanners/e4>

3shape. (2024b, 2025-11-22). TRIOS 5.
<https://www.3shape.com/tr/scanners/trios-5>

3shape. (2024c, 2025-11-22). TRIOS MOVE.
<https://www.3shape.com/en/trios-move>

3shape. (2025, 2025-10-22). Scanner.
<https://www.3shape.com/en/scanners/trios>

Anh, J. W., Park, J. M., Chun, Y. S., Kim, M., & Kim, M. (2016). A comparison of the precision of three-dimensional images acquired by 2 digital intraoral scanners: effects of tooth irregularity and scanning direction. *Korean J Orthod*, 46(1), 3-12. doi:10.4041/kjod.2016.46.1.3

Bilmenoglu, C., Cilingir, A., Geckili, O., Bilhan, H., & Bilgin, T. (2020). In vitro comparison of trueness of 10 intraoral scanners for implant-supported complete-arch fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent*, 124(6), 755-760. doi:10.1016/j.prosdent.2019.11.017

Bloss, R. (2008). Accordion fringe interferometry: a revolutionary new digital shape-scanning technology. *Sensor Review - SENS REV*, 28, 22-26. doi:10.1108/02602280810849983

Bosniac, P., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2019). Comparison of an indirect impression scanning system and two direct intraoral scanning systems in vivo. *Clin Oral Investig*, 23(5), 2421-2427. doi:10.1007/s00784-018-2679-4

Chiu, A., Chen, Y. W., Hayashi, J., & Sadr, A. (2020). Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors (Basel)*, 20(4). doi:10.3390/s20041157

Christensen, G. J. (2008). Will digital impressions eliminate the current problems with conventional impressions? *J Am Dent Assoc*, 139(6), 761-763. doi:10.14219/jada.archive.2008.0258

Christensen, G. J. (2009). Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. *J Am Dent Assoc*, 140(10), 1301-1304. doi:10.14219/jada.archive.2009.0054

Cuesta, E., Rico, C., Fernández, P., Fernandez, D., & Valiño, G. (2009). Influence of roughness on surface scanning by means of a laser stripe system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43, 1157-1166. doi:10.1007/s00170-008-1794-9

D., S. (2025, 2025). Cerec Primescan. <https://www.dentsplysirona.com/tr-tr/kesfet/cerec/cerec-primescan.html>

DentsplySirona. (2025). https://www.dentsplysirona.com/tr-tr/kesfet/konuya-gore-kesfet/kategoriye-g%C3%B6re/digital-impression/di_klini_i-icin-dijital-olcme.html

Ender, A., & Mehl, A. (2015). In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int*, 46(1), 9-17. doi:10.3290/j.qi.a32244

Ender, A., Zimmermann, M., & Mehl, A. (2019). Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent*, 22(1), 11-19.

Evans, C. A., Kusnoto, B., & Taneva, E. T. (2015). 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. In F. Bourzgui (Ed.), *Issues in Contemporary Orthodontics*. London: IntechOpen.

Flügge, T. V., Att, W., Metzger, M. C., & Nelson, K. (2016). Precision of Dental Implant Digitization Using Intraoral Scanners. *Int J Prosthodont*, 29(3), 277-283. doi:10.11607/ijp.4417

Flügge, T. V., Schlager, S., Nelson, K., Nahles, S., & Metzger, M. C. (2013). Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 144(3), 471-478. doi:10.1016/j.ajodo.2013.04.017

Giménez, B., Özcan, M., Martínez-Rus, F., & Pradíes, G. (2015a). Accuracy of a Digital Impression System Based on Active Triangulation Technology With Blue Light for Implants: Effect of Clinically Relevant Parameters. *Implant Dent*, 24(5), 498-504. doi:10.1097/id.0000000000000283

Giménez, B., Özcan, M., Martínez-Rus, F., & Pradíes, G. (2015b). Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience, implant angulation, and depth. *Clin Implant Dent Relat Res*, 17 Suppl 1, e54-64. doi:10.1111/cid.12124

Imburgia, M., Logozzo, S., Hauschild, U., Veronesi, G., Mangano, C., & Mangano, F. G. (2017). Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC oral health*, 17(1), 92. doi:10.1186/s12903-017-0383-4

Institute of Digital, D. (2024). First impressions of the new iTero Lumina intraoral scanner. Retrieved from https://instituteofdigitaldentistry.com/news/first-impressions-of-the-new-itero-lumina-intraoral-scanner/?srsltid=AfmBOorjIvM8LtD5NkYTC7AXDLr3ZAMAZRf-0FKjaFRFM8j0yX_isMEp

Ireland, A. J., McNamara, C., Clover, M. J., House, K., Wenger, N., Barbour, M. E., . . . Sandy, J. R. (2008). 3D surface

imaging in dentistry - what we are looking at. *Br Dent J*, 205(7), 387-392. doi:10.1038/sj.bdj.2008.845

iTero. (2025). iTero Element 5D.
<https://www.iteero.com/tr/our-solutions/iteero-element-5d>

Joda, T., Ferrari, M., Gallucci, G. O., Wittneben, J. G., & Brägger, U. (2017). Digital technology in fixed implant prosthodontics. *Periodontol 2000*, 73(1), 178-192. doi:10.1111/prd.12164

Kostiukova, V. V., Riakhovskii, A. N., & Ukhanov, M. M. (2014). [Comparative study of intraoral 3D digital scanners for restorative dentistry]. *Stomatologiya (Mosk)*, 93(1), 53-59.

Logozzo, S., Zanetti, E., Franceschini, G., Kilpela, A., & Mäkinen, A. (2014). Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*, 54, 203–221. doi:10.1016/j.optlaseng.2013.07.017

Mangano, F., Shibli, J. A., & Fortin, T. (2016). Digital Dentistry: New Materials and Techniques. *Int J Dent*, 2016, 5261247. doi:10.1155/2016/5261247

Mangano, F. G., Hauschild, U., Veronesi, G., Imburgia, M., Mangano, C., & Admakin, O. (2019). Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC oral health*, 19(1), 101. doi:10.1186/s12903-019-0792-7

Medit. (2024, 2025-11-22). i700.
<https://www.medit.com/dental-clinic-i700>

Mennito, A. S., Evans, Z. P., Lauer, A. W., Patel, R. B., Ludlow, M. E., & Renne, W. G. (2018). Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital

impression systems. *J Esthet Restor Dent*, 30(2), 113-118. doi:10.1111/jerd.12371

Minsky, M. (1961).Microscopy apparatus diagram, US Patent 3013467 (Patent Filed on Nov. 7, 1957)

Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Tamaki, Y. (2009). A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*, 28(1), 44-56. doi:10.4012/dmj.28.44

Miyoshi, K., Tanaka, S., Yokoyama, S., Sanda, M., & Baba, K. (2020). Effects of different types of intraoral scanners and scanning ranges on the precision of digital implant impressions in edentulous maxilla: An in vitro study. *Clin Oral Implants Res*, 31(1), 74-83. doi:10.1111/clr.13548

Mörmann, W. H. (2006). The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc*, 137 Suppl, 7s-13s. doi:10.14219/jada.archive.2006.0398

Mörmann, W. H., Brandestini, M., Lutz, F., & Barbakow, F. (1989). Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int*, 20(5), 329-339.

Palin, W., & Burke, F. J. (2005). Trends in indirect dentistry: 8. CAD/CAM technology. *Dent Update*, 32(10), 566-572. doi:10.12968/denu.2005.32.10.566

Papaspnyridakos, P., Chen, C. J., Gallucci, G. O., Doukoudakis, A., Weber, H. P., & Chronopoulos, V. (2014). Accuracy of implant impressions for partially and completely edentulous patients: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29(4), 836-845. doi:10.11607/jomi.3625

Patzelt, S. B., Emmanouilidi, A., Stampf, S., Strub, J. R., & Att, W. (2014). Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners.

Clin Oral Investig, 18(6), 1687-1694. doi:10.1007/s00784-013-1132-y

Persson, A., Andersson, M., Oden, A., & Sandborgh-Englund, G. (2006). A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent*, 95(3), 194-200. doi:10.1016/j.prosdent.2006.01.003

Planmeca. (2025, 2025-11-22). Emerald S. <https://www.planmeca.com/cadcam/dental-scanning/planmeca-emerald-s/>

Planmeca Emerald® S: Compact intraoral scanner for capturing digital impressions. (2025). *Planmeca*. Retrieved from <https://www.planmeca.com/cadcam-dentistry/intraoral-scanners/planmeca-emerald-s/>

Renne, W., Ludlow, M., Fryml, J., Schurch, Z., Mennito, A., Kessler, R., & Lauer, A. (2017). Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*, 118(1), 36-42. doi:10.1016/j.prosdent.2016.09.024

Richert, R., Goujat, A., Venet, L., Viguie, G., Viennot, S., Robinson, P., . . . Ducret, M. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng*, 2017, 8427595. doi:10.1155/2017/8427595

Schmitt, J. M. (1999). Optical coherence tomography (OCT): a review. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 5(4), 1205-1215. doi:10.1109/2944.796348

Sirona, D. (2024, 2025-11-22). inEos X5. <https://www.dentsplysirona.com/tr-tr/kesfet/markaya-goere-kefet/ineos-x5.html>

Tsirogiannis, P., Reissmann, D. R., & Heydecke, G. (2016). Evaluation of the marginal fit of single-unit, complete-coverage ceramic restorations fabricated after digital and conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*, 116(3), 328-335.e322. doi:10.1016/j.prosdent.2016.01.028

Yuzbasioglu, E., Kurt, H., Turunc, R., & Bilir, H. (2014). Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC oral health*, 14, 10. doi:10.1186/1472-6831-14-10

Zimmermann, M., Mehl, A., Mörmann, W. H., & Reich, S. (2015). Intraoral scanning systems - a current overview. *Int J Comput Dent*, 18(2), 101-129.

Zimmermann, M., Valcanaia, A., Neiva, G., Mehl, A., & Fasbinder, D. (2018). Influence of Different CAM Strategies on the Fit of Partial Crown Restorations: A Digital Three-dimensional Evaluation. *Oper Dent*, 43(5), 530-538. doi:10.2341/17-130-l

RESTORATİF DIŞ HEKİMLİĞİNDE 3 BOYUTLU YAZICILAR

**DEREN GÖKCE GÜVEN³
HÜSEYİN HATIRLI⁴**

Giriş

Üç boyutlu (3B) baskı, diğer bir adıyla eklemeli üretim (Lukić, Clarke ve ark. 2016), ileri bir üretim teknolojisidir. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) dijital modellerine dayanır ve standartlaştırılmış malzemeler kullanarak belirli otomatik süreçlerle kişiye özel 3B nesneler oluşturur (Vukicevic, Mosadegh ve ark. 2017; Lin, Fang ve ark. 2019; Alharbi, Alharbi ve ark. 2018). 3B baskı teknolojisinde CAD verileri kullanılarak tekli veya küçük seri parçaların, yeni örneklerin, karmaşık şekilli ürünlerin, kalıpların ve modellerin hızlı üretimi mümkündür (Bassoli, Gatto ve ark. 2007). Bu teknoloji, yüksek malzeme verimliliği, yüksek ekonomik fayda ve hassas üretim gibi birçok avantaja sahiptir. Diğer taraftan, işlemenin zaman alıcı ve malzeme maliyetinin yüksek olması dezavantaj oluşturmaktadır. 3B baskıya uygun malzemelerdeki

³ Arş. Gör., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0009-0005-3205-4665

⁴ Doç. Dr., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0000-0002-4451-7576

gelişmeler sayesinde, çeşitli endüstriler 3B baskı teknolojisini yalnızca işlevsel prototipler oluşturmak için değil, aynı zamanda özgün uygulamalarına uygun nihai ürünleri üretmek için de kullanmaktadır.

Günümüzde 3B baskı teknolojisi, yüksek hassasiyet ve doğrulukla karmaşık yapılar üretme kapasitesi sayesinde büyük talep görmektedir. Metaller, termoplastikler, hidrojel yapılar, hücre dışı matriks malzemeleri, seramikler, fiberle güçlendirilmiş kompozitler, polimerler, beton malzemeleri ve hatta akıllı malzemeler olarak bilinen şekil hafızalı alaşımlar, katmanlı-eklemeli imalattaki gelişmelerin zirveye ulaşması ve pek çok sorunun ortadan kalkması ile artık kolaylıkla 3B baskı ile üretilabilmektedir (Kabir, Mathur ve ark. 2020). Ayrıca bu teknoloji, tüketicilerin kendi spesifikasyonlarına uygun nihai ürünler için daha geniş seçeneklere sahip olduğu yeni bir kitlesel özelleştirme çağını başlatmıştır. Aynı zamanda 3B baskı tesisleri müşteriye daha yakın konumlandırılabilir veya kişisel kullanım amacıyla ev ortamında dahi uygulanabilir; bu durum daha esnek ve uyarlanabilir bir üretim süreci ile daha yüksek düzeyde kalite kontrolünü mümkün kılar. Dahası, 3B baskı teknolojisinin kullanımı küresel ölçekte taşımacılık ihtiyacını önemli ölçüde azaltarak hem enerji hem de zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Tıp ve diş hekimliğinde, 3B baskı teknolojisindeki gelişmeler klinik sonuçları iyileştiren çeşitli faydalı uygulamaları mümkün kılmıştır. Teknolojik gelişmeler, klinisyenlerin hastaya özgü tıbbi cihazlar sağlamasına olanak tanımıştır. Bu cihazlar, hastanın anatomisine bağlı olarak bireysel görüntüleme verileri ve 3B modeller kullanılarak özel olarak üretilmektedir (Dawood, Marti ve ark. 2015). 3B baskı; ortopedi, cerrahi ve hatta insan organları dâhil olmak üzere tıbbın birçok alanında hassas cerrahi kılavuzların, hastaya özel implantların, kişinin benzersiz anatomisine uyumlu şekilde tasarlanabilen protezlerin, üç boyutlu dokuların ve hatta tüm

işlevsel organların ve organizmaların üretilmesini mümkün kılmıştır (Shabbirahmed, Sekar ve ark. 2023). Teknoloji, hastaya özel, kişiselleştirilmiş yedek organların üretimine olanak tanıdığı için organ nakli ihtiyacının artmasına yönelik önemli bir potansiyel göstermektedir. Tıp alanının ötesinde, üç boyutlu baskı hayal edilebilecek hemen her sektörde çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Bu çok yönlü teknoloji; moda ürünlerinden gıda ürünlerine, oyuncaklardan uçaklar için karmaşık parçalara ve hatta roket gövdeleri ile motorlarına kadar her türlü ürünün üretiminde kullanılabilmektedir.

Tarihçe

CAD/CAM uygulamalarının dış hekimliğine girişi 1970’li yıllara uzanmakta olup, bu teknoloji ilk olarak Duret ve Preston tarafından klinik pratiğe kazandırılmıştır (Duret and Preston 1991). Eklemeli üretim yöntemlerinin temelini oluşturan üç boyutlu yazıcıların gelişimi ise Dr. Kodama’nın çalışmalarıyla başlamıştır. Kodama, geliştirdiği yöntem için 1980 yılında patent başvurusunda bulunmuş ancak çeşitli nedenlerle süreci tamamlayamamıştır (Kodama 1981), (Bhusnure, Gholve ve ark. 2016). Üç boyutlu baskı teknolojisinde önemli bir dönüm noktası ise Charles Hull’un 1986 yılında stereolitografi (SLA) tekniğinin patentini almasıyla gerçekleşmiştir (Hull 1984). Hull aynı yıl “3D Systems” şirketini kurarak Standart Şablon Kütüphanesi (Standard Tessellation Language, STL) dosya formatını da geliştirmiştir (Gross, Erkal ve ark. 2014). STL formatı, CAD ortamında oluşturulan katı modellerin yüzeylerini üçgen ağ yapılarıyla tanımlayarak üç boyutlu yazıcılarla veri alışverişini mümkün kılan temel dosya türüdür.

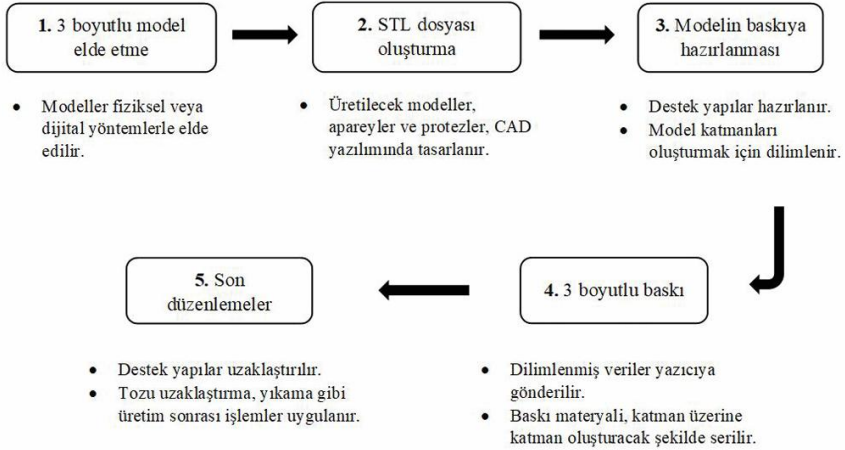
3 Boyutlu Yazıcılar ile Üretim Süreci

Temel olarak 3 boyutlu nesnelerin üretilmesinde eklemeli üretim ve eksiltme ile üretim olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmaktadır. Eklemeli üretim, Amerikan Test ve Malzeme

Topluluğu (American Society for Testing and Materials) tarafından şöyle tanımlanmıştır: “3 boyutlu model verilerinden cisimler oluşturmak için kullanılan, eksiltme ile üretim yöntemlerinin aksine katman üstüne katman şeklinde malzemelerin birleştirilmesi işlemidir.” (Astm 2015).

Üç boyutlu yazıcılarla gerçekleştirilen üretim süreci genel olarak dört temel aşamadan oluşur: veri toplama, verilerin işlenmesi, üretim aşaması ve üretim sonrası işlemler. Veri toplama aşaması temaslı ya da temassız şekilde birçok teknoloji ile gerçekleştirilebilir. Bu aşama; bilgisayarlı tomografi (CT), konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ile ağız içi ve ağız dışı tarayıcılar kullanılarak gerekli verilerin elde edilmesiyle tamamlanabilir. Veri işleme süreci, sanal ortamda yürütülen tasarım aşamasını ifade eder. Bu aşamada CAD yazılımlarından yararlanılarak model oluşturulur ve üç boyutlu yazıcıların okuyabileceği STL dosya formatına dönüştürülerek üretim cihazlarına aktarılır. STL formatı, tasarımın yüzeyini çok sayıda üçgene bölerek yalnızca yüzey geometrisi ve hacim bilgilerini depolar; üçgen sayısının artması yüzey detayının da artmasını sağlar. Üretim aşamasında STL dosyasındaki model katmanlara ayrılır ve bu katmanlar üst üste eklenerek nesnenin fiziksel formu oluşturulur. Üretim sonrasında ise üretici firmanın önerilerine göre nesnenin polimerizasyonu ya da yıkanması gibi prosedürlerle üretim tamamlanır (Giannatsis and Dedoussis 2009), (Çelik, Karakoç ve ark. 2013).

Şekil 1: 3 boyutlu yazıcılar ile üretim süreci



Bilgisayar destekli tasarım ile oluşturulan modeller, üç boyutlu yazıcılar sayesinde kısa sürede üretilebilmektedir. Bu yöntem, geleneksel üretim süreçlerinde ihtiyaç duyulan makine, donanım ve işçilik maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca karmaşık yüzey geometrilerine sahip yapılar da bu teknolojilerle daha kolay biçimde oluşturulabilir. Bununla birlikte, son yıllarda malzeme seçenekleri artmış olsa da, üç boyutlu yazıcıların sunduğu malzeme çeşitliliği hâlâ geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında daha sınırlıdır. Üretim katmanlarının oldukça ince olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğü zaman zaman bir diğer kısıtlayıcı unsur olarak karşımıza çıkabilmektedir (Demir, Demir ve ark. 2016), (Lipson and Kurman 2013) 3 boyutlu yazıcı ile üretim süreci Şekil 1’de gösterilmiştir (Dawood, Marti ve ark. 2015)

3 Boyutlu Baskı Teknolojileri

Farklı gereksinimler ve teknolojinin getirdiği imkânlar göz önüne alınarak günümüze kadar çeşitli malzemelerin kullanılması ile üretim yapabilme kabiliyetine sahip çeşitli 3B baskı cihazları geliştirilmiştir. Restoratif diş hekimliğinde geçici ve daimi restorasyonların üretilmesi açısından rezin polimerizasyonu prosedürüne dayalı olarak çalışan Stereolitografi (SLA) ile Dijital Işık İşleme (DLP) teknolojileri öne çıkmaktadır.

1. Stereolitografi (SLA):

Stereolitografi (SLA) sıvı rezinleri fotokimyasal süreçlerle katman katman polimerize ederek yüksek doğrulukta ve ince detaylara sahip tasarımlar üretebilme kabiliyetine sahiptir (Della Bona, Cantelli ve ark. 2021). SLA, yüksek hızı ve yüksek doğruluğu ile öne çıkan bir 3B baskı teknolojisidir. Hastaya özel, kişiselleştirilmiş tasarımlar üretebilme kabiliyeti, diş hekimliği camiasında büyük ilgi uyandırmıştır. SLA teknolojisi; geçici ve kalıcı kronlar, sabit bölümlü protezler, cerrahi kılavuzlar ve şablonlar ile tanısal modellerin ve dökümlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021). Bu teknolojinin en önemli dezavantajlarından biri, kürlenene malzemenin lazer ışınına takip etmesi nedeniyle, küçük tasarımlar için bile sürecin zaman alıcı olabilmesidir (Della Bona, Cantelli ve ark. 2021). Bununla birlikte, diş hekimliğinde SLA teknolojisi, geleneksel yaklaşımlara kıyasla daha verimli ve daha az zaman alan bir üretim modelinin ve tedavi süresinin önünü açmıştır.

2. Dijital Işık İşleme (DLP):

Dijital ışık işleme (DLP) baskı, uzun üretim süreleri sorununu çözerek son derece değerli bir 3B baskı teknolojisi olarak ortaya çıkarılmıştır (Al Hamad, Al-Rashdan ve ark. 2022). DLP, fotopolimer rezinleri katman katman ışık kaynağı ile kürleyerek yüksek hassasiyet ve detay sunan tasarımlar elde edilmesini sağlar (Yüceer, Kaynak Öztürk ve ark. 2025). Bu ışıkla kürleme teknolojisi, SLA baskıda görülen yavaş üretim sorununa bir alternatif oluşturur; çünkü DLP, bir ışık gücü ile tüm katmanı aynı anda kürleyebilir.

Ancak bu teknolojinin en büyük dezavantajı, her bir voxel boyutu ile ilgilidir. Voxel, çözünürlük açısından bir “pikselin” 3B karşılığıdır (Thijssen, Toombs ve ark. 2023). Daha büyük voxel boyutları düşük çözünürlüğe (daha bloklu ve karemsi tasarım), daha

küçük voxel boyutları ise yüksek çözünürlüğe (daha pürüzsüz tasarım) yol açar (Thijssen, Toombs ve ark. 2023).

Günümüzde DLP baskı, klinik olarak kabul edilebilir geçici ve kalıcı kron ve sabit bölümlü protetik restorasyonları ile hareketli protezlerin üretimini gerçekleştirebilmektedir (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021). Genel olarak, DLP baskı, klinisyenlere daha öngörülebilir tedavi sonuçları için yenilikçi ve zaman tasarrufu sağlayan çözümler sunmaktadır.

3. Eriyik Yığma Modelleme (FDM):

Eriyik yığma modelleme (FDM), sağlık alanında birçok uygulamada kullanılan faydalı bir baskı yöntemidir. FDM, ısıtıldığında yarı katı hâle gelen termoplastik filamentleri kullanır ve bunları katman katman ekstrüde ederek yerleştirir (Cailleaux, Sanchez-Ballester ve ark. 2021). Katmanlar soğuduğunda sertleşir, ancak yerleştirildiklerinde önceki katmandaki ısıtılmış filament ile moleküler bağ oluşturur (Cailleaux, Sanchez-Ballester ve ark. 2021). Bu teknoloji, malzeme katmanları arasında güçlü bir bağlanma sağlar, ancak yalnızca termoplastik malzemelerle çalışabilir. Günümüzde FDM teknolojisi, oklüzal apareylerin üretiminde ve kontrollü salınımlı ilaç taşıma sistemleri gibi farmasötik uygulamalarda yer bulmuştur (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021). Diş hekimliğinde kullanım alanları oldukça sınırlıdır.

4. Seçici Lazer Sinterleme (SLS):

SLS, yüksek sıcaklıktaki bir lazer kullanarak toz malzemeleri seçici şekilde birleştirir (Yang, Li ve ark. 2022). Protetik diş hekimliği alanında zaman tasarrufu sağlayan bir 3B baskı yöntemi olarak öne çıkmıştır. Kullanılan malzemeler seramikten metale ve hatta polimerlere kadar geniş bir yelpazeyi kapsar (Yang, Li ve ark. 2022). Bu yöntem, diş hekimliğinde yüksek

yoğunluklu malzemeler üretilebilen nadir baskı yöntemlerinden biri olması nedeniyle önemlidir (Yang, Li ve ark. 2022).

Bu teknolojinin en büyük dezavantajı, düzgün baskı için geniş bir altyapı gerektirmesidir (Dawood, Marti ve ark. 2015). SLS, sabit protez metal alt yapılarında ve hareketli bölümlü protez metal kaidelerinin üretiminde önemli kullanım kolaylıkları göstermiş ve geleneksel tekniklerdeki insan hatasını önemli ölçüde azaltmıştır (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021). Seçici lazer sinterleme, diş hekimliğinde metalin geleneksel dökümü ile karşılaştırıldığında daha güvenli, tekrarlanabilir doğrulukta ve öngörülebilir sonuçlar sağlar.

5. Seçici Lazer Eritme (SLM):

Seçici lazer eritme (SLM) baskı yöntemi, malzemeler ve süreçler açısından SLS baskı yöntemine benzerdir; temel fark, SLM’de malzemenin sinterlenmek yerine tamamen eritilmesidir (Goguta, Lungeanu ve ark. 2021).

6. Fotopolimer Püskürtme (Photopolymer Jetting / PolyJet):

Fotopolimer püskürtme baskı, genellikle PolyJet 3B baskı olarak adlandırılır ve diş hekimliği uygulamalarında çok renkli baskı yapabilme imkânı sunar. PolyJet, mürekkep püskürtme başlıklarını kullanarak, bir toz yatağındaki birden fazla voxel üzerine bağlayıcı damlacıkları uygular (Chen, Zhao ve ark. 2022). Bu işlem, polimer tozunun erimesine ve ardından kızılötesi ışıklarla kürlenmesine yol açar (Chen, Zhao ve ark. 2022). Teknolojinin çok malzemeli ve çok renkli bileşenler oluşturabilme yeteneği, diğer baskı yöntemlerine göre büyük avantaj sağlar.

Başlıca dezavantajlardan biri, baskı başlıklarının bakımının gerekli olmasıdır; çünkü tıkanmaya oldukça elverişlidirler (Dawood, Marti ve ark. 2015). Günümüzde PolyJet baskı, dental modellerin ve geçici kronların üretiminde kullanılmaktadır (Khorsandi,

Fahimipour ve ark. 2021). Üretilen malzemeler yüksek mekanik özellikler sunmadığından ağız içerisinde kullanımı sınırlıdır (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021). Fotopolimer püskürtme, estetik diş hekimliğinde oldukça kıymetli bir yere sahip olan çok renkli baskı seçenekleri sunarak diş hekimliği endüstrisinde yaygın kullanım sağlayabilme potansiyeline sahiptir.

7. Toz Bağlayıcı Baskı (Powder Binder Jetting / Binder Jetting):

Toz bağlayıcı baskı, binder jetting olarak da bilinir ve medikal sınıf silikonlar ile biyouyumlu elastomerleri içeren maksillofasiyal protezler için faydalı bir yöntemdir (Lee, Zheng ve ark. 2022). Binder jetting genellikle su bazlı bir bağlayıcı kullanarak nişasta bazlı toz katmanlarını seçici şekilde birleştirir ve ardından silikon polimerlerle infiltre eder (Lee, Zheng ve ark. 2022). Ortaya çıkan malzeme, kabul edilebilir özelliklere ulaşması için üretim sonrası işlemlerden geçirilir (Lee, Zheng ve ark. 2022).

Bu teknolojinin, hastaya özel ve renk eşleşmeli maksillofasiyal tasarımlar üretme yeteneği eşsizdir. Üretilen malzemeler genellikle mekanik olarak zayıftır ve kırılabilir (Dawood, Marti ve ark. 2015). Daha önce belirtildiği gibi, powder binder jetting, hastaya özel maksillofasiyal uygulamalara hızlı bir çözüm sunması açısından yüksek potansiyele sahip bir üretim teknolojisidir (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021).

8. Lazer Biyobaskı (3D Laser Bioprinting / LAB):

Üç boyutlu lazer biyobaskı (LAB), eklemeli üretim ve biyoteknolojinin yenilikçi bir birleşimi olarak görülmektedir. Bu yöntem, dental rejeneratif terapiler için önemli ilerlemeler göstermiştir. LAB baskı, hassas lazer tabanlı teknikler kullanarak biyo-mürekkepler (bioink), canlı hücreler ve çeşitli biyomalzemelerin katman katman yerleştirilmesini sağlar (Ahn, Lee ve ark. 2016).

Bu yenilikçi teknoloji, periodontal rejenerasyon, kemik artırımı ve oral mukoza rekonstrüksiyonu için doku mühendisliği yapılmış yapılar üretmede kullanılmıştır (Ahn, Lee ve ark. 2016). Genel olarak, 3B lazer biyobaskı, diş tedavilerinin geleceğini şekillendirme konusunda büyük potansiyele sahiptir; klinisyenlere karmaşık sorunlar için hastaya özel, rejeneratif çözümler tasarlama imkânı sunar ve hasta sağlığı ile yaşam kalitesini artırma potansiyeli taşır.

9. Elektron Işınli Eritme (EBM):

Elektron ışınli eritme (EBM), metal bileşenlerin üretiminde kullanılan eklemeli imalat yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde elektron demeti, yüksek vakum ortamında metal tozunu katmanlar hâlinde eriterek yoğun bir yapı oluşturur. Elektron akımı, volfram bir filamentin ısıtılmasıyla üretilir ve oluşan demet manyetik alanlar yardımıyla yönlendirilir. Her katman, CAD modelinde tanımlanan geometriye uygun şekilde eritilerek biçimlendirilir. Diğer metal sinterleme yöntemlerinden farklı olarak, EBM ile üretilen parçalar tam yoğunluğa ulaşır; boşluksuz yapıları sayesinde yüksek mekanik dayanım sergiler (Van Noort 2012).

3 Boyutlu Baskı ile Üretimin Avantaj ve Dezavantajları

1. Avantajları

- Tasarım esnekliği: Üç boyutlu baskıya dayalı eklemeli üretim, karmaşık geometrilere sahip parçaların üretiminde geleneksel yöntemlere kıyasla daha az malzeme kullanımıyla, tasarım üzerinde yüksek düzeyde kontrol sağlayıp ve farklı materyallerin bir arada kullanılmasına imkân tanıyarak önemli bir esneklik sunar.

- Üretim esnekliği: Eklemeli üretimin üretim sürecine sağladığı önemli avantajlardan biri, dijital tasarım üzerinde değişiklik yapılmasının son derece kolay olmasıdır. Bu yöntem

sayesinde karmaşık parçalar tek bir bileşen halinde üretilebilir. Ayrıca kullanılan cihazların kurulumu ve montajı da kolaydır.

- **Kaynak verimliliği:** Konvansiyonel üretim yöntemlerinde kalıplar, kesiciler ve benzeri yardımcı parçalara ihtiyaç duyulurken, eklemeli üretim bu gereksinimleri büyük ölçüde ortadan kaldırır. Bunun yanında, üretimin dijital verilere dayalı olması nedeniyle nakliye ve stok ihtiyacı da önemli ölçüde azalır. Tasarım dosyalarının elektronik ortamda iletilmesiyle, istenilen zamanda üretim gerçekleştirilebilir. Tüm bu durumlar maliyetlerin düşmesine katkı sağlar.

- **Malzeme verimliliği:** Aşındırıcılar kullanılarak eksiltme ile üretimde, önemli miktarda malzemenin uzaklaştırılması gerekir. Buna karşın üç boyutlu baskıya dayalı eklemeli üretimde yalnızca gerekli miktarda malzeme kullanılır ve hammadde verimli bir şekilde değerlendirilir; böylece materyal israfı büyük ölçüde önlenmiş olur (Jasiuk, Abueidda ve ark. 2018), (Huang, Liu ve ark. 2013).

2. Dezavantajları

- **Boyut sınırlamaları:** Eklemeli üretim süreçlerinde, katmanların oluşturulması için genellikle sıvı polimerler ya da rezin ve alçıdan oluşan bir toz katman kullanır. Bu materyallerin mekanik dayanımı sınırlı olduğundan, üç boyutlu yazıcılar büyük ölçekli nesnelerin üretiminde genellikle yetersiz kalır. Ayrıca üretim sürelerinin uzun olması, büyük boyutlu nesnelerin bu yöntemle üretilmesini pratik olmaktan çıkarır.

- **Kusurlar:** Eklemeli üretim ile üretilen parçaların yüzeyleri genellikle pürüzlüdür ve üretim sonrasında tamamlanmamış bir görünüm sergileyebilir. Bu nedenle bazı uygulamalarda, yüzey kalitesini artırmak amacıyla üretim sonrası ek işlemlere ihtiyaç duyulur.

- Maliyet: Üç boyutlu yazıcılar, kullanılan ekipman ve materyaller açısından yüksek maliyetlidir. Günümüzde bu cihazların en düşük fiyatlı modelleri yaklaşık 5 bin dolar civarındadır. Yüksek kaliteli yazıcılar içinse, aksesuarlar, rezinler ve diğer işletme malzemeleri hariç tutulduğunda, maliyetler 50 bin dolara kadar çıkabilmektedir (Jasiuk, Abueidda ve ark. 2018), (Huang, Liu ve ark. 2013).

Diş Hekimliğinde 3B Baskı Teknolojisinde Kullanılan Malzemeler

Baskıya uygun dental malzemeler hızla gelişmekte olup, araştırmalar geleneksel olarak kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini optimize etmek amacıyla eklemeli üretim baskı parametrelerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Ayrıca, diş hekimliğinde kullanılan 3B baskı malzemeleri için biyouyumluluk önemlidir. Geleneksel dental rezinlerle karşılaştırıldığında, 3B baskı rezinlerinin benzer biyouyumluluk gösterdiği kanıtlanmıştır (Guerrero-Girones, Lopez-Garcia ve ark. 2022), (Wuersching, Hickel ve ark. 2022). Bu biyouyumluluk, post-kürleme ve yıkama gibi üretim sonrası işlemlerle artırılabilir (Wuersching, Hickel ve ark. 2022). Bu noktada 3B baskı cihazının ve kullanılan rezin materyalin gerekli dalga boyu, kürleme kalınlığı ve süresi gibi polimerizasyon özelliklerinin iyi bilinmesi önemlidir. Tam olarak polimerize edilememiş bir restorasyonun tolere edilebilir sınırın üzerinde monomer salınımına neden olacağı ve boyutsal bozulmalara dayanıksız olacağı unutulmamalıdır.

1. Sentetik Polimerler

Polimerler, düşük maliyetleri ile dental uygulamalarda en yaygın kullanılan malzemelerdir. Polimer örnekleri arasında polietilketon (PEEK), polikaprolakton (PCL), polimetilmetakrilat (PMMA), polilaktik asit (PLA), poliglikolik asit (PLGA) ve ultraviyole (UV) kürlenen rezinler yer almaktadır.

Sistematik bir derlemede, Valenti ve ark. (Valenti, Federici ve ark. 2024), eklemeli üretim ile basılmış polimerik malzemelerin mekanik özelliklerinin geleneksel yöntemlerle üretilen malzemelere kıyasla genellikle daha düşük olduğunu belirtmiştir. Wesemann ve ark. (Wesemann, Spies ve ark. 2021), eklemeli üretim ile üretilmiş oklüzal apareylerin aşınma direnci ve mekanik özelliklerini geleneksel enjeksiyon kalıplama yöntemi ile karşılaştırmış ve mekanik özellikler arasında anlamlı farklar tespit etmiştir. Prpic ve ark. (Prpić, Schaperl ve ark. 2020), protez tabanları için kullanılan AM baskı PMMA'nın mekanik özelliklerini, geleneksel ısı ile polimerize edilmiş ve enjeksiyonla preslenmiş PMMA ile karşılaştırmıştır. 3B baskı grubunun en düşük eğilme dayanımına sahip olmasına rağmen, ISO gerekliliği olan 65 MPa'yı karşıladığını belirtmiştir.

2. Metaller

Titanyum (Ti) ve kobalt-krom (Co-Cr) alaşımlarının mekanik özellikleri, birçok dental uygulama için idealdir. Revilla-Leon ve ark. (Revilla-León and Özcan 2017), farklı baskı alaşımlarını geleneksel döküm yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Yazarlar, mekanik özelliklerin tatmin edici olduğunu, ancak 3B baskı metaller ile seramik arayüzlerinde, geleneksel dökümle elde edilen hassasiyeti yakalayabilmek için iyileştirmeler gerektiğini vurgulamıştır. Önceki çalışmalar, 3B baskı Co-Cr metal alaşımlarının (371 ± 10 HV) geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla daha yüksek sertlik değerleri gösterdiğini bildirmiştir (Al Jabbari, Koutsoukis ve ark. 2014). Genel olarak, eklemeli üretim ile üretilmiş çıkarılabilir bölümlü protez metal kavrayıcılarında, geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla uyum doğruluğunda artış rapor edilmiştir (Valenti, Federici ve ark. 2024).

3. Seramikler

Seramik malzemeler, mükemmel mekanik özellikleri, biyouyumlulukları, iyi aşınma ve korozyon dirençleri ile estetik özellikleri nedeniyle dental restorasyonlar için tercih edilen malzemelerdir. Bu kategori, cam seramikler, zirkonya ve alümina seramikleri olarak alt gruplara ayrılabilir.

3B baskı seramiklerindeki problemler çoğunlukla yüksek erime noktaları ve soğuma sırasında çatlak oluşumu ile ilgilidir. Ayrıca, hammadde özellikleri gözeneklilik ve nihai mekanik özellikleri etkiler. AM ile basılmış seramiklerin mekanik özelliklerine dair raporlar tutarsızdır (Valenti, Federici ve ark. 2024). Bu durum, büyük ölçüde farklı seramik türleri, protez kullanım çeşitliliği ve baskı parametrelerindeki değişkenlikten kaynaklanmaktadır (Tsolakı, Gizani ve ark. 2022). Günümüzde seramiklerin mekanik ve estetik özelliklerinin taklit edilebilmesi amacıyla rezin içerisine seramik doldurucular eklenmesi gibi teknikler çalışılmaktadır. Bu dental malzeme kategorisi, yaygın kullanım için daha fazla laboratuvar ve klinik araştırma yapılması gereken bir alandır.

3 Boyutlu Yazıcıların Restoratif Diş Tedavisinde Kullanım Alanları

1. Eğitim

Diş hekimliği eğitiminde klinik becerilerin geliştirilmesi için gerekli kaynaklara erişim, önemli bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Özellikle eğitim amacıyla insan dokusu temin edilmesi, bazı ülkelerde ve kültürel ortamlarda eğitimciler ve öğrenciler için ciddi güçlükler yaratmaktadır. Ancak modern teknolojiler, bu kaynaklara erişim konusunda yeni çözümler sunmaktadır (AbouHashem, Dayal ve ark. 2015). Üç boyutlu yazıcılar sayesinde, anatomik modeller hızlı, ucuz ve kolay bir şekilde üretilmekte ve karmaşık anatomik

yapılar bu modeller aracılığıyla daha etkin bir biçimde öğrenilebilmektedir (Vaccarezza and Papa 2015). AbouHashem ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; taranan mevcut kemiklerin üç boyutlu yazıcılarla çoğaltılarak, Macquarie Üniversitesi ve Batı Sidney Üniversitesi'nde anatomi eğitiminde başarılı şekilde kullanıldığını göstermişlerdir (AbouHashem, Dayal ve ark. 2015).

Diş hekimliği preklinik eğitiminde ise yaygın olarak çekilmiş dişler kullanılmaktadır; ancak öğrencilerin yeterli sayıda dişe erişimi genellikle zordur. Cantín ve arkadaşları, diş hekimliği öğrencilerinin öğrenimini kolaylaştırmak amacıyla çekilmiş dişleri tarayarak sanal ve basılmış modeller üretmişlerdir. Bu çalışma, üç boyutlu yazıcılarla üretilen dişlerin çekilmiş veya plastik dişlerin yerine kullanılabileceğini göstermiştir (Cantín, Muñoz ve ark. 2015). Günümüzde pek çok ticari firma, preklinik eğitimi için sağlıklı dişler, farklı bölgelerde çürük lezyonları içeren modeller ve hatta estetik tedavilere yönelik diastemalı veya kırık diş modelleri üretmektedir.

2. İnley, Onley ve Kronlar

Üç boyutlu baskı, protetik diş hekimliği alanında her zaman büyük ilgi gören bir teknoloji olmuştur. Bu ilgi, SLA ve DLP gibi 3B baskı teknolojilerinin geçici veya kalıcı kronlar ile sabit bölümlü protezlerin (FPD) üretiminde yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla günümüzde daha belirgin hâle gelmiştir. Hazırlanan dişler ve implant tarama gövdeleri intraoral olarak taranarak hassas sanal modeller oluşturulur. Bu sanal modeller üzerinde protezlerin tasarımı, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı kullanılarak yapılır. Ardından, tasarlanan protezler 3B yazıcı ile basılır.

Kron ve FPD üretiminde geleneksel yöntemler veya frezeleme teknolojisi ile karşılaştırıldığında, düşük maliyetli bir 3B yazıcı daha kısa üretim süresinde, daha az malzeme kullanarak hassas restorasyonlar üretebilir (Tian, Chen ve ark. 2021), (Tahayeri,

Morgan ve ark. 2018), (Van Noort 2012). Bazı alışmalar, 3B baskı ile üretilen geçici kronların, geleneksel veya frezeleme yöntemleriyle üretilen kronlara kıyasla daha iyi kenar uyumu ve i adaptasyon gösterdiğini bildirmiştir (Mai, Lee ve ark. 2017), (Chaturvedi, Alqahtani ve ark. 2020).

3. Dental Mock-up Uygulamaları

Son yıllarda, hastaların diş estetiğı konusunda beklentileri artmıştır. Estetik bir tedaviye başlamadan önce, hastanın beklentilerini daha iyi anlamamızı sağlayan bir araç olarak tanısıl mock-up önerilir unk bu, nihai restorasyonun sonucunun nizlemesini sağlar (Zimmermann and Mehl 2015), (Lo Giudice, Ortensi ve ark. 2020).

Ağız içi mock-up aşaması karmaşık ve operatöre bağlı bir prosedüre dayanmaktadır ve bu durum düşük doğruluk ve materyal tutarsızlığına yol açabilir (Lo Giudice, Ortensi ve ark. 2020), (Cattoni, Tet ve ark. 2019), (Blatz and Conejo 2019).

Günümüzde, son restorasyon hatalarının sayısını azaltmak için, tedavi planının tamamlanmasından önce estetik ve tasarım bilgisi elde etmek için alternatif bir seçenek olarak sanal planlama yaklaşımı giderek daha fazla benimsenmektedir.(Coachman, Calamita ve ark. 2017), (Zimmermann and Mehl 2015). Dijital lleri taramadan hemen sonra görselleştirme ve analiz etme yeteneği, hasta başı iş akışının temel avantajlarından biridir (Blatz and Conejo 2019). Hataların genellikle ana modelin hazırlanmasından sonra tespit edildiği geleneksel ölçülerin aksine, hatalı veya eksik bir dijital ölçü hemen analiz edilebilir ve düzeltilebilir (Blatz and Conejo 2019).

Gelecek Yönelimler

Diş hekimliği alanında 3B baskı kullanımı hızla artmaktadır. Teknolojinin geliştirilmiş doğruluğu, üstün verimliliği ve artan

erişilebilirliği sayesinde, 3B baskı hızla bilgisayar destekli üretimde tercih edilen yöntem haline gelmektedir. Baskı teknolojisi ve basılabilir malzemeler geliştikçe, restorasyonların hastaların ihtiyaçlarına göre sonsuz derecede özelleştirilebileceği bir gelecek öngörülebilir.

Günümüzde, diş hekimliği alanına 4B baskıyı entegre etme çabaları vardır. 4B baskı teknolojisi ile 3B basılmış malzemeler, baskı süreci tamamlandıktan sonra bile basınca, ısıya, ışığa veya nem gibi dış uyaranlara yanıt olarak şekillerini veya fiziksel özelliklerini değiştirme kapasitesine sahiptir (Salah, Tayebi ve ark. 2020). Potansiyel uygulamalar arasında, karmaşık sert doku defektlerinin konturlarına tam uyum sağlayacak şekilde genişleyen basılı biyomalzemeler veya çevresindeki diş yapısı ile mükemmel uyum içinde genişip büzüşen restorasyonlar yer alabilir. Endodontide, 4B baskı teknolojisi, kanal eğriliklerine uyum sağlamak için şekil hafızasına sahip aletler üretmek ve alet kırılmasını önlemek için kullanılabilir. Ayrıca, 4B baskı teknolojisi, apikal kısmın sertliğini değiştirerek sinir hasarını ve sinüs perforasyonunu önlemek amacıyla dental implant üretiminde de kullanılabilir (Javaid, Haleem ve ark. 2022).

Diğer bir umut verici baskı teknolojisi, ışık polimerizasyonunun birden fazla yönden uygulanarak nesnenin tamamını tek seferde üretebilen hesaplamalı aksiyel litografi (computed axial lithography) teknolojisidir (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021). Bu teknoloji, daha hızlı üretim oranı ve düşük viskoziteli malzemelerle üretim yapabilme kapasitesine sahiptir (Khorsandi, Fahimipour ve ark. 2021). Teknolojinin ve malzemelerin gelişim yönüne bağlı olarak, 3B baskı diş hekimliği alanında önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

Sonuç

Üç boyutlu baskı teknolojilerinin gelişimi, tüm yaşam alanlarında karmaşık ekipmanların üretimi için elverişli koşullar yaratmıştır. Diş hekimliği alanında ise üç boyutlu baskı, geniş bir uygulama yelpazesi sunmakta ve dental restorasyonların üretiminde daha yenilikçi ve verimli yöntemlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Malzeme seçimi ve diş hekimliğinde kullanım alanları, sürekli gelişen üç boyutlu baskı teknolojileriyle paralel olarak yıllar içinde önemli ölçüde genişlemiştir. Baskı doğruluğu ve kalitesinde bazı sınırlamalar bulunsa da, üç boyutlu baskı teknolojisi günümüzde restoratif diş hekimliği, protetik restorasyonlar, implantoloji, maksillofasial cerrahi, ortodonti, endodonti ve periodontoloji gibi diş hekimliğinin farklı alanlarında geniş bir uygulama potansiyeli sunmaktadır.

Katmanlı üretimin gelişimini sürdürmesi ve çeşitli iyileştirmelerin gerçekleşmesi beklenmektedir; ancak özellikle üç boyutlu baskı teknolojisinin maliyeti ve üretim hızıyla ilgili mevcut kısıtlamaların aşılması zaman alacaktır. Teknoloji daha verimli, hızlı ve maliyet açısından avantajlı hâle geldikçe, bu yöntem dünya genelinde daha geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından erişilebilir olacaktır. Bunun yanı sıra, endüstri sürdürülebilirliğe önem vererek çevre dostu malzemelerin geliştirilmesini teşvik edecek ve döngüsel ekonomi ilkelerini benimseyecektir. Genel olarak, katmanlı üretimin geleceği umut verici görünmekte olup, önümüzdeki yıllarda bu alandaki yeniliklerin ve uygulamaların gelişimini takip etmek ilgi çekici olacaktır.

Diş hekimliğinin farklı alanlarında giderek daha yaygın hâle gelen üç boyutlu yazıcıların, yakın gelecekte yeni ve çeşitli kullanım alanlarının ortaya çıkmasına ve mevcut uygulama alanlarının sürekli genişlemesine olanak sağlayacağı öngörülmektedir. Üç boyutlu

yazıcılarla yapılan üretim, diş hekimliği pratiğinin önemli bir bölümünde devrim yaratacaktır.

Kaynakça

AbouHashem, Y., ve ark. (2015). "The application of 3D printing in anatomy education." Medical education online **20**(1): 29847.

Ahn, S. H., ve ark. (2016). "Three-dimensional bio-printing equipment technologies for tissue engineering and regenerative medicine." Tissue engineering and regenerative medicine **13**(6): 663-676.

Al Hamad, K. Q., ve ark. (2022). "Additive manufacturing of dental ceramics: a systematic review and meta-analysis." Journal of Prosthodontics **31**(8): e67-e86.

Al Jabbari, Y., ve ark. (2014). "Metallurgical and interfacial characterization of PFM Co–Cr dental alloys fabricated via casting, milling or selective laser melting." Dental Materials **30**(4): e79-e88.

Alharbi, N., ve ark. (2018). "Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs." Journal of prosthodontic research **62**(2): 218-226.

Astm, I. (2015). "ASTM52900-15 standard terminology for additive manufacturing—general principles—terminology." ASTM International, West Conshohocken, PA **3**(4): 5.

Bassoli, E., ve ark. (2007). "3D printing technique applied to rapid casting." Rapid Prototyping Journal **13**(3): 148-155

Bhusnure, O., ve ark. (2016). "3D printing & pharmaceutical manufacturing: opportunities and challenges." Int. J. Bioassays **5**(1): 4723-4738.

Blatz, M. B. and J. Conejo (2019). "The current state of chairside digital dentistry and materials." Dental Clinics **63**(2): 175-197.

Cailleaux, S., ve ark. (2021). "Fused Deposition Modeling (FDM), the new asset for the production of tailored medicines." Journal of controlled release **330**: 821-841.

Cantín, M., ve ark. (2015). "Generation of 3D tooth models based on three-dimensional scanning to study the morphology of permanent teeth [Generación de modelos de diente 3D basados en escaneo tridimensional para el estudio morfológico de dientes permanentes]."

Cattoni, F., ve ark. (2019). "Milled versus moulded mock-ups based on the superimposition of 3D meshes from digital oral impressions: A comparative in vitro study in the aesthetic area." BMC Oral Health **19**(1): 230.

Chaturvedi, S., ve ark. (2020). "Marginal and internal fit of provisional crowns fabricated using 3D printing technology." Technology and Health Care **28**(6): 635-642.

Chen, J., ve ark. (2022). "Multi-jet fusion 3D voxel printing of conductive elastomers." Advanced Materials **34**(47): 2205909.

Coachman, C., ve ark. (2017). "Dynamic documentation of the smile and the 2D/3D digital smile design process." Int J Periodontics Restorative Dent **37**(2): 183-193.

Çelik, İ., ve ark. (2013). "Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları." Journal of Science and Technology of Dumlupınar University(031): 53-70.

Dawood, A., ve ark. (2015). "3D printing in dentistry." British dental journal **219**(11): 521-529.

Della Bona, A., ve ark. (2021). "3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review." Dental Materials **37**(2): 336-350.

Demir, K., ve ark. (2016). "Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye'deki uygulamalar." Ege Eğitim Dergisi **17**(2): 481-503.

Duret, F. and J. Preston (1991). "CAD/CAM imaging in dentistry." Current opinion in dentistry **1**(2): 150-154.

Giannatsis, J. and V. Dedoussis (2009). "Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: a review." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology **40**(1): 116-127.

Goguta, L., ve ark. (2021). "Selective laser sintering versus selective laser melting and computer aided design–computer aided manufacturing in double crowns retention." Journal of prosthodontic research **65**(3): 371-378.

Gross, B. C., ve ark. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences, ACS Publications.

Guerrero-Girones, J., ve ark. (2022). "In vitro biocompatibility testing of 3D printing and conventional resins for occlusal devices." Journal of Dentistry **123**: 104163.

Huang, S. H., ve ark. (2013). "Additive manufacturing and its societal impact: a literature review." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology **67**(5): 1191-1203.

Hull, C. W. (1984). "Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography." United States Patent, Appl., No. 638905, Filed.

Jasiuk, I., ve ark. (2018). "An overview on additive manufacturing of polymers." Jom **70**(3): 275-283.

Javaid, M., ve ark. (2022). "Significance of 4D printing for dentistry: Materials, process, and potentials." Journal of oral biology and craniofacial research **12**(3): 388-395.

Kabir, S. F., ve ark. (2020). "A critical review on 3D printed continuous fiber-reinforced composites: History, mechanism, materials and properties." Composite Structures **232**: 111476.

Khorsandi, D., ve ark. (2021). "3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications." Acta biomaterialia **122**: 26-49.

Kodama, H. (1981). "Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer." Review of scientific instruments **52**(11): 1770-1773.

Lee, Y. C., ve ark. (2022). "Binder jetting of custom silicone powder for direct three-dimensional printing of maxillofacial prostheses." 3D Printing and Additive Manufacturing **9**(6): 520-534.

Lin, L., ve ark. (2019). "3D printing and digital processing techniques in dentistry: a review of literature." Advanced Engineering Materials **21**(6): 1801013.

Lipson, H. and M. Kurman (2013). Fabricated: The new world of 3D printing, John Wiley & Sons.

Lo Giudice, A., ve ark. (2020). "The step further smile virtual planning: Milled versus prototyped mock-ups for the evaluation of the designed smile characteristics." BMC Oral Health **20**(1): 165.

Lukić, M., ve ark. (2016). "Printability of elastomer latex for additive manufacturing or 3D printing." Journal of Applied Polymer Science **133**(4)

Mai, H.-N., ve ark. (2017). "Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing." The Journal of Prosthetic Dentistry **118**(2): 208-215.

Prpić, V., ve ark. (2020). "Comparison of mechanical properties of 3D-printed, CAD/CAM, and conventional denture base materials." Journal of Prosthodontics **29**(6): 524-528.

Revilla-León, M. and M. Özcan (2017). "Additive manufacturing technologies used for 3D metal printing in dentistry." Current Oral Health Reports **4**(3): 201-208.

Salah, M., ve ark. (2020). "Three-dimensional bio-printing and bone tissue engineering: technical innovations and potential applications in maxillofacial reconstructive surgery." Maxillofacial plastic and reconstructive surgery **42**(1): 18.

Shabbirahmed, A. M., ve ark. (2023). "Recent developments of silk-based scaffolds for tissue engineering and regenerative medicine applications: a special focus on the advancement of 3D printing." Biomimetics **8**(1): 16.

Tahayeri, A., ve ark. (2018). "3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials." Dental Materials **34**(2): 192-200.

Thijssen, Q., ve ark. (2023). "From pixels to voxels: a mechanistic perspective on volumetric 3D-printing." Progress in Polymer Science **147**: 101755.

Tian, Y., ve ark. (2021). "A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications." Scanning **2021**(1): 9950131.

Tsolakis, I. A., ve ark. (2022). "Three-dimensional printing technology in orthodontics for dental models: a systematic review." Children **9**(8): 1106.

Vaccarezza, M. and V. Papa (2015). "3D printing: a valuable resource in human anatomy education." Anatomical science international **90**(1): 64-65.

Valenti, C., ve ark. (2024). "Mechanical properties of 3D printed prosthetic materials compared with milled and conventional processing: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies." The Journal of Prosthetic Dentistry **132**(2): 381-391.

Van Noort, R. (2012). "The future of dental devices is digital." Dental Materials **28**(1): 3-12.

Vukicevic, M., ve ark. (2017). "Cardiac 3D printing and its future directions." JACC: Cardiovascular Imaging **10**(2): 171-184.

Wesemann, C., ve ark. (2021). "Polymers for conventional, subtractive, and additive manufacturing of occlusal devices differ in hardness and flexural properties but not in wear resistance." Dental Materials **37**(3): 432-442.

Wuersching, S. N., ve ark. (2022). "Initial biocompatibility of novel resins for 3D printed fixed dental prostheses." Dental Materials **38**(10): 1587-1597.

Yang, J., ve ark. (2022). "Selective laser sintering versus conventional lost-wax casting for single metal copings: A systematic review and meta-analysis." The Journal of Prosthetic Dentistry **128**(5): 897-904.

Yüceer, Ö. M., ve ark. (2025). "Three-Dimensional-Printed photopolymer resin materials: A narrative review on their production techniques and applications in dentistry." Polymers **17**(3): 316.

Zimmermann, M. and A. Mehl (2015). "Virtual smile design systems: a current review." International journal of computerized dentistry **18**(4): 303-317.

RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTAL UYGULAMALAR

BURAK CÖMERT⁵
HÜSEYİN HATIRLI⁶

Giriş

Dijital teknolojiler, restoratif diş hekimliğinde hem klinik işlemleri hem de laboratuvar süreçlerini köklü biçimde dönüştürmüştür (Beuer ve ark., 2008). Özellikle intraoral tarayıcılar, CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) sistemleri ve 3D yazıcı teknolojilerindeki gelişmeler, restorasyonların üretim hızını ve doğruluğunu artırarak tedavi süreçlerini daha öngörülebilir hâle getirmiştir. Geleneksel ölçü maddelerine bağlı distorsiyon ve laboratuvar kaynaklı hata oranlarının azalması, dijital iş akışlarının yaygınlaşmasının temel nedenidir (Yıldırım, 2024). Ayrıca estetik restoratif yaklaşımlarda injection molding gibi tekniklerin dijital tasarım ve üretimle birleşmesi, daha konservatif ve estetik açıdan üstün sonuçlar elde

⁵ Arş. Gör. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi AD. Orcid: 0009-0002-1973-0145

⁶ Doç. Dr. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD. Orcid: 0000-0002-4451-7576

edilmesini sağlamaktadır (Liaropoulou ve ark., 2025). Bu bölümde, restoratif diş hekimliğinde teknoloji kullanımının güncel durumuna ışık tutulacak, özellikle 3D yazıcılar ve tarayıcılarla yapılan uygulamalar, modern indirekt restorasyon teknikleri gibi yenilikçi yaklaşımlar ele alınacaktır.

Dijital Ölçü Sistemleri ve Tarayıcıların Ortaya Çıkışı

Dünya genelinde hızla ilerleyen dijitalleşme süreci, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojilerinin birlikte CAD-CAM sistemleri olarak tanımlanan bu yapının diş hekimliğinde yaygınlaşmasını sağlamış ve diş hekimliği alanında önemli dönüşümlere zemin hazırlamıştır (Chiu ve ark., 2020; Miyazaki ve ark., 2009). Başlangıçta dijital tarayıcılar yalnızca laboratuvar ortamında, alçı modellerin dijital forma dönüştürülmesi amacıyla kullanılmaktaydı. Ancak ağız içi tarayıcı teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, dijital iş akışı doğrudan klinikte ve hasta başında başlatılabilir hâle gelmiştir. Bu ilerleme, dijital sistemlerin günlük klinik uygulamalara entegrasyonunu büyük ölçüde kolaylaştırmıştır (Chiu ve ark., 2020; Mörmann, 2006). Özellikle son yirmi yılda cihazların teknik özelliklerinin gelişmesi ve kullanıcı odaklı tasarımların yaygınlaşması, ağız içi tarayıcıların kliniklerde rutin olarak kullanılmasını mümkün kılmıştır (Chiu ve ark., 2020; Renne ve ark., 2017).

Ağız içi tarayıcıların geleneksel ölçü yöntemlerine göre çok sayıda üstünlüğü olduğu bildirilmektedir. Hastaya daha konforlu bir tedavi deneyimi sunması, klinik süreçleri çevreye daha duyarlı hâle getirmesi, uygulayıcı açısından kullanım kolaylığı sağlaması ve ölçü alım süresini kısaltması bu avantajlar arasında yer alır. Ayrıca geleneksel ölçü materyallerine bağlı deformasyon risklerini azaltması ve dokulara basınç uygulamadan, onların doğal konumunu değiştirmeden ölçü alınmasına imkân vermesi de önemli bir artı

olarak değerlendirilir. Tüm bu nedenlerle dijital ölçü teknolojilerine olan ilgi ve kullanım oranı giderek artmaktadır (Chiu ve ark., 2020; Yuzbasioglu ve ark., 2014).

Tanı, Planlama ve Estetik Değerlendirmede Dijital Teknolojiler

Dijital gülüş tasarımı (DGT) yazılımları; yüzün genel estetik hatları, dişlerin morfolojik özellikleri, dudak hattı, gingival kontur, dental orta hat, insizal kenar düzeni ve altın oran gibi estetik ölçütlerin aynı dijital ortamda birlikte incelenmesine olanak tanır. Bu sistemler, 2D ve 3D görüntüleme yöntemleriyle elde edilen verileri CAD/CAM altyapısı ve gelişmiş simülasyon algoritmalarıyla birleştirerek kişiye özgü, yüksek doğrulukta tedavi planları oluşturur. Böylece klinisyen, planlanan restorasyonun estetik ve fonksiyonel açıdan uygunluğunu tedaviye başlamadan önce kapsamlı biçimde değerlendirebilir, bu durum hem hasta memnuniyetini hem de tedavi kabul oranlarını artırır (Cervino ve ark., 2019).

Dijital simülasyonlar, hastaya tedavi sonrasında elde edilebilecek estetik görünümün önceden gösterilmesine imkân tanır. Bu sayede, hastaların tedavi sürecini ve olası sonuçları daha iyi kavramasını sağlamakta, bu durum hem hasta memnuniyetini hem de tedaviye uyumu olumlu yönde etkilemektedir (Lv ve ark., 2022). Ayrıca, tedavi öncesinde sunulan görsel açıklamalar, onam sürecini daha anlaşılır hâle getirerek hastanın bilinçli karar vermesine katkı sağlar.

Dijital planlama doğrultusunda hazırlanan mock-up'lar, planlanan restorasyonun ağız içinde üç boyutlu olarak değerlendirilmesini mümkün kılar. Böylece hem klinisyen hem de hasta, tedavi uygulanmadan önce estetik ve fonksiyonel sonuçları görüp gerekliyse değişiklikleri planlayabilir. Mock-up kullanımı, ölçü ve uyum doğruluğunu artırarak klinik prova aşamalarının daha öngörülebilir ve güvenli bir şekilde ilerlemesine olanak tanır (Lo

Giudice et al., 2020). Özellikle 3D baskı ve CAD/CAM teknolojileriyle üretilen mock-up'lar, hızlı hazırlanabilmeleri, yüksek hassasiyet sunmaları ve hastanın onay sürecine kolayca entegre edilebilmeleri sayesinde önemli avantaj sağlar.

Dijital tasarımın CAD/CAM sistemleri ve üç boyutlu yazıcı teknolojileriyle doğrudan uyumlu olması, klinik ile laboratuvar arasındaki veri transferini ve iş akışını belirgin biçimde güçlendirir (Pillai ve ark., 2021). Dijital olarak tasarlanan restorasyonlar, frezelenerek (subtraktif) veya 3D yazıcılarla (additif) hızlı ve hassas şekilde üretilir. Bu bütünleşik dijital süreç, klinisyen, teknisyen ve hasta arasında daha düzenli, güvenilir ve verimli bir tedavi planlaması sağlar (Coachman & Calamita, 2012).

Dijital gülüş tasarımı yazılımları sayesinde, estetik restoratif planlamada yüz hatları ve diş morfolojisi üç boyutlu olarak analiz edilebilmektedir. Dijital simülasyonlar hasta iletişiminde önemli avantaj sağlayarak tedavi sonuçlarının önceden görülebilmesine olanak tanır (Coachman & Calamita, 2012). Ayrıca bu planlamalar CAD/CAM ve 3D yazıcı süreçlerine doğrudan aktarılabildiğinden klinik laboratuvar entegrasyonu güçlenir (Coachman & Calamita, 2012).

Hasta Deneyimi

Dijital ölçü sistemleri, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında hastalar için daha konforlu bir deneyim sunmaktadır. Dijital ölçü sırasında hastaların çok daha az ağrı, bulantı ve rahatsızlık hissettikleri; ayrıca işlemin daha kısa sürede tamamlandığı birçok çalışmada bildirilmiştir (Aiuto ve ark., 2025; D'Ambrosio ve ark., 2023). Bu nedenle özellikle çocuk hastalarda ve hassas bireylerde dijital ölçülerin tercih edilme oranı belirgin şekilde yüksektir (Aiuto ve ark., 2025; D'Ambrosio ve ark., 2023). Dijital ortamda elde edilen verilerin CAD/CAM sistemlerine doğrudan aktarılabilmesi sayesinde restorasyonlar çoğu zaman aynı randevu

içinde üretilebilmekte ve hastaya hızlı bir şekilde uygulanabilmektedir (D'Ambrosio ve ark., 2023).

Dijital taramalarla elde edilen modellerin kolayca depolanabilmesi ve istenildiğinde tekrar erişilebilmesi, uzun süreli tedavi planlamalarını önemli ölçüde kolaylaştırır. Bu modeller, ilerleyen dönemlerde yapılacak karşılaştırmalar ve yeni restoratif stratejilerin belirlenmesi için değerli bir başvuru kaynağı niteliği taşır.

İntraoral Tarayıcıların Restoratif Diş Hekimliğinde Kullanımı

Yapılandırılmış ışık ve lazer temelli dental tarayıcılar, diş yüzeylerinin üç boyutlu dijital modellerini yüksek doğruluk ve hassasiyetle oluşturabilmektedir. Klinik ve laboratuvar ortamlarında yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, bu sistemlerin trueness (gerçek değere yakınlık) ve precision (tekrarlanabilirlik) açısından 20–55 mikrometre aralığında performans sergilediği bildirilmiştir (Winkler & Gkantidis, 2020). Özellikle Trios ve Primescan gibi güncel tarayıcı modellerinin hem tek diş hem de tam ark taramalarında yüksek doğruluk düzeyine ulaşabildiği ifade edilmektedir (Winkler & Gkantidis, 2020).

Yeni nesil ağız içi tarayıcıların sunduğu renkli tarama özelliği, restorasyon sınırlarının (finish line) daha net bir şekilde belirlenmesini ve diş yumuşak doku ayrımının daha doğru yapılmasını sağlamaktadır. Bu renkli görüntüleme teknolojisi, özellikle klinik sınırların tespitinde ve periodontal dokuların değerlendirilmesinde önemli bir avantaj sunar. Trios 3, Omnicam ve CS3600 gibi cihazlarda renkli taramanın, sınırlarının daha belirgin şekilde seçilmesine yardımcı olduğu ancak bazı tarayıcılarda bu üstünlüğün daha sınırlı kaldığı belirtilmektedir (Winkler & Gkantidis, 2020). Ayrıca renkli taramayla elde edilen verilerin dijital planlama süreçlerine ve hasta ile iletişimde kullanılan sunum

materyallerine entegre edilebilmesi, klinik uygulamalara ek bir değer kazandırmaktadır.

Klinik Kullanım Alanları

Laminate Veneer Uygulamaları

Üç boyutlu tarayıcılar, minimal preparasyonla uygulanan veneer restorasyonlarında preparasyon derinliğinin hassas biçimde değerlendirilmesine olanak tanır. Dijital ölçümlerin yüksek doğruluk düzeyi sayesinde hem marjinal hem de internal uyumun klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde elde edilebildiği bildirilmektedir (Al-Dwairi ve ark., 2023). Dijital Smile Design (DSD) ile birlikte kullanıldığında, geçici ve nihai restorasyonların öngörülebilirliği artmakta; hasta ile iletişim daha etkin hâle gelmektedir. Ayrıca dijital mock-up ve indekslerin 3D yazıcıyla üretilebilmesi, tedavi planlamasının ve klinik uygulamanın daha hassas ve kontrollü yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Cattoni ve ark., 2016).

Inlay/Onlay/Overlay Restorasyonlar

3D tarayıcılar, preparasyonun iç duvarlarını net şekilde görüntüleyerek internal adaptasyonu klasik ölçülere göre iyileştirir. Tarama, tasarım ve üretim aynı seansta (chairside CAD/CAM) tamamlanabilir; bu da zamandan tasarruf ve hasta memnuniyeti sağlar (Revilla-León ve ark., 2025).

Tek Diş Kronlar

Dijital tarayıcılarla hazırlanan hem kronlarda hem de inleylerde marjinal ve internal boşlukların, birçok yüzeyde klinik olarak kabul edilebilir sınır olarak değerlendirilen 150 µm'nin altında ortalama değerler gösterdiği bildirilmiştir (Ekici ve ark., 2021). Dijital artikülasyonun sağladığı avantajlar sayesinde oklüzal düzeltme gereksinimi önemli ölçüde azalmakta, bu durum restorasyonun fonksiyonel uyumunun daha başarılı biçimde sağlanmasına katkı sunmaktadır (Mangano ve ark., 2017).

Kompozit Restorasyonlarda Dijital Tasarım

Üç boyutlu tarayıcılar ve yazıcılar kullanılarak mock-up ve indekslerin üretilebilmesi, indirekt kompozit veneerler ile minimal invaziv restorasyonların daha hassas ve öngörülebilir bir şekilde uygulanmasına olanak sağlar (Ekici ve ark., 2021). Dijital planlama süreci, estetik ve fonksiyonel sonuçların tedavi öncesinde hastayla paylaşılabilmesine imkân tanıyarak beklentilerin netleşmesine ve tedavi sürecinin daha kontrollü ilerlemesine katkıda bulunur (Santi ve ark., 2024).

Dijital ölçü avantajları

Dijital ölçü teknolojilerinde, geleneksel ölçü materyallerinde görülebilen deformasyon, büzülme veya genişleme gibi distorsiyon riskleri söz konusu değildir. Dijital tarama, ağız içinden alınan verilerin doğrudan dijital ortama aktarılmasını sağladığı için ölçü materyallerinin fiziksel özelliklerinden kaynaklanabilecek hata olasılığını ortadan kaldırır. Bu durum, elde edilen restorasyonların uyum ve doğruluk düzeyini belirgin şekilde artırmaktadır.

Dijital ölçülerin en önemli avantajlarından biri, verilerin laboratuvara elektronik ortamda hızlı ve güvenli bir şekilde aktarılabilmesidir (Pillai ve ark., 2021). Bu sayede ölçü kaybı veya deformasyon riski tamamen ortadan kalkmakta, restorasyon üretim süreci hızlanmakta ve klinisyen laboratuvar arasındaki iletişim hataları en aza inmektedir.

3D Yazıcıların Restoratif Diş Hekimliğindeki Kullanımı

3D baskı teknolojileri, dijital diş hekimliği iş akışının önemli bir bileşeni hâline gelmiş olup, restoratif tedavilerin planlanması, üretimi ve tesliminde yüksek doğruluk, tekrarlanabilirlik ve zamansal verimlilik sağlamaktadır. Fotopolimerizasyon (SLA/DLP/LCD), toz sinterleme (SLS) ve ekstrüzyon (FDM) gibi farklı üretim teknolojileri, klinik gereksinimlere göre

özelleştirilebilmektedir (Gökmen ve ark., 2024). Diş hekimliğinde kullanım alanları şu şekildedir:

Geçici Restorasyon Üretimi: Üç boyutlu yazıcılar, özellikle fotopolimer reçinelerin kullanıldığı sistemlerde, geçici kron ve köprülerin hızlı, biyouyumlu ve yüksek yüzey kalitesine sahip olarak üretilmesine imkân tanır. Dijital iş akışına entegrasyon, bu restorasyonların anatomik uyumunu ve marjinal hassasiyetini artırırken zamansal verimlilik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır (Elashkar ve ark., 2025). Bu restorasyonlar, özellikle dijital gülüş tasarımı tabanlı estetik vakaların prova aşamalarında, mock-up'tan final restorasyona geçişte kritik rol oynar.

Kalıcı Restorasyonların Üretimi: Yeni nesil üç boyutlu baskı materyalleri, özellikle yüksek dayanımlı rezin kompozitler ve hibrit yapılı malzemeler, tek diş kronları, inlay-onlay restorasyonlarda giderek daha fazla klinik kabul görmektedir. Bu materyallerin dentine yakın elastik modül değerleri, yüzey pürüzsüzlüğü ve kontrollü aşınabilirlik özellikleri, klinik uygulamalarda tercih edilmelerini sağlayan önemli avantajlar arasında yer almaktadır (Pot ve ark., 2024).

Çalışma Modelleri ve Döküm Modeller: 3D baskı teknolojisi, klasik alçı modellerin yerini alan yüksek doğrulukta dijital modellerin fiziksel olarak üretilmesini mümkün kılmakta ve böylece restoratif diş hekimliği laboratuvar süreçlerinde önemli iyileşmeler sağlamaktadır (Banjar ve ark., 2021). Bu yöntemle elde edilen modeller, ölçü materyallerine bağlı distorsiyon ve büzülme risklerinin büyük ölçüde ortadan kalkması sayesinde daha stabil bir yapıya sahiptir. Oklüzal ilişkilerin dijital veriye dayanarak işlenmesi, antagonist temaslarının daha hassas değerlendirilmesine olanak tanırken, marjinal sınırların üç boyutlu olarak net bir şekilde oluşturulması, restorasyon tasarımında doğruluk ve tekrarlanabilirliği artırmaktadır. Ayrıca üretim sürecinin dijital

kontrol altında ilerlemesi, geleneksel alçı döküm tekniklerinde sık karşılaşılan kabarcık, kırık, alçı fazlalığı gibi laboratuvar kaynaklı hataların belirgin şekilde azalmasını sağlamaktadır (Banjar ve ark., 2021). Maksiller ve mandibular ark modellerinin manyetik tabanlı sistemlerle uyumlu şekilde üretilmesi ise laboratuvar montaj ve artikülasyon süreçlerini kolaylaştırarak daha verimli ve standart bir iş akışı sunmaktadır.

Dijital Wax-up ve Estetik Planlama Modelleri: 3D yazıcılar, CAD yazılımlarıyla hazırlanan sanal wax-up tasarımlarının fiziksel olarak üretilmesini mümkün kılarak estetik rehabilitasyon sürecine önemli katkı sağlar. Bu modeller, hastaya tedavi sonucuna ilişkin gerçekçi bir ön izleme sunarken, aynı zamanda preparasyon planlamasında hekime ayrıntılı bir rehberlik sağlar (Garcia ve ark., 2018). Üretilen fiziksel wax-up modelleri, veneer veya kron uygulamalarında mock-up aşamasını daha kontrollü ve öngörülebilir hâle getirir (Cattoni ve ark., 2019). Böylece dijital wax-up, mock-up ve final restorasyon arasındaki tüm süreç 3D baskı teknolojisi sayesinde zamansal olarak hızlanır ve klinik verimlilik artar.

Rezin esaslı üç boyutlu baskı materyallerinin su absorpsiyonu ve uzun dönem dayanıklılığı, materyalin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Üretim sonrasında uygulanan post-processing aşamalarının özellikle yıkama ve UV ile kürleme süreçlerinin doğru şekilde yürütülmemesi, baskı ürünlerinde büzülme, deformasyon ya da mekanik dayanımda azalma gibi sorunlara yol açabilir. Ayrıca bu materyaller, yüksek sıcaklık ve nem gibi çevresel etkenlere karşı duyarlı olduğundan, uzun süreli neme maruziyet durumunda yapısal değişiklikler meydana gelebilir (Singh ve ark., 2024).

Kalıcı restorasyonlarda kullanılacak baskı materyallerinin seçiminde uluslararası düzenlemelere uyum büyük önem taşır. Bu nedenle, kullanılan ürünlerin AB Tıbbi Cihaz Yönetmeliği (MDR)

ya Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) gibi düzenleyici kurumlar tarafından onaylanmış olması, klinik güvenlik ve uygulama başarısı açısından temel bir gerekliliktir.

Frezeleme (Milling) Sistemleri ve Dijital İndirekt Restorasyonlar

CAD/CAM sistemleri, dijital ölçülerin alınmasından restorasyonun tasarımına ve üretimine kadar entegre bir süreç sunar. Bu süreç; tarayıcı (intraoral veya model tarayıcı), CAD yazılımı ile 3D tasarım ve CAM cihazı ile üretim aşamalarını içerir. Dijital iş akışı, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek hassasiyet, daha iyi kenar uyumu, estetik ve fonksiyonel restorasyonlar ile daha kısa klinik ve laboratuvar süresi sağlar. Dijital ölçüler, klasik ölçü materyallerinin neden olduğu hata riskini azaltır ve hasta konforunu artırır (Alazraqi, 2023). Dijital ölçülerin alınmasından restorasyonun tasarlanmasına, freze veya 3D yazıcı ile üretilmesine kadar uzanan bu entegre süreç, hem klinik hem laboratuvar uygulamalarında yüksek doğruluk, tekrarlanabilirlik ve zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Frezeleme sistemlerinde kullanılan blok materyalleri; hastanın estetik ve fonksiyonel beklentileri, restorasyonun uygulanacağı bölgenin klinik gereklilikleri, hekimin materyal konusundaki tercihleri ve hastanın sosyo-ekonomik durumu gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu materyaller:

- Feldspatik CAD/CAM seramik bloklar
- Lösit ile güçlendirilmiş CAD/CAM seramik bloklar
- Lityum disilikat ile güçlendirilmiş CAD/CAM seramik bloklar
- Zirkonya ile desteklenmiş lityum disilikat ile güçlendirilmiş CAD/CAM seramik bloklar
- Cam infiltre CAD/CAM seramik bloklar

- Polikristalin seramikler
- Hibrit seramik bloklar
- Rezin nanoseramik bloklar
- Rezin matrikse ilave zirkonya–silika seramik bloklar

şeklinde sınıflandırılabilir ve bu materyaller frezeleme makinelerinde yüksek hassasiyetle işlenebilir (Shenoy & Shenoy, 2010).

Günümüzde dental kompozitler, iyileştirilem özellikleri ve artan endikasyon alanlarıyla oldukça çeşitli ve karmaşık bir materyal grubunu temsil etmektedir. CAD/CAM bloklarında son yıllarda görülen gelişmeler, polimerizasyon yöntemlerindeki yenilikler, geliştirilen mikro yapılar ve farklı kimyasal bileşimlerle ilişkilendirilmektedir. Bu değişimler sonucunda mekanik dayanım, kimyasal stabilite, biyouyumluluk, adezyon özellikleri ve özellikle seramik materyallerle karşılaştırıldığında uzun dönem performans potansiyeli açısından indirekt kompozit (IC) sınıfları arasında belirgin farklılıklar ortaya çıkmıştır (Nguyen ve ark., 2014).

Dental CAD/CAM teknolojisi sürekli bir gelişim göstermektedir ve mevcut eğilimler, bu teknolojinin gelecekte de dental restorasyonların üretiminde önemli bir konuma sahip olacağını göstermektedir. CAD/CAM sistemleri ile yüksek kalitede restorasyonların üretilmesi mümkün olurken, diğer üretim tekniklerine kıyasla laboratuvar aşamalarının daha az zaman ve iş gücü gerektirdiği bildirilmektedir (Douglas, 1997).

CAD/CAM süreci Restoratif Diş Hekimliği'nde dört temel aşamadan oluşur:

Dijital ölçünün alınması: Hazırlanan dişin ve çevre dokuların dijital olarak kaydedilmesi, genellikle intraoral tarayıcılar kullanılarak doğrudan ağız içinde ya da model tarayıcılarla dolaylı

olarak gerçekleştirilmektedir. Bu aşama, yüksek doğrulukta veri elde edilmesine olanak tanırken aynı zamanda hastaya daha konforlu bir deneyim sunar.

Restorasyonun CAD yazılımında tasarlanması: Elde edilen dijital veriler, CAD (Computer-Aided Design) yazılımına aktarılır ve restorasyonun anatomik ile fonksiyonel özellikleri bu dijital platform üzerinde tasarlanır. Tasarım sürecinde estetik gereksinimler, oklüzyon ilişkileri ve biyomekanik kriterler birlikte değerlendirilerek restorasyonun klinik açıdan en uygun formu oluşturulur.

Frezeleme/eklemeli üretim: Tasarımı tamamlanan restorasyon, CAM (Computer-Aided Manufacturing) aşamasında frezeleme gibi subtraktif yöntemlerle ya da üç boyutlu yazıcıların kullanıldığı eklemeli üretim teknikleriyle hazırlanır. Kullanılacak malzemenin özellikleri, hangi üretim yönteminin tercih edileceğini belirleyen temel faktörlerden biridir.

Kristalizasyon ve yüzey işlemlerinden oluşur: Özellikle cam seramik esaslı materyallerde, frezeleme işleminin ardından kristalizasyon amacıyla bir fırınlama aşaması uygulanır. Bu süreçten sonra yapılan cilalama, boyama ve glaze gibi yüzey işlemleriyle restorasyonun estetik görünümü ve fonksiyonel özellikleri tamamlanır (Palin & Burke, 2005; Yeslam ve ark., 2024).

Klinik Sonuçlar

Çalışmalar, CAD/CAM restorasyonların marjinal uyumunun geleneksel yöntemlere göre daha üstün olduğunu göstermektedir. Ayrıca tek seansta restorasyon üretimi hasta memnuniyetini artırır (Beuer ve ark., 2008).

2018 yılında yapılan bir çalışmada ise CAD/CAM frezleme yöntemi ile üretilen geçici restorasyonların mekanik özellikleri (marjinal ve internal uyum, kırılma dayanımı ve kırılma şekli)

geleneksel yöntemle elde edilen restorasyonlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, CAD/CAM frezeleme sistemleriyle hazırlanan geçici restorasyonların belirgin şekilde daha üstün mekanik performans sergilediğini göstermiştir (Abdullah ve ark., 2018).

2017 yılında yapılan bir in vitro çalışmada, CAD/CAM sistemi ile 3D yazıcı teknolojilerinin (Stratasys ve Dentis) kullanıldığı geçici sabit restorasyonların internal uyumları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları, üç boyutlu yazıcılarla üretilen geçici restorasyonların internal uyum açısından daha üstün performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Lee ve ark., 2017).

Chaturvedi ve ark.'larının 2020'de yürüttüğü çalışmada ise geleneksel teknik, CAD/CAM frezeleme yöntemi ve 3D yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen geçici kronlar marjinal ve internal uyum açısından karşılaştırılmıştır. Araştırmanın sonucunda, Form 2 (Formlabs Inc., USA) 3D yazıcı ile üretilen kronların hem marjinal hem de internal uyum bakımından diğer yöntemlere göre daha üstün performans gösterdiği bildirilmiştir (Chaturvedi ve ark., 2020).

Başka bir çalışmada, düşük maliyetli bir stereolitografi sistemi (FormLabs 1+ yazıcı, NextDent C&B/Vertex Dental rezini) ile üretilen geçici kron ve köprülerin mekanik özelliklerini, geleneksel geçici materyaller (Integrity, Dentsply; Jet, Lang Dental Inc.) ile karşılaştırmıştır. Bulgular, baskı sırasında 90° yazdırma açısı ve beyaz rezin kullanımının en optimal sonuçları verdiğini göstermiştir. Tabaka kalınlığının elastik modül veya tepe gerilimi üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı belirlenmiş; 3D baskı materyalinin Jet materyaliyle benzer elastik modüle sahip olduğu ancak Integrity materyalinden daha düşük elastik modül gösterdiği bildirilmiştir. Çalışma, üç boyutlu yazıcılarla üretilen geçici restorasyonların intraoral kullanım için yeterli mekanik özelliklere sahip olduğunu, ancak seçilen baskı sisteminin yazdırma doğruluğunu sınırlayabileceğini vurgulamıştır (Atria ve ark., 2022).

Mai ve ark. tarafından yürütölen bir başka çalışmada ise fotopolimer jetting teknolojisi ile CAD/CAM frezeleme ve geleneksel yöntemler karşılaştırılarak geçici kronların restorasyon uyumu değeriendirilmiştir. Silikon replika yöntemi kullanılarak proksimal, marjinal, internal aksiyal ve internal oklüzal bölgelerde ölçümler yapılmıştır. Bulgular, marjinal ve proksimal bölgelerde hem CAD/CAM hem de 3D yazıcı ile üretilen restorasyonların üstün uyum gösterdiğini; oklüzal bölgede ise en yüksek uyumun fotopolimer jetting teknolojisiyle elde edildiğini ortaya koymuştur (Mai ve ark., 2017).

CAD/CAM Frezeleme - 3D Yazıcı Karşılaştırması

Dijital üretim teknolojileri restoratif diş hekimliğinde iki ana kategoriye ayrılır:

- Subtraktif üretim (Frezeleme – CAD/CAM)
- Eklemeli üretim (3D printing – additive manufacturing)

Bu iki yöntem, üretim prensibi, materyal özellikleri, doğruluk, hız ve klinik endikasyonlar açısından belirgin şekilde farklılaşmaktadır.

Frezeleme teknolojileri, özellikle marjinal uyum açısından günümüzde hâlâ altın standart olarak kabul edilmektedir. CAD/CAM sistemi ile üretilen restorasyonlarda marjinal uyum değerielerinin genellikle 20–40 µm aralığında olduğunu bildirmiştir (Elashkar ve ark., 2025).

Üç boyutlu baskı teknolojileriyle üretilen restorasyonlarda ise kullanılan yazıcı teknolojisi ve reçine materyalinin özelliklerine bağlı olarak 40–200 µm arasında değerişebilen bir uyum sapması görülebileceği belirtilmektedir (Elashkar ve ark., 2025).

Frezeleme tekniğiyle üretilen lityum disilikat ve zirkonya restorasyonların yüksek dayanıklılık göstermesi ve uzun klinik ömre

sahip olması, bu materyalleri kalıcı restorasyonlar için güvenilir seçenekler hâline getirmektedir (Saravi ve ark., 2021).

Buna karşılık, üç boyutlu baskı teknolojilerinde kullanılan materyaller henüz seramik esaslı materyallerle kıyaslanabilecek düzeyde mekanik dayanım sunmamaktadır. Bu nedenle 3D baskı materyallerinin, mevcut durumda özellikle geçici restorasyonlar için daha uygun bir seçenek olduğu belirtilmektedir (Duarte & Phark, 2025).

Frezeleme cihazlarının yüksek donanım maliyetine sahip olması, blok materyallerinin pahalı oluşu ve üretim sırasında ortaya çıkan fire miktarının fazla olması, bu yöntemin ekonomik açıdan önemli dezavantajları olarak belirtilmektedir (Beuer ve ark., 2008).

Buna karşılık üç boyutlu yazıcılar daha düşük yatırım maliyeti gerektirir ve sarf malzemelerinin maliyeti de nispeten düşüktür. Ayrıca tek bir baskı döngüsünde birden fazla modelin eşzamanlı üretilmesi, bu teknolojiyi özellikle maliyet ve verimlilik açısından avantajlı kılmaktadır (Revilla-León & Özcan, 2019).

Tablo 1. Frezeleme (CAD/CAM) – 3D Baskı (Additive Manufacturing) Karşılaştırması

Özellik	Frezeleme (CAD/CAM – Subtraktif)	3D Printer (Eklemeli Üretim)
Çalışma prensibi	Blok materyalden kesilerek şekillendirilir	Reçine veya toz materyal katmanlar hâlinde eklenir
Kullanılan materyaller	Seramik (lityum disilikat), zirkonya, hibrit seramikler, kompozit bloklar	Fotopolimer reçineler, geçici kompozitler, biyouyumlu rezin
Doğruluk / Hassasiyet	Çok yüksek: marjinal uyum 20–40 µm aralığında	Orta–yüksek: 40–200 µm aralığı
Yüzey kalitesi	Freze izleri olabilir, glaze veya polisaj gerektirir	Katman çizgileri olabilir, ek polisaj gerekebilir
Mekanik dayanıklılık	Çok yüksek — özellikle zirkonya restorasyonlarda	Orta — reçine türüne bağlı sınırlamalar

Özellik	Frezeleme (CAD/CAM – Subtraktif)	3D Printer (Eklemeli Üretim)
Kullanım alanı	Kalıcı restorasyonlar (kron, köprü, veneer, inley/onley)	Geçici restorasyonlar, mock-up, rehber plaklar, matris üretimi
Üretim hızı	Orta – 10–30 dakika frezeleme süresi	Çok hızlı – 3–10 dakika katmanlı baskı
Maliyet	Cihaz ve blok maliyeti yüksektir	Daha düşük ekipman ve sarf maliyetleri
Klinik uygulama alanı	Tek seansta kalıcı restorasyon	Dijital modeller, geçici restorasyon, injection molding şablonları
Materyal israfı	Fazla (blok kesilirken fire oluşur)	Çok az (yalnızca gerekli materyal kullanılır)
Endikasyon uygunluğu	Yüksek dayanıklılık gerektiren durumlar	Estetik prova, zaman baskısı veya düşük maliyet gereken durumlar

Sonuç

Dijital teknolojiler restoratif diş hekimliğinde hız, doğruluk ve estetik başarıyı artırarak klinik pratiğe dönüştürmüştür. İntraoral tarayıcılar, 3D baskı teknolojileri, CAD/CAM sistemleri ve injection molding tekniği, restoratif tedavilerde minimal invaziv, hızlı ve öngörülebilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır (Chiu ve ark., 2020; Yuzbasioglu ve ark., 2014; D'Ambrosio ve ark., 2023).

Bilgisayar destekli üretim teknolojileri, restoratif diş hekimliğinde hem üretim kalitesini yükseltmiş hem de dijital iş akışını hızlandırarak klinik verimliliği artırmıştır (Douglas, 1997). Geçici restorasyonlardan indeks üretimine kadar geniş bir kullanım alanı sunarak modern restoratif pratiğin vazgeçilmez bir aracı hâline gelmiştir.

Kaynakça

Abdullah, A., Pollington, S., & Liu, Y. (2018). Comparison between direct chairside and digitally fabricated temporary crowns. [<https://doi.org/10.4012/dmj.2017-315>]. *Dental Materials Journal*, 37, 957–963. doi:10.4012/dmj.2017-315

Aiuto, R., Adobes Martin, M., Marquez Martinez, L., Garcia Miralles, E., Pelissero, I., Alvarado Lorenzo, A., . . . Garcovich, D. (2025). Comparison of conventional and digital impression techniques in children up to 9 years: a multicentric crossover study on time, preference, and comfort in relation to gag reflex and dental fear. *Eur J Paediatr Dent*, 26(3), 202-207. doi:10.23804/ejpd.2025.2438

Al-Dwairi, Z. N., Al-Sardi, M., Goodacre, B. J., Goodacre, C. J., Al Hamad, K. Q., Özcan, M., . . . Baba, N. Z. (2023). Evaluation of Marginal and Internal Fit of Ceramic Laminate Veneers Fabricated with Five Intraoral Scanners and Indirect Digitization. *Materials (Basel)*, 16(6). doi:10.3390/ma16062181

Alazraqi, M. (2023). The Application, Accuracy and Utilization of Computer-Aided Design Computer-Aided Manufacturing Systems in Restorative Dentistry. *JOURNAL OF HEALTHCARE SCIENCES*, 3, 221.

Atria, P., Bordin, D., Marti, F., Nayak, V. V., Conejo, J., Benalcázar Jalkh, E., . . . Sampaio, C. (2022). 3D -printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34. doi:10.1111/jerd.12888

Banjar, A., Chen, Y. W., Kostagianni, A., Finkelman, M., Papathanasiou, A., Chochlidakis, K., & Papaspyridakos, P. (2021). Accuracy of 3D Printed Implant Casts Versus Stone Casts: A

Comparative Study in the Anterior Maxilla. *J Prosthodont*, 30(9), 783-788. doi:10.1111/jopr.13335

Beuer, F., Schweiger, J., & Edelhoff, D. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*, 204(9), 505-511. doi:10.1038/sj.bdj.2008.350

Cattoni, F., Mastrangelo, F., Gherlone, E. F., & Gastaldi, G. (2016). A New Total Digital Smile Planning Technique (3D-DSP) to Fabricate CAD-CAM Mockups for Esthetic Crowns and Veneers. *Int J Dent*, 2016, 6282587. doi:10.1155/2016/6282587

Cattoni, F., Teté, G., Calloni, A. M., Manazza, F., Gastaldi, G., & Capparè, P. (2019). Milled versus moulded mock-ups based on the superimposition of 3D meshes from digital oral impressions: a comparative in vitro study in the aesthetic area. *BMC oral health*, 19(1), 230. doi:10.1186/s12903-019-0922-2

Cervino, G., Fiorillo, L., Arzukanyan, A. V., Spagnuolo, G., & Cicciù, M. (2019). Dental Restorative Digital Workflow: Digital Smile Design from Aesthetic to Function. *Dent J (Basel)*, 7(2). doi:10.3390/dj7020030

Chaturvedi, S., Alqahtani, N. M., Addas, M. K., & Alfarsi, M. A. (2020). Marginal and internal fit of provisional crowns fabricated using 3D printing technology. *Technol Health Care*, 28(6), 635-642. doi:10.3233/thc-191964

Chiu, A., Chen, Y. W., Hayashi, J., & Sadr, A. (2020). Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors (Basel)*, 20(4). doi:10.3390/s20041157

Coachman, C., & Calamita, M. (2012). Digital Smile Design: A Tool for Treatment Planning and Communication in Esthetic Dentistry. *QDT 2012 Quintessence*, 35, 1-9.

D'Ambrosio, F., Giordano, F., Sangiovanni, G., Di Palo, M. P., & Amato, M. (2023). Conventional versus Digital Dental Impression Techniques: What Is the Future? An Umbrella Review. *Prosthesis*, 5, 851-875. doi:10.3390/prosthesis5030060

Douglas, R. D. (1997). Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *J Prosthet Dent*, 77(5), 464-470. doi:10.1016/s0022-3913(97)70137-9

Duarte, S., Jr., & Phark, J. H. (2025). Advances in Dental Restorations: A Comprehensive Review of Machinable and 3D-Printed Ceramic-Reinforced Composites. *J Esthet Restor Dent*, 37(1), 257-276. doi:10.1111/jerd.13371

Ekici, Z., Kılıçarslan, M. A., Bilecenoğlu, B., & Ocak, M. (2021). Micro-CT Evaluation of the Marginal and Internal Fit of Crown and Inlay Restorations Fabricated Via Different Digital Scanners belonging to the Same CAD-CAM System. *Int J Prosthodont*, 34(3), 381–389. doi:10.11607/ijp.6822

Elashkar, M., Aboushady, Y., Ihab, M., & El Halawani, M. T. (2025). Evaluation of the marginal fit and fracture resistance of interim restorations fabricated using different techniques: an in vitro study. *BMC oral health*, 25(1), 354. doi:10.1186/s12903-025-05679-y

Garcia, P. P., da Costa, R. G., Calgaro, M., Ritter, A. V., Correr, G. M., da Cunha, L. F., & Gonzaga, C. C. (2018). Digital smile design and mock-up technique for esthetic treatment planning with porcelain laminate veneers. *J Conserv Dent*, 21(4), 455-458. doi:10.4103/jcd.Jcd_172_18

Gökmen, Ş., Görgülü, S., Topsakal, K. G., & Duran, G. S. (2024). Accuracy of 3D Printer Technologies Using Digital Dental Models. *Turk J Orthod*, 37(4), 257-264. doi:10.4274/TurkJOrthod.2024.2023.8

Lee, W. S., Lee, D. H., & Lee, K. B. (2017). Evaluation of internal fit of interim crown fabricated with CAD/CAM milling and 3D printing system. *J Adv Prosthodont*, 9(4), 265-270. doi:10.4047/jap.2017.9.4.265

Liaropoulou, Y. M., Jiménez, A. K., Chierico, F., & Blatz, M. B. (2025). The Multilayer Flowable Injection Technique for Highly Esthetic Restorations. *J Esthet Restor Dent*, 37(10), 2161-2170. doi:10.1111/jerd.13500

Lv, L., He, W., Ye, H., Cheung, K., Tang, L., Wang, S., . . . Zhou, Y. (2022). Interdisciplinary 3D digital treatment simulation before complex esthetic rehabilitation of orthodontic, orthognathic and prosthetic treatment: workflow establishment and primary evaluation. *BMC oral health*, 22(1), 34. doi:10.1186/s12903-022-02070-z

Mai, H. N., Lee, K. B., & Lee, D. H. (2017). Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *J Prosthet Dent*, 118(2), 208-215. doi:10.1016/j.prosdent.2016.10.030

Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., & Logozzo, S. (2017). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC oral health*, 17(1), 149. doi:10.1186/s12903-017-0442-x

Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Tamaki, Y. (2009). A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*, 28(1), 44-56. doi:10.4012/dmj.28.44

Mörmann, W. H. (2006). The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc*, 137 Suppl, 7s-13s. doi:10.14219/jada.archive.2006.0398

Nguyen, Q. D., Fernandez, N., Karsenti, T., & Charlin, B. (2014). What is reflection? A conceptual analysis of major

definitions and a proposal of a five-component model. *Med Educ*, 48(12), 1176-1189. doi:10.1111/medu.12583

Palin, W., & Burke, F. J. (2005). Trends in indirect dentistry: 8. CAD/CAM technology. *Dent Update*, 32(10), 566-572. doi:10.12968/denu.2005.32.10.566

Pillai, S., Upadhyay, A., Khayambashi, P., Farooq, I., Sabri, H., Tarar, M., . . . Tran, S. D. (2021). Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. *Polymers (Basel)*, 13(1). doi:10.3390/polym13010157

Pot, G. J., Van Overschelde, P. A., Keulemans, F., Kleverlaan, C. J., & Tribst, J. P. M. (2024). Mechanical Properties of Additive-Manufactured Composite-Based Resins for Permanent Indirect Restorations: A Scoping Review. *Materials (Basel)*, 17(16). doi:10.3390/ma17163951

Renne, W., Ludlow, M., Fryml, J., Schurch, Z., Mennito, A., Kessler, R., & Lauer, A. (2017). Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*, 118(1), 36-42. doi:10.1016/j.prosdent.2016.09.024

Revilla-León, M., Alonso Pérez-Barquero, J., Barnak, A. B., Agustín-Panadero, R., Fernández-Estevan, L., & Gómez-Polo, M. (2025). Accuracy of Intraoral Scanner Systems for Fabricating Inlay, Onlay, and Veneer Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Esthet Restor Dent*, 37(3), 727-755. doi:10.1111/jerd.13361

Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019). Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. *J Prosthodont*, 28(2), 146-158. doi:10.1111/jopr.12801

Santi, M. R., Nastri, V. H. T., & Lins, R. B. E. (2024). Advanced digital planning approach using a 3D-printed mock-up. A case report. *Int J Esthet Dent*, 19(2), 186-194.

Saravi, B., Vollmer, A., Hartmann, M., Lang, G., Kohal, R. J., Boeker, M., & Patzelt, S. B. M. (2021). Clinical Performance of CAD/CAM All-Ceramic Tooth-Supported Fixed Dental Prostheses: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Materials (Basel)*, 14(10). doi:10.3390/ma14102672

Shenoy, A., & Shenoy, N. (2010). Dental ceramics: An update. *J Conserv Dent*, 13(4), 195-203. doi:10.4103/0972-0707.73379

Singh, R., Kumar, S., Dermawan, D., Mosaddad, S., & Heboyan, A. (2024). Investigating the role of temperature and moisture on the degradation of 3D-printed polymethyl methacrylate dental materials through molecular dynamics simulations. *Scientific reports*, 14, 1-20. doi:10.1038/s41598-024-77736-5

Winkler, J., & Gkantidis, N. (2020). Trueness and precision of intraoral scanners in the maxillary dental arch: an in vivo analysis. *Sci Rep*, 10(1), 1172. doi:10.1038/s41598-020-58075-7

Yeslam, H. E., Freifrau von Maltzahn, N., & Nassar, H. M. (2024). Revolutionizing CAD/CAM-based restorative dental processes and materials with artificial intelligence: a concise narrative review. *PeerJ*, 12, e17793. doi:10.7717/peerj.17793

Yildirim, L. (2024). DIGITAL RESTORATIVE PROCEDURES IN DENTISTRY: DIGITAL DENTISTRY. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 6, 191-221. doi:10.36557/2674-8169.2024v6n9p191-221

Yuzbasioglu, E., Kurt, H., Turunc, R., & Bilir, H. (2014). Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness

and clinical outcomes. *BMC oral health*, 14, 10. doi:10.1186/1472-6831-14-10

DİJİTAL RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİ

