



Diş Hekimliğinde Yapay Zeka ve Teknolojik Uygulamalar

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Elif Alkan Gençer



BİDGE Yayınları

Diş Hekimliğinde Yapay Zeka ve Teknolojik Uygulamalar

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Elif ALKAN GENÇER

ISBN: 978-625-372-988-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

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

YAPAY ZEKANIN RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDEKİ YERİ	1
<i>ENİSE BETÜL GÖÇER</i>	
MODERN ÇÜRÜK TANISI: GELENEKSEL YÖNTEMLERDEN YAPAY ZEKAYA	16
<i>İKLİMA GÜNDOĞDU MEHMETHANOĞLU</i>	
RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI	52
<i>ERHAN AL</i>	
DİŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANILAN 3B BASKI TEKNİKLERİ VE MALZEMELER	70
<i>BENGİSU KOCA, SERDAR AKARSU</i>	
AĞIZ İÇİ TARAMA DOĞRULUĞUNU BELİRLEYEN KLİNİK VE TEKNİK DEĞİŞKENLER	92
<i>YASEMİN ÖZDEN</i>	
DİŞ HEKİMLİĞİNDE FLORESANS	118
<i>EMİNENUR UYTUN, ELİF ALKAN GENÇER, DİLEK TAĞTEKİN</i>	

BÖLÜM 1

YAPAY ZEKANIN RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDEKİ YERİ

Enise Betül GÖÇER¹

Giriş

Restoratif diş hekimliği alanı, ağız ve diş sağlığının korunmasından dişlerin çürük, travma ve birçok faktörden dolayı kaybedilen fonksiyon ve estetiğini geri kazandırmada kritik bir rol oynar ve dişlerin yapısal bütünlüğünü sürdürme üzerine odaklanır (Kilpatrick & Welbury, 2005).

Restoratif diş tedavisi alanında başarılı bir tedavi için doğru tanı büyük önem taşımaktadır. Son dönemde geliştirilen yapay zekâ temelli uygulamalar, özellikle de derin öğrenme algoritmalarına dayalı sistemler, diş hekimliği ve restoratif tedavi alanlarında tanı süreçlerinin daha doğru ve etkin yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Elżbieta Machoy, Szyszka-Sommerfeld, Vegh, Gedrange, & Woźniak, 2020).

Günümüzde yapay zekâ (YZ), klinik karar alma ve tanıdan tedavi planlamasına önemli katkılar sağlamaktadır. Yapay zekâ (AI), makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenme (DL) gibi terimler sağlık alanı da dahil olmak üzere birçok alanda daha sık görülmeye başlanmıştır (Nadella, Satish, Meduri, & Meduri, 2023). Sağlık alanında diş hekimliğinde tanıdan tedavi alternatiflerine, kişiselleştirilmiş tedavi planlamalarına, iş akışında integrasyona,

¹ Uzman Diş Hekimi, Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0003-3949-9550

rutin prosedürleri kolaylaştırmaya kadar birçok alanda geçişler olmaktadır (Wang, Xu, Wang, & Lu, 2025). Hızla gelişen yapay zeka teknolojisi, restoratif diş hekimliği alanında da güçlü bir ilerleme kaydetmektedir. Özellikle çürük tespiti, marjin belirleme, restorasyon başarısının tahmini, CAD/CAM destekli otomatik restorasyon tasarımı ve tedavi planlaması gibi birçok süreçte AI tabanlı sistemler geliştirilmektedir.

Son yıllarda diş hekimliğinde ve restoratif diş tedavisi alanında yapılan çalışmalar, yapay zekanın restoratif diş hekimliğindeki yöntemlerini, potansiyellerini ve gelişmelerini değerlendirmiştir. Aynı zamanda bu alanın avantajları, sınırlamaları ve klinik uygulama potansiyelleri en güncel veriler ile analiz edilmiştir. Böylece restoratif alandaki yapay zekâ uygulamalarının tanınal doğruluğu ve verimliliği artırıcı araç olarak kullanımı ortaya konulmuştur (Ayhan, Ayan, Karadağ, & Bayraktar, 2025). Yapılan bir derleme sonucuna göre çürük teşhisi, diş kırıklarının tespiti, preparasyon bitim sınırlarının belirlenmesi ve uygulanan restorasyonun başarısızlığının yapay zeka modelleri ile doğruluk oranı başarılı bulunmuştur (Revilla-León et al., 2022).

Çürük Lezyonlarının Tanı ve Teşhisinde Yapay Zeka Kullanımı

Klinik pratiğinde intraoral muayene, radyolojik muayene ile desteklenerek çürük tespiti gerçekleştirilmektedir. Özellikle arayüz çürüklerinin tespitinde bite wing radyografiler önemli bir yere sahiptir (Johari, Esmaeili, Andalib, Garjani, & Saberkari, 2016). Günümüzde çürük teşhisinde bilgisayar destekli yapay zeka algoritmaları, radyografik ve klinik görüntüler üzerinde çalışarak tanıya yardımcı olmaktadır (Pérez de Frutos et al., 2024). Böylece dişin mine ve dentin dokularındaki mineral kaybına bağlı olan değişimleri analiz edilerek çürük lezyonlarının erken tespitinde klinisyene destek sağlar (Tandon, Rajawat, & Banerjee, 2020). Çürük lezyonlarının erken dönem teşhisi yapay zekâ destekli

sistemler sayesinde daha objektif bir şekilde olmaktadır. Gereksiz doku kaybı önleildiği için restoratif tedaviler daha konservatif ve minimal invaziv yaklaşımlarla gerçekleştirilmiş olur (Ayhan et al., 2025).

Literatürde radyografiler üzerinden yapay zeka ile çürük tespitinin değerlendirildiği çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir. Bite wing görüntülerde çürük teşhisinde diş hekimleri ile yapay zeka modelinin performansı karşılaştırılmış, özellikle erken lezyonların tespitinde yapay zekanın %80 oranında doğruluk ve daha yüksek duyarlılık gösterdiği bildirilmiştir (Cantu et al., 2020). Çürük tespiti için 3000'den fazla bite wing röntgenin kullanıldığı bir çalışmada bilgisayar destekli tanı sistemi, çürük tahmininde diş hekimlerine göre daha başarılı sonuç vermiştir (Srivastava, Kumar, Pradhan, & Varadarajan, 2017). Periapikal radyografiler üzerinden yapılan bir çalışmada da çürük tespitinde yapay zeka kullanılmıştır (Lee, Kim, Jeong, & Choi, 2018).

Kök çürüğü tespitine yönelik bir sınıflandırma modeli geliştirilen başka bir çalışmada da yapay zeka kullanılmıştır. Modelin kök çürüğü tespitinde yüksek performans ve doğruluk gösterdiği, duyarlılık ve özgüllük değerlerinin %94'ün üzerinde çıktığı bildirilmiştir (Hung et al., 2019).

Klinik pratiğinde tespiti zor olan gelişimsel lezyonlar veya özellikle ortodontik tedavi sonrası görülebilecek beyaz nokta lezyonlarıyla sıklıkla karşılaşmaktadır. Dijital radyografilerin kullanımı dışında intraoral fotoğraflar üzerinden bir veri seti hazırlanarak başlangıç lezyonlarının tespitini derin öğrenme sistemi ile yapan bir çalışma tatmin edici sonuçlar ortaya koymuştur (Askar et al., 2021). Ayrıca yapılan başka bir çalışmada, translüminasyon görüntüleri kullanılarak çürük lezyonlarının tespiti ve lokalizasyonuna yönelik geliştirilen yapay zekâ modeli başarılı sonuçlar vermiştir (Casalegno et al., 2019).

Bitewing radyografleri üzerinden proksimal çürüklerin teşhisinde yapay zekâ kullanımının maliyet yönünden incelendiği bir çalışmada, yapılan analizlerin daha avantajlı olduğu bildirilmiştir. Böylece, çürüğün daha erken tespit edilmesi pahalı tedavi gereksinimlerinin azaltılmasını sağlar (Schwendicke et al., 2021).

Klinik Tedavi Planlamasında Yapay Zeka

Yapay zeka, restoratif diş hekimliğinde vazgeçilmez bir araç haline gelmiş olup tanı sürecinde, klinik bulgu ile görsel verilerin değerlendirilmesi ve tedavi planlamasında destek sağlayıcı bir araç olmuştur (Arjumand, 2024). Derin öğrenme algoritmaları, hasta verileri, klinik öyküler ve teşhis görüntülerini ayırt edebilme özelliğine sahiptir. Bu sayede erken teşhis ile zamanında müdahale, hastalık ilerlemesinin önlenmesi ve daha az invaziv tedavi seçeneklerine olanak tanır (Asiri & Altuwalah, 2022).

Tedavi planlamasında yapay zeka, geniş kapsamlı hasta verilerini işleme ve analiz etme özelliğiyle önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Bireysel sağlık kayıtları, spesifik risk faktörleri ve geçmişte yapılan tedavi sonuçlarını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirerek kişiselleştirilmiş tedavi protokolleri oluşturabilmektedir. Bu yaklaşım, tedavi etkinliğini ve hasta memnuniyetini artırarak diş hekimliğindeki değişime katkı sağlamaktadır (Agrawal, Nikhade, & Nikhade, 2022). Uygun restoratif tedavi yaklaşımın seçilmesi ve tedavi alternatiflerinin karşılaştırılmasında hekim karar mekanizmasında yardımcı rol almaktadır. Dolayısıyla seçilen tedavide değişkenlik azalmakta ve tedavi sonuçlarının daha standart düzeye taşınması hedeflenmektedir.

Restoratif Biyomateryaller ve Yapay Zeka

Diş sert dokularında görülen çürük, gelişimsel bozukluklar gibi durumlar gibi dental restoratif materyaller için de derin öğrenme sistemleri eğitilebilmektedir. Posterior bölgedeki dişlerin dijital

fotoğrafları kullanılarak yapılan bir çalışmada, yapay zeka algoritmasının fissür örtücüleri tespit ve kategorizasyonu incelenmiştir. Sonuçlara göre %98.7 yüksek tanısal doğruluk tespit edilmiştir (Schlickenrieder et al., 2021). Panoramik röntgen kullanılarak yapılan başka bir çalışmada restorasyonların tespiti ve sınıflandırılması için yapay zeka algoritması geliştirilmiş, restorasyonları tanımda ve sınıflandırmada başarılı bir sonuç vermiştir (Abdalla-Aslan, Yeshua, Kabla, Leichter, & Nadler, 2020).

Malzeme seçimi alanında yapay zekanın kullanımı, hastaya özgü verilere dayanan özelleştirilmiş bir strateji sağlayarak geleneksel uygulamaların ötesine geçmektedir (El Gezawi, Wölflé, Haridy, Fliefel, & Kaisarly, 2019). Yapay zeka sistemleri, çeşitli malzemelerin etkinliği ile belirli hasta popülasyonlarındaki dayanıklılıkları arasındaki ilişkileri tespit ederek kapsamlı veri kümelerini analiz eder. Yapay zekâ, hastaların tercihlerine ve çeşitli malzemelere verdikleri tepkilere ilişkin geçmiş verileri inceleyerek uzun ömürlü ve ideal estetik sonuçların elde edilmesinde önemli bir rol oynar (McCabe & Rusby, 2004).

Yapay zekanın tahminleyici modelleme becerilerinin kullanımı, malzeme seçimi sürecinde büyük önem taşır. Farklı malzemelerin çeşitli koşullardaki performansını inceleyerek, belirli materyalin belirli bir hastadaki olası etkinliğini tahmin edebilir. Tahminleyici modelleme tekniklerinin kullanımı, deneme-yanılma yöntemlerine olan gereksinimi azaltarak daha akıcı ve verimli bir seçim prosedürü sağlar (Basu, Gowtham, Xiao, Kalidindi, & Leong, 2022).

Yapay zeka, diş hekimlerinin belirli hasta profillerine göre uyarlanmış kanıta dayalı uygulamalarla tutarlı, bilinçli kararlar vermelerini sağlar. Bu, güncel araştırma ve hasta verilerinin kullanımıyla sağlanır. Verileri anında analiz ederek öneriler sunar. Böylece gerçek zamanlı karar desteğiyle malzeme seçimi sürecinde diş hekimleri için çok önemli bir rol oynar (Benetti et al., 2019).

Restoratif diş hekimliği alanındaki her vakanın kendine özgü özellikleri vardır. Restorasyonun karmaşıklığı ne olursa olsun, yapay zeka kullanılarak yapılan bir değerlendirme, oklüzyon, yük taşıma ihtiyaçları ve hasta tercihleri de dahil olmak üzere çeşitli faktörleri dikkate alarak çalışmaktadır (Yılmaz, 2020).

Yapay zekanın restoratif diş hekimliğine entegrasyonu, biyomateryal araştırmalarındaki ilerlemeler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. Restoratif işlemlerin başarısında dayanıklılık kritik bir faktördür. Yapay zeka, farklı malzemelerin aşınma ve bozulma modellerini zaman içinde analiz ederek uzun vadeli performanslarını tahmin etmektedir. Bu tahmin yeteneği, biyomateryallerin dayanıklılık açısından optimize edilmesini sağlayarak restorasyonların ağız ortamının zorluklarına dayanabilmesini ve bütünlüklerini uzun bir süre koruyabilmesini sağlar (Georgeanu, Gingu, Antoniac, & Manolea, 2023).

Yapay zeka destekli biyomateryal araştırmaları, metodolojik yapısı gereği hasta merkezli bir yaklaşım benimsemektedir. Bireysel hasta özelliklerindeki farklılıkların dikkate alınarak hastaya özgü parametrelerin analize dâhil edilmesi sayesinde, yapay zeka hastanın özgün klinik gereksinimlerine göre optimize edilebilen biyomateryallerin tasarımını mümkün kılmaktadır (Parhi, Pal, Das, & Ghosh, 2021).

Yapay Zeka ile Restoratif Diş Hekimliğinde Estetik Sonuçların İyileştirilmesi

Yapay zekanın estetik tasarım ve tedavi planlama süreçlerine entegre edilmesi, restoratif diş hekimliğinde önemli değişimlere yol açmıştır. Yapay zeka tabanlı sistemler, yüz simetrisi ve hastaya özgü özellikleri analiz ederek kapsamlı estetik değerlendirmelere yardımcı olabilmektedir. Bu sistemler diş rengi, formu ve hizalaması gibi estetik parametrelere öncelik veren kişiselleştirilmiş tedavi planlarının geliştirilmesinde kritik rol oynarlar. Aynı zamanda

gelişmiş 3D modelleme ve simülasyon teknikleri sayesinde tedavi öncesi estetik sonuçları tahmin etme yeteneği ile hem hasta hem de diş hekimlerine olası sonuçları önceden görselleştirmeyi sağlar.

Yapay zekanın kullanım alanı malzeme seçiminden restorasyon tasarımına kadar uzanarak, restorasyonun yalnızca fonksiyonel gereksinimlerini karşılamak değil, aynı zamanda hastanın genel estetik görünümünü tamamlamasını da desteklemektedir. Bu yaklaşımlar, restoratif diş tedavilerinde estetik başarı ve memnuniyet standartlarını artırmaya katkı sağlar (Arjumand, 2024).

Restoratif diş hekimliğinde gelişen dijital teknolojiler, diş preparasyonunun daha standart, kontrollü ve öngörülebilir biçimde gerçekleştirilmesine olanak tanıyan robotik sistemlerin gündeme gelmesine zemin hazırlamıştır (Y. Li et al., 2025). Lamina veneer restorasyonlar estetik beklentileri karşılaması ve konservatif yaklaşımlarıyla sıklıkla tercih edilen restorasyonlardır. Restorasyonun bitiş çizgisi mine üzerine supragingival olarak yerleştirildiğinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Otani, Raigrodski, Mancl, Kanuma, & Rosen, 2015). Yapılan in vitro bir çalışmada porselen laminate veneerler için geleneksel diş hazırlığı yöntemi ve otomatik robotik diş hazırlama sisteminin doğruluk ve hassasiyeti değerlendirilmiştir. Robotik sistem, geleneksel yöntem ile karşılaştırıldığında otomatik robotik diş hazırlama sistemi, geleneksel serbest diş hazırlığı kadar doğru değerler göstermiştir. (Otani et al., 2015).

Özellikle estetik beklentinin fazla olduğu anterior bölgede restorasyonların renk uyumu hasta beklentisi açısından anahtar unsurlardan biridir. Renk eşleştirme için bilgisayar programları kullanılarak yapılan bir çalışmada yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Çalışmada porselen numunelerin renk tonu ölçümleri dental spektrofotometre ile yapılmıştır. Yapay zeka algoritmasıyla restorasyonun renk eşleştirmesi daha doğru ve objektif bir hale

gelerek başarılı bir model elde edilmiştir (H. Li, Lai, Chen, Lu, & Cai, 2015).

Restorasyon Değerlendirilmesinde Yapay Zeka Kullanımı

Yapay zeka algoritmaları, restorasyonların kısa ve uzun dönem başarısının değerlendirilmesinde de önemli bir potansiyel sunmaktadır. Marjinal uyum ve sekonder çürük oluşumu gibi klinik parametreler, yapılan analizlerle daha erken dönemde tespit edilebilmektedir. Böylece koruyucu müdahaleler zamanında planlanabilmekte ve ilerlemeden müdahale edilebilmektedir.

Yapay zeka; altın ve amalgam dolgular, kompozit rezinler inley, onley ve endokron gibi indirekt restorasyonlar, kronlar ve köprüler dahil olmak üzere çeşitli dental restorasyonları tespit etmede üstün doğruluk göstermektedir (Najeeb & Islam, 2025). Yapılan bir çalışma, yapay zeka modellerinin bitewing röntgenlerde diş restorasyonlarını tespit etmedeki etkinliğini göstermiştir (Mao et al., 2021). Başka bir çalışma, otomatik diş segmentasyonu için evrişimsel sinir ağı (CNN) kullanmış ve kontrol grubu (dolgu olmayan dişler) için %100 ve deney grubu (dolgulu dişler) için %99-100 doğruluk oranlarına ulaşmıştır (Fontenele et al., 2022). Benzer şekilde başka bir çalışmada da yapay zeka modeli kullanımının, çürüğün (Bayraktar & Ayan, 2022) ve diş restorasyonlarının tespitinde (Mao et al., 2021) yüksek doğruluk gösterdiği bildirilmiştir.

Yapay zekanın entegrasyonu, diş hekimliğinde bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) sürecini önemli ölçüde geliştirmiştir (Gokul, Ganesh S, & Don, 2020; Thurzo et al., 2022). CNN'ler, ağız içi 3D taramaları analiz sonrası diş yapılarına odaklanarak yumuşak dokulardan kaynaklanan engelleri en aza indirir. Bu hassas verilerle yapay zeka çeşitli restorasyonlar için ayrıntılı dijital modeller oluşturur.

Farook ve ark. yaptıkları çalışmada ağız içi taramaları kullanarak parsiyal kron üretimi için 3D-CNN modeli geliştirmiştir. Bu modelin doğruluk oranı %60 olup yapay zekanın restorasyonlar için hassas modellemeyi otomatikleştirmedeki potansiyelini vurgulamaktadır. Veri setinin boyutu ve değişkenliğindeki artış sağlanmasıyla bu oran ve klinik ortamlardaki uygulanabilirliğini artırılabilir (Farook et al., 2023). Bir başka çalışmada YOLO tabanlı bir yapay zeka modeli kullanılarak bite-wing röntgenlerde posterior dişlerin tespiti ve etiketlenmesi otomatik hale getirilmiştir. Aynı zamanda hızlı çıktı süreleriyle yüksek hassasiyet elde edilmiştir (Alsolamy, Nadeem, Azhari, Alsolami, & Ahmed, 2024). Bu bulgular, yapay zekanın restoratif diş hekimliği alanında yüksek doğruluk gerektiren sınıflandırma süreçlerindeki katkısını ortaya koymaktadır.

Kompozit rezin restorasyonlar estetik nedenlerle günümüzde yaygın kullanımı olan materyallerdir. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojisi de hızla gelişme göstermektedir. Yapılan bir çalışma CAD-CAM ile üretilmiş kompozit rezin kronların debonding olasılığını CNN yöntemiyle değerlendirmiş, bağlanma durumları sorunsuz bir şekilde tahmin edilebilmiştir (Yamaguchi et al., 2019).

Limitasyonlar ve Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar

Yapay zekanın klinik uygulamalarına etkin bir şekilde entegre edilebilmesi için, hekim deneyimiyle birlikte değerlendirilmesi ve klinik doğrulama çalışmalarının artırılması gerekmektedir. Restoratif diş hekimliğinde tanı doğrulama analizi, kişiselleştirilmiş tedavi planları ve biyomateryallerin geliştirilmesi halen devam etmektedir (Surlari et al., 2023). Yapay zeka destekli robotik uygulamalar, klinik karar destek sistemlerinin entegrasyonu ve koruyucu diş hekimliğinde yapay zeka kullanımı öne çıkan gelişmeler arasındadır. Bu teknolojilerin restoratif diş hekimliği

alanındaki uygulamaları daha etkin ve öngörülebilir hale getirmesi beklenmektedir.

Sonuçlar

Güncel araştırmalar ışığında yapay zeka, restoratif diş hekimliğinde tanıdan tedaviye, tercih edilen materyal araştırmalarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu gelişmeler daha güvenilir ve minimal invaziv restoratif yaklaşımlar sunarak tedavi başarısını ve hasta memnuniyetini arttırmaktadır.

Yapay zeka teknolojileri gelişmeye devam ettikçe, diş hekimleri veri gizliliğiyle ilgili zorlukların üstesinden gelmeli, kapsamlı eğitim almalı ve etik standartları korumalıdır. Restoratif diş hekimliği açısından yapay zeka modellerinin klinik performanslarının değerlendirilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Daha fazla araştırma, yapay zekanın diş hekimliği alanına sağlayacağı olumlu katkıyı destekleyecektir.

Kaynakça

- Abdalla-Aslan, R., Yeshua, T., Kabla, D., Leichter, I., & Nadler, C. (2020). An artificial intelligence system using machine-learning for automatic detection and classification of dental restorations in panoramic radiography. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 130(5), 593-602.
- Agrawal, P., Nikhade, P., & Nikhade, P. P. (2022). Artificial intelligence in dentistry: past, present, and future. *Cureus*, 14(7).
- Alsolamy, M., Nadeem, F., Azhari, A. A., Alsolami, W., & Ahmed, W. M. (2024). Automated detection and labeling of posterior teeth in dental bitewing X-rays using deep learning. *Computers in Biology and Medicine*, 183, 109262.
- Arjumand, B. (2024). The application of artificial intelligence in restorative dentistry: A narrative review of current research. *The Saudi Dental Journal*, 36(6), 835-840.
- Asiri, A. F., & Altuwalah, A. S. (2022). The role of neural artificial intelligence for diagnosis and treatment planning in endodontics: A qualitative review. *The Saudi Dental Journal*, 34(4), 270-281.
- Askar, H., Krois, J., Rohrer, C., Mertens, S., Elhennawy, K., Ottolenghi, L., . . . Schwendicke, F. (2021). Detecting white spot lesions on dental photography using deep learning: A pilot study. *Journal of dentistry*, 107, 103615.
- Ayhan, B., Ayan, E., Karadağ, G., & Bayraktar, Y. (2025). Evaluation of Caries Detection on Bitewing Radiographs: A Comparative Analysis of the Improved Deep Learning Model and Dentist Performance. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
- Basu, B., Gowtham, N., Xiao, Y., Kalidindi, S. R., & Leong, K. W. (2022). Biomaterialomics: Data science-driven pathways to develop fourth-generation biomaterials. *Acta Biomaterialia*, 143, 1-25.

- Bayraktar, Y., & Ayan, E. (2022). Diagnosis of interproximal caries lesions with deep convolutional neural network in digital bitewing radiographs. *Clinical oral investigations*, 26(1), 623-632.
- Benetti, A. R., Michou, S., Larsen, L., Peutzfeldt, A., Pallesen, U., & Van Dijken, J. W. V. (2019). Adhesion and marginal adaptation of a claimed bioactive, restorative material. *Biomaterial investigations in dentistry*, 6(1), 90-98.
- Cantu, A. G., Gehrung, S., Krois, J., Chaurasia, A., Rossi, J. G., Gaudin, R., . . . Schwendicke, F. (2020). Detecting caries lesions of different radiographic extension on bitewings using deep learning. *Journal of dentistry*, 100, 103425.
- Casalegno, F., Newton, T., Daher, R., Abdelaziz, M., Lodi-Rizzini, A., Schürmann, F., . . . Markram, H. (2019). Caries detection with near-infrared transillumination using deep learning. *Journal of dental research*, 98(11), 1227-1233.
- El Gezawi, M., Wölflé, U. C., Haridy, R., Fliefel, R., & Kaisarly, D. (2019). Remineralization, regeneration, and repair of natural tooth structure: Influences on the future of restorative dentistry practice. *ACS biomaterials science & engineering*, 5(10), 4899-4919.
- Elżbieta Machoy, M., Szyszka-Sommerfeld, L., Vegh, A., Gedrange, T., & Woźniak, K. (2020). The ways of using machine learning in dentistry. *Advances in Clinical & Experimental Medicine*, 29(3).
- Farook, T. H., Ahmed, S., Jamayet, N. B., Rashid, F., Barman, A., Sidhu, P., . . . Dudley, J. (2023). Computer-aided design and 3-dimensional artificial/convolutional neural network for digital partial dental crown synthesis and validation. *Scientific Reports*, 13(1), 1561.
- Fontenele, R. C., do Nascimento Gerhardt, M., Pinto, J. C., Van Gerven, A., Willems, H., Jacobs, R., & Freitas, D. Q. (2022). Influence of dental fillings and tooth type on the performance of a novel artificial intelligence-driven tool for automatic tooth segmentation on CBCT images—A validation study. *Journal of dentistry*, 119, 104069.
- Georgeanu, V. A., Gingu, O., Antoniac, I. V., & Manolea, H. O. (2023). Current options and future perspectives on bone graft

- and biomaterials substitutes for bone repair, from clinical needs to advanced biomaterials research. *Applied Sciences*, 13(14), 8471.
- Gokul, G., Ganesh S, B., & Don, K. (2020). Artificial Intelligence in Dentistry-A Review. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 14(4).
- Hung, M., Voss, M. W., Rosales, M. N., Li, W., Su, W., Xu, J., . . . Licari, F. W. (2019). Application of machine learning for diagnostic prediction of root caries. *Gerodontology*, 36(4), 395-404.
- Johari, M., Esmaeili, F., Andalib, A., Garjani, S., & Saberhari, H. (2016). A novel thresholding based algorithm for detection of vertical root fracture in nonendodontically treated premolar teeth. *Journal of Medical Signals & Sensors*, 6(2), 81-90.
- Kilpatrick, N., & Welbury, R. (2005). Advanced restorative dentistry. *Paediatric Dentistry*, 226-268.
- Lee, J.-H., Kim, D.-H., Jeong, S.-N., & Choi, S.-H. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of dentistry*, 77, 106-111.
- Li, H., Lai, L., Chen, L., Lu, C., & Cai, Q. (2015). The prediction in computer color matching of dentistry based on GA+ BP neural network. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2015(1), 816719.
- Li, Y., Zhou, Y., Lyu, J., Cao, X., Tan, J., & Liu, X. (2025). Feasibility and accuracy of semi-active robot-assisted porcelain veneer tooth preparation: An in vitro study. *Journal of dentistry*, 106012.
- Mao, Y.-C., Chen, T.-Y., Chou, H.-S., Lin, S.-Y., Liu, S.-Y., Chen, Y.-A., . . . Chen, S.-L. (2021). Caries and restoration detection using bitewing film based on transfer learning with CNNs. *Sensors*, 21(13), 4613.
- McCabe, J. F., & Rusby, S. (2004). Water absorption, dimensional change and radial pressure in resin matrix dental restorative materials. *Biomaterials*, 25(18), 4001-4007.
- Nadella, G. S., Satish, S., Meduri, K., & Meduri, S. S. (2023). A systematic literature review of advancements, challenges and

- future directions of AI and ML in healthcare. *International journal of machine learning for sustainable development*, 5(3), 115-130.
- Najeeb, M., & Islam, S. (2025). Artificial intelligence (AI) in restorative dentistry: current trends and future prospects. *BMC Oral Health*, 25(1), 592.
- Otani, T., Raigrodski, A. J., Mancl, L., Kanuma, I., & Rosen, J. (2015). In vitro evaluation of accuracy and precision of automated robotic tooth preparation system for porcelain laminate veneers. *The Journal of prosthetic dentistry*, 114(2), 229-235.
- Parhi, S., Pal, S., Das, S. K., & Ghosh, P. (2021). Strategies toward development of antimicrobial biomaterials for dental healthcare applications. *Biotechnology and Bioengineering*, 118(12), 4590-4622.
- Pérez de Frutos, J., Holden Helland, R., Desai, S., Nymoen, L. C., Langø, T., Remman, T., & Sen, A. (2024). AI-Dentify: deep learning for proximal caries detection on bitewing x-ray-HUNT4 Oral Health Study. *BMC Oral Health*, 24(1), 344.
- Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Vyas, S., Barmak, A. B., Özcan, M., Att, W., & Krishnamurthy, V. R. (2022). Artificial intelligence applications in restorative dentistry: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*, 128(5), 867-875.
- Schlickenrieder, A., Meyer, O., Schönewolf, J., Engels, P., Hickel, R., Gruhn, V., . . . Kühnisch, J. (2021). Automatized detection and categorization of fissure sealants from intraoral digital photographs using artificial intelligence. *Diagnostics*, 11(9), 1608.
- Schwendicke, F., Rossi, J., Göstemeyer, G., Elhennawy, K., Cantu, A., Gaudin, R., . . . Krois, J. (2021). Cost-effectiveness of artificial intelligence for proximal caries detection. *Journal of dental research*, 100(4), 369-376.
- Srivastava, M. M., Kumar, P., Pradhan, L., & Varadarajan, S. (2017). Detection of tooth caries in bitewing radiographs using deep learning. *arXiv preprint arXiv:1711.07312*.
- Surlari, Z., Budală, D. G., Lupu, C. I., Stelea, C. G., Butnaru, O. M., & Luchian, I. (2023). Current Progress and challenges of

- using artificial intelligence in clinical dentistry—A Narrative review. *Journal of clinical medicine*, 12(23), 7378.
- Tandon, D., Rajawat, J., & Banerjee, M. (2020). Present and future of artificial intelligence in dentistry. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 10(4), 391-396.
- Thurzo, A., Urbanova, W., Novak, B., Czako, L., Siebert, T., Stano, P., . . . Varga, I. (2022). *Where is the artificial intelligence applied in dentistry? Systematic review and literature analysis*. Paper presented at the Healthcare.
- Wang, L., Xu, Y., Wang, W., & Lu, Y. (2025). Application of machine learning in dentistry: insights, prospects and challenges. *Acta Odontologica Scandinavica*, 84, 43345.
- Yamaguchi, S., Lee, C., Karaer, O., Ban, S., Mine, A., & Imazato, S. (2019). Predicting the debonding of CAD/CAM composite resin crowns with AI. *Journal of dental research*, 98(11), 1234-1238.
- Yilmaz, E. C. (2020). Investigation of two-body wear resistance of composite materials for biomaterial application in oral environment: The influence of antagonist material. *Materials Technology*, 35(3), 159-167.

BÖLÜM 2

Modern Çürük Tanısı: Geleneksel Yöntemlerden Yapay Zekaya

İklima GÜNDOĞDU MEHMETHANOĞLU¹

Giriş

Diş çürüğü, dünya genelinde en yaygın görülen kronik hastalıktır ve klinik değerlendirmelerde başlangıç düzeyindeki lezyonlar da dikkate alındığında, tamamen çürüksüz birey sayısının oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerde okul çağındaki çocukların %60–90’ı, yetişkinlerin ise neredeyse tamamı çürükten etkilenmektedir.(Petersen et al., 2005)Çürük; diş yüzeyine tutunan bakterilerin fermentabl karbonhidratlarla etkileşimi sonucu oluşan asitlerin zamanla mine ve dentini demineralize etmesiyle ortaya çıkan, beyaz nokta lezyonlarından kavitasyona kadar ilerleyebilen multifaktöriyel bir süreçtir. Özellikle kavitasyona dönüşmemiş erken evre lezyonların ilerleyişinin daha yavaş gerçekleştiğinin anlaşılması, bu dönemde müdahale edildiğinde lezyonun durdurulabilme veya gerileme potansiyelinin arttığını göstermektedir. Bu nedenle, erken ve doğru çürük tespiti hem tedavi başarısının artması hem de ileri tedavilere olan ihtiyaç ve buna bağlı

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilimdalı, Orcid:0000-0001-9471-1142

sağlık maliyetlerinin azalması açısından kritik öneme sahiptir.(Albano et al., 2024; Tinanoff, 2019)

Günümüzde çürük tanısında temel yaklaşım halen klinik muayene ile radyografik değerlendirmenin birlikte yapılmasına dayanmaktadır.(Albano et al., 2024) Ancak özellikle erken evre çürüklerin güvenilir şekilde saptanmasındaki güçlükler, bu geleneksel yöntemlerin belirli sınırlılıklarını ortaya koymaktadır. Klinik muayenede operatöre bağlı farklılıkların bulunması, radyografilerin düşük kontrastlı başlangıç lezyonlarını her zaman yeterince ayırt edememesi ve subjektif değerlendirme ihtiyacı gibi dezavantajlar, daha hassas, objektif ve standartlaştırılmış yöntemlere olan gereksinimi artırmıştır. Bu nedenle geçmişten günümüze çürüğün daha erken, daha doğru ve daha minimal invaziv biçimde tespit edilebilmesi amacıyla optik görüntüleme teknikleri, floresans tabanlı sistemler, transilluminasyon yöntemleri ve dijital radyografi gibi çeşitli tanı teknolojileri geliştirilmiştir. Dijital tanı araçlarının yaygınlaşması ile birlikte, çürük tespitinde kullanılan yöntemlerin hassasiyeti ve tekrarlanabilirliği artmış, klinisyenler arasındaki tanısal farklılıkların azaltılması konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Son yıllarda dijitalleşme ve yapay zeka alanındaki hızlı gelişmeler, diş çürüğü tanısının önemli bir dönüşüm sürecine girmesine neden olmuştur. Yapay zeka tabanlı modellerin dental görüntülerdeki patolojik değişiklikleri algılama ve sınıflandırma kapasitesinin artması, çürük tespitinde daha objektif, daha hızlı ve daha standartlaştırılmış değerlendirmeler için umut vadetmektedir. Derin öğrenme algoritmalarıyla güçlendirilen bu sistemler, 2D radyografilerden CBCT gibi üç boyutlu görüntülere kadar farklı veri kaynaklarını analiz ederek, klinisyene tanısal süreçte ek bir karar destek bileşeni sunmaktadır. Yapay zekanın çürük tespitindeki performansının son yıllarda yapılan çalışmalarla giderek daha fazla araştırılması, bu teknolojilerin rutin klinik uygulamalara

entegrasyon potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu bölümde, geleneksel yöntemlerden yapay zeka destekli sistemlere uzanan çürük teşhis yöntemleri ele alınacaktır.

Tablo 1 Çürük teşhis yöntemleri

Çürük Teşhis Yöntemleri						
Geleneksel Yöntemler	Çürük Boyaları	Floresan Yöntemler	Optik Temelli Yöntemler	Elektiriksel İletkenlik Ölçüm Yöntemleri	Tomografi	Diğer Yöntemler
-Görsel ve dokunsal muayene	-Caries detector	-Lazer floresan (Diagnodent)	-Fiber optik ve dijital fiber optik transillüminasyon (FOTI-DIFOTI)	-Elektronik çürük monitörü (ECM)	- Ayarlanmış açıklıklı bilgisayarlı tomografi (TACT)	-Konfokal lazer taramalı mikroskop (CLSM)
-Radyografik muayene	-Caries check	-Kantitatif ışıkla indüklenen floresan (QLF)	- Yakın kızılötesi ışık transillüminasyon yöntemi (Near-Infrared Light Transillumination, NILT) (DiagnoCam)	-Elektrik empedans spektroskopisi (EIS)	- Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT)	-Ultrasonik görüntüleme
*Xeroradyografi		-Floresan yardımıyla çürük temizleme (FACE)		-Alternatif akım empedans spektroskopisi (AAIS)	- Optik kohorens tomografi (OCT)	-Terahertz görüntüleme
*Substraksiyon radyografisi		-Canary sistem				-Raman spektroskopisi
		-LIFEDT (Light induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment)				-Yapay zeka ve çürük teşhisi
		-Soprolife ve Soprocare				
		-Spectra				
		-VistaCam				

Çürük Teşhisinde Geleneksel Yöntemler

Görsel ve dokunsal muayene

Çürük teşhisinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, dişlerin temiz ve kuru halde doğrudan görsel ve dokunsal olarak değerlendirilmesidir.(McComb & Tam, 2001) Bu değerlendirme genellikle uygun bir ışık kaynağı altında, ayna ve sond yardımıyla gerçekleştirilir. Ancak, sondun keskin ucunun mine yüzeyinde mikrotravmalara yol açabileceği ve bu durumun bakterilerin daha

derin dokulara ulaşmasına zemin hazırlayabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle, özellikle aproksimal yüzeylerin değerlendirilmesinde sond yerine diş ipi kullanımı önerilmektedir. Diş ipi, iki diş arasındaki temas noktalarından geçirilerek kullanıldığında, lif yapısında meydana gelen deformasyon veya liflerin takılması, aproksimal çürük varlığının bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.(Zandoná & Zero, 2006)

Klinik muayene sırasında, diş yüzeyleri ışık altında incelenerek çeşitli görsel değişiklikler değerlendirilir. Mine yüzeyinde meydana gelen erozyon, renk ve translusensi değişiklikleri, yüzey pürüzlülüğü ile kavitasyon varlığı, çürüğün varlığı ve ilerleme derecesi hakkında bilgi verir. Demineralize mine, ışığın saçılması nedeniyle sağlıklı mineye göre daha beyaz ve opak bir görünüm sergiler. Demineralize dentin ise, minenin altından daha koyu bir gölge şeklinde gözlenir. Demineralizasyonun ilerlemesiyle birlikte yüzey bütünlüğü bozulur ve kavitasyon oluşumu meydana gelir.(Featherstone, 2008; Sudjalim et al., 2006) Bu bulgular, çürüğün klinik sınıflandırılmasında ve tedavi planlamasında önemli bir rol oynar.

Diş hekimliğinde görsel muayenede büyütme sistemlerinin kullanımı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Özellikle pit ve fissür bölgelerinde sond kullanımının oluşturabileceği olumsuzluklardan kaçınmak amacıyla, büyütme sistemlerinden yararlanılması önerilmektedir. Bununla birlikte, bu tür sistemlerin bazı durumlarda lezyonun boyutunu olduğundan daha büyük gösterebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.(Ari & Ari, 2013)

Radyografik muayene

Radyografik inceleme, klinik muayene sırasında gözle tespit edilemeyen veya şüpheli lezyonların değerlendirilmesinde önemli bir tanısal araçtır. Özellikle mine yüzeyinin altında meydana gelen demineralizasyonların ve dentin dokusuna ilerlemiş lezyonların

saptanmasında yüksek duyarlılığa sahiptir. Bunun yanı sıra, restorasyon altındaki sekonder çürüklerin, kök yüzeyi çürüklerinin ve ilerleme eğilimi gösteren lezyonların takibinde de kullanılmaktadır.(Razmus & Williamson, n.d.)

Geleneksel olarak kullanılan analog radyografik yöntemler, günümüzde yerini bilgisayar ortamında saklanabilen ve dijital teknolojilerle işlenebilen dijital görüntülere bırakmıştır. Dijital sistemler, hem görüntü kalitesinin artırılması hem de düşük radyasyon dozu ile çekim yapılabilmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.(Barbat & Messer, 1998)

Radyografik görüntüleme yöntemleri intraoral ve ekstraoral olarak iki ana grupta incelenir(Razmus & Williamson, n.d.).

İntraoral radyografiler; bite-wing (ısırtma), periapikal ve oklüzal teknikler kullanılarak elde edilir. Bu yöntemler, özellikle dişlerin detaylı anatomik yapılarının ve erken dönem çürük lezyonlarının değerlendirilmesinde etkilidir.

Ekstraoral radyografiler ise film veya dedektörün hastanın ağız dışına yerleştirildiği yöntemlerdir. Panoramik radyografi bu grupta yer almakta olup, çenelerin ve dişlerin genel durumunu tek bir görüntüde değerlendirme imkanı sunar.

Panoramik radyografi; geniş anatomik alanı kapsayabilmesi, düşük radyasyon dozu gerektirmesi, kısa çekim süresi ve hasta konforunun yüksek olması gibi nedenlerle sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak, intraoral radyografiler kadar ayrıntılı görüntü sağlayamaması, premolar bölgedeki süperpozisyonlar, büyütme (magnifikasyon) etkileri ve geometrik bozulmalar gibi dezavantajlara sahiptir.(Flint et al., 1998; White & Pharoah, 2013) Bu nedenle, tanının doğrulanması veya desteklenmesi amacıyla panoramik radyografiye ek olarak periapikal ya da bite-wing radyografilerle değerlendirme yapılması önerilmektedir.(Bozdemir & Yarbaşı, 2019)

Çürük teşhisinde periapikal, bite-wing ve panoramik radyografiler kullanılabilirle birlikte, en güvenilir ve en sık tercih edilen yöntem bite-wing radyografileridir. Bu teknik, özellikle posterior dişlerin aproksimal yüzeylerinde erken dönem mine ve dentin çürüklerinin saptanmasında yüksek doğruluk oranına sahiptir. (Hyvönen et al., 2021) Çürük lezyonları radyografide genellikle mine ve dentinde radyolüsens (koyu) alanlar şeklinde görülür ve lezyonun ilerlemesine bağlı olarak bu alanların yoğunluğu artar.(Cosson, 2020)

Xeroradyografi

Xeroradyografi, X-ışınlarıyla oluşturulan görüntüleri kaydetmek için geliştirilen ve başlangıçta tıp alanında kullanılan kuru bir görüntüleme tekniğidir. Geleneksel gümüş halojenür film sistemlerinden farklı olarak ıslak kimyasal banyo ve karanlık oda gerektirmez. Bu teknikte, elektriksel olarak yüklenmiş selenyum yüzeyli bir fotoreseptör kullanılır. Fotoreseptör, ışık geçirmez bir kaset içinde ağız içine yerleştirilir ve film gibi X-ışınına maruz bırakılır. Oluşan elektrostatik görüntü, sıvı tonerle geliştirilerek plastik bir altlığa aktarılır. Reseptörün temizlenip yeniden kullanılabilmesi ve yaklaşık 20 saniyelik hızlı işlem süresi yöntemin dikkat çeken özelliklerindendir.(Ann Wenzel, 2021)

Substraksiyon radyografisi

1980'li yılların başında bazı araştırmacılar, iki farklı film radyografisini sayısallaştırarak bunların sayısal verilerini birbirinden çıkarmayı mümkün kılan yenilikçi çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu yaklaşımın amacı, iki radyografiyi geleneksel yöntemle karşılaştırmaktan ziyade, elde edilen sübtraksiyon görüntüsünün daha fazla tanısal bilgi sağlayıp sağlamadığını ortaya koymaktır. Bu öncü çalışmalar, sübtraksiyon işlemi yapılmadan önce görüntülerdeki geometrik bozulmaların matematiksel düzeltmelerini de içermektedir.(Ann Wenzel, 2021)

Kontrollü projeksiyon açıları kullanılarak alınan iki radyografik görüntü dijital olarak üst üste getirilip sübtraksiyon işlemine tabi tutulduğunda, teorik olarak değişmeyen anatomik yapılar birbirini yok eder ve sübtraksiyon görüntüsünde nötr gri tonlarında görünür. Buna karşılık iki çekim arasındaki zaman içinde değişime uğrayan bölgeler daha koyu ya da daha açık tonlarda belirginleşir. Çekimler sırasında tamamen önlenemeyen projeksiyon farklılıkları ise matematiksel algoritmalarla büyük ölçüde telafi edilebilmektedir. Ayrıca, iki görüntü üzerinde referans noktalarının doğru konumlandırılması, geleneksel manuel bindirme yöntemine göre çok daha kaliteli sübtraksiyon görüntüleri elde edilmesini sağlamıştır.(A Wenzel, 1989; Ann Wenzel, 2021)

Çürük Tespit Boyaları

Çürük dentinin enfekte ve etkilenmiş tabakalarını ayırt etmek için 1970'li yıllarda bazik fuksin ile başlayan, daha sonra kanserojenite nedeniyle asit kırmızısı ve farklı protein boyalarıyla devam eden çürük tespit boyaları (caries-detection dye) uygulamaları geliştirilmiştir.(Fusayama, 1979) Boyaların yalnızca enfekte dentini boyadığı ve çürük kaldırma işlemini kolaylaştırdığı iddia edilse de yöntem zahmetli ve zaman alıcı bulunmuştur.(Kuboki et al., 1983) ABD ve Birleşik Krallık'ta yapılan çalışmalar, öğrenciler tarafından hazırlanıp eğitmenlerce çürüksüz kabul edilen kavitelerin yarısından fazlasında boyanma olduğunu göstermiş, bu durum klinik değerlendirmenin her zaman güvenilir olmadığını düşündürmüştür. Ancak laboratuvar verileri, boyalı dentinin her zaman enfeksiyonu değil, düşük mineralizasyonu gösterdiğini ortaya koymuştur.(Anderson & Charbeneau, 1985) Bu bulgular özellikle mine-dentin birleşim bölgesinde dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamış ve gereksiz dentin kaldırılmasının pulpa açısından risk oluşturabileceği belirtilmiştir.(Kidd et al., 1989)

Çürük tespit boyaları temel olarak bir boya maddesi ile çoğunlukla propilen glikol içeren bir çözücünden oluşmaktadır. Çürük tespitinde yaygın olarak kullanılan ürünlerden biri olan Caries

Detector (Kuraray Medical Inc., Tokyo, Japonya), çözücü olarak propilen glikol içermekte olup formülasyonunda %1 oranında asit kırmızısı barındırmaktadır. Düşük molekül ağırlığına sahip çözücülerin, daha yüksek molekül ağırlıklı çözücülere göre dentin gibi geçirgen dokulara daha derin nüfuz edebildiği bilinmektedir.(Javaheri et al., 2010) Bu doğrultuda, polipropilen glikol içerisinde %1 oranında asit kırmızısı içeren yeni bir tespit boyası olan Caries Check geliştirilmiştir. (Hosoya et al., 2007)Bu üründe kullanılan çözücünün daha yüksek molekül ağırlığına sahip olması, geleneksel tespit boyalarında yer alan propilen glikole kıyasla dentinin gözenekli yapısına aşırı penetrasyon riskini azaltarak gereksiz dentin uzaklaştırılmasının önüne geçmeyi amaçlamaktadır.

Resim 1 Caries Detector (Kuraray Medical Inc., Tokyo, Japonya)



Floresan Yöntemler

Floresans, bir materyalin belirli bir dalga boyundaki ışıkla uyarıldığında, daha uzun dalga boyuna sahip bir ışığı geri yayması şeklinde tanımlanabilir.(Angmar-Mansson & Ten Bosh, 1993) Diş sert dokularının organik yapılarından yayılan floresan özelliklerine dayanan iki temel tanı sistemi geliştirilmiştir. Bunlardan ilki, 290–450 nm aralığında ışık üreten bir ark lambası ile çalışan kantitatif ışık kaynaklı floresans (QLF) tekniğidir (QLF-clin, Inspector Research Systems BV, Amsterdam). Diğer yöntem ise kızılötesi ışık ve 655 nm dalga boyu kullanan lazer floresans temelli DIAGNOdent cihazıdır (KaVo Dental, DIAGNOdent pen, Zürih). Her iki sistem de

mine ve dentindeki mineral kaybını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş floresan temelli görüntüleme yaklaşımlarıdır.(Yılmaz & Keleş, 2018; Zandon & Zero, 2006)

Lazer Floresans Yöntemi (Diagnodent)

Mine dokusu yüksek mineral içeriğine sahip olduğundan doğal floresans özelliği oldukça zayıftır. Mine ya da dentinde ortaya çıkan mineral kaybı ise ışığın geri yansımısını değiştirerek çürük ve sağlam bölgeler arasında belirgin bir floresans farkı oluşmasına neden olur. Bu prensip ilk kez 1980’li yıllarda tanımlanmış ve çürük dokusunun floresans tepkisinin sağlam mineye göre farklılık gösterdiği ortaya konmuştur. Ardından yapılan çalışmalar, kırmızı bölgedeki 638–655 nm ışığın çürük dokularında daha yoğun floresans oluşturduğunu göstermiştir. Bu bulgular doğrultusunda Kavo firması, 1998 yılında lazer floresans temelli tanı sistemi olan diagnodent cihazını geliştirmiştir.(Lussi et al., 1999; Yılmaz & Keleş, 2018)

Cihaz, dişleri 655 nm dalga boyundaki lazer ışığıyla aydınlatır. Demineralizasyon ilerledikçe dokuda meydana gelen fiziksel ve biyokimyasal değişiklikler floresans sinyalinin artmasına yol açar. Bu sinyaller cihaz tarafından algılanarak 0 ile 99 arasında bir sayısal değere dnştirlr. Değer yükseldikçe çürük olasılığı artar. Ölçümler sayısal olduğu için yöntem objektif veriler sunar ve aynı yüzeyin farklı zamanlardaki durumunun karşılaştırılmasına olanak tanır.

Floresans artışının yalnızca mineral kaybından değil, çürüğe neden olan bakterilerin ürettiği porfirin ve metalloporfirin gibi metabolitlerden de kaynaklandığı bilinmektedir. Cihazda kullanılan lazer ışığı yaklaşık 2 mm derinliğe kadar nüfuz edebilir. Okluzal ve arayüz bölgeleri için tasarlanmış iki farklı fiber u bulunur; ancak uçların boyutu nedeniyle özellikle arayüz bölgelerinde kullanım sınırlanabilmektedir.

DIAGNOdent iyonizan radyasyon içermediğinden güvenli bir yöntemdir. Fissür bölgelerinde erken dönem çürüklerinin belirlenmesinde, girişimsel olmayan bir yaklaşımla klinisyene yardımcı olur. Ayrıca ölçümlerin tekrarlanabilir olması, lezyon takibine olanak sağlar. Buna karşın cihaz; ileri derecede dentin kaybı bulunan dişlerde ayırıcı tanı yapmada, restorasyonlu yüzeylerde ve sekonder çürüklerde, plak, diş taşı veya hipomineralizasyon varlığında doğru sonuç vermede yetersiz kalabilir. Yüksek maliyet de dezavantajlar arasında yer almaktadır.

Klasik modele ek olarak geliştirilen Diagnodent Pen, aynı çalışma prensibini sürdürmekle birlikte daha ergonomik bir yapıya sahiptir. İki farklı safir ucu sayesinde hem okluzal hem de arayüz bölgelerinde daha kolay kullanım sunar. Daha hafif, esnek yapısı ve döndürülebilir uçları özellikle arayüz çürüklerinin aydınlatılmasını kolaylaştırır.(Lussi et al., 1999; Yılmaz & Keleş, 2018)

Resim 2 DIAGNOdent (KaVo, Biberach, Germany), (Chaurasia & Ishrat, 2020)



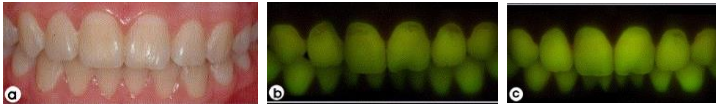
Kantitatif ışık etkili floresan (QLF)

Kantitatif ışık etkili floresan (Quantitative Light Fluorescence-QLF) sistemi; ışık kaynağı, CCD kamera ve özel yazılıma sahip bir bilgisayar biriminden oluşur. Mavi ışık (yaklaşık 290–450 nm) ile uyarılan diş yüzeyinden yayılan floresans, sarı filtre aracılığıyla görüntülenir ve yazılım sayesinde mineral kaybı yüzde

olarak hesaplanır. %5'in üzerindeki floresans kaybı, mine lezyonu varlığını gösterir. Yöntem; özellikle düz yüzeylerdeki başlangıç çürüklerinin uzun süreli takibi, ortodontik tedavi sırasında oluşan beyaz nokta lezyonlarının izlenmesi ve remineralizasyon süreçlerinin değerlendirilmesi için uygundur.(Stookey, 2004; Yılmaz & Keleş, 2018)

QLF, oklüzal yüzeylerde de kullanılabilmeyle birlikte fissür morfolojisi, yüzeydeki lekeler ve ıslaklık gibi faktörlerden etkilenebilir. Bu nedenle muayene öncesi plağın uzaklaştırılması önerilir. Yöntemin yalnızca mine dokusundaki değişiklikleri gösterebildiği, dentin çürüğünü ayırt etme amacıyla geliştirilmediği unutulmamalıdır. Ek olarak, plak içerisindeki mikroorganizmalardan kaynaklanan kırmızı floresansın ölçülmesiyle ağız hijyeni değerlendirmesi, protez yüzeylerindeki plak birikiminin analizi ve restorasyon kenarlarında sızıntının tespiti de yapılabilir.(Angmar-Mansson & Ten Bosh, 1993; Yılmaz & Keleş, 2018)

Resim 3 QLF görüntülerine örnek. (a) Üst dişleri etkileyen erken bukkal çürüklerin beyaz ışık görüntüsü, (b) (a) ile aynı anda alınan QLF görüntüsünde, sağlam ve demineralize mine arasındaki kontrastın artması sonucu lezyonların görüntüsü, (c) Ağız hijyeni programının uygulanmasından 6 ay sonra lezyonların iyileşmiş görüntüsü.(Pretty, 2006)



Floresan Yardımıyla Çürük Temizleme (FACE)

Floresans temelli bir diğer yöntem olan FACE (fluorescence-aided caries excavation), enfekte dentinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. FACE yöntemi, Diagnodentten farklı olarak kırmızı lazer yerine 370–420 nm aralığında mor ışık kullanan fiber optik bir yapı içerir. Bu ışık, yavaş dönen bir el aletine entegre edilir. Hekim,

özel sarı filtrelili gözlük aracılığıyla dentinden yansıyan floresansı görür ve yalnızca kırmızı-turuncu floresans gösteren enfekte dentin dokusunu uzaklaştırabilir. Böylece, sağlam veya sadece etkilenmiş dentinin korunması amaçlanır.(Lennon et al., 2009)

Resim 4 FaceLight (W&H Dentalwerk, Bürmoos GmbH, Austria)



Canary sistem

Canary, fototermal radyometri (PTR) ve lüminesans (LUM) temelli enerji dönüşüm teknolojisini kullanan bir çürük tespit sistemidir. Cihazın çalışma prensibi, diş yüzeyine uygulanan 2 Hz frekansında atımlı lazer ışığının dokular tarafından soğurulmasıyla başlar. Soğurulan bu ışığın bir kısmı lüminesans sinyaline dönüşürken, bir kısmı da ısı salınımına neden olur. PTR yöntemi bu ısı değişimini, LUM ise yayılan ışığı ölçerek diş yapısındaki bozulmalar hakkında bilgi sağlar.(Jeon et al., 2007)

Lazer ışığının diş dokularına penetrasyonu yüzeyden yaklaşık 50 µm ile 5 mm derinliğe kadar olabilir. Bu özellik, hem başlangıç düzeyindeki hem de daha derin çürük lezyonlarının tespit edilmesine olanak tanır.

Cihazın ölçümleri sonucunda “Canary sayısı” olarak adlandırılan bir değer elde edilir. Bu sayı 0 ile 100 arasında değişmekte olup, lezyonun durumunu değerlendirmeye yardımcı olur. Ölçeklendirme şu şekildedir:

0–20: Sağlıklı doku

21–70: Doku bütünlüğünde bozulma

71–100: İleri düzeyde bozulma

Bu sayısal değerlendirme, klinisyenlere çürüğün ilerleme derecesi hakkında objektif bir yaklaşım sunarak tedavi planlamasını destekler.(Abrams et al., 2017; Silvertown et al., 2017)

*Resim 5 Canary System (Quantum Dental Technologies Inc.,
Toronto, Ontario, Canada)*



LIFEDT (Light induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment)

LIFEDT, floresans özellikli bir kamera ile çalışan ve çürük dokusunun görsel olarak değerlendirilmesini sağlayan bir görüntüleme sistemidir. İnceleme öncesinde diş yüzeyinin temizlenmesi gerekir. Diş, hem normal ışık altında hem de floresans modunda yüksek büyütme ile incelenir; dentin veya mineden yansıyan ışığın rengi ve parlaklığı sağlam bölgelerle karşılaştırılarak dokudaki değişiklikler belirlenir. Sağlıklı dentin genellikle yeşil, enfekte dentin daha koyu tonlarda; etkilenmiş-enfekte dentin sınırı ise kırmızıya yakın bir renkte görülür. Çürük uzaklaştırıldığında kavite tabanındaki sağlıklı dentin daha açık, asit yeşili tonlarında izlenir. Sistem sayısal ölçüm sunmaz; ancak elde edilen görsel bulgular, klinisyenin çürük tespiti ve kavite sınırlarını daha doğru belirlemesine yardımcı olur.(Tassery et al., 2013; Terrer et al., 2010)

Soprolife ve Soprocure

LIFEDT prensibiyle çalışan SoproLife (Acteon, La Ciotat, Fransa), çürük tespiti ve kavite hazırlığına rehberlik etmek amacıyla geliştirilmiş floresans tabanlı bir ağız içi kamera sistemidir. Cihazda biri beyaz ışık, diğeri ise 450 nm dalga boyunda mavi ışık veren iki farklı LED bulunur. Ayrıca 0,25 inç CCD görüntü sensörü içerir ve üç modda çalışabilir: gün ışığı modu, mavi ışık kullanılarak yapılan teşhis modu ve tedavi sırasında yönlendirme sağlayan mod.(Panayotov et al., 2013)

SoproCare ise gün ışığı, çürük ve periodontal mod seçenekleri sunarak hem mine ve dentin çürüklerinin hem de periodontal inflamasyonun görüntülenmesine imkan tanır. Bu iki sistemle elde edilen görüntüler bilgisayar ortamında kaydedilip arşivlenebilir.

Üretici verilerine göre, dentin sağlıklı olduğunda yeşil, enfekte olduğunda ise koyu kırmızı renkte floresans verir. Sağlam dentin belirgin yeşil floresans gösterirken, mine bu özellik açısından sınırlı yanıt verir. Otofloresans görüntünün anatomik yapılarla çakışması durumunda farklı frekans bantlarında oluşan floresans, dokunun yoğunluk, yapı veya kimyasal bileşimindeki değişikliklerin değerlendirilmesine katkı sağlar.(Panayotov et al., 2013; Tassery et al., 2013)

Spectra

405 nm dalga boyunda LED ışık kaynağı kullanarak diş yüzeyindeki floresans yanıtını değerlendirir. Çürük oluşturan bakterilerde bulunan porfirinlerin floresans özelliği sayesinde lezyon alanları kırmızı, sağlıklı diş dokuları ise yeşil tonlarda görünür. Elde edilen bulgular grafikler ve sayısal değerler halinde kaydedilebilir. Bu veriler, lezyonun ilerlemesi veya remineralizasyon süreçlerinin izlenmesinde klinisyene yardımcı olur.(Caceda et al., 2023)

VistaCam

VistaCam (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Almanya), 405 nm dalga boyunda mor ışık kullanarak diş yüzeyinden yansıyan floresans sinyalini dijital olarak kaydeden bir ağız içi kamera sistemidir. Sağlıklı diş dokusu genellikle yeşil-sarı tonlarda (yaklaşık 510 nm), çürükle ilişkili bakteriyel metabolitler ise kırmızı bölgede (yaklaşık 680 nm) floresans oluşturur. Cihaza bağlı yazılım, kırmızı ve yeşil sinyallerin oranını analiz ederek sağlıklı dokudan sapma gösteren alanları belirler ve bu sayede çürük tespitine yardımcı olur.(Seremidi et al., 2012)

Resim 6 VistaCam (Durr Dental, Bietigheim-bissingen, Germany)



Optik Temelli Yöntemler

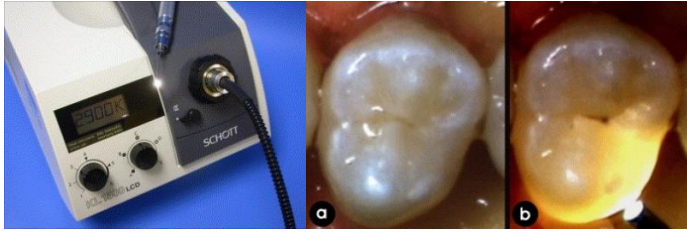
Fiber Optik ve Dijital Fiber Optik Transilüminasyon Yöntemleri (FOTI-DIFOTI)

Çürük dokusunun ışığı sağlam mineye göre daha fazla soğurması ve daha düşük geçirgenlik göstermesi, fiber optik yöntemlerin temelini oluşturmaktadır. Fiber Optik Transilüminasyon (FOTI) tekniği ilk olarak 1970'lerde interproksimal çürüklerin tespiti amacıyla geliştirilmiştir. Yöntemde, cihazın ışık kaynağından gelen yüksek yoğunluklu görünür ışık fiber optik bir uç aracılığıyla dişin bukkal veya lingual yüzeyine yönlendirilir. Işık diş dokularından geçerken mine ve dentindeki mineral kaybına bağlı olarak oluşan renk tonlarındaki değişiklikler incelenir. Çürük bölgeler, dentin tübülleri boyunca ışığın dağılımının bozulması nedeniyle koyu gölgeler şeklinde izlenir. Bu özellik sayesinde özellikle oklüzal lezyonların derinliğinin değerlendirilmesi ve proksimal çürüklerin tespitinde

etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir.(Friedman & Marcus, 1970)

FOTI'nin geliştirilmiş dijital versiyonu olan Dijitalize Fiber Optik Transillüminasyon (DIFOTI), fiber optik ışık kaynağının bir CCD kamera ile birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu yöntemle elde edilen görüntüler dijital olarak kaydedilmekte, bilgisayar ortamına aktarılarak farklı zamanlarda alınan görüntülerle karşılaştırma yapılabilmektedir. (Pretty & Maupomé, 2004)

Resim 7 FOTI ekipmanı. (a) Normal klinik görüntü, (b) FOTI görüntüsü.(Pretty, 2006)



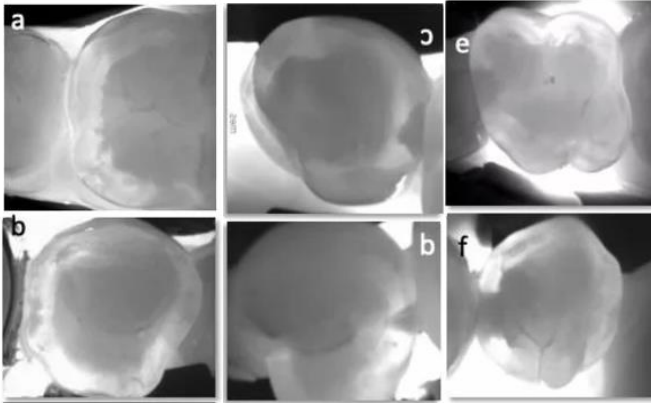
Yakın kızılötesi ışık transillüminasyon yöntemi (Near-Infrared Light Transillumination, NILT)

Yakın kızılötesi ışık (700–1500 nm), görünür ışığa kıyasla daha az saçılma gösterdiği için dokulara daha derin nüfuz edebilir. Mine bu dalga boylarında büyük ölçüde şeffaf görünürken, dentin ışığı belirgin şekilde saçar. Bu özellik, çürük lezyonlarının görüntülenmesini mümkün kılar.(Fried et al., 2005)

Yakın kızılötesi ışık teknolojisini çürük tespitinde kullanan ilk cihazlardan biri olan DiagnoCam (Kavo, Biberach, Almanya), 780 nm dalga boyunda çalışan iki lazer diyot içerir. Cihaz, ışığı servikal veya radiküler bölgeden vestibül yüzeye doğru ileterek gerçek zamanlı görüntü elde edilmesini sağlar. Kaydedilebilen bu görüntüler, çürüğün ilerleme sürecinin izlenmesine olanak tanır. Ayrıca sistem, yorumlaması kolay bir görüntü sunarak deneyimsiz

klinisyenler için bile kullanım kolaylığı sağlar.(Fried et al., 2005; Söchtig et al., 2014)

Resim 8 Yakın kızılötesi ışık transilluminasyon kullanılarak tespit edilen proksimal lezyonların farklı evrelerine örnekler. Sağlam mine (a), mine lezyonları (b–d) ve dentin lezyonları (e,f).(Abdelaziz, 2023)



Elektriksel İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

Çürük teşhisinde elektriksel iletkenlikten yararlanma fikri ilk kez 19. yüzyılda ortaya atılmış, daha sonra Pincus tarafından 1951’de ECM cihazı ile sistematik olarak ele alınmıştır. Bu yöntemin temel prensibi, sağlıklı ve çürük diş dokularının iletkenlik farkına dayanır. Sağlam mine neredeyse hiç iletkenlik göstermezken, su içeriği artmış çürük veya demineralize mine daha yüksek iletkenlik sergiler. Demineralizasyon ilerledikçe bu iletkenlik de artar. Dentin ise çok sayıdaki dentin tübülü nedeniyle mineden daha iletkendir.(Angmar-Mansson & Ten Bosh, 1993)

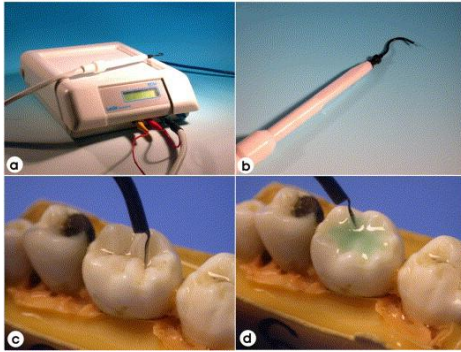
Elektronik Çürük Monitörü (ECM)

Elektronik Çürük Monitörü (ECM; Lode Diagnostic, Groningen, Hollanda), diş dokularının elektriksel iletkenliğini ölçmeye yönelik geliştirilmiş bir cihazdır. Elektriksel iletkenlik,

fissüre yerleştirilen bir sond ile yüksek iletkenliğe sahip dişeti veya deri gibi bir bölgeye bağlanan bir konnektör kullanılarak ölçülür. İletkenlik ölçümleri sonucunda sistem tarafından verilen skor, çürüğün derinliğini belirlemektedir. ECM sayısal değerlendirmeleri şu şekildedir: 1.00–3.00 arası değerler sağlıklı mine veya erken çürük başlangıcını, 3.01–6.00 arası değerler mine-dentin sınırına kadar ilerlemiş mine çürüğünü, 6.01–8.00 arası değerler dentin çürüğünü ve 8.01–13.00 arası değerler ise derin dentin çürüğünü ifade eder.(Ashley et al., 1998)

ECM ölçümleri; dişin ve ağız ortamının sıcaklığı, mine ve dentinin kalınlığı, probun temas alanı, yüzey nemi, dokulardaki iyon konsantrasyonu ve dişin porözitesi gibi birçok fiziksel faktörden etkilenir. Ayrıca invaziv olmamasına rağmen dokuya elektrik akımı uygulanması yöntemin klinik kabulü açısından zaman zaman tartışma yaratmıştır.(Pretty, 2006)

Resim 9 ECM cihazı (Sürüm 4) ve klinik uygulaması. (a) ECM makinesi, (b) ECM el aleti, (c) bölgeye özgü ölçüm tekniği, (d) yüzeye özgü ölçüm tekniği.(Pretty, 2006)



Elektrik Empedans Spektroskopisi (EIS)

Elektrik Empedans Spektroskopisi (EIS), elektriksel iletkenlik farklılıklarını esas alan başka bir tanı yöntemidir. Bu sistem, elektriksel frekans dağılımlarını tarayarak kapasitans ve

empedans gibi çeşitli parametreler hakkında bilgi sağlar. ECM'den farklı olarak ölçümlerini sabit bir frekans yerine çoklu frekanslar kullanarak gerçekleştirir.(Herencsar et al., 2020)

Alternatif Akım Empedans Spektroskopisi (AAIS)

Alternatif Akım Empedans Spektroskopisi (AAIS; CarieScan PRO, Dundee, İskoçya), teknolojik gelişmelerle birlikte çürük teşhisi amacıyla geliştirilmiş non-invaziv cihazlardan biridir. Bu yöntemin çalışma prensibi, düşük voltajlı bir akımın doğrudan diş yüzeyine uygulanması ve buna bağlı olarak diş dokusundaki mineral yoğunluğundaki değişimin ölçülmesine dayanır. Sağlıklı diş sert dokuları yüksek direnç ve empedansa sahipken, demineralizasyon gerçekleştiğinde bu değerler düşmektedir.(Longbottom et al., 1996)

Tomografi

Tomografi kelimesi, Eski Yunanca “tomos” (kesit, dilim) ve “graphein” (yazmak, kaydetmek) sözcüklerinden türemiştir. Bu terim, bir nesnenin iç yapısının kesitler halinde görüntülenmesini ifade etmek için kullanılmaktadır. (HAMAN BAYARI et al., 2023)Kesitsel görüntüleme mantığı, üst üste gelen anatomik yapıların ayrıştırılarak ayrı düzlemler halinde gösterilmesine dayanır ve bu sayede dokular daha net ve detaylı şekilde değerlendirilebilir.

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT)

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT), diş hekimliğinde kraniofasial bölgenin üst üste bindirilmiş üç boyutlu görüntülerini elde etmek için sıkça kullanılan ileri bir radyolojik tekniktir. Bu yöntem, koni şeklinde bir X-ışını demeti ve iki boyutlu bir görüntü alıcısı kullanarak hacimsel veri setine dayalı ikincil kesitler ve buna karşılık gelen 3 boyutlu rekonstrüksiyonlar üretir.

CBCT, geleneksel bilgisayarlı tomografiye (BT) kıyasla absorbe edilen radyasyon dozları ve maliyetler açısından önemli

ölçüde avantaj sağlar. Kraniyofasiyal bölgeden elde edilen veriler, özellikle aksiyal düzlemde, konvansiyonel BT sistemlerine göre daha yüksek çözünürlükte değerlendirilir. Cihazların kompakt yapısı sayesinde çoğu dental klinikte kolayca kullanılabilir olması da bu yöntemin pratikliğini artırmaktadır.

CBCT günümüzde daha çok implantoloji, ortodonti, çene cerrahisi ve temporomandibular eklem patolojilerinin değerlendirilmesinde kullanılmakla birlikte, son yıllarda diş çürüklerinin teşhisine yönelik çalışmalar da artış göstermiştir. Bu çalışmalar, özellikle geleneksel iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda CBCT'nin alternatif veya destekleyici bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle iki boyutlu radyografilerin yetersiz kaldığı durumlarda, CBCT çürük lezyonlarının üç boyutlu değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.(Park et al., 2011)

Resim 10 CBCT ile ikinci molarda çürük ve dış kök rezorpsiyonu görüntüsü.(Wang et al., 2017)



Ayarlanmış açıklıklı bilgisayarlı tomografi (TACT)

TACT, konvansiyonel radyografi ile bilgisayarlı tomografi arasında yer alan bir görüntüleme tekniğidir. Bu yöntemde, dijital reseptör ve X-ışını kaynağı kullanılarak yaklaşık 5°'lik açı değişimleriyle ardışık olarak elde edilen birden fazla iki boyutlu görüntü, özel bir bilgisayar yazılımı aracılığıyla üst üste getirilmekte ve üç boyutlu olarak yeniden yapılandırılmaktadır. Böylece, konvansiyonel radyografiye göre daha fazla derinlik bilgisi sağlanırken, gerçek bilgisayarlı tomografiye kıyasla daha basit ve daha düşük dozlu bir alternatif sunulmaktadır.(Webber et al., 1997) Bu sistem ile koronal anatominin farklı bölümleri, ayrı projeksiyonlar halinde değerlendirilebilmekte ve yalnızca incelenmek istenen bölgeye odaklanılabilmektedir. Bu yaklaşım, karmaşık yapılar yerine seçilen anatomik alanın detaylı analizine olanak tanır.(Harase et al., 2006; Yılmaz & Keleş, 2018)

TACT, hem intraoral hem de ekstraoral olarak uygulanabilmektedir. Bu iki yaklaşım, özellikle aproksimal çürüklerin tespitinde klinik kullanım, hasta konforu ve görüntü elde etme süreci açısından farklı avantaj ve sınırlılıklar sunmaktadır. İntraoral TACT yönteminde bir kesit görüntüsü oluşturabilmek için 8 veya daha fazla temel görüntünün elde edilmesi gerektiğinden, hastanın her çekim sırasında hiçbir yönde hareket etmemesi büyük önem taşımaktadır. Bu durum hasta için stres ve zorluk yaratabilmektedir. Ayrıca intraoral sensörlerin her hasta arasında dezenfekte edilmesi gerekmektedir. Sensörün ağız dışına yerleştirildiği ekstraoral TACT sistemlerinde ise hastaya daha fazla konfor sağlanmakta ve bu stres azaltılmaktadır. Ayrıca ekstraoral TACT'te dijital sensör ağız içine yerleştirilmediği için dezenfeksiyon gereksinimi de ortadan kalkmaktadır.(Harase et al., 2006; Yılmaz & Keleş, 2018)

Ne yazık ki TACT, bugüne kadar diş hekimliği pratiğinde sınırlı bir kullanım alanı bulabilmiştir. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (CBCT) geliştirilmesi, hastanın aldığı radyasyon

dozunu kabul edilemez düzeylere çıkarmadan 360° tam örnekleme yapılmasına olanak tanınması nedeniyle bu durumu önemli ölçüde etkilemiştir.

Optik kohorens tomografi (OCT)

Optik Koherens Tomografi (OCT), biyolojik dokuların iyonize olmayan yöntemle kesitsel görüntülerinin elde edilmesini sağlayan ileri bir görüntüleme tekniğidir. Bu sistem, 780–1550 nm dalga boyunda yüksek penetrasyonlu yakın kızılötesi ışık kullanarak ağız yapılarının yüksek çözünürlüklü kesitsel görüntülerini oluşturur. Özellikle 1310 nm dalga boyu, dental dokuların detaylı değerlendirilmesine olanak tanır. OCT'nin şimdiye kadar bilinen herhangi bir potansiyel biyolojik yan etkisi rapor edilmemiştir, bu nedenle güvenli bir görüntüleme yöntemi olarak kabul edilmektedir.(Jones et al., 2006)

Diğer Yöntemler

Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop (CLSM)

Konfokal lazer taramalı mikroskop, lazer tarama prensibine dayanan ve biyolojik dokuların yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesini sağlayan bir görüntüleme cihazıdır. Bu sistem, dokunun belirli düzlemlerinin taranması yoluyla optik kesitler oluşturur ve yaklaşık 1 mm derinliğe kadar üç boyutlu doku görüntüleri elde edilmesine olanak tanır.

CLSM'de, odaklanmış bir lazer ışını numune yüzeyi üzerinde çizgisel şekilde tarama yapar. Odağın dışında kalan ışık yansımaları elimine edilerek sadece hedeflenen bölgeden elde edilen sinyal değerlendirilir. Bu özellik, özellikle diş dokularının mikro yapısının detaylı olarak incelenmesini mümkün kılar.

Demineralize mine tabakasındaki porozite ve yapısal değişiklikler, genellikle floresan boyalarla inokülasyon yapıldıktan sonra CLSM ile değerlendirilmektedir. Bu yöntem, çürük dokunun

derinliğinin ve yayılımının araştırılmasında önemli avantajlar sağlar.(Al Saffan, 2023)

Ultrasonik görüntüleme

Ultrasonik görüntüleme, diş sert dokularının değerlendirilmesinde umut vadeden non-invaziv bir yöntemdir. Bu yöntem, yüksek frekanslı ses dalgalarının (genellikle 1–20 MHz) dokuya gönderilmesi ve farklı dokulardan yansıyan ekoların analiz edilmesi prensibine dayanır. Her doku, akustik özelliklerine bağılı olarak farklı bir eKo profili sergiler ve patolojik değışiklikler bu profildeki farklılıklarla ortaya konabilir.

Diş sert dokularının ultrasonik özellikleri, bireyler ve dişler arasında büyük ölçüde benzerdir. Sağlam ve demineralize mine dokuları arasındaki temel fark, ses dalgalarının iletim hızları ve zayıflama oranlarıdır. Bu farklılık sayesinde, özellikle kavitasyon oluşturmamış başlangıç mine lezyonları ultrasonik görüntüleme ile ayırt edilebilmektedir.

Demineralize bölgelerin daha doğru tespit edilebilmesi için ultrasonik dalgaların yüzeye dik açıyla uygulanması gerekmektedir. Bununla birlikte, longitudinal ultrasonik dalgaların yankı profillerinin karmaşık olması ve demineralize minenin ultrasonik uçla doğrudan temas gerektirmesi, yöntemin klinik kullanımı açısından bazı sınırlamalar oluşturmaktadır. Ayrıca bu verilerin analizinde genellikle pahalı ve karmaşık sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde, başlangıç çürüklerinin teşhisinde ultrasonik sistemlerin güvenilir ve etkili sonuçlar verdiğini bildirilmiştir. Ancak bu yöntemin klinikte rutin olarak kullanılabilmesi ve verilerin standart şekilde yorumlanabilmesi için daha fazla in vitro ve in vivo çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.(Marotti et al., 2013; Rodriguez-Sendra et al., 2021)

Terahertz görüntüleme

Terahertz (THz) dalgaları, elektromanyetik spektrumun 0,1 THz ile 10 THz arasında değişen frekanslara ve 3 mm ile 30 µm arasında değişen dalga boylarına sahip kısmına karşılık gelir. Düşük foton enerjisi, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonu, suya duyarlılığı ve yüksek penetrasyon kabiliyeti, onu biyomedikal algılama için oldukça kullanışlı hale getirir. Çürük doku genellikle sağlıklı mineye göre daha büyük bir THz iletim zayıflamasına sahiptir ve çürük doku THz dalgalarını saçılmak yerine emmeyebilir. Ek olarak, minenin THz kırılma indeksi dentinden daha yüksektir. Bu farklılıklara dayanarak, çürük mineyi ve sağlıklı mineyi transmisyon veya yansıma görüntüleme ile ayırt etmenin mümkün olduğu iddia edilmiştir.(Al Saffan, 2023)

Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi, biyolojik dokuların moleküler yapısını boyaya veya işaretleyiciye ihtiyaç duymadan incelemeye olanak tanıyan optik bir analiz yöntemidir. Bu teknikte, monokromatik bir ışık kaynağı dokuya gönderilir ve dokudan saçılan fotonların frekans değişimleri analiz edilerek moleküler bağlar hakkında bilgi elde edilir. Bu frekans kaymaları, dokunun titreşimsel ve dönme hareketleriyle ilişkili olup, doku içeriğinin detaylı olarak değerlendirilmesini mümkün kılar.(Fitzgerald et al., 2023)

Bu yöntem sayesinde mine dokusundaki çürük oluşumu, klinik olarak görünür hale gelmeden önce moleküler düzeyde tespit edilebilmektedir. Raman spektroskopisi, erken dönem çürük lezyonlarını ayırt etmede yeterli duyarlılık ve seçiciliğe sahiptir. Ancak, lezyon yüzeyinde mineral açısından zengin bir tabakanın bulunması, analiz sonuçlarını karmaşıktırabilmektedir.

Özellikle polarize Raman spektroskopisi, hem erken dönem mine çürüklerinin saptanmasında hem de florür uygulamaları sonrası

lezyon progresyonunun izlenmesinde umut verici bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.(Al Saffan, 2023)

Yapay Zeka ile Çürük Teşhisi

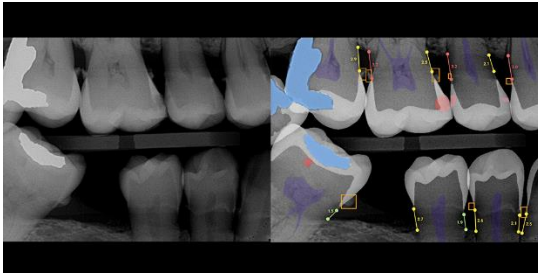
Yapay zeka (AI), cihazların öğrenme, akıl yürütme ve kendi performanslarını geliştirme gibi insan zekasına özgü işlevleri yerine getirebilmesini sağlayan geniş bir teknolojik alanı ifade eder. Bu alanın önemli bir alt kolu olan makine öğrenmesi (ML), makinelerin belirli bir görev için açıkça programlanmaksızın deneyimden öğrenmesi ve sonuç üretmesi olarak tanımlanabilir.(Toh et al., 2019)

Makine öğrenmesi modellerinin bir alt kümesi olan derin öğrenme modelleri ise, verilerdeki örüntüleri gözlemleyerek bilgisayarların öğrenmesine imkan tanıyan, biyolojik ilhamlı programlama mimarileri olan yapay sinir ağlarına dayanır. Bu ağlar, girdileri (örneğin ham görüntüler) çıktılara (örneğin tanı) dönüştüren birçok katmandan oluşur ve yüksek seviyeli özellikleri otomatik olarak öğrenir. Evrimsel sinir ağı (CNN), sinir ağlarının bir modifikasyonu olup, günümüze kadar görüntü analizinde en başarılı yöntemlerden biri olarak kabul edilmiştir. CNN'ler, hem 2D hem de 3D görüntülerin mekansal bilgilerini ve yapısal düzenini bütünleştirecek şekilde tasarlanmıştır.(Litjens et al., 2017)

Son yıllarda bilgi işlem gücünün artması, büyük veri kaynaklarına erişimin kolaylaşması ve gelişmiş veri işleme yazılımlarının gelişimi, yapay zekanın sağlık alanındaki kullanımını hızla artırmıştır. CNN'ler ilaç geliştirme, tanı, tedavi ve ilgili süreçler dahil olmak üzere birçok tıbbî uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Derin öğrenme, özellikle görüntü gibi karmaşık verilerin analizinde oldukça güçlüdür ve görüntü sınıflandırma (örneğin, görüntünün etiketlenmesi: hastalık belirtisi var/yok), tespit (örneğin hastalık belirtisi şu bölgede) ve segmentasyon (örneğin belirli piksel bölgelerinde hastalık bulguları mevcuttur) gibi işlemlerde kullanılmıştır.(Schwendicke et al., 2019)

Diş hekimliği alanında da yapay zekadan giderek daha fazla yararlanılmaktadır. Güncel çalışmalar, AI temelli sistemlerin dental anomalilerin tanınması, periapikal patolojilerin saptanması ve dental çürüklerin teşhisi gibi birçok alanda klinisyenlerin tanısal doğruluğunu artırabileceğini göstermiştir.(Abbott et al., 2025; Szabó et al., 2025) Ayrıca klinik görüntüler üzerinden çürük taraması ve teşhisi gerektiren telediş hekimliğinin yaygınlaşması, yapay zeka teknolojilerinin diş hekimliğinde daha geniş bir kullanım alanı bulmasına katkı sağlamaktadır.(Ayhan et al., 2025)

Resim 11 Yapay zeka ile radyograf analizi.



Yapay zeka kullanılarak geliştirilen yazılımlar ile 2 boyutlu panoramik ve bite-wing radyografilerin ve bunların yanı sıra 3 boyutlu CBCT görüntülerinin analiz edilerek çürük tespiti yapılmasını amaçlayan Diagnocat (Diagnocat Inc., San Francisco, CA, USA), Denti.AI (Denti.AI Technology Inc., Toronto) gibi sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler derin öğrenme tabanlı algoritmalar kullanarak dental radyografileri otomatik olarak değerlendirmekte ve olası çürük bölgelerini belirleyerek klinisyene yardımcı olmaktadır.(Szabó et al., 2025) Bu tür yapay zeka tabanlı platformlar, tanısal değerlendirmeyi desteklemek ve klinik karar sürecine katkı sağlamak amacıyla diş hekimliğinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, yapay zeka modellerinin çürük tespitindeki performansının diş hekimlerinin değerlendirmeleriyle karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar, yapay zekanın özellikle radyografik

görüntülerdeki radyolusensi alanlarını ve mine-dentin sınırındaki değişimleri tanıma konusunda umut verici sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.(Abbott et al., 2025; Cantu et al., 2020; Srivastava et al., 2017)

Kaynakça

- Abbott, L. P., Saikia, A., & Anthonappa, R. P. (2025). ARTIFICIAL INTELLIGENCE PLATFORMS IN DENTAL CARIES DETECTION: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS. *The Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 25(1), 102077. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2024.102077>
- Abdelaziz, M. (2023). Detection, Diagnosis, and Monitoring of Early Caries: The Future of Individualized Dental Care. *Diagnostics*, 13(24), 3649. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13243649>
- Abrams, S. H., Sivagurunathan, K. S., Silvertown, J. D., Wong, B., Hellen, A., Mandelis, A., Hellen, W. M. P., Elman, G. I., Mathew, S. M., Mensinkai, P. K., & Amaechi, B. T. (2017). Correlation with Caries Lesion Depth of The Canary System, DIAGNOdent and ICDAS II. *The Open Dentistry Journal*, 11, 679–689. <https://doi.org/10.2174/1874210601711010679>
- Al Saffan, A. D. (2023). Current Approaches to Diagnosis of Early Proximal Carious Lesion: A Literature Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.43489>
- Albano, D., Galiano, V., Basile, M., Di Luca, F., Gitto, S., Messina, C., Cagetti, M. G., Del Fabbro, M., Tartaglia, G. M., & Sconfienza, L. M. (2024). Artificial intelligence for radiographic imaging detection of caries lesions: a systematic review. *BMC Oral Health*, 24(1), 274. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04046-7>
- Anderson, M. H., & Charbeneau, G. T. (1985). A comparison of digital and optical criteria for detecting carious dentin. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 53(5), 643–646. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90011-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(85)90011-3)
- Angmar-Mansson, B., & Ten Bosh, J. J. (1993). Advances in Methods for Diagnosing Coronal Caries-a Review. *Advances in Dental Research*, 7(2), 70–79. <https://doi.org/10.1177/08959374930070021801>

- Ari, T., & Ari, N. (2013). The Performance of ICDAS-II Using Low-Powered Magnification with Light-Emitting Diode Headlight and Alternating Current Impedance Spectroscopy Device for Detection of Occlusal Caries on Primary Molars. *ISRN Dentistry*, 2013, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2013/276070>
- Ashley, P. F., Blinkhorn, A. S., & Davies, R. M. (1998). Occlusal caries diagnosis: an in vitro histological validation of the electronic caries monitor (ECM) and other methods. *Journal of Dentistry*, 26(2), 83–88. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(97\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(97)00007-9)
- Ayhan, B., Ayan, E., & Atsü, S. (2025). Detection of dental caries under fixed dental prostheses by analyzing digital panoramic radiographs with artificial intelligence algorithms based on deep learning methods. *BMC Oral Health*, 25(1), 216. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05577-3>
- Barbat, J., & Messer, H. H. (1998). Detectability of artificial periapical lesions using direct digital and conventional radiography. *Journal of Endodontics*, 24(12), 837–842. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80014-9](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80014-9)
- Bozdemir, E., & Yarbaşı, Ö. (2019). Tanıda sadece panoramik radyografi ne kadar güvenli? *Selcuk Dental Journal*.
- Caceda, J. H., Jiang, S., Calderon, V., & Villavicencio-Caparo, E. (2023). Sensitivity and specificity of the ICDAS II system and bitewing radiographs for detecting occlusal caries using the Spectra™ caries detection system as the reference test in children. *BMC Oral Health*, 23(1), 896. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03615-6>
- Cantu, A. G., Gehrung, S., Krois, J., Chaurasia, A., Rossi, J. G., Gaudin, R., Elhennawy, K., & Schwendicke, F. (2020). Detecting caries lesions of different radiographic extension on bitewings using deep learning. *Journal of Dentistry*, 100, 103425. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103425>
- Chaurasia, A., & Ishrat, S. (2020). Diagonosis of dental caries: A

- conventional and current perspective. *Journal of Oral Medicine, Oral Surgery, Oral Pathology and Oral Radiology*, 6(2), 50–57. <https://doi.org/10.18231/j.jooo.2020.013>
- Cosson, J. (2020). Interpreting an orthopantomogram. *Australian Journal of General Practice*, 49(9), 550–555. <https://doi.org/10.31128/AJGP-07-20-5536>
- Featherstone, J. (2008). Dental caries: a dynamic disease process. *Australian Dental Journal*, 53(3), 286–291. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2008.00064.x>
- Fitzgerald, S., Akhtar, J., Schartner, E., Ebendorff-Heidepriem, H., Mahadevan-Jansen, A., & Li, J. (2023). Multimodal Raman spectroscopy and optical coherence tomography for biomedical analysis. *Journal of Biophotonics*, 16(3). <https://doi.org/10.1002/jbio.202200231>
- Flint, A., Raben, A., Astrup, A., & Holst, J. J. (1998). Glucagon-like peptide 1 promotes satiety and suppresses energy intake in humans. *Journal of Clinical Investigation*, 101(3), 515–520. <https://doi.org/10.1172/JCI990>
- Fried, D., Featherstone, J. D. B., Darling, C. L., Jones, R. S., Ngaotheppitak, P., & Bühler, C. M. (2005). Early Caries Imaging and Monitoring with Near-Infrared Light. *Dental Clinics of North America*, 49(4), 771–793. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2005.05.008>
- Friedman, J., & Marcus, M. I. (1970). Transillumination of the Oral Cavity with Use of Fiber Optics. *The Journal of the American Dental Association*, 80(4), 801–809. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1970.0117>
- Fusayama, T. (1979). Two layers of carious dentin; diagnosis and treatment. *Operative Dentistry*, 4(2), 63–70. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/296808>
- HAMAN BAYARI, S., AKIN, S., & TUNCEL, M. (2023). Bilgisayarlı Tomografi, Pozitron Emisyon Tomografisi ve Nükleer Manyetik Rezonans Görüntülemeye Temel Kavram ve

- İlkeler. *Batı Karadeniz Tıp Dergisi*, 7(3), 269–278.
<https://doi.org/10.29058/mjwbs.1362825>
- Harase, Y., Araki, K., & Okano, T. (2006). Accuracy of extraoral tuned aperture computed tomography (TACT) for proximal caries detection. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 101(6), 791–796.
<https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.04.005>
- Herencsar, N., Freeborn, T. J., Kartci, A., & Cicekoglu, O. (2020). A Comparative Study of Two Fractional-Order Equivalent Electrical Circuits for Modeling the Electrical Impedance of Dental Tissues. *Entropy (Basel, Switzerland)*, 22(10).
<https://doi.org/10.3390/e22101117>
- Hosoya, Y., Taguchi, T., & Tay, F. R. (2007). Evaluation of a new caries detecting dye for primary and permanent carious dentin. *Journal of Dentistry*, 35(2), 137–143.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2006.06.004>
- Hyvönen, M., Jaakkola, A., Tanner, T., Päckilä, J., Kämppi, A., Patinen, P., Tjäderhane, L., Sipola, A., Huuonen, S., & Anttonen, V. (2021). Quality and Findings of Bitewing Radiographs among Twenty-Year-Old Conscripts in Finland. *International Journal of Dentistry*, 2021, 1–9.
<https://doi.org/10.1155/2021/8894917>
- Javaheri, M., Maleki-Kambakhsh, S., & Etemad-Moghadam, S. (2010). Efficacy of two caries detector dyes in the diagnosis of dental caries. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, 7(2), 71–76.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21998778>
- Jeon, R. J., Matvienko, A., Mandelis, A., Abrams, S. H., Amaechi, B. T., & Kulkarni, G. (2007). Detection of interproximal demineralized lesions on human teeth in vitro using frequency-domain infrared photothermal radiometry and modulated luminescence. *Journal of Biomedical Optics*, 12(3), 034028.
<https://doi.org/10.1117/1.2750289>
- Jones, R. S., Darling, C. L., Featherstone, J. D. B., & Fried, D.

- (2006). Imaging Artificial Caries on the Occlusal Surfaces with Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography. *Caries Research*, 40(2), 81–89. <https://doi.org/10.1159/000091052>
- Kidd, E. A., Joyston-Bechal, S., Smith, M. M., Allan, R., Howe, L., & Smith, S. R. (1989). The use of a caries detector dye in cavity preparation. *British Dental Journal*, 167(4), 132–134. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4806939>
- Kuboki, Y., Liu, C.-F., & Fusayama, T. (1983). Mechanism of Differential Staining in Carious Dentin. *Journal of Dental Research*, 62(6), 713–714. <https://doi.org/10.1177/00220345830620060401>
- Lennon, A. M., Attin, T., Martens, S., & Buchalla, W. (2009). Fluorescence-aided caries excavation (FACE), caries detector, and conventional caries excavation in primary teeth. *Pediatric Dentistry*, 31(4), 316–319. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19722440>
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., van der Laak, J. A. W. M., van Ginneken, B., & Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60–88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
- Longbottom, C., Huysmans, M.-C. D. N. J., Pitts, N. B., Los, P., & Bruce, P. G. (1996). Detection of dental decay and its extent using a.c. impedance spectroscopy. *Nature Medicine*, 2(2), 235–237. <https://doi.org/10.1038/nm0296-235>
- Lussi, A., Imwinkelried, S., Pitts, N. B., Longbottom, C., & Reich, E. (1999). Performance and Reproducibility of a Laser Fluorescence System for Detection of Occlusal Caries in vitro. *Caries Research*, 33(4), 261–266. <https://doi.org/10.1159/000016527>
- Marotti, J., Heger, S., Tinschert, J., Tortamano, P., Chuembou, F., Radermacher, K., & Wolfart, S. (2013). Recent advances of ultrasound imaging in dentistry – a review of the literature. *Oral*

- Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 115(6), 819–832. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2013.03.012>
- McComb, D., & Tam, L. E. (2001). Diagnosis of occlusal caries: Part I. Conventional methods. *Journal (Canadian Dental Association)*, 67(8), 454–457. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11583606>
- Panayotov, I., Terrer, E., Salehi, H., Tassery, H., Yachouh, J., Cuisinier, F. J. G., & Levallois, B. (2013). In vitro investigation of fluorescence of carious dentin observed with a Soprolife® camera. *Clinical Oral Investigations*, 17(3), 757–763. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0770-9>
- Park, Y.-S., Ahn, J.-S., Kwon, H.-B., & Lee, S.-P. (2011). Current status of dental caries diagnosis using cone beam computed tomography. *Imaging Science in Dentistry*, 41(2), 43. <https://doi.org/10.5624/isd.2011.41.2.43>
- Petersen, P. E., Bourgeois, D., Ogawa, H., Estupinan-Day, S., & Ndiaye, C. (2005). The global burden of oral diseases and risks to oral health. *Bulletin of the World Health Organization*, 83(9), 661–669. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16211157>
- Pretty, I. A. (2006). Caries detection and diagnosis: Novel technologies. *Journal of Dentistry*, 34(10), 727–739. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2006.06.001>
- Pretty, I. A., & Maupomé, G. (2004). A closer look at diagnosis in clinical dental practice: part 5. Emerging technologies for caries detection and diagnosis. *Journal (Canadian Dental Association)*, 70(8), 540, 540a-540i. <https://doi.org/10.15363214>
- Rasmus, T. F., & Williamson, G. F. (n.d.). No Title. In *Current oral and maxillofacial imaging*.
- Rodriguez-Sendra, J., Torres, I., Jimenez, N., Sauro, S., & Camarena, F. (2021). Ultrasonic Monitoring of Dentin Demineralization. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 68(3), 570–578. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2020.3015668>

- Schwendicke, F., Golla, T., Dreher, M., & Krois, J. (2019). Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 91, 103226. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103226>
- Seremidi, K., Lagouvardos, P., & Kavvadia, K. (2012). Comparative In Vitro Validation of VistaProof and DIAGNOdent Pen for Occlusal Caries Detection in Permanent Teeth. *Operative Dentistry*, 37(3), 234–245. <https://doi.org/10.2341/10-326-L>
- Silvertown, J. D., Wong, B. P. Y., Sivagurunathan, K. S., Abrams, S. H., Kirkham, J., & Amaechi, B. T. (2017). Remineralization of natural early caries lesions in vitro by P 11 -4 monitored with photothermal radiometry and luminescence. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 8(4). <https://doi.org/10.1111/jicd.12257>
- Söchtig, F., Hickel, R., & Kühnisch, J. (2014). Caries detection and diagnostics with near-infrared light transillumination: clinical experiences. *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)*, 45(6), 531–538. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a31533>
- Srivastava, M. M., Kumar, P., Pradhan, L., & Varadarajan, S. (2017). Detection of Tooth caries in Bitewing Radiographs using Deep Learning. *1st Conference on Neural Information Processing Systems*. <http://arxiv.org/abs/1711.07312>
- Stookey, G. K. (2004). Optical Methods—Quantitative Light Fluorescence. *Journal of Dental Research*, 83(1_suppl), 84–88. <https://doi.org/10.1177/154405910408301s17>
- Sudjalim, T., Woods, M., & Manton, D. (2006). Prevention of white spot lesions in orthodontic practice: a contemporary review. *Australian Dental Journal*, 51(4), 284–289. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2006.tb00445.x>
- Szabó, V., Orhan, K., Dobó-Nagy, C., Veres, D. S., Manulis, D., Ezhov, M., Sanders, A., & Szabó, B. T. (2025). Deep Learning-Based Periapical Lesion Detection on Panoramic Radiographs. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 15(4).

<https://doi.org/10.3390/diagnostics15040510>

- Tassery, H., Levallois, B., Terrer, E., Manton, D. J., Otsuki, M., Koubi, S., Gughani, N., Panayotov, I., Jacquot, B., Cuisinier, F., & Rechmann, P. (2013). Use of new minimum intervention dentistry technologies in caries management. *Australian Dental Journal*, 58 Suppl 1, 40–59. <https://doi.org/10.1111/adj.12049>
- Terrer, E., Raskin, A., Koubi, S., Dionne, A., Weisrock, G., Sarraquigne, C., Mazuir, A., & Tassery, H. (2010). A new concept in restorative dentistry: LIFEDT-light-induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment: part 2 - treatment of dentinal caries. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 11(1), E095–102. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20098972>
- Tinanoff, N. (2019). Dental Caries. In *Pediatric Dentistry* (pp. 169–179). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-60826-8.00012-2>
- Toh, T. S., Dondelinger, F., & Wang, D. (2019). Looking beyond the hype: Applied AI and machine learning in translational medicine. *EBioMedicine*, 47, 607–615. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.08.027>
- Wang, D., He, X., Wang, Y., Li, Z., Zhu, Y., Sun, C., Ye, J., Jiang, H., & Cheng, J. (2017). External root resorption of the second molar associated with mesially and horizontally impacted mandibular third molar: evidence from cone beam computed tomography. *Clinical Oral Investigations*, 21(4), 1335–1342. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1888-y>
- Webber, R. L., Horton, R. A., Tyndall, D. A., & Ludlow, J. B. (1997). Tuned-aperture computed tomography (TACT). Theory and application for three-dimensional dento-alveolar imaging. *Dentomaxillofacial Radiology*, 26(1), 53–62. <https://doi.org/10.1038/sj.dmfr.4600201>
- Wenzel, A. (1989). Effect of manual compared with reference point superimposition on image quality in digital subtraction

- radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 18(4), 145–150.
<https://doi.org/10.1259/dmfr.18.4.2701173>
- Wenzel, Ann. (2021). Radiographic modalities for diagnosis of caries in a historical perspective: from film to machine-intelligence supported systems. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 50(5), 20210010.
<https://doi.org/10.1259/dmfr.20210010>
- White, S. C., & Pharoah, M. J. (2013). *Oral Radiology Principles and Interpretation*.
- Yılmaz, H., & Keleş, S. (2018). Recent Methods for Diagnosis of Dental Caries in Dentistry. *Meandros Medical and Dental Journal*, 19(1), 1–8. <https://doi.org/10.4274/meandros.21931>
- Zandoná, A. F., & Zero, D. T. (2006). Diagnostic tools for early caries detection. *The Journal of the American Dental Association*, 137(12), 1675–1684.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0113>

BÖLÜM 3

Restoratif Diş Hekimliğinde Yapay Zekâ Uygulamaları

Erhan AL¹

Giriş

Restoratif diş hekimliği, diş dokularında meydana gelen kayıpların fonksiyonel ve estetik açıdan onarılmasını hedefleyen, koruyucu ve tedavi edici yaklaşımları kapsayan temel bir disiplindir. Günümüzde bu alan, sadece çürük ya da travma gibi nedenlerle kaybedilen dokuların yerine konulmasıyla sınırlı kalmayıp, hastaların yaşam kalitesini artırmaya yönelik kapsamlı bir biyolojik, dijital ve multidisipliner yaklaşım sunmaktadır (Ahmed vd., 2021; Carrillo-Perez vd., 2022; Khanagar vd., 2021).

Estetik taleplerin artması ve dijital teknolojilerin entegrasyonu ile restoratif diş hekimliği, artık yalnızca bir tedavi

¹ Araştırma Görevlisi, Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0008-9436-2681

aracı değil, aynı zamanda hastaların bireysel beklentilerini karşılayan bir sağlık hizmeti alanı haline gelmiştir. CAD/CAM sistemleri, 3D yazıcılar, dijital ölçü sistemleri ve yapay zekâ destekli analiz araçları, restoratif süreçlerin daha hızlı, öngörülebilir ve kişiselleştirilmiş şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır (Carrillo-Perez vd., 2022; Tabatabaian vd., 2023). Özellikle yapay zekâ destekli görüntüleme ve analiz teknikleri, teşhis doğruluğunu artırarak restoratif prosedürlerin başarısını daha yüksek seviyelere taşımaktadır (Pauwels, 2021; Putra vd., 2022).

Yapay zekâ destekli tanı sistemlerinin restoratif tedavi karar süreçlerine entegrasyonu, klinik karar verme mekanizmalarını destekleyerek hekimlerin iş yükünü azaltmakta ve hasta güvenliğini artırmaktadır (Ahmed vd., 2021; Topol, 2019). Ayrıca bu teknolojiler, büyük veri analitiği ile klinik uygulamaları optimize ederek hasta profillerine uygun kişiselleştirilmiş tedavi önerileri sunulmasına olanak tanımaktadır (Topol, 2019).

Yapay Zekâ Nedir

Yapay zekâ, insan zekâsını taklit eden, öğrenebilen, çıkarım yapabilen ve problem çözebilen bilgisayar sistemlerini ifade eder. En genel anlamda yapay zekâ, makinelerin insan benzeri bilişsel işlevleri gerçekleştirmesine olanak tanıyan algoritmalar bütünüdür. Bu sistemler, veri toplama, analiz, örüntü tanıma, karar verme ve öğrenme gibi süreçleri, insan müdahalesine gerek kalmadan sürdürebilme yetisine sahiptir (C. Lee vd., 2022).

Son yıllarda, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık alanında kullanımı büyük bir ivme kazanmıştır. Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ, klinik karar destek sistemlerinden görüntü analizi ve tanı araçlarına, kişiselleştirilmiş tedavi planlamasından hasta takibine kadar geniş bir yelpazede etkili bir rol üstlenmektedir. Özellikle yapay zekâ büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi algoritmaları

sayesinde hekimlerin daha doğru, hızlı ve kanıta dayalı kararlar almasına yardımcı olmaktadır (Esteve vd., 2017; Topol, 2019).

Diş hekimliği özelinde ise destekli sistemler; dental radyografi yorumlama, çürük tespiti, periodontal hastalık tanısı, ortodontik planlama ve restoratif risk analizleri gibi alanlarda giderek yaygınlaşmaktadır. Bu teknolojiler, hata payını azaltmanın yanı sıra hastaya özel tedavi seçeneklerinin geliştirilmesini de mümkün kılmakta, böylece bireyselleştirilmiş ve önleyici sağlık yaklaşımını desteklemektedir (Ahmed vd., 2021; Khanagar vd., 2021; Thurzo vd., 2022).

Yapay zekânın sağlık alanındaki en büyük avantajlarından biri de tekrar eden rutin işlerde yüksek doğrulukla çalışabilmesi ve hekimlerin zamanını daha karmaşık klinik kararlara ayırmasına olanak tanımasıdır. Bununla birlikte, etik sorumluluklar, veri güvenliği ve algoritmaların şeffaflığı gibi konular da bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte dikkatle ele alınması gereken başlıklar arasında yer almaktadır (Naik vd., 2022; Obermeyer vd., 2019).

Yapay Zekâ, Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme Kavramları

Yapay zekâ, makinelerin insan zekâsına benzer biçimde düşünmesini, öğrenmesini, karar vermesini ve problem çözmesini amaçlayan geniş kapsamlı bir bilişim alanıdır. Yapay zekâ kavramı ilk olarak 1956 yılında John McCarthy tarafından tanımlanmış ve o tarihten itibaren bilgisayar bilimlerinin evriminde merkezi bir rol oynamaya başlamıştır. Başlangıçta daha çok kurallara dayalı sistemlerle sınırlı kalan yapay zekâ, zaman içinde gelişen algoritmalar, artan veri miktarı ve güçlü donanımlar sayesinde kendi içinde dallanarak farklı alt disiplinler hâlini almıştır. Bu alt alanların en bilinen ve uygulama alanı en geniş olanları arasında makine öğrenimi (Machine Learning – ML) ve derin öğrenme (Deep Learning – DL) yer almaktadır (LeCun vd., 2015).

Makine öğrenimi, yapay zekânın bir alt dalı olarak, makinelerin açıkça programlanmaksızın veriler aracılığıyla öğrenmesini sağlayan bir teknolojidir. Geleneksel yazılım yaklaşımlarından farklı olarak, ML algoritmaları bir dizi örnek üzerinden kalıpları tanır, istatistiksel çıkarımlar yapar ve bu çıkarımlara dayanarak sınıflandırma, tahminleme, kümeleme ve karar verme gibi görevleri gerçekleştirebilir. Bu süreçte sistem, “eğitim verisi” olarak adlandırılan örnek veri setleriyle beslenir ve model, bu verilerdeki örüntülerden öğrenerek daha önce karşılaşmadığı durumlara dair tahminlerde bulunabilir. ML, tıp, finans, pazarlama ve üretim gibi birçok alanda karar destek sistemleri geliştirmek amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır (LeCun vd., 2015).

Derin öğrenme ise makine öğreniminin daha ileri düzeydeki, özelleşmiş bir alt alanıdır (Şekil 1) ve insan beyninden esinlenerek geliştirilen çok katmanlı yapay sinir ağlarını temel alır. DL algoritmaları, özellikle görüntü, ses ve metin gibi yapılandırılmamış büyük veri kümelerinde son derece başarılı sonuçlar elde etmektedir. Bu yöntem, özellikle özellik çıkarımı gibi adımların insan tarafından belirlenmesini gerektirmediği için, verilerdeki yüksek boyutlu ve karmaşık ilişkileri kendi içinde otomatik olarak öğrenebilir (LeCun vd., 2015). Bu özellik, derin öğrenmeyi özellikle medikal görüntü analizi, doğal dil işleme, yüz tanıma, otonom sürüş sistemleri ve biyomedikal mühendislik gibi yüksek doğruluk ve otomasyon gerektiren alanlarda vazgeçilmez hâle getirmiştir (Esteva vd., 2017; J.-G. Lee vd., 2017)

Şekil 1: Yapay zekâ, makine öğrenimi ve derin öğrenme kavramlarının birbirleriyle ilişkisi



Yapay zekâ, makine öğrenimi ve derin öğrenme arasındaki farkları anlamak, bu teknolojilerin hangi alanlarda, ne tür veri ve ihtiyaçlara göre kullanılabileceğini doğru bir şekilde belirlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle sağlık, eğitim ve mühendislik gibi alanlarda bu teknolojilerin entegrasyonu, daha doğru karar mekanizmaları, kişiselleştirilmiş hizmetler ve zaman kazandıran çözümler sunulmasına olanak tanımaktadır (Chustecki, 2024; Topol, 2019).

DERİN ÖĞRENMENİN DIŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANIM ALANLARI

1. AĞIZ-DİŞ VE ÇENE RADYOLOJİSİ

Dijital radyografik görüntülerin değerlendirilmesinde, yapay zekâ temelli derin öğrenme sistemleri tanı süreçlerinde büyük avantajlar sunmaktadır. Bu teknolojiler sayesinde; çürükler, dental anomaliler, periapikal lezyonlar, kök kırıkları, maksillofasiyal kistler ve tümörler gibi pek çok patolojik durum yüksek hassasiyetle saptanabilmektedir (Corbella vd., 2021; Pauwels, 2021; Putra vd., 2022). DL algoritmaları, yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerinde

detaylı segmentasyon işlemleri gerçekleştirerek, ince yapısal farklılıkları bile ortaya çıkarabilmektedir. Aynı zamanda, bu sistemler zamanla kendini geliştiren öğrenme mekanizmaları sayesinde, geleneksel yöntemlere kıyasla hata oranını minimuma indirmekte ve tanı sürecini hızlandırmaktadır. Böylece, diş hekimleri hastaların tedavi planlamasını daha güvenilir verilere dayandırabilmekte, klinik kararlarda büyük destek sunulmaktadır (Ryu vd., 2023).

2. AĞIZ DIŞ ÇENE CERRAHİSİ

Yapay zekâ teknolojilerinin ağız, diş ve çene cerrahisi alanında kullanımı, cerrahi planlama ve müdahale süreçlerinde devrim niteliğinde katkılar sağlamaktadır. Gelişmiş görüntü işleme algoritmaları sayesinde; konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) ve panoramik radyografi gibi ileri görüntüleme yöntemlerinde anatomik yapıların otomatik segmentasyonu mümkün hale gelmiştir. Bu yöntem, patolojik bulguların doğru tespiti ve anatomik yapıların ayrıntılı analizinde önemli rol oynamaktadır (Corbella vd., 2021; Miragall vd., 2023). Literatürde bildirilen sistematik derlemelerde, yapay zekâ destekli CBCT görüntülerinin maksillofasiyal yapıların tespitinde yüksek doğruluk oranlarına ulaştığı raporlanmıştır (Sarwar & Jabin, 2023). Bunun yanı sıra, ortognatik cerrahi, dental implant planlaması ve maksillofasiyal travma yönetimi gibi klinik durumlarda, cerrahi planlamanın optimize edilebilmesi için gerçek zamanlı görüntü analizi, navigasyon sistemleri ve 3D modelleme teknikleriyle entegrasyon sağlanmakta; bu durum operasyon öncesinde ve sonrasında güvenliğin artmasına önemli katkılar sunmaktadır (Miragall vd., 2023; Rekawek vd., 2021).

3. ENDODONTİ

Endodonti alanında, kök kanal tedavilerinin başarısını artırmak amacıyla yapay zekâ destekli derin öğrenme teknolojileri yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle CBCT ve periapikal

radyografilerde, periapikal lezyonların tespiti, kök kanal morfolojisinin doğru şekilde belirlenmesi ve tedavi başarısının öngörülmesi DL algoritmalarıyla mümkün hale gelmiştir (Boreak, 2020). Yapay zekâ sistemleri, lezyonları yüksek doğrulukla saptayarak hekime tanı desteği sağlamaktadır; örneğin, CBCT ve panoramik görüntüler üzerinde geliştirilen yapay zekâ tabanlı modeller periapikal patolojilerin tespitinde yüksek sensitivite ve spesifite ile raporlanmıştır. Yeni geliştirilen segmentasyon modelleri ise kök kanal çevresindeki yapıları yüksek doğrulukla ayırt edebilmekte ve bu sayede endodontik müdahalelerde risk minimuma indirilmektedir. Bu tür teknolojik gelişmeler, tedavi sürecindeki hata payını azaltırken, hasta memnuniyetini ve uzun vadeli tedavi başarısını artıran önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Corbella vd., 2021; Ryu vd., 2023).

4. ORTODONTİ

Ortodontik planlamada, sefalometrik analizlerin ve yüz anatomisinin detaylı incelenmesinin önemi büyüktür. Geleneksel yöntemlerde, kafatası üzerindeki anatomik referans noktalarının manuel olarak belirlenmesi zaman alıcı ve yorucu bir süreçken, derin öğrenme algoritmaları bu süreci otomatikleştirerek hızlı ve doğru sonuçlar üretmektedir. Özellikle konvolüsyonel sinir ağı (CNN) temelli modeller, lateral sefalometrik görüntülerde Sella, Nasion, A-point gibi temel referans noktalarını saniyeler içinde tespit edebilmektedir (Junaid vd., 2022; Thurzo vd., 2022). Bu otomatik tespit, tedavi planlamasında ve büyüme analizlerinde standartlaşmayı sağlamakta; kişiselleştirilmiş ortodontik yaklaşımların geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, otomatik analiz sistemleri sayesinde tedavi sürecinin takibi ve sonuçların öngörülmesi de desteklenmekte, böylece klinik karar verme süreçleri daha etkin hale getirilmektedir.

5. PEDODONTİ

Pedodontide, yapay zekâ destekli sistemlerin kullanım alanı özellikle çocuk hastaların diş sağlığını koruma ve tedavi süreçlerini iyileştirme yönündedir. DL algoritmaları, çocuklarda çürük tespiti, diş gelişim süreçlerinin izlenmesi, davranış yönetimi ve koruyucu uygulamalarda etkin rol oynamaktadır. Bu sistemler, çocuk hastaların tedaviye uyumunu artırırken, erken yaşta yapılan müdahalelerle diş sağlığının gelecekteki sorunlarının önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, mobil uygulamalara entegre edilen yapay zekâ destekli analiz araçları hem diş hekimlerinin hem de ebeveynlerin, çocukların dental durumunu daha yakından takip etmesine olanak sağlamaktadır. Pedodontik tedavi süreçlerinde otomatik analiz ve gerçek zamanlı veri akışı, bireysel risk faktörlerinin değerlendirilmesinde ve koruyucu stratejilerin belirlenmesinde önemli katkılar sunmaktadır (Ahmed vd., 2021; Khanagar vd., 2021).

6. PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ

Yapay zekâ sistemleri, protetik diş hekimliği alanında da çeşitli uygulamalarla başarıyla kullanılmaktadır. Özellikle, prepare edilmiş dişlerde marjinal sınırların tespiti amacıyla geliştirilen yapay zekâ tabanlı sistemler, yüksek doğruluk oranları ile yüzey detaylarını analiz edebilmekte ve restorasyon için ideal marjinal konumları belirleyebilmektedir. Bu sistemler sayesinde protez hazırlık süreçlerinde oluşabilecek ufak sapmalar minimize edilmekte, estetik ve fonksiyonel uyum sağlanarak tedavi başarısı artırılmaktadır. Ayrıca, günümüzde geliştirilen sistemlerde, görsel ve spektral analiz yöntemlerinin kombinasyonunun kullanılması; ışık koşullarına bağlı renk sapmalarını tespit etme ve düzeltme imkânı sunmakta, bu da hem diş hekimlerinin hem de dental teknikerlerin iş yükünü önemli ölçüde azaltmaktadır (Tabatabaian vd., 2023; Tyagi vd., 2025).

Metal destekli seramik restorasyonlarda ise, yapay zekâ destekli otomatik renk eşleştirme sistemleri geleneksel görsel

yöntemlere kıyasla daha tutarlı ve başarılı sonuçlar vermektedir. Bu teknolojiler, dijital kamera ve spektrofotometrik verileri entegre ederek renk parametrelerini hassas bir şekilde analiz eder; bu sayede, restorasyonun çevre dişlerle uyumunun yanı sıra doğal görünümünün de maksimum düzeyde sağlanmasına olanak tanır. Otomatik renk eşleştirme sistemleri, klinik ortamda zaman tasarrufu sağlarken aynı zamanda hasta memnuniyetini artıran stabil ve tekrarlanabilir sonuçlar üretmektedir. Bu tür uygulamalar, protez diş hekimliğinde hem estetik hem de işlevsel açıdan kalite standartlarının yükseltilmesinde önemli rol oynamaktadır (Carrillo-Perez vd., 2022; Tabatabaian vd., 2023).

7. PERIODONTOLOJİ

Periodontal hastalıklar, kemik kaybı ve periodontal dokuların yıkımı ile karakterize olan ciddi patolojilerdir. Bu durumların tanısında, radyografik değerlendirme büyük önem taşımaktadır; ancak değerlendirme, hekimin deneyimine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Derin öğrenme modelleri, bu noktada öne çıkarak kemik seviyelerinin otomatik olarak ölçülmesi ve alveolar kemik kaybı, diş eti çekilmesi gibi periodontal değişikliklerin yüksek doğrulukla tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu sistemler, sağladıkları objektif veriler sayesinde periodontal indekslerin dijital olarak hesaplanmasına ve izlenmesine olanak tanır. (Krois vd., 2019; C. Lee vd., 2022; Ryu vd., 2023)

Özellikle, derin öğrenme tabanlı algoritmalar sayesinde radyografik görüntüler üzerinden elde edilen ölçümler, hastaların tedaviye yanıt süreçlerinin ve hastalık progresyonunun detaylı olarak değerlendirilmesinde kritik bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, otomatik sistemlerin ürettiği veriler, klinik karar verme süreçlerinde standardizasyonu sağlayarak, kişiye özel tedavi protokollerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Iacob vd., 2025; Polizzi vd., 2024). Böylece, yapay zekâ destekli sistemler periodontal

hastalıkların erken teşhisi, dijital takibi ve tedavi planlamasının optimizasyonu açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır (Polizzi vd., 2024).

8. RESTORATİF DIŞ TEDAVİSİ

Yapay zekâ, restoratif diş hekimliğinde klinik karar alma süreçlerini dönüştürmekte, dijitalleşme ile birlikte geleneksel yaklaşımların yerini veri temelli uygulamalara bırakmaktadır. Gelişmiş algoritmalar sayesinde tanı, tedavi planlaması, estetik analiz ve tedavi sonrası değerlendirme gibi birçok aşamada doğruluk, hız ve kişiselleştirme önemli ölçüde artmaktadır (Ahmed vd., 2021; Tabatabaian vd., 2023).

I. Çürük Lezyonlarının Erken ve Hassas Tespiti

YZ algoritmaları, özellikle primer ve sekonder çürük lezyonlarının teşhisinde radyografik görüntüleri analiz ederek hekime destek sunmaktadır. Bu algoritmalar, geleneksel gözlemlere kıyasla daha hassas sonuçlar sağlayabilmekte, erken tanı ile minimal invaziv restoratif yaklaşımlar mümkün hale gelmektedir. Özellikle konvolüsyonel sinir ağı (CNN) tabanlı sistemler, interproksimal çürüklerde yüksek doğruluk oranları ile tanıda devrim yaratmıştır (Carrillo-Perez vd., 2022; Khanagar vd., 2021).

II. Restorasyon Marjinleri ve Sınırlarının Dijital Değerlendirilmesi

Restoratif başarının uzun vadede sürdürülebilir olması için marjin uyumu kritik öneme sahiptir. CAD/CAM sistemleri ile bütünleşmiş yapay zekâ yazılımları, dijital taramalar üzerinden restorasyon sınırlarını analiz ederek uyum ve adaptasyonu değerlendirir. Bu uygulamalar, biyolojik sınır ihlalinin önlenmesine, marjinal boşlukların azaltılmasına ve sekonder çürük riskinin minimize edilmesine katkı sağlar (Tabatabaian vd., 2023; Tyagi vd., 2025).

III. Kompozit Restorasyonların Başarısının İzlenmesi

Yapay zekâ teknolojileri, uygulanan kompozit restorasyonların uzun vadeli başarısını izlemek amacıyla kullanılabilmektedir. Algoritmalar, restorasyon kenar sızıntısı, renk değişimi, aşınma ve mikro çatlak gibi faktörleri görüntü tabanlı olarak değerlendirerek klinisyene erken uyarı sağlayabilir. Bu sistemler aynı zamanda restoratif materyalin biyomekanik performansına ilişkin analizler de sunar (Carrillo-Perez vd., 2022; Tabatabaian vd., 2023).

IV. Gülüş Tasarımı ve Dijital Estetik Planlama

Dijital gülüş tasarımı gibi sistemlerle bütünleşmiş olarak çalışan yapay zekâ uygulamaları, hastanın yüz hatlarını analiz ederek kişiselleştirilmiş gülüş tasarımları oluşturur. Bu sistemler, orta hat, gülüş eğrisi, dudak simetrisi, gingival kontur ve diş formu gibi birçok estetik parametreyi otomatik olarak değerlendirir. Yapay zekâ ayrıca, tedavi öncesi ve sonrası dijital simülasyonlar sunarak hasta memnuniyetini artırmakta ve klinisyen-hasta iletişimini kolaylaştırmaktadır (Ahmed vd., 2021; Carrillo-Perez vd., 2022).

V. Renk ve Materyal Seçiminde Yapay Zekâ Destekli Sistemler

Diş rengi eşleştirme, estetik restorasyonların en kritik bileşenlerinden biridir. Yapay zekâ destekli sistemler, spektrofotometri ve dijital görüntü analizi kullanarak en uygun restoratif materyali ve rengi belirler. Bu uygulamalar, gözle yapılan değerlendirmelerdeki subjektif hataları azaltarak doğal diş estetiğine daha yakın sonuçlar sunmaktadır. Ayrıca, materyal özelliklerinin simülasyonla değerlendirilmesi sayesinde fonksiyonel ve estetik uyum artırılmaktadır. (Tabatabaian vd., 2023).

VI. Tedavi Planlamasında Kişiselleştirilmiş Yaklaşımlar

Yapay zekâ, geçmiş hasta verilerinden öğrenerek bireyselleştirilmiş restoratif tedavi planlaması yapabilir. Bu

sistemler, hastanın önceki restoratif tedavilere verdiği biyolojik yanıtları analiz ederek olası başarısızlık senaryolarını öngörebilir. Bu da minimal invazivlik, hasta konforu ve uzun ömürlü restorasyon hedeflerine ulaşmayı kolaylaştırır (Ahmed vd., 2021; Khanagar vd., 2021).

VII. Eğitim ve Klinik Uygulama Alanında Simülasyon Teknolojileri

Yapay zekâ ayrıca eğitim alanında da etkili araçlar sunmaktadır. Sanal hasta modelleri ile restoratif prosedürler simüle edilebilmekte, öğrenciler ve genç klinisyenler gerçek vakalara benzer dijital deneyimlerle becerilerini geliştirebilmektedir. Bu durum, klinik deneyimin yaygınlaştırılmasına ve standardize edilmesine olanak sağlar (Ayan vd., 2024).

ETİK SORUNLAR

Yapay zekânın diş hekimliğine entegrasyonu, klinik pratikte etik, hukuki ve sosyal birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. En sık tartışılan konulardan biri, hasta mahremiyeti ve veri güvenliğidir. Büyük veri kümeleriyle eğitilen modellerin hastaya ait kişisel ve biyolojik bilgileri kullanması, bu verilerin anonimleştirilmesi ve güvenli saklanması zorunluluğunu doğurmaktadır. Ayrıca algoritmaların karar alma süreçlerine olan etkisi, hekimin sorumluluğunu belirsizleştirmektedir. Özellikle yanlış tanıya dayalı tedavi uygulamaları sonucunda ortaya çıkabilecek komplikasyonlarda, etik sorumluluğun kimde olduğu (hekim mi algoritma mı?) hâlâ netleşmemiştir (Naik vd., 2022; Topol, 2019).

“Algoritmik önyargı” bir diğer önemli etik endişe kaynağıdır. Yapay zekâ sistemleri, eğitildikleri veri kümelerindeki demografik çeşitliliğe bağlı olarak bazı etnik gruplarda veya yaş gruplarında daha az doğru sonuçlar verebilmektedir. Bu durum, klinik eşitlik ve hasta güvenliği açısından risk oluşturur (Obermeyer vd., 2019). Ayrıca ticarileşmiş sistemlerin kullanımıyla birlikte, klinisyenlerin

bu sistemlere aşırı güven duyması ya da tıbbi kararlarını tamamen yazılıma bırakması da etik sınırların aşılmasına neden olabilir (Chustecki, 2024; Naik vd., 2022).

SONUÇ

Yapay zekâ teknolojilerinin restoratif diş hekimliği başta olmak üzere tüm dental disiplinlerde giderek artan kullanımı, hekimin yerini almak yerine klinik karar süreçlerini desteklemek amacı taşımaktadır. Yapay zekâ görüntü analizi, tedavi planlaması ve dijital kayıt yönetimi gibi zaman alıcı ve tekrarlayan görevleri üstlenerek hekime daha fazla klinik zaman kazandırır (Ahmed vd., 2021; Topol, 2019). Buna karşın hasta iletişimi, empati, etik karar verme ve bireyselleştirilmiş tedavi gibi insani beceriler, halen hekimin yeri doldurulamaz alanlarıdır (Naik vd., 2022).

Hekimin klinik deneyimi, yapay zekâ algoritmalarının yorumlarının değerlendirilmesinde belirleyici rol oynar. Yapay zekâ sistemleri, hekimin kararlarını zenginleştiren bir “klinik yardımcı” olarak konumlandırılmalı, hekimin mesleki otoritesini ve hasta ile kurduğu güven ilişkisini gölgelememelidir (Chustecki, 2024; Topol, 2019). Bu bağlamda, yapay zekâ; hekimin karar gücünü artırarak, daha hızlı, güvenilir ve kişiselleştirilmiş tedavi sunumuna katkı sağlar.

Gelecekte bu teknolojilerin gelişimiyle birlikte, diş hekimliğinde daha bütünleşmiş, etik temelli ve hasta merkezli bir hizmet sunumu mümkün olacaktır. Ancak bu ilerleme, hekimlerin dijital okuryazarlığının artırılması, etik sınırların netleştirilmesi ve yapay zekânın rehberlik ettiği, ancak insanın yönettiği bir sistem anlayışının benimsenmesiyle sürdürülebilir hale gelecektir (Naik vd., 2022; Obermeyer vd., 2019).

Kaynakça

Ahmed, N., Abbasi, M. S., Zuberi, F., Qamar, W., Halim, M. S. B., Maqsood, A., & Alam, M. K. (2021). Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry—A Systematic Review. *BioMed Research International*, 2021(1), 9751564. <https://doi.org/10.1155/2021/9751564>

Ayan, E., Bayraktar, Y., Çelik, Ç., & Ayhan, B. (2024). Dental student application of artificial intelligence technology in detecting proximal caries lesions. *Journal of Dental Education*, 88(4), 490-500. <https://doi.org/10.1002/jdd.13437>

Boreak, N. (2020). Effectiveness of Artificial Intelligence Applications Designed for Endodontic Diagnosis, Decision-making, and Prediction of Prognosis: A Systematic Review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 21(8), 926-934. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2894>

Carrillo-Perez, F., Pecho, O. E., Morales, J. C., Paravina, R. D., Della Bona, A., Ghinea, R., Pulgar, R., Pérez, M. D. M., & Herrera, L. J. (2022). Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(1), 259-280. <https://doi.org/10.1111/jerd.12844>

Chustecki, M. (2024). Benefits and Risks of AI in Health Care: Narrative Review. *Interactive Journal of Medical Research*, 13, e53616. <https://doi.org/10.2196/53616>

Corbella, S., Srinivas, S., & Cabitza, F. (2021). Applications of deep learning in dentistry. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 132(2), 225-238. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2020.11.003>

Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin

cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115-118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>

Iacob, A. M., Castrillón Fernández, M., Fernández Robledo, L., Barbeito Castro, E., & Escobedo Martínez, M. F. (2025). Automated Detection of Periodontal Bone Loss in Two-Dimensional (2D) Radiographs Using Artificial Intelligence: A Systematic Review. *Dentistry Journal*, 13(9), 413. <https://doi.org/10.3390/dj13090413>

Junaid, N., Khan, N., Ahmed, N., Abbasi, M. S., Das, G., Maqsood, A., Ahmed, A. R., Marya, A., Alam, M. K., & Heboyan, A. (2022). Development, Application, and Performance of Artificial Intelligence in Cephalometric Landmark Identification and Diagnosis: A Systematic Review. *Healthcare*, 10(12), 2454. <https://doi.org/10.3390/healthcare10122454>

Khanagar, S. B., Al-ehaideb, A., Maganur, P. C., Vishwanathaiah, S., Patil, S., Baeshen, H. A., Sarode, S. C., & Bhandi, S. (2021). Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review. *Journal of Dental Sciences*, 16(1), 508-522. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>

Krois, J., Ekert, T., Meinhold, L., Golla, T., Kharbot, B., Wittemeier, A., Dörfer, C., & Schwendicke, F. (2019). Deep Learning for the Radiographic Detection of Periodontal Bone Loss. *Scientific Reports*, 9(1), 8495. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44839-3>

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

Lee, C., Kabir, T., Nelson, J., Sheng, S., Meng, H., Van Dyke, T. E., Walji, M. F., Jiang, X., & Shams, S. (2022). Use of the deep learning approach to measure alveolar bone level. *Journal of Clinical Periodontology*, 49(3), 260-269. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13574>

Lee, J.-G., Jun, S., Cho, Y.-W., Lee, H., Kim, G. B., Seo, J. B., & Kim, N. (2017). Deep Learning in Medical Imaging: General Overview. *Korean Journal of Radiology*, 18(4), 570. <https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.570>

Miragall, M. F., Knoedler, S., Kauke-Navarro, M., Saadoun, R., Grabenhorst, A., Grill, F. D., Ritschl, L. M., Fichter, A. M., Safi, A.-F., & Knoedler, L. (2023). Face the Future—Artificial Intelligence in Oral and Maxillofacial Surgery. *Journal of Clinical Medicine*, 12(21), 6843. <https://doi.org/10.3390/jcm12216843>

Naik, N., Hameed, B. M. Z., Shetty, D. K., Swain, D., Shah, M., Paul, R., Aggarwal, K., Ibrahim, S., Patil, V., Smriti, K., Shetty, S., Rai, B. P., Chlosta, P., & Somani, B. K. (2022). Legal and Ethical Consideration in Artificial Intelligence in Healthcare: Who Takes Responsibility? *Frontiers in Surgery*, 9, 862322. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.862322>

Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447-453. <https://doi.org/10.1126/science.aax2342>

Pauwels, R. (2021). A brief introduction to concepts and applications of artificial intelligence in dental imaging. *Oral Radiology*, 37(1), 153-160. <https://doi.org/10.1007/s11282-020-00468-5>

Polizzi, A., Quinzi, V., Lo Giudice, A., Marzo, G., Leonardi, R., & Isola, G. (2024). Accuracy of Artificial Intelligence Models in the Prediction of Periodontitis: A Systematic Review. *JDR Clinical & Translational Research*, 9(4), 312-324. <https://doi.org/10.1177/23800844241232318>

Putra, R. H., Doi, C., Yoda, N., Astuti, E. R., & Sasaki, K. (2022). Current applications and development of artificial intelligence for

digital dental radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(1), 20210197. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210197>

Rekawek, P., Rajapakse, C. S., & Panchal, N. (2021). Artificial Intelligence: The Future of Maxillofacial Prognosis and Diagnosis? *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 79(7), 1396-1397. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2021.02.031>

Ryu, J., Lee, D.-M., Jung, Y.-H., Kwon, O., Park, S., Hwang, J., & Lee, J.-Y. (2023). Automated Detection of Periodontal Bone Loss Using Deep Learning and Panoramic Radiographs: A Convolutional Neural Network Approach. *Applied Sciences*, 13(9), 5261. <https://doi.org/10.3390/app13095261>

Sarwar, S., & Jabin, S. (2023). *AI Techniques for Cone Beam Computed Tomography in Dentistry: Trends and Practices* (Versiyon 2). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2306.03025>

Tabatabaian, F., Vora, S. R., & Mirabbasi, S. (2023). Applications, functions, and accuracy of artificial intelligence in restorative dentistry: A literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(6), 842-859. <https://doi.org/10.1111/jerd.13079>

Thurzo, A., Urbanová, W., Novák, B., Czako, L., Siebert, T., Stano, P., Mareková, S., Fountoulaki, G., Kosnáčová, H., & Varga, I. (2022). Where Is the Artificial Intelligence Applied in Dentistry? Systematic Review and Literature Analysis. *Healthcare*, 10(7), 1269. <https://doi.org/10.3390/healthcare10071269>

Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44-56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>

Tyagi, M., Jain, S., Ranjan, M., Hassan, S., Prakash, N., Kumar, D., Kumar, A., & Singh, S. (2025). Artificial Intelligence Tools in

Dentistry: A Systematic Review on Their Application and Outcomes.
Cureus. <https://doi.org/10.7759/cureus.85062>

BÖLÜM 4

DİŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANILAN 3B BASKI TEKNİKLERİ VE MALZEMELER

BENGİSU KOCA¹
SERDAR AKARSU²

Giriş

Dijital teknolojinin diş hekimliğine girişi birçok avantajı beraberinde getirmektedir(Zitzmann & ark., 2020). Bilgisayar sistemleri ile tasarım ve üretimde eklemeli ve eksiltmeli olmak üzere 2 temel yöntem bulunmaktadır(Moon & ark., 2022). Eksiltmeli üretimin bazı sınırlamaları ve dezavantajları, eklemeli üretimi iyi bir alternatif haline getirmektedir(Koch & ark., 2016). Eklemeli üretim ile eksiltmeli üretime göre daha hassas ve karmaşık yapılar daha uygun maliyetlerde elde edilebilmektedir(Dawood & ark., 2015). 3B yazıcılar kullanılarak cerrahi rehberler, diş modelleri, hareketli protezler ve tam kron, inley, onley, veneer gibi indirekt restorasyonlar hazırlanabilir(Ngo & ark., 2018). Rezinler, klinik diş hekimliğinde 3B baskı teknolojisiyle birlikte kullanılan malzemelerin başında gelmektedir (Jeong & ark., 2023).

¹ Uzman Dt., Çerkezköy Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi, Restoratif Diş Tedavisi Bölümü, Tekirdağ/Türkiye Orcid:0000-0003-2040-5999

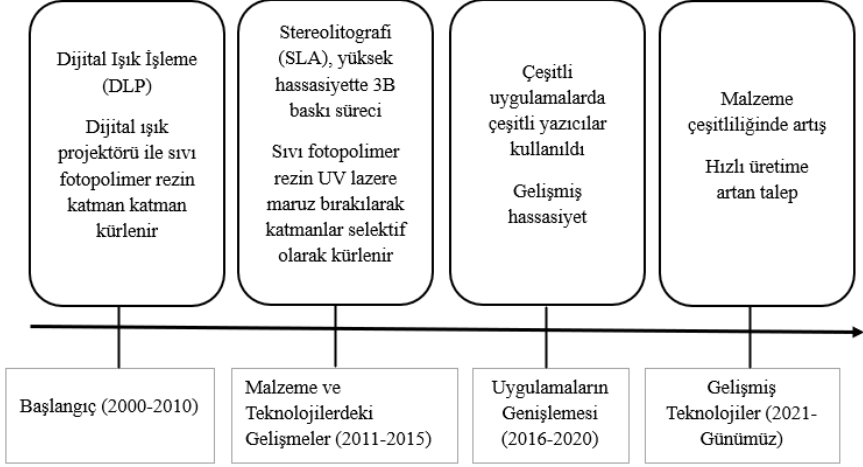
² Doç. Dr., Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD, Ordu/Türkiye Orcid:0000-0002-7816-1635

Tarihçesi

3B baskı sistemi Kodama tarafından 1981 yılında tanıtıldı(Kodama, 1981). İlk 3B baskı teknolojisi stereolitografi (SLA) Charles (Chuck) Hull tarafından 1983 yılında geliştirildi(Hull, 1984; Mai & ark., 2017). Daha sonra tasarım dosyalarını yazıcıya ileten arayüz programı olan STL dosya formatını geliştirmiştir. 1990 yılında Scott Crump tarafından birleştirmeli yığma modellemesi (FDM) üretim teknolojisi patenti alınmıştır(Gross & ark., 2014). Ancak 3B baskı sistemlerinin dış hekimliğine entegrasyonu hemen yapılamamıştır. Bunların sebepleri arasında yazıcıların maliyeti, düşük hız, düşük çözünürlük ve düşük yüzey kalitesi sayılabilir(Cousley, 2020). Rezin kürleme tekniklerindeki gelişimin 3B baskı teknolojisi üzerinde büyük etkisi olmuştur.

Kürleme tekniklerinin kronolojik gelişimi dört zaman diliminde incelenebilir (Şekil 1). “Başlangıç (2000-2010)”, dijital ışık işleme (DLP) teknolojisinin başlangıcıdır(Tsolakis & ark., 2022). “Malzeme ve Teknolojilerdeki Gelişmeler (2011-2015)”, SLA teknolojisi ile yüksek çözünürlüklü yapılar elde edilmiştir(Muzaffar & Zafar, 2018). “Uygulamaların Genişlemesi (2016-2020)”, geniş kullanım alanı yaratan DLP 3B yazıcı tanıtılmıştır(Park & ark., 2020). Son olarak, “Gelişmiş Teknolojiler (2021-Günümüz)”, yazıcılarla yüksek kaliteli restorasyon ve dış modellerinin üretimi yapılmaktadır(Ma & ark., 2023; Rungrojwittayakul & ark., 2020).

Şekil 1 Kırleme Tekniklerinin Kronolojik Gelişimi



(Jeong & ark., 2023)

Bu gelişmeler sayesinde eklemeli üretimde kullanılan malzemeler ve kullanım alanları artmıştır. 3B üretim sistemleri ve malzemeleri hassasiyet, doğruluk ve çok yönlülük arayışı ile günümüzde halen gelişmeye devam etmektedir(Jeyaraj & Narayanan, 2024).

3B Üretim Teknolojilerinin Genel Prensipleri

Dijital İş Akışı

Bilgisayar destekli bir üretim tekniği olan 3B baskı üretim sürecinin dijital iş akışı sırayla veri toplama, veri işleme ve üretim şeklindedir.

Ağız içi tarama ile dişlerin ve çevre yumuşak dokuların haritası elde edilir. Elde edilen dijital veriler, dijital ortamdan fiziksel ortama aktarımını sağlamak amacıyla standart bir mozaik dili olan STL formatına dönüştürülür(Cousley, 2020).

Belirli bir bilgisayar yazılımı ile nesnenin tasarımı yapılır. Tabaka kalınlığı, oryantasyon yönü gibi baskı parametreleri kullanılan malzemenin türüne ve kullanılan yazıcıya göre belirlenebilir.

Tasarımı içeren STL dosyası yazıcıya aktarılır. Dilimleme ve destek yapıların parametreleri belirlenir. Destek yapıları şekil, uzunluk, genişlik ve yoğunluk bakımından farklı düzenlenebilir. Desteklerin konumu nesnenin oryantasyon yönüne göre değiştirilebilir(Cousley, 2020).

Baskı parametreleri ayarlanan nesne 3B yazıcıda katman katman üretilir. Baskı işleminden sonra yapı üzerinde kalan kürlenmemiş rezin artıklarını gidermek için izopropil alkol (IPA) veya farklı çözeltiler kullanılabilir. Bu işlem mekanik karıştırma amacıyla ultrasonik banyoda yapılır. Üretici firmanın önerdiği post kürleme işlemleri uygulanır. Her yazıcı için önerilen üretim sonrası işlemler bulunur.

3B Baskı Teknikleri

Eklemeli üretim sıvı veya toz halinde bulunan malzemenin katmanlar halinde üst üste eklenmesi işlemidir(Kodama, 1981). Bu üretim teknikleri American Society for Testing and Materials tarafından temel çalışma prensiplerine göre 7 kategoride incelenmektedir(Revilla-León & ark., 2019):

1. Vat fotopolimerizasyon (VPP)
2. Materyal ekstrüzyonu (MEX)
3. Malzeme püskürtme (MJ)
4. Bağlayıcı püskürtme (BJ)
5. Toz-yatak füzyonu (PBF)
6. Yönlendirilmiş enerji biriktirme (DED)
7. Lamine Nesne İmalatı (LOM)

Kullanılan malzeme türüne göre de 3 kategoride incelenmektedir(Ngo & ark., 2018)(Tablo 1):

Katı bazlı

- Lamine Nesne İmalatı (Laminated Object Manufacturing -LOM)

- Birleştirmeli Yığma Modeli (Fused Deposition Modelling- FDM)
- Tel ve Ark Eklemeli İmalat (Wire and Arc Additive Manufacturing-WAAM)
- Elektron Işını Serbest Form İmalatı (Electron Beam Free Form Fabrication- EBF3)

Toz bazlı

- Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering- SLS)
- Elektron Işını Eritme (Electron Beam Melting- EBM)
- Seçici Lazer Eritme (Selective Laser Melting- SLM)
- Lazer Metal Yığma (Laser Metal Deposition- LMD)

Sıvı bazlı

- Malzeme Püskürtme (Material Jetting -MJ)
- Stereolithography (SLA)
- Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing- DLP)

Tablo 1 3B Baskı Tekniklerinin Çalışma Prensiplerine Göre Sınıflandırması

Katı Bazlı	Toz Bazlı	Sıvı Bazlı
<i>Malzeme Ekstrüzyon</i>	<i>Bağlayıcı Püskürtme</i>	<i>Malzeme Püskürtme</i>
FDM (Birleştirmeli Yığma Modeli)	3DP (3 Boyutlu Yazdırma)	MJM (Multi Jet Modelleme)
<i>Tabaka Laminasyon</i>	<i>Toz Yatağı Füzyonu</i>	<i>VAT Fotopolimerizasyon</i>
LOM (Lamine Nesne İmalatı)	SLM (Seçici Lazer Eritme)	SLA (Stereolitografi)
	EBM (Elektron Işını Eritme)	DLP (Dijital Işık İşleme)
	<i>Yönlendirilmiş Enerji Birikimi</i>	LCD (Likit Kristal Görüntüleme)
	CLAD (Sürekli Lazer Destekli Biriktirme) LMD (Lazer Metal Yığma)	

(Caussin & ark., 2024)

Dental alanda en sık kullanılan 3B baskı teknolojileri VAT fotopolimerizasyonu (stereolitografi (SLA)), dijital ışık işleme (DLP)), birleştirmeli yığma modeli (FDM) ve malzeme püskürtme (MJ) dir.

Stereolitografi (SLA)

VAT fotopolimerizasyonu teknolojisine dayanan bu teknikte cihazlar üç bölümden oluşur; ışığa duyarlı sıvı rezinin bulunduğu rezervuar, nesnenin oluşturulduğu platform ve rezini kürlemek için kullanılan ultraviyole (UV) lazer(Tian & ark., 2021). Sıvı resin yüzeyine lazer uygulanarak katmanlar oluşturulur. Yapı platformu aşağıdan yukarıya ya da yukarıdan aşağıya hareket ettirilerek bir sonraki sıvı

rezin sertleştirilir. CAD sisteminde oluşturulan destek yapılar üretimden sonra yapıdan ayrılır. Yıkama ve post kürleme işlemleri gerçekleştirilir. Yapının üzerinde kalan kürlenmemiş resin kalıntıları izopropil alkol (IPA) veya farklı çözücülerle uzaklaştırılabilir(Taneva & Uzunov, 2020). Stereolitografi (SLA), dental alanda en eski ve en fazla kullanılan 3 boyutlu baskı üretim tekniğidir. Bu yöntem, yapı platformu hareketi ve lazer hareketine göre alt sınıflara ayrılmaktadır.

Yapı Platformu Hareketi

Bu sınıfa giren iki yöntem vardır, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya tekniktir (Melchels & ark., 2010; Noorani, 2006)ve ikisi de katmanlı baskı sürecine dayanır. Aşağıdan yukarıya üretim tekniğinde, reçine hareketli yapı platformunun üzerinde yer alır. Platform, yüzeyinde kontrollü kalınlıkta ince bir reçine tabakası oluşturacak şekilde konumlandırılır. Lazer, sıvı reçine yüzeyini tarayarak kürlenmiş iki boyutlu bir katman meydana getirir. Her bir katmanın tamamlanmasının ardından platform aşağı yönde hareket eder ve bir silindir aracılığıyla bir sonraki katman için kürlenmemiş resin yüzeye homojen biçimde yayılır. Kürlenme derinliğinin resin katman kalınlığından daha büyük olması, ardışık katmanlar arasında güçlü bir bağlanma sağlanmasına olanak tanır.

Yukarıdan aşağıya teknikte ise lazer rezervuarın altından tarayarak üretim yapar. Platform, altında sadece ince bir tabaka sıvı resin olacak şekilde konumlandırılır. Bu tabaka lazer maruziyeti sonucu kürlenir ve platform yeni tabakanın kürlenebilmesi için yukarı kaldırılır. Bu, ürün oluşturulana kadar yinelenir. Yukarıdan aşağıya tekniğin, aşağıdan yukarıya tekniğe göre bazı avantajları mevcuttur. Lazer baskı cihazının içinde sınırlandırıldığı için daha güvenli bir kullanıma sahiptir. Likit resin ile rezervuarın pürüzsüz alt yüzeyinin tam kontağı sayesinde pürüzsüz parçalar üretilebilir. Kürleme işlemi fotopolimerizasyon ile kapalı bir ortamda gerçekleştiği için, oksijen

inhibisyonu önlenmektedir. Ayrıca likit rezinin yeniden kaplanması yerçekimi sayesinde silindir ihtiyacı olmadan gerçekleşebilmektedir(Manapat & ark., 2017).

Lazer Hareketi

Tarama tabanlı stereolitografi (scanning-based stereolithography-SSL) ve projeksiyon tabanlı stereolitografi (projection-based stereolithography- PSL) olmak üzere iki tekniktir (Emami & ark., 2015; Melchels & ark., 2010) PSL üretim tekniği desenli lazer üreterek tabakaları tek bir lazer pozlamasıyla üretme tekniğine dayanmaktadır. SSL yönteminde, her bir katmanın yüzeyi lazer ışını ile taranarak istenen desenler oluşturulur. PSL yöntemi ise desenli lazer ışığının sınırlı bir alanı kapsaması nedeniyle küçük boyutlu parçaların yüksek çözünürlükte ve detaylı olarak üretilmesine uygundur. Buna karşılık, SSL yönteminde baskı çözünürlüğü daha düşüktür; bu durum SSL'yi büyük boyutlu parçaların üretimi için daha elverişli kılmaktadır. PSL, her tabakayı tek bir lazer atışında bastığı için üretim SSL'den daha kısa sürmektedir. Günümüzde yapılan çalışmalarla SSL ve PSL'nin sentezi olan tarama-projeksiyon tabanlı stereolitografi (scanning-projection based stereolithography- SPSL) tekniği geliştirilmiştir. SPSL, PSL'in desenli lazer ışıklarını üretmede kullandığı dijital mikro ayna cihazı (digital micromirror device- DMD) nı hareket ettirerek, desenli lazer ışıkları ile rezin yüzeyini taramaktadır. Bu, büyük boyuttaki parçaların baskısına imkan tanır (Manapat & ark., 2017).

Dijital Işık İşleme (DLP)

SLA tekniği ile benzer şekilde VAT fotopolimerizasyon teknolojisine dayanır. SLA ve DLP tekniği arasındaki temel fark ışık kaynağıdır. Sıvı rezinin bulunduğu rezervuara belli uzaklıkta minyatür projektör yerleştirilir. Bu projektörün yapısında bir milyondan fazla dijital mikroayna cihazı bulunmaktadır. Bu aynalardan yansıtılan ışıklar sayesinde rezervuar tabanına pikseli görüntü yansıtılır(Wu & ark.,

2018). Bu teknolojiyle SLA teknolojisi ile üretilen bir ürün kadar pürüzsüz bir yüzey elde edilemeyebilir(Nemeth & ark., 2023). Ayrıca baskı hacminin SLA teknolojisine göre daha az olması bir diğer dezavantajdır(Wu & ark., 2018).

Birleştirmeli Yığma Modeli (FDM)

Bu teknolojiye termoplastik polimerden üretilen devamlı bir filament mevcuttur(Ngo & ark., 2018). Filament ısıtılarak eriyik hale geldikten sonra yapı platformuna veya bir önceki katmanın üstüne sürülür. Filamentlerin genişliği ve yönelimi, katmanlar arası ya da katman içi hava boşlukları üretilen yapıların mekanik özelliklerini etkilemektedir. Yüksek hız ve düşük maliyet bu tekniğin avantajları arasında yer alırken, tabakalı görünüm, kötü yüzey kalitesi, zayıf mekanik özellikler ve malzeme sınırlılığı bu tekniğin dezavantajlarından(Mohamed & ark., 2015). FDM teknolojisi kullanılarak geliştirilen fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinler sayesinde üretilen yapıların mekanik özellikleri iyileştirilmiştir(Parandoush & Lin, 2017).

Malzeme Püskürtme (MJ)

Malzeme püskürtme tekniğinde, ışığa duyarlı malzeme ultraviyole ışınlarıyla sertleştirildikten sonra damlalar halinde katmanlar üzerine püskürtülür(Rajan & Curtin, 2016). Bu nedenle bu yöntemle üretilen parçalar, pürüzsüz bir yüzey kalitesine sahiptir. Kompozit, seramik, hibrit ve polimer malzemeler bu baskı tekniğinde kullanılabilir(Kalia & ark., 2022).

Seçici Lazer Sinterleme (SLS)

Seçici Lazer Sinterleme katı dozaj formlarının üretiminde en güncel teknolojilerden biridir (Fina & ark., 2018). SLS üç boyutlu yapıları üretmek için toz parçacıklarını tabakalı ve selektif olarak sinterlemeye yarayan lazer içermektedir. Bir toz yatağı, toz

rezervuarı, tozu yatağa ileten bir silindir ve lazer kaynağından oluşur.

Lazer toz yüzeyinde 3B tasarıma uygun spesifik desenler çizmek için yönlendirilir. İlk tabaka sinterlendikten sonra toz yatağı aşağı hareket ederken, toz rezervuarı yukarı hareket ederek yeni toz katmanının taşınmasını sağlar (Allahham & ark., 2020). Günümüzde üretilen SLS yazıcıların büyük bir kısmı, az maliyetle yüksek güç sağlayan ve geniş bir yelpazede toz termoplastik malzeme kullanımına imkan tanıyan karbondioksit (CO₂) lazer kullanmaktadır (Awad & ark., 2020).

Lamine Nesne Üretimi (LOM)

Lamine nesne üretimi (LOM), içinde polimer esaslı folyoların da bulunduğu çok çeşitli malzemeler kullanır. Her bir lamine tabakasında bir bıçak ya da lazer ile kesme işlemi yaparak uzaysal desen oluşturur (Klosterman & ark., 1998). Bu nedenle bu teknoloji, üç boyutlu yapıların üretiminde eklemeli ve eksiltmeli üretim teknikleri arasında bir orta noktayı savunur.

3B Baskı Teknolojisinde Kullanılan Malzemeler

Eklemeli üretimde kullanılan malzemeler kullanım amacına göre çeşitlilik göstermektedir. Bu malzemeler arasında metaller, seramikler, polimerler, kompozitler ve akıllı malzemeler yer alır (Liu & ark., 2021).

Metaller

Kobalt-krom (Co-Cr) ve titanyum (Ti) alaşımlar mekanik özellikleri sayesinde dental alanda kullanılmaktadır. Revilla-Leon ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre, 3B baskı teknolojisiyle üretilen metal ve seramiklerde iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır (Revilla-León & Özcan, 2017).

Seramikler

Seramikler, estetik özellikleri, biyouyumluluğu, mekanik özellikleri, aşınma ve korozyon mukavemeti sebebiyle dental alanda sık kullanılmaktadır. 3B baskı seramiklerinde yüksek erime noktaları ve soğutma işlemleri kaynaklı çatlaklar oluşabilir. Kullanılan baskı parametreleri ve seramik malzeme türüne göre basılan nesnelerin mekanik özellikleri değişmektedir. Bu alanda kullanılan seramikler ile ilgili daha fazla klinik çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır(Jeong & ark., 2023).

Polimerler

Günümüzde düşük maliyetleri ve çeşitli özellikleri nedeniyle dental alanda sık kullanılmaktadır. Polimerler ile karmaşık yapıların üretimi yapılabilmektedir. Polieter eter keton (PEEK), polikaprolakton (PCL), polimetil metakrilat (PMMA), polilaktik asit (PLA) ve polilaktik-ko-glikolik asit (PLGA) polimerlere örnek olarak verilebilir. Gerekli fonksiyonel ve mekanik özellikleri elde etmek için polimer kompozitlerin kullanımı büyük ölçüde geliştirilmiştir(Valenti & ark., 2024).

Kompozitler

Esnek ve hafif bir yapıya sahip olan kompozitler birçok farklı alanda kullanılan bir malzemedir. Fiber cam içeren kompozitleri, düşük termal genleşme ve yüksek ısı iletkenliği özellikleri 3B teknikleri için avantajlı kılar (Kalia & ark., 2022). Kompozitlerin mekanik özellikleri yapısındaki inorganik doldurucu miktarına ve doldurucu boyutundan etkilenmektedir.

3B baskı için geliştirilen rezinlerin direkt restorasyonlarda kullanılan rezinlerle benzer biyouyumluluğa sahip olduğu gösterilmiştir. Yıkama ve post kürleme gibi baskı sonrası işlemler ile biyouyumluluk daha da iyileştirilebilir(Wuersching & ark., 2022). Rezin malzemeler VAT fotopolimerizasyonu teknolojisini kullanan

SLA ve DLP tekniklerinde kullanılmaktadır. Bu üretim tekniklerinde iki ana malzeme ailesi kullanılmakta olup, her bir aile kendine özgü bir polimerizasyon mekanizması sergilemektedir. Akrilik veya metakrilat esaslı rezinler serbest radikal polimerizasyonu ile kürlenirken; epoksi ve vinil eter esaslı rezinler katyonik polimerizasyon mekanizması üzerinden ağ yapısı oluşturmaktadır.

Serbest radikal fotopolimerizasyonu, ışıkla etkileşime giren zayıf bağların homoliz olması neticesinde serbest radikallerin ortaya çıktığı fotopolimerizasyon şeklidir. Bu rezin ailesinin molekül ağırlığı ve işlevselliği sistem davranışını büyük oranda etkiler. Tek işlevli akrilatlar düşük viskozite sunabilirken, birden fazla işlevli akrilatlar fleksibilitede ve reaksiyon sürelerinde azalmaya neden olur. Ayrıca yüksek işlevli rezinler daha yüksek viskoziteye sahiptir. Düşük molekül ağırlıklı monomerler, yüksek reaktivite ve artan sertlik özellikleri sergilerken; yüksek molekül ağırlığına sahip rezin monomerleri daha düşük reaktiviteye sahip olup, daha esnek bir mekanik davranış göstermektedir.

Katyonik polimerizasyonu kullanan epoksi ve vinil eter bazlı rezinlerde, epoksi sistemler vinil eter sistemlerden daha fazla ancak akrilat ve metakrilat rezinlerden daha az tercih edilmektedir. Çift kürleme mekanizmasını incelemek(Esposito Corcione & ark., 2015), her iki sistemin avantajlarını birleştirmek ve dezavantajlarını azaltmak adına radikal ve katyonik karışık polimerizasyon sistemleri kullanılabilir(Kumar & ark., 2012; Yugang & ark., 2011).

Akıllı Malzemeler

Akıllı malzemeler, üretilen nesnenin ısı ve nem gibi çevresel koşullara bağlı olarak şekil değişikliği göstermesi ve işlevsel özellikler kazanmasını sağlamaktadır. Bu şekil değiştirme potansiyeli nedeniyle malzemeler 4B baskı olarak adlandırılır. 4B baskı teknolojisi sayesinde kendiliğinden onarım sağlanabilir(Kalia & ark., 2022).

3B Baskı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Klinisyenler için önemli bir alternatif hâline gelen 3B baskı sistemlerinin avantajları şunlardır:

- Frezeleme sistemleri aynı anda sadece bir restorasyon üretebilirken, 3B baskı sistemleri aynı anda birden fazla restorasyon basabilir(Daher & ark., 2024).
- Frezeleme sistemlere göre 3B sistemlerde kullanılan rezinlerin onarılması daha kolaydır.
- Karşıt diş dokularında daha az aşınmaya neden olmaktadır (Sasany & ark., 2024).
- 3B baskı sistemleri katmanlı üretim yapmaları sebebiyle karmaşık şekilli nesneler detaylı geometrileri üretebilir.
- Frezeleme sistemlerinde kullanılan frez boyutları ve freze hareketlerinin sınırlılığı karmaşık yapıların üretimini engellemektedir. 3B baskı sistemleri, frezeleme sistemlerinde kullanılan bu yüksek maliyetli frez ve bloklara ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle düşük maliyetli bir üretim yöntemidir(Moon & ark., 2022). Aynı zamanda frezeleme sistemlerinde gereken frezleme kuvveti burada yoktur ve pasif bir üretim yapılmaktadır. Restorasyonlarda kuvvete bağlı mikro çatlaklar görülebilir(Methani & ark., 2020).
- Malzemelerin tekrar kullanılabilirliği sayesinde malzeme kaybı yaşanmaz.
- Tasarımın dijital bir platformda yapılabilmesi ayrıntılı bir üretim imkanı sağlamaktadır(Jockusch & Özcan, 2020). Aynı zamanda tasarımların dijital ortamda saklanabilmesi, envanter masrafını azaltır.

3B baskı sistemlerin beraberinde getirdiği bazı dezavantajlar da mevcuttur:

- Diş hekimliğinde sık kullanılan SLA ve DLP tipi yazıcılarda sadece rezin malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler sınırlı raf ve kullanım ömrüne sahiptirler. Aynı zamanda bu tekniklerde üretim sonrası yıkama ve post kürleme aşamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu üretim süresini uzatabilir(Zaharia & ark., 2017).
- 3B baskı sistemi yakın zamanda diş hekimliğine entegre olan bir sistem olduğu için klinik ve laboratuvar personellerinin teknolojiyi öğrenmeleri için zamana ihtiyaç vardır. Dijital iş akışının tamamen kavranabilmesi ve personel eğitimi için gereken süre üretim hızını yavaşlatabilir.
- 3B baskı sistemine yeni geçiş yapan kliniklerde başlangıçta 3B yazıcı ve işlem sonrası donanımın satın alınması için bir sermaye gerekmektedir.
- 3B baskı sistemlerinde kullanılan rezinlerin kürlenmemiş formları ve temizleme ajanları temas durumunda cildi tahriş edebilir ve solunum yoluyla iltihaplanmaya neden olabilir(Cousley, 2020).

Tablo 2 3B Baskı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Aynı anda birden fazla restorasyon üretimi	Rezin malzemelerde sınırlı raf ömrü
Rezinlerin kolay onarılabilmesi	İş akışında ek işlem basamakları
Karşıt dişte daha az aşınma	Rezinlerin ışık ve kimyasal hassasiyeti
Düşük maliyet	Kürlenmemiş rezinler ve temizleyicilerin cilt/solunum için iritan etkisi
Pasif üretim	İlk kurulum için yazıcı ve ekipman yatırımı
Malzeme kaybı az	
Dijital tasarım ve arşivleme kolaylığı	
Karmaşık yapıların üretilbilmesi	

(Daher & ark., 2024).

6. Sonuç

Dijital teknolojilerin diş hekimliğine entegrasyonu, klinik uygulamalara birçok konuda avantaj sağlamıştır. 3B baskı sistemleri, karmaşık anatomik yapıların detaylı şekilde üretilbilmesi, düşük maliyeti, çoklu üretim imkânı ve dijital tasarım–arşivleme kolaylığı sayesinde eksiltmeli üretime güçlü bir alternatif haline gelmiştir. Bununla birlikte, 3B baskı rezinlerinin onarılabilirliği ve malzeme israfını azaltması, bu teknolojiyi hem klinisyenler hem de laboratuvar ortamı için daha cazip kılmaktadır.

Farklı çalışma prensiplerine dayanan eklemeli üretim teknikleri sayesinde geniş bir malzeme yelpazesinin dental endikasyonlara uyarlanması mümkün hale gelmiştir. Bu çeşitlilik; cerrahi, ortodonti, endodonti, protetik diş tedavisi ve restoratif diş tedavisi gibi diş

hekimliğinin neredeyse tamamında geniş bir kullanım alanı doğurmuştur. Özellikle fotopolimerizasyon temelli teknolojiler, yüksek hassasiyetleri nedeniyle indirekt restorasyonların üretiminde yaygınlaşmıştır.

Sonuç olarak, 3B baskı teknolojilerinin diş hekimliğinde giderek artan bir önem kazandığı hem klinik hem laboratuvar da büyük bir potansiyeli olduğu ortadadır. Son gelişmeler, daha dayanıklı, biyouyumlu ve estetik malzemelerin ortaya çıkmasını sağlamış; gelecekte 3B baskının tedavilerde çok daha geniş bir kullanım alanı bulacağı öngörülmektedir. Gelecekteki klinik çalışmalar ve yenilikler, eklemeli üretim diş hekimliğindeki konumunu daha da güçlendirecek ve bu teknolojiyi modern diş hekimliğinin vazgeçilmez bir bileşeni haline getirecektir.

Kaynakça

- Allahham, N., Fina, F., Marcuta, C., Kraschew, L., Mohr, W., Gaisford, S., . . . Goyanes, A. (2020). Selective laser sintering 3D printing of orally disintegrating printlets containing ondansetron. *Pharmaceutics*, 12(2), 110.
- Awad, A., Fina, F., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2020). 3D printing: Principles and pharmaceutical applications of selective laser sintering. *International Journal of Pharmaceutics*, 586, 119594.
- Caussin, E., Moussally, C., Le Goff, S., Fasham, T., Troizier-Cheyne, M., Tapie, L., . . . François, P. (2024). Vat photopolymerization 3D printing in dentistry: A comprehensive review of actual popular technologies. *Materials*, 17(4), 950.
- Cousley, R. R. (2020). Introducing 3D printing in your orthodontic practice. *Journal of orthodontics*, 47(3), 265-272.
- Daher, R., Ardu, S., di Bella, E., Krejci, I., & Duc, O. (2024). Efficiency of 3D printed composite resin restorations compared with subtractive materials: Evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production. *The Journal of prosthetic dentistry*, 131(5), 943-950.
- Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British dental journal*, 219(11), 521-529.
- Emami, M. M., Barazandeh, F., & Yaghmaie, F. (2015). An analytical model for scanning-projection based stereolithography. *Journal of Materials Processing Technology*, 219, 17-27.
- Esposito Corcione, C., Striani, R., Montagna, F., & Cannoletta, D. (2015). Organically modified montmorillonite polymer nanocomposites for stereolithography building process. *Polymers for Advanced Technologies*, 26(1), 92-98.

- Fina, F., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2018). Powder bed fusion: The working process, current applications and opportunities. *3D printing of pharmaceuticals*, 81-105.
- Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., & Spence, D. M. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. In: ACS Publications.
- Hull, C. W. (1984). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. *United States Patent, Appl., No. 638905, Filed*.
- Jeong, M., Radomski, K., Lopez, D., Liu, J. T., Lee, J. D., & Lee, S. J. (2023). Materials and applications of 3D printing technology in dentistry: an overview. *Dentistry journal*, 12(1), 1.
- Jeyaraj, P., & Narayanan, T. (2024). 3D Printing and Additive Manufacturing Technology-The Dawn of a New Era! *Int. J. Innov. Sci. Mod. Eng.(IJISME)*, 12(3), 1-5.
- Jockusch, J., & Özcan, M. (2020). Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dental materials journal*, 39(3), 345-354.
- Kalia, G., Sharma, A., & Babbar, A. (2022). Use of three-dimensional printing techniques for developing biodegradable applications: A review investigation. *Materials Today: Proceedings*, 62, 346-352.
- Klosterman, D., Chartoff, R., Graves, G., Osborne, N., & Priore, B. (1998). Interfacial characteristics of composites fabricated by laminated object manufacturing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29(9-10), 1165-1174.
- Koch, G. K., Gallucci, G. O., & Lee, S. J. (2016). Accuracy in the digital workflow: From data acquisition to the digitally milled cast. *The Journal of prosthetic dentistry*, 115(6), 749-754.

- Kodama, H. (1981). Automatic method for fabricating cubic shapes, as a three-dimensional information display method. *J. IEICE*, 64, 237-241.
- Kumar, S., Hofmann, M., Steinmann, B., Foster, E. J., & Weder, C. (2012). Reinforcement of stereolithographic resins for rapid prototyping with cellulose nanocrystals. *ACS applied materials & interfaces*, 4(10), 5399-5407.
- Liu, G., Zhang, X., Chen, X., He, Y., Cheng, L., Huo, M., . . . Wang, P. (2021). Additive manufacturing of structural materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 145, 100596.
- Ma, T., Peng, T., Lin, Y., Zhang, M., & Ren, G. (2023). Effect of internal structures on the accuracy of 3D printed full-arch dentition preparation models in different printing systems. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 15(3), 145.
- Mai, H.-N., Lee, K.-B., & Lee, D.-H. (2017). Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *The Journal of prosthetic dentistry*, 118(2), 208-215.
- Manapat, J. Z., Chen, Q., Ye, P., & Advincula, R. C. (2017). 3D printing of polymer nanocomposites via stereolithography. *Macromolecular Materials and Engineering*, 302(9), 1600553.
- Melchels, F. P., Feijen, J., & Grijpma, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121-6130.
- Methani, M. M., Cesar, P. F., de Paula Miranda, R. B., Morimoto, S., Özcan, M., & Revilla-León, M. (2020). Additive manufacturing in dentistry: current technologies, clinical applications, and limitations. *Current Oral Health Reports*, 7(4), 327-334.
- Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2015). Optimization of fused deposition modeling process

- parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in manufacturing*, 3, 42-53.
- Moon, J.-M., Jeong, C.-S., Lee, H.-J., Bae, J.-M., Choi, E.-J., Kim, S.-T., . . . Oh, S.-H. (2022). A comparative study of additive and subtractive manufacturing techniques for a zirconia dental product: An analysis of the manufacturing accuracy and the bond strength of porcelain to zirconia. *Materials*, 15(15), 5398.
- Muzaffar, A., & Zafar, H. (2018). Application of 3D printing technology in dentistry: A review. *Saudi J. Dent. Res*, 11, 1670-1675.
- Nemeth, A., Vitai, V., Czumbel, M. L., Szabo, B., Varga, G., Keremi, B., . . . Borbely, J. (2023). Clear guidance to select the most accurate technologies for 3D printing dental models—A network meta-analysis☆. *Journal of Dentistry*, 134, 104532.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- Noorani, R. (2006). Rapid prototyping: principles and applications. In: John Wiley and Sons Inc.
- Parandoush, P., & Lin, D. (2017). A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. *Composite Structures*, 182, 36-53.
- Park, S.-M., Park, J.-M., Kim, S.-K., Heo, S.-J., & Koak, J.-Y. (2020). Flexural strength of 3D-printing resin materials for provisional fixed dental prostheses. *Materials*, 13(18), 3970.
- Rajan, V., & Curtin, W. (2016). Micromechanical design of hierarchical composites using global load sharing theory. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 90, 1-17.

- Revilla-León, M., & Özcan, M. (2017). Additive manufacturing technologies used for 3D metal printing in dentistry. *Current Oral Health Reports*, 4(3), 201-208.
- Revilla-León, M., Meyers, M. J., Zandinejad, A., & Özcan, M. (2019). A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(1), 51-57.
- Rungrojwittayakul, O., Kan, J. Y., Shiozaki, K., Swamidass, R. S., Goodacre, B. J., Goodacre, C. J., & Lozada, J. L. (2020). Accuracy of 3D printed models created by two technologies of printers with different designs of model base. *Journal of Prosthodontics*, 29(2), 124-128.
- Sasany, R., Donmez, M. B., de Paula, M. S., Kahveci, Ç., Ceylan, G., Yilmaz, B., & Çakmak, G. (2024). Stainability and translucency of potassium aluminum sulfate applied computer-aided design and computer-aided manufacturing materials after coffee thermocycling. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(3), 477-483.
- Taneva, I., & Uzunov, T. (2020). *Influence of post-polymerization processing on the mechanical characteristics of 3D-printed occlusal splints*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., . . . Jiang, H. B. (2021). A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. *Scanning*, 2021(1), 9950131.
- Tsolakis, I. A., Papaioannou, W., Papadopoulou, E., Dalampira, M., & Tsolakis, A. I. (2022). Comparison in terms of accuracy between DLP and LCD printing technology for dental model printing. *Dentistry journal*, 10(10), 181.

- Valenti, C., Federici, M. I., Masciotti, F., Marinucci, L., Xhimitiku, I., Cianetti, S., & Pagano, S. (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.
- Wu, L., Zhao, L., Jian, M., Mao, Y., Yu, M., & Guo, X. (2018). EHMP-DLP: Multi-projector DLP with energy homogenization for large-size 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(9), 1500-1510.
- Wuersching, S. N., Hickel, R., Edelhoff, D., & Kollmuss, M. (2022). Initial biocompatibility of novel resins for 3D printed fixed dental prostheses. *Dental Materials*, 38(10), 1587-1597.
- Yugang, D., Yuan, Z., Yiping, T., & Dichen, L. (2011). Nano-TiO₂-modified photosensitive resin for RP. *Rapid Prototyping Journal*, 17(4), 247-252.
- Zaharia, C., Gabor, A.-G., Gavrilovici, A., Stan, A. T., Idorasi, L., Sinescu, C., & Negruțiu, M.-L. (2017). Digital dentistry-3D printing applications. *J Interdiscip Med*, 2(1), 50-53.
- Zitzmann, N. U., Matthisson, L., Ohla, H., & Joda, T. (2020). Digital undergraduate education in dentistry: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 17(9), 3269.

BÖLÜM 5

AĞIZ İÇİ TARAMA DOĞRULUĞUNU BELİRLEYEN KLİNİK VE TEKNİK DEĞİŞKENLER

YASEMİN ÖZDEN¹

Ağız içi tarayıcılar (IOS)'lar, hastaların ağız ve diş yapılarının dijital ölçülerini almak için diş hekimliği alanında giderek daha popüler hale gelmiştir. IOS'ların doğruluğu, dijital diş hekimliğinde klinik başarının vazgeçilmez bir koşuludur (Abduo & Laskey, 2022). Ağız içi tarama ile oluşturulan dijital ölçünün doğruluğu ve hassasiyeti, nihai restorasyonun uyumunu belirleyerek fonksiyonel ve estetik sonuçları doğrudan etkiler. Yetersiz tarama doğruluğu ise restorasyon uyumsuzluğuna yol açarak periodontal sağlığı, fonksiyonu ve restorasyonun uzun dönem başarısını olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca, bu tür hatalar ek klinik müdahaleler ve düzeltici işlemleri gerektirebilir (Vitai et al., 2023).

Doğruluk, IOS sistemlerinin kalitesini değerlendirirken genellikle en belirleyici faktördür. Ağız içi tarama doğruluğu iki temel kavramla tanımlanır: doğruluk (trueness) ve hassasiyet (precision) (ISO, 1994). Doğruluk, dijital taramanın, ağız içi

¹ Dr. Öğr. Üyesi., Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0000-1758-6309

dokuların gerçek boyutlarını ne ölçüde doğru yansıttığını ifade ederken; hassasiyet, aynı tarama koğulları altında aynı IOS sistemiyle elde edilen diğital verilerin tekrarlanabilirliğini ve çıktı tutarlılığını gösterir (ISO, 1994).

Dijital bir iç akığı kullanıldığında, ağız içi diğital taramaların entegrasyonu ile üç boyutlu (3B) bir sanal hasta modeli oluğturulur. Doğru sanal hasta modeli elde etmek ve klinik prosedürlerin güvenilirliğini artırmak için doğru ve yüksek kaliteli ağız içi diğital taramaların elde edilmesi kritik öneme sahiptir. Dijitalleğtirme yöntemlerinin doğruluğu arttıkça, oluğturulan sanal modellerin doğruluğu da o ölçüde artar (M. Revilla-Len et al., 2023). Ağız içi taramalarda ortaya çıkan tarama hatalarının tespiti ve bu hataların nedenlerinin anlağılması, IOS sistemlerinin etkin ve doğru bir şekilde kullanılabilmesi ile bu diğital veri toplama teknolojilerinin diğ hekimliği uygulamalarına entegre edilmesi açısından temel prosedürlerdir (Revilla-Len et al., 2025).

Ağız içi tarama hataları iki ana sebebe dayanmaktadır:

1. Operatör kaynaklı hatalar ve
2. Hastanın ağız içi koğullarından kaynaklanan hatalar (Revilla-Len et al., 2025).

Operatrle İlgili Ağız İçi Tarama Hataları

1.1. IOS Sisteminin Seçimi

Piyasada birden fazla tarama teknolojisi ve farklı IOS sistemleri bulunmaktadır. Tarama teknolojisi ve IOS sisteminden bağımsız olarak, IOS'lar geleneksel baskı yöntemleriyle karėılaėtırıldığında benzer doğrulukta sanal tanısal dökümler elde etmek için güvenilir bir diğital baskı alternatifi sağlar (Kong et al., 2022). Bir IOS sistemi seçilirken; kullanım kolaylığı, maliyeti, aylık abonelik giderleri, tarama hızı, tarayıcı çubuğunun boyutu, çürük

tespit özelliğinin bulunup bulunmaması, yazılım kapasitesi, kablosuz bağlantı seçeneği ve üretici desteği gibi çeşitli kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Bununla birlikte, diş hekimleri bu değişkenleri cihazın tarama doğruluğu ile dengelemeyi hedeflemelidir; çünkü tarama doğruluğu, IOS sisteminin genel güvenilirliğini ve dolayısıyla dijital iş akışında üretilen restorasyonların nihai başarısını doğrudan etkiler.

1.2. Tarama Başlığı Boyutu

Piyasada bulunan farklı IOS sistemleri, değişken boyutlarda tarama başlıklarına sahiptir. Ağız açıklığı sınırlı veya erişim zorluğu bulunan hastalarda, daha küçük başlık boyutları pratik bir avantaj sağlar. Ancak, aynı cihaz için farklı boyutlarda tarama uçları sunan IOS sistemleri oldukça sınırlıdır (Hayama et al., 2018).

Mevcut bulgular, daha büyük tarama başlıklarının, küçük boyutlu olanlara kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir (An et al., 2024; Hayama et al., 2018). Bu durum, küçük tarama başlıklarıyla çalışırken erişim kısıtlı bölgelerde farklı tarama desenlerinin kullanılma gerekliliğiyle açıklanabilir. Böyle bir durum, tarama verilerinin birleştirilmesi sırasında geometrik bozulmalara neden olarak doğruluğu olumsuz etkileyebilir (An et al., 2024). Farklı IOS sistemlerinde tarama başlığı boyutunun tarama doğruluğu üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için ileri düzey araştırmalara ihtiyaç vardır.

1.3. IOS Kalibrasyonu

Align Technologies'in iTero Element ve 3Shape A/S'nin Trios 5 modelleri gibi kendi kendini kalibre edebilen sistemler hariç, mevcut tüm IOS cihazları tarayıcının operatör veya diş hekimi tarafından manuel olarak kalibre edilmesini gerektirir. Her üretici, kendi sistemine özgü bir kalibrasyon cihazı ve protokolü sunmaktadır (Marta Revilla-León, Aishwa Gohil, et al., 2023).

IOS yazılımları, son kalibrasyondan itibaren geçen süreye veya gerçekleştirilen tarama sayısına bağlı olarak sistemin yeniden kalibrasyonunu hatırlatan uyarılar verebilir. Bununla birlikte, diş hekimlerinin veri toplama işlemlerine başlamadan önce günlük IOS kalibrasyonunu gerçekleştirmeyi içeren bir klinik protokol oluşturmaları önerilmektedir (Marta Revilla-León, Aishwa Gohil, et al., 2023).

1.4. Tarama Mesafesi

Tarama mesafesi, taranan yüzey ile ağız içi tarama ucu arasındaki mesafeyi ifade ederken, tarama derinliği, tarayıcının güvenilir veri elde edebildiği odak derinliği olarak tanımlanır. Son çalışmalar, tarama mesafesindeki değişikliklerin tarama doğruluğunda tutarsızlıklara yol açabileceğini göstermektedir (Kim et al., 2019; Rotar et al., 2022).

Optimum tarama mesafesi ve odak derinliği, seçilen IOS'un donanım özellikleri tarafından belirlenir. Seçilen IOS'un optimum tarama mesafesinin anlaşılması, tarama doğruluğunu artırarak operatör kaynaklı hataları minimize etmeye yardımcı olur (Rotar et al., 2022).

1.5. Ortam Sıcaklığı

Bir IOS, klinik ortamda, gün içinde ortam sıcaklığı değişimlerine kolayca maruz kalabilir. Bu değişimler, IOS'un kalibrasyonunu bozarak tarama doğruluğunu azaltabilir (Marta Revilla-León, Aishwa Gohil, et al., 2023). Revilla-León ve arkadaşları (Marta Revilla-León, Aishwa Gohil, et al., 2023), önerilen çalışma sıcaklığı aralığı (15–30°C) içinde meydana gelen sıcaklık değişimlerinin, Trios 4 (3Shape A/S) cihazının doğruluğu üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Sonuçlar, ortam sıcaklığı değişikliklerinin test edilen cihazın tarama doğruluğunu olumsuz etkilediğini göstermiştir. Bu nedenle IOS'ların her iş gününe

başlamadan önce kalibre edilmesi önerilmektedir (Marta Revilla-León, Aishwa Gohil, et al., 2023).

1.6. Ortam Nemi

Ortam nemi de ağız içi tarama doğruluğunu etkileyebilen bir faktör olarak gösterilmektedir (Park et al., 2018). Park ve arkadaşları (Park et al., 2018), Trios 3 (3Shape A/S) ve CS 3500 (Carestream) cihazlarının tarama doğruluğu üzerinde, ortam sıcaklığı, nem ve aydınlatma koşullarının kontrol edildiği özel bir simülatör aracılığıyla oluşturulan farklı ağız içi koşulların etkisini incelemiştir. Sonuçlar, simüle edilmiş koşullar arasında tarama doğruluğu açısından anlamlı bir fark göstermemiştir (Park et al., 2018). Bununla birlikte, ortam neminin IOS doğruluğu üzerindeki etkisini net olarak belirlemek için ek çalışmalara ihtiyaç vardır. Yazarlar, iTero Element (Align Technologies) ve kendi kendini kalibre eden Trios 5 (3Shape A/S) cihazları dışında, IOS'ların performansını optimize etmek ve ortam neminden kaynaklanan etkileri en aza indirmek amacıyla düzenli kalibrasyon yapılmasını önermektedir (Park et al., 2018).

1.7. Ortam Aydınlatması

Ortam ışığının yoğunluğu, dişli hastalarda IOS'lerin tarama doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Revilla-León, Jiang, et al., 2020). Tüm IOS'ların doğruluğunu en üst düzeye çıkarabilecek optimum aydınlatma koşulu olmasa da, oda aydınlatma koşulları olarak bilinen 1000 lüks daha iyi performans gösterir (Revilla-León, Jiang, et al., 2020; Revilla-León, Subramanian, et al., 2020). Bu ortam aydınlatma koşuluna ulaşmak için, oda tavan ışığını açık bırakırken diş hekimi koltuğunun ışığını kapatmak gerekir. Her muayenehane farklı ortam aydınlatma yoğunluğuna sahip olabileceğinden ortam aydınlatma koşullarını standartlaştırmak için bir lüksmetre kullanılması önerilir (Revilla-León, Jiang, et al., 2020; Revilla-León, Subramanian, et al., 2020).

1.8 Operatör Deneyimi

Dental operatörün IOS'lar kullanım deneyimi ne kadar fazlaysa, intraoral dijital taramanın doğruluğu da o kadar yüksek olduğu görülmüştür. Operatör deneyimi tarama süresini azaltarak dijital prosedürün verimliliğini artırmaktadır (Kim et al., 2016).

1.9 Tarama Deseni

Ağız içi dijital tarama sırasında kullanılan tarama deseni veya sayısallaştırma dizisi, IOS'ların tarama doğruluğunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Gómez-Polo et al., 2024; Li et al., 2022). Tam dişli hastalarda ağız içi dijital taramalar için tarama desenleri üretici tarafından açıkça tanımlanmaktadır. Literatürde implant taramaları için kişiselleştirilmiş tarama desenleri bildirilmiş olsa da, optimum tarama desenini değerlendiren çalışmalar yetersizdir (Li et al., 2022).

Klinik bir çalışmada, damak dijitalleştirilirken kullanılan tarama deseninin, bir IOS (Trios 3; 3Shape A/S) ile elde edilen maksiller intraoral dijital taramanın doğruluğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Zhongpeng et al., 2019). İki farklı tarama deseni arasında doğruluk bakımından tutarsızlıklar gözlemlenmiştir (Zhongpeng et al., 2019). Oh ve ark.(Oh et al., 2020), tam ark taramaları sırasında IOS'un yönünün doğruluk üzerindeki etkisini incelemiş ve tarayıcı başlığının yatay konumlandırıldığı durumda, dikey yönde konumlandırmaya kıyasla daha yüksek doğruluk elde edildiğini bildirmiştir.

1.10 Tarama Uzantısı

Diş hekimleri, tek restorasyonlar ve ya kısa boşluklu rehabilitasyonlar planlarken intraoral dijital taramanın uzantısına (yarım ark veya tam ark) karar vermelidir. Tarama uzantısı, IOS'un doğruluğunu etkileyen önemli bir faktördür (Chen, Zhai, Watanabe, et al., 2022; Kernén et al., 2022). Çalışmalar, tam ark taramalara kıyasla yarım ark taramalarda daha yüksek doğruluk bildirmiştir. Bu

bulgu, kısa açıklıklı sabit restorasyonlarda yarım ark taramaların tercih edilmesini desteklemektedir (Chen, Zhai, Watanabe, et al., 2022; Kernén et al., 2022).

In vitro bir çalışmada, iki farklı IOS kullanılarak elde edilen yarım ve tam ark taramaların doğruluğu karşılaştırılmıştır (Chen, Zhai, Watanabe, et al., 2022). Tarama uzantısına bağlı olarak anlamlı doğruluk farkları bulunmuştur. Trios 3 IOS için tam ark taramalarda ortalama doğruluk $\pm$ hassasiyet $46,92 \pm 20,79$ μm iken, yarım ark taramalarda bu değer $22,29 \pm 14,12$ μm olarak rapor edilmiştir. Primescan IOS için ise tam ark taramalarda $28,73 \pm 15,79$ μm , yarım ark taramalarda $18,91 \pm 7,94$ μm doğruluk $\pm$ hassasiyet değeri elde edilmiştir (Chen, Zhai, Watanabe, et al., 2022).

Klinik bir çalışmada Trios 3 IOS ile elde edilen yarım ve tam ark taramaları karşılaştırmış ve yarım ark taramalarda daha yüksek doğruluk bildirmiştir (Revilla-León, Jiang, et al., 2020). Kernén ve ark. (Kernén et al., 2022) ise üç farklı IOS (True Definition, Trios 3 ve Omnicam) ile elde edilen taramaları değerlendirmiş; yarım ark taramalarında True Definition için 47 ± 31 μm , Trios 2 için 38 ± 23 μm ve Omnicam için 45 ± 43 μm doğruluk $\pm$ hassasiyet değeri rapor etmiştir. Tam ark taramalarda bu değerler sırasıyla 433 ± 153 μm , 147 ± 80 μm ve 198 ± 198 μm olarak ölçülmüştür.

1.11 Kesme, Yeniden Tarama ve Üst Üste Geçiş Yöntemleri

Literatürde kesme ve yeniden tarama prosedürleri, tarama doğruluğunu azaltabilecek faktörler arasında tanımlanmıştır (Gómez-Polo, Piedra-Cascón, et al., 2021; Passos et al., 2022). Çeşitli laboratuvar ve klinik çalışmalar, mesh deliklerinin yeniden taranmasının dijital taramanın doğruluğunu önemli ölçüde düşürdüğünü göstermektedir (Gómez-Polo, Piedra-Cascón, et al., 2021; Passos et al., 2022; Revilla-León et al., 2021). Yeniden taranan alanların sayısı ve çapı arttıkça doğrulukta daha fazla azalma gözlenmektedir (Revilla-León et al., 2021). Bu nedenle, tarama

sırasında eksik bölgeler bırakılmadan, tek seferde tam veri yakalanması önerilmektedir.

Bazı IOS yazılımları, kesme ve yeniden tarama sırasında önceki verilerin çakışmasını engelleyerek doğruluk kaybını azaltmayı amaçlamaktadır. Revilla-León ve ark. (Marta Revilla-León, Elena Sicilia, et al., 2023), çakışmaya izin verildiğinde daha düşük doğruluk elde edildiğini bildirmiştir. Dolayısıyla, kesme ve yeniden tarama işlemleri, mevcut verilerde değişiklik yapılmadan tamamlanmalıdır.

2022’de yapılan bir çalışmada, bu işlemlerin doğruluk üzerindeki etkisinin IOS türüne göre değiştiği gösterilmiştir (Passos et al., 2022). Aynı üreticiye ait iki farklı IOS (Omnicam ve Primescan) karşılaştırılmış ve Primescan’ın kesme/yeniden tarama işlemlerinden daha fazla olumsuz etkilendiği belirlenmiştir (Passos et al., 2022). Ancak, bu konuda mevcut literatür sınırlıdır. Kesme ve yeniden tarama işlemlerinin sanal dökümlerin doğruluğu ve restorasyonların uyumu üzerindeki etkilerini değerlendiren daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

2. Hastayla İlgili Tarama Hataları

2.1. Diş Tipi

Diş tipi, yakın zamanda ağız içi tarama (IOS) doğruluğunu etkileyen önemli bir değişken olarak tanımlanmıştır (Son & Lee, 2020). Tarama doğruluğu üzerinde yapılmış bir çalışmanın sonucunda, maksiller santral ve lateral, kanin, birinci ve ikinci küçük azı ile birinci ve ikinci büyük azı dişleri arasında anlamlı doğruluk farklılıkları bulunduğunu ortaya konmuştur (Son & Lee, 2020). Elde edilen sonuçlara göre, diş pozisyonu posteriora doğru ilerledikçe tarama doğruluğunun azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, posterior dişlerin ön dişlere kıyasla daha karmaşık anatomik yapıya sahip olması ve bu bölgelerin sayısallaştırılmasının daha zor bir geometri oluşturmasıyla açıklanabilir (Son & Lee, 2020). Sonuç olarak, diş

tipi ile IOS doğruluğu arasındaki ilişkinin kapsamlı biçimde anlaşılabilmesi için ileri araştırmalara ihtiyaç vardır.

2.2. Dişler Arası Diastema Varlığı

Diş hekimliği literatüründe, dişler arası diastemaların ağız içi tarama doğruluğu üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar sınırlıdır (Chun et al., 2017). Huang ve ark.(Huang et al., 2021), diş preparasyonu ile bitişik dişler arasındaki mesafenin (1–3.5 mm) bir IOS'un (Carestream CS 3600) doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, 3.5 mm'den geniş mesafelerde tarama doğruluğunun etkilenmediği; ancak 3 mm'den daha dar boşluklarda hataların belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Ayrıca, bu hataların yönü tarama hareketine (bukkal, lingual, mezial, distal) göre değişkenlik göstermiştir. Diş preparasyonuna komşu alanlarda gözlenen kenar hataları ise mesafe genişledikçe azalmıştır (Huang et al., 2021). Benzer şekilde, Son ve ark. (Son et al., 2022), interproksimal mesafenin Dentsply Sirona Primescan sisteminin doğruluğu üzerinde belirleyici olduğunu rapor etmiştir. Mesafe arttıkça doğruluk ve hassasiyet değerleri yükselmiş, maksimum pozitif sapmalar ise anlamlı düzeyde azalmıştır (Son et al., 2022).

Kim ve ark. (Kim et al., 2022), Sınıf II inley preparasyonlarında üç farklı IOS'un (Primescan, Trios 3, Medit i500) doğruluğunu, bitişik diş varlığının etkisi açısından incelemiştir. Bitişik dişin varlığı tüm sistemlerde doğruluğu olumsuz etkilemiş; ortalama doğruluk ve hassasiyet azalmış, maksimum pozitif sapmalar ise artmıştır (Kim et al., 2022). Bitişik dişin bulunmadığı durumlarda tarama erişilebilirliği artmış ve veri toplama daha homojen hale gelmiştir (Ferrari et al., 2018; Kim et al., 2022). Ferrari ve ark. (Ferrari et al., 2018), 0.5mm'den dar yatay boşluklarda artefaktların, kenarda yapay çıkıntıların ve dişler arası köprü oluşumlarının sıklıkla gözlemlendiğini bildirmiştir.

Sonuç olarak, diş preparasyonu ile bitişik diş arasındaki azalmış boşluklar IOS erişimini kısıtlayarak tarama açısını ve veri yakalama etkinliğini sınırlar, bu da doğruluğun düşmesine neden olur (Chun et al., 2017; Ferrari et al., 2018; Huang et al., 2021; Kim et al., 2022; Son et al., 2022). Gelecekteki araştırmaların, farklı IOS sistemlerinde değişen interdental alan boyutlarının ve konumlarının tarama doğruluğu üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde değerlendirmesi gerekmektedir.

2.3 Ark Genişliği

Diş arkı genişliğindeki değişimler, ağız içi tarama doğruluğunu etkileyen önemli klinik faktörlerden biridir (Gan et al., 2016; Kim et al., 2020; Oh et al., 2020). farklı hacimsel boyutlara sahip maksiller modeller kullanılarak üç farklı ağız içi tarayıcının (CS 3600 [Carestream], Trios 3 [3Shape A/S] ve i500 [Medit]) tarama doğruluğu değerlendirilmiştir.(Kim et al., 2020)¹⁰ Bulgular, tarama doğruluğunun değerlendirilen tam arkın hacimsel boyutuna bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Oh et al., 2020). i500 sistemi dışında, intermolar genişlik arttıkça tarama tutarsızlıklarının da arttığı belirlenmiştir. i500 cihazında ise hem en dar hem de en geniş ark genişliklerinde doğruluk kayıplarının daha fazla olduğu rapor edilmiştir.(Kim et al., 2020)

Gan ve ark. (Gan et al., 2016) tarafından yürütülen klinik çalışmada, ark genişliği değişse de doğruluk açısından anlamlı bir farklılık saptanmamış, ancak genişlik arttıkça tarama hassasiyetinde azalma eğilimi gözlenmiştir (Gan et al., 2016). IOS'ların tarama doğruluğu üzerindeki ark genişliği etkisini daha net ortaya koymak amacıyla ek in vitro ve in vivo çalışmalar gereklidir.

2.4 Damak

Hem tam dişli bireylerde, hem de dişsiz vakalarda maksiller intraoral taramaların doğruluğu üzerinde damağın dijitalleştirilmesinin etkisini değerlendiren çalışma sayısı sınırlıdır

(Gan et al., 2016; Mizumoto et al., 2019). Bir klinik çalışmada, damak ve palatal yüksekliğinin (alçak, orta, yüksek) dijitalleştirilmesinin maksiller tarama doğruluğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Gan et al., 2016).¹² Bulgular, damak bölgesi taramaya dahil edilmediğinde ortalama doğruluk ve kesinlik değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir (Gan et al., 2016). Farklar istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte, palatal yükseklik arttıkça doğrulukta azalma eğilimi gözlenmiştir (Gan et al., 2016).

Bir in vitro çalışmada ise, damağın dijitalleştirilmesinin dişsiz maksillada dört implant içeren tam ark taramaların doğruluğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Mizumoto et al., 2019). Çalışma, damak dijitalleştirilse de edilmediğinde de benzer doğruluk değerleri elde edildiğini göstermiştir (Mizumoto et al., 2019). Ancak yalnızca tek bir tarayıcı ve tarama paterni test edilmiş, ayrıca tarama ortamının aydınlatma koşulları rapor edilmemiştir. Farklı klinik senaryolarda maksiller implant taramalarında damağın dijitalleştirilmesinin olası etkilerini netleştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

2.5 Islaklık - Nem

Ağız içi yüzeydeki nem varlığı, dijital tarama doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Chen, Zhai, Li, et al., 2022; Revilla-León, Jiang, et al., 2020). Nem kaynaklı tarama hatası, diş yüzeyinde veya dişeti embraşürlerinde aşırı tükürük ya da kan bulunması sonucu oluşur Islak diş yüzeylerinden yansıyan ışığın su tabakası tarafından kırılması, optik algılamayı bozarak IOS performansını düşürmektedir (Chen, Zhai, Li, et al., 2022). Bir laboratuvar çalışmasında, yüzeyin kuru, tükürük veya ultra saf suyla nemlendirilmiş olması ve hava ile kurutulmasının tarama doğruluğuna etkisi Trios 3 (3Shape A/S) ve Primescan (Dentsply Sirona) sistemleri kullanılarak değerlendirilmiştir (Chen, Zhai, Li, et

al., 2022). Sonuçlar, yüzeydeki nemin her iki tarayıcının doğruluğunu da azalttığını göstermiştir (Chen, Zhai, Li, et al., 2022). Bu hatayı azaltmak için taranan alanın izolasyonu ve mümkün olduğunca kurutulması önerilmektedir.

2.6 Mevcut Restorasyonlar

Dişlerde restorasyon varlığı, ağız içi dijital taramaların doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Dutton et al., 2020; Lim et al., 2021). Farklı restoratif materyaller arasındaki yansıma özelliklerindeki farklılıklar, kullanılan IOS sistemlerinin performansında önemli tutarsızlıklara yol açabilir (Dutton et al., 2020; Lim et al., 2021; Revilla-León, Jiang, et al., 2020). Restoratif materyalin türü, yüzey bitirme özellikleri ve yarı saydamlık derecesi tarama doğruluğundaki değişimlerin başlıca nedenleri arasında gösterilmektedir.

Dutton ve ark. (Dutton et al., 2020), farklı restoratif materyallerin çeşitli IOS sistemlerinin doğruluğu üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Mine, dentin, mavi build-up kompozit reçine, amalgam, konvansiyonel kompozit reçine, lityum disilikat, zirkonya ve altın içeren modeller sekiz farklı IOS ile taranmıştır. Bulgular, kullanılan IOS sisteminden bağımsız olarak, restoratif materyal tipine göre anlamlı doğruluk farklılıkları olduğunu göstermiştir. Ayrıca her tarayıcı, farklı materyallerde değişen düzeylerde tarama performansı sergilemiştir (Dutton et al., 2020).

Revilla-León ve ark. (Revilla-León et al., 2022), geçici (polimetil metakrilat [PMMA], bis-akril kompozit reçine, öğütülmüş PMMA ve katkılı üretilmiş bis-akril polimer) ve daimi restoratif materyallerin (altın, zirkonya, lityum disilikat, hibrit seramik, kompozit reçine) polisajlı ve glazeli yüzey bitirme protokolleriyle bir IOS'un (Trios 4, 3Shape A/S) doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Bulgular, hem materyal tipinin hem de yüzey bitirme yönteminin IOS doğruluğu ve hassasiyeti üzerinde belirleyici

olduğunu ortaya koymuştur. En düşük doğruluk değerleri yüksek asil metal örneklerinde, en yüksek değerler ise cilalı PMMA ve katkılı üretilmiş bis-akril bazlı polimerlerde saptanmıştır. Zirkonya kronlar hariç, polisajlı yüzeylerde glazeli yüzeylere kıyasla daha yüksek doğruluk değerleri elde edilmiştir (Revilla-León et al., 2022).

Yarı saydam veya çoklu restorasyon içeren dişlerin dijitalleştirilmesi, tarayıcılar için optik yansıma ve ışık kırılması nedeniyle zorluk oluşturabilir (Dutton et al., 2020; Revilla-León et al., 2022). Bu nedenle, **ağız içi tarayıcı tozu** kullanımı, yansıtıcılığı azaltarak tarama sürecini kolaylaştırabilir ve işlem süresini kısaltabilir (Oh et al., 2020). Ancak optimum dijitalleştirme için, düzgün ve ince bir toz tabakası uygulanması şarttır (Oh et al., 2020).

2.7 Yüzey Özellikleri

Ağız içi tarama doğruluğunu etkileyen başlıca yüzey özellikleri arasında diş preparasyonu geometrisi, diş konumu, pulpal ve gingival taban derinliği ile preparasyon bitiş çizgisinin konumu yer almaktadır (Ammoun et al., 2020; Oh et al., 2020). Bu parametrelerdeki değişikliklerin etkisi, kullanılan IOS teknolojisinin türüne ve sistemin optik özelliklerine göre farklılık gösterebilir (Ammoun et al., 2020).

Diş preparasyonu geometrisi, tarama doğruluğunu azaltabilen önemli bir etkidir. Bu nedenle, keskin köşelerin ve pürüzlü yüzeylerin azaltılması, tarama öncesinde preparasyonun dikkatle gözden geçirilmesini gerektirir (Ammoun et al., 2020; Ashraf et al., 2020; Kim et al., 2018; Oh et al., 2020). Kim ve ark.(Kim et al., 2018), farklı diş preparasyon geometrilerine sahip protez modeller kullanarak dokuz IOS'un tarama doğruluğunu karşılaştırmıştır. Çalışma, test edilen sistemler arasında yüzey pürüzsüzlüğü, keskin kenar tekrarlanabilirliği ve çokgen şekil tanımlamalarında belirgin doğruluk farklılıklarının olduğunu göstermiştir (Kim et al., 2018).²⁷ Diş preparasyonunun karmaşıklığı

arttıkça tarama doğruluğunun azaldığı bildirilmiştir (Ammoun et al., 2020; Kim et al., 2018). Full kron restorasyonlar, inley tipi intrakoronal preparasyonlara göre daha yüksek doğruluk değerleri sunmaktadır (Ammoun et al., 2020; Ashraf et al., 2020).^{8,26,29} Ayrıca, oklüzal konverjans açısı arttıkça tarama doğruluğunun da yükseldiği rapor edilmiştir (Ashraf et al., 2020).

Proksimal yüzeyleri içeren preparasyonlar, erişim kısıtlılığı nedeniyle IOS ile en zor dijitalleştirilen alanlardır (Ammoun et al., 2020; Jin-Young Kim et al., 2021). Kontur yüksekliğinin altındaki girintili bölgeler, tarayıcılar için gölge alanı oluşturarak doğruluğu azaltabilir. Jin-Young Kim ve ark.(Jin-Young Kim et al., 2021), altı farklı IOS kullanarak, farklı intrakoronal preparasyon geometrilerinin tarama doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Bulgular, özellikle dik oklüzal diverjans ve keskin çizgi açılarına sahip preparasyonlarda doğruluğun azaldığını göstermiştir (Jin-Young Kim et al., 2021). Ayrıca, preparasyon yüzeylerinin birleşim noktalarında doğruluk kayıpları gözlenmiş ve aksiyogingival çizgi açısının taramada en problemli bölge olduğu belirtilmiştir (Jin-Young Kim et al., 2021).

Prepare edilen dişin konumu da önemlidir; posterior dişlerde ön bölgeye göre daha düşük doğruluk değerleri elde edilmektedir.^{9,34} Benzer şekilde, pulpal ve gingival taban derinliği arttıkça, tarama doğruluğu azalmakta ve tutarsızlık oranı yükselmektedir.^{33,35}

Bitiş çizgisinin apiko-koronal konumu da tarama doğruluğunu önemli ölçüde etkilemektedir (Son & Lee, 2021)(Şekil 2). Gingival retraksiyon uygulaması, bitiş çizgisinin görünürlüğünü artırarak dijital görünümü kolaylaştırabilir. Daha gingivale yerleşimli bitiş çizgilerinde tarama hatalarının artması olasıdır (Son & Lee, 2021). Son ve ark.(Son & Lee, 2021), bitiş çizgisinin supragingival, gingival ve subgingival konumlarının (retraksiyon kordonu kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın) **i500 (Medit)** tarayıcısının doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar,

bitiş çizgisi ne kadar apikaldeyse taramanın o kadar zorlaştığını ve doğruluğun azaldığını göstermiştir (Son & Lee, 2021). En düşük doğruluk değerleri, gingival ve subgingival konumlarda kaydedilmiştir. Ayrıca, subgingival bitiş çizgilerinde retraksiyon kordonunun kullanımı doğruluk değerlerini ortalama %63 oranında artırmıştır (Son & Lee, 2021).

2.8 Dişsiz Boşluklar

Dişsiz bölgeler veya eksik diş alanları, ağız içi tarama doğruluğunu olumsuz etkileyebilecek önemli değişkenlerdendir (Waldecker et al., 2024). Bu bölgeler, anatomik referans noktalarının sınırlı olması nedeniyle IOS'lar tarafından doğru şekilde dijitalleştirilmesi güç yüzeylerdir. Çeşitli çalışmalar, IOS'ların sabit mukozayı yüksek doğrulukla yeniden üretebildiğini, ancak hareketli yumuşak dokuların kaydedilmesinde sistemden bağımsız olarak zorluk yaşandığını göstermiştir (Al Hamad & Al-Kaff, 2023; Waldecker et al., 2024). Waldecker ve ark. (Waldecker et al., 2024), in vitro bir çalışmada, üç farklı IOS (Omnicam, Primescan ve Trios 4) kullanarak kısmen ve tamamen dişli maksilla tarama doğruluğunu karşılaştırmış ve kısmen dişsiz modellerde daha fazla sapma gözlemlemiştir. Bu bulgular, dişsizlik derecesinin tarama doğruluğunu etkileyebileceğini göstermektedir.

2.9 İmplantlar Arası Mesafe, Pozisyon, Açılanma ve Derinlik

İmplantlar arası mesafe, implant konumu, açısı ve yerleşim derinliği, IOS doğruluğunu etkileyebilen implantla ilişkili faktörler olarak tanımlanmıştır (Waldecker et al., 2024). Ancak, bu değişkenlerin etkisine ilişkin literatürde farklı sonuçlar rapor edilmiştir (Gómez-Polo, Ballesteros, et al., 2021; Waldecker et al., 2024). Bu parametrelerin IOS performansına etkisini daha iyi anlamak için ileri düzey laboratuvar ve klinik çalışmalara ihtiyaç vardır. Sınırlı sayıdaki çalışma, implantlar arası mesafe arttıkça tarama hatalarının da arttığını bildirmiştir. Gómez-Polo ve ark.

(Gómez-Polo, Ballesteros, et al., 2021), Trios 3 sistemiyle yaptıkları çalışmada, implant pozisyonunun tarama doğruluğunu etkilediğini; ark sonunda konumlanan implantlarda daha fazla deformasyon meydana geldiğini göstermiştir.

İmplant açısına ilişkin sonuçlar tutarsızdır, net bir fikir birliği sağlanamamıştır (Gómez-Polo, Ballesteros, et al., 2021; Waldecker et al., 2024). İmplant derinliği, klinik tarama gövdesi yüksekliği ile doğrudan ilişkilidir. Laohverapanich ve ark. (43), 3–9 mm aralığında implant derinliklerini değerlendirdikleri çalışmada, 6 mm'ye kadar olan derinliklerde en yüksek doğruluk değerlerini elde etmiştir. Benzer şekilde, Sequeira ve ark. (45) da derinlik arttıkça doğruluk değerlerinin azaldığını rapor etmiştir.

Gómez-Polo ve ark. (44), implant açılanması ve tarama gövdesi yüksekliğinin etkisini analiz etmiş; paralel implantlarda farklı yükseklikler arasında anlamlı fark saptamazken, açılı implantlarda kısa tarama gövdelerinin en düşük doğruluğa yol açtığını belirtmiştir.

Fotogrametri sistemleri ise, implantların üç boyutlu konumlarını yüksek doğrulukla kaydedebilme potansiyeli nedeniyle, bu alanda umut vadeden dijital alternatifler olarak değerlendirilmektedir (53–57).

2.10. İmplant Tarama Gövdeleri

İmplant içeren intraoral dijital taramalarda, optimum implant tarama gövdesi geometrisi ve malzemesini belirleyerek tarama doğruluğunu maksimize etmeye yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Schmidt et al., 2021; Tan et al., 2022). Dijitalleştirme sürecini kolaylaştırmak ve intraoral tarama doğruluğunu artırmak amacıyla çeşitli tarama gövdesi tasarımları denenmiş olsa da, mevcut klinik kanıtlar belirli bir tasarımın

üstünlüğünü sistematik biçimde desteklememektedir (Tan et al., 2022).

Tarama doğruluğunu etkileyebilecek ek değişkenler arasında implant gövdesinin çeşitliliği, sıkma torkuna bağlı distorsiyonlar ve özellikle de tek parça PEEK tarama gövdelerinin çoklu kullanıma bağlı aşınmaları yer almaktadır (Schmidt et al., 2021). Sınırlı mevcut veriler, sterilizasyon sonrası yeniden kullanım sayısına ilişkin standart protokollerin oluşturulmasını güçleştirmektedir (Arcuri et al., 2022). Uygulamada, üretici tarafından önerilen sıkma torkunun ve yeniden kullanım sınırlarının dikkate alınması, tarama doğruluğunun korunmasına katkı sağlayabilir.

3. Sonuç

IOS'ların tarama doğruluğunu etkileyen ağız içi koşulların klinisyen tarafından doğru şekilde değerlendirilmesi, dijital tarama sürecinin başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Her ne kadar bu koşullar doğrudan değiştirilemese de, hastaya özgü ağız içi özelliklerin sistematik analizi ve bu faktörlerin tarama sonuçlarına olası etkilerinin önceden öngörülmesi, dijital iş akışının öngörülebilirliğini ve klinik güvenilirliğini önemli ölçüde artıracaktır.

KAYNAKÇA

Abduo, J., & Laskey, D. (2022). Effect of preparation type on the accuracy of different intraoral scanners: An in vitro study at different levels of accuracy evaluation. *J Esthet Restor Dent*, 34(8), 1221-1229. <https://doi.org/10.1111/jerd.12949>

Al Hamad, K. Q., & Al-Kaff, F. T. (2023). Trueness of intraoral scanning of edentulous arches: A comparative clinical study. *J Prosthodont*, 32(1), 26-31.

Ammoun, R., Suprono, M. S., Goodacre, C. J., Oyoyo, U., Carrico, C. K., & Kattadiyil, M. T. (2020). Influence of Tooth Preparation Design and Scan Angulations on the Accuracy of Two Intraoral Digital Scanners: An in Vitro Study Based on 3-Dimensional Comparisons. *J Prosthodont*, 29(3), 201-206. <https://doi.org/10.1111/jopr.13148>

An, H., Langas, E. E., & Gill, A. S. (2024). Effect of scanning speed, scanning pattern, and tip size on the accuracy of intraoral digital scans. *J Prosthet Dent*, 131(6), 1160-1167.

Arcuri, L., Lio, F., Campana, V., Mazzetti, V., Federici, F. R., Nardi, A., & Galli, M. (2022). Influence of Implant Scanbody Wear on the Accuracy of Digital Impression for Complete-Arch: A Randomized In Vitro Trial. *Materials (Basel)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/ma15030927>

Ashraf, Y., Sabet, A., Hamdy, A., & Ebeid, K. (2020). Influence of Preparation Type and Tooth Geometry on the Accuracy of Different Intraoral Scanners. *J Prosthodont*, 29(9), 800-804. <https://doi.org/10.1111/jopr.13202>

Chen, Y., Zhai, Z., Li, H., Yamada, S., Matsuoka, T., Ono, S., & Nakano, T. (2022). Influence of Liquid on the Tooth Surface on the Accuracy of Intraoral Scanners: An In Vitro Study. *J Prosthodont*, 31(1), 59-64. <https://doi.org/10.1111/jopr.13358>

Chen, Y., Zhai, Z., Watanabe, S., Nakano, T., & Ishigaki, S. (2022). Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners. *J Dent*, 124, 104220. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104220>

Chun, J.-h., Tahk, J. H., Chun, Y.-S., Park, J.-M., & Kim, M. (2017). Analysis on the accuracy of intraoral scanners: The effects of mandibular anterior interdental space. *J Applied Sciences*, 7(7), 719.

Dutton, E., Ludlow, M., Mennito, A., Kelly, A., Evans, Z., Culp, A., Kessler, R., & Renne, W. (2020). The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. *J Esthet Restor Dent*, 32(2), 204-218. <https://doi.org/10.1111/jerd.12528>

Ferrari, M., Keeling, A., Mandelli, F., Lo Giudice, G., Garcia-Godoy, F., & Joda, T. (2018). The ability of marginal detection using different intraoral scanning systems: A pilot randomized controlled trial. *Am J Dent*, 31(5), 272-276.

Gan, N., Xiong, Y., & Jiao, T. (2016). Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS One*, 11(7), e0158800. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158800>

Gómez-Polo, M., Ballesteros, J., Padilla, P. P., Pulido, P. P., Revilla-León, M., & Ortega, R. (2021). Merging intraoral scans and CBCT: a

novel technique for improving the accuracy of 3D digital models for implant-supported complete-arch fixed dental prostheses. *Int J Comput Dent*, 24(2), 117-123.

Gómez-Polo, M., Cimolai, A., Ortega, R., Barmak, A. B., Kois, J. C., & Revilla-León, M. (2024). Accuracy, scanning time, and number of photographs of various scanning patterns for the extraoral digitalization of complete dentures by using an intraoral scanner. *J Prosthet Dent*, 131(3), 521-528.

Gómez-Polo, M., Piedra-Cascón, W., Methani, M. M., Quesada-Olmo, N., Farjas-Abadia, M., & Revilla-León, M. (2021). Influence of rescanning mesh holes and stitching procedures on the complete-arch scanning accuracy of an intraoral scanner: An in vitro study. *J Dent*, 110, 103690. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103690>

Hayama, H., Fueki, K., Wadachi, J., & Wakabayashi, N. (2018). Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *J Prosthodont Res*, 62(3), 347-352. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2018.01.003>

Huang, M. Y., Son, K., & Lee, K. B. (2021). Effect of distance between the abutment and the adjacent teeth on intraoral scanning: An in vitro study. *J Prosthet Dent*, 125(6), 911-917. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.02.034>

ISO. (1994). 5725-1: 1994, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results-Part 1: General principles and definitions. *International Organization for Standardization, Geneva*, 2.

Jin-Young Kim, R., Benic, G. I., & Park, J. M. (2021). Trueness of intraoral scanners in digitizing specific locations at the margin and intaglio surfaces of intracoronar preparations. *J Prosthet Dent*, 126(6), 779-786. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.09.019>

Kernen, F., Schlager, S., Seidel Alvarez, V., Mehrhof, J., Vach, K., Kohal, R., Nelson, K., & Flügge, T. (2022). Accuracy of intraoral scans: An in vivo study of different scanning devices. *J Prosthet Dent*, 128(6), 1303-1309. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.03.007>

Kim, J., Park, J. M., Kim, M., Heo, S. J., Shin, I. H., & Kim, M. (2016). Comparison of experience curves between two 3-dimensional intraoral scanners. *J Prosthet Dent*, 116(2), 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.018>

Kim, J. H., Son, S. A., Lee, H., Yoo, Y. J., Hong, S. J., & Park, J. K. (2022). Influence of adjacent teeth on the accuracy of intraoral scanning systems for class II inlay preparation. *J Esthet Restor Dent*, 34(5), 826-832. <https://doi.org/10.1111/jerd.12824>

Kim, M. K., Kim, J. M., Lee, Y. M., Lim, Y. J., & Lee, S. P. (2019). The effect of scanning distance on the accuracy of intra-oral scanners used in dentistry. *Clin Anat*, 32(3), 430-438. <https://doi.org/10.1002/ca.23334>

Kim, M. K., Son, K., Yu, B. Y., & Lee, K. B. (2020). Effect of the volumetric dimensions of a complete arch on the accuracy of scanners. *J Adv Prosthodont*, 12(6), 361-368. <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.6.361>

Kim, R. J., Park, J. M., & Shim, J. S. (2018). Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation. *J Prosthet Dent*, 120(6), 895-903.e891. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.01.035>

Kong, L., Li, Y., & Liu, Z. (2022). Digital versus conventional full-arch impressions in linear and 3D accuracy: a systematic review and meta-analysis of in vivo studies. *Clin Oral Investig*, 26(9), 5625-5642. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04607-6>

Li, Z., Huang, R., Wu, X., Chen, Z., Huang, B., & Chen, Z. (2022). Effect of Scan Pattern on the Accuracy of Complete-Arch Digital Implant Impressions with Two Intraoral Scanners. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 37(4), 731-739. <https://doi.org/10.11607/jomi.9248>

Lim, J. H., Mangal, U., Nam, N. E., Choi, S. H., Shim, J. S., & Kim, J. E. (2021). A Comparison of Accuracy of Different Dental Restorative Materials between Intraoral Scanning and Conventional Impression-Taking: An In Vitro Study. *Materials (Basel)*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/ma14082060>

Mizumoto, R. M., Alp, G., Özcan, M., & Yilmaz, B. (2019). The effect of scanning the palate and scan body position on the accuracy of complete-arch implant scans. *Clin Implant Dent Relat Res*, 21(5), 987-994. <https://doi.org/10.1111/cid.12821>

Oh, K. C., Park, J. M., & Moon, H. S. (2020). Effects of Scanning Strategy and Scanner Type on the Accuracy of Intraoral Scans: A New Approach for Assessing the Accuracy of Scanned Data. *J Prosthodont*, 29(6), 518-523. <https://doi.org/10.1111/jopr.13158>

Park, H. N., Lim, Y. J., Yi, W. J., Han, J. S., & Lee, S. P. (2018). A comparison of the accuracy of intraoral scanners using an intraoral environment simulator. *J Adv Prosthodont*, 10(1), 58-64. <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.1.58>

Passos, L., Meiga, S., Brigagão, V., Neumann, M., & Street, A. (2022). Digital impressions' accuracy through "cut-out-rescan" and "data exchange by over scanning" techniques in complete arches of two intraoral scanners and CAD/CAM software. *J Prosthodont Res*, 66(3), 509-513. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_20_00089

Revilla-León, M., Aragonese, R., Arroyo Valverde, E. M., Gómez-Polo, M., & Kois, J. C. (2025). Classification of Scanning Errors of Digital Scans Recorded by Using Intraoral Scanners. *J Esthet Restor Dent*, 37(6), 1363-1371. <https://doi.org/10.1111/jerd.13419>

Revilla-León, M., Gohil, A., Barmak, A. B., Gómez-Polo, M., Pérez-Barquero, J. A., Att, W., & Kois, J. C. (2023). Influence of ambient temperature changes on intraoral scanning accuracy. *J Prosthet Dent*, 130(5), 755-760.

Revilla-León, M., Jiang, P., Sadeghpour, M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A., Özcan, M., & Krishnamurthy, V. R. (2020). Intraoral digital scans: Part 2-influence of ambient scanning light conditions on the mesh quality of different intraoral scanners. *J Prosthet Dent*, 124(5), 575-580. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.06.004>

Revilla-León, M., Lanis, A., Yilmaz, B., Kois, J. C., & Gallucci, G. O. (2023). Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. *J Prosthodont*, 32(S2), 150-164. <https://doi.org/10.1111/jopr.13749>

Revilla-León, M., Quesada-Olmo, N., Gómez-Polo, M., Sicilia, E., Farjas-Abadia, M., & Kois, J. C. (2021). Influence of rescanning mesh holes on the accuracy of an intraoral scanner: An in vivo study. *J Dent*, 115, 103851. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103851>

Revilla-León, M., Sicilia, E., Agustín-Panadero, R., Gómez-Polo, M., & Kois, J. C. (2023). Clinical evaluation of the effects of cutting off, overlapping, and rescanning procedures on intraoral scanning accuracy. *J Prosthet Dent*, 130(5), 746-754.

Revilla-León, M., Subramanian, S. G., Özcan, M., & Krishnamurthy, V. R. (2020). Clinical Study of the Influence of Ambient Light Scanning Conditions on the Accuracy (Trueness and Precision) of an Intraoral Scanner. *J Prosthodont*, 29(2), 107-113. <https://doi.org/10.1111/jopr.13135>

Revilla-León, M., Young, K., Sicilia, E., Cho, S. H., & Kois, J. C. (2022). Influence of definitive and interim restorative materials and surface finishing on the scanning accuracy of an intraoral scanner. *J Dent*, 120, 104114. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104114>

Rotar, R. N., Faur, A. B., Pop, D., & Jivanescu, A. (2022). Scanning Distance Influence on the Intraoral Scanning Accuracy-An In Vitro Study. *Materials (Basel)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ma15093061>

Schmidt, A., Billig, J. W., Schlenz, M. A., & Wöstmann, B. (2021). The Influence of Using Different Types of Scan Bodies on the Transfer Accuracy of Implant Position: An In Vitro Study. *Int J Prosthodont*, 34(2), 254-260. <https://doi.org/10.11607/ijp.6796>

Son, K., & Lee, K. B. (2020). Effect of Tooth Types on the Accuracy of Dental 3D Scanners: An In Vitro Study. *Materials (Basel)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/ma13071744>

Son, K., & Lee, K. B. (2021). Effect of finish line locations of tooth preparation on the accuracy of intraoral scanners. *Int J Comput Dent*, 24(1), 29-40.

Son, S. A., Kim, J. H., Seo, D. G., & Park, J. K. (2022). Influence of different inlay configurations and distance from the adjacent tooth on the accuracy of an intraoral scan. *J Prosthet Dent*, 128(4), 680-687. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.12.044>

Tan, J. Z. H., Tan, M. Y., See Toh, Y. L., Wong, K. Y., & Tan, K. B. C. (2022). Three-dimensional positional accuracy of intraoral and laboratory implant scan bodies. *J Prosthet Dent*, 128(4), 735-744. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.09.057>

Vitai, V., Németh, A., Sólyom, E., Czumbel, L. M., Szabó, B., Fazekas, R., Gerber, G., Hegyi, P., Hermann, P., & Borbély, J. (2023). Evaluation of the accuracy of intraoral scanners for complete-arch scanning: A systematic review and network meta-analysis. *J Dent*, 137, 104636. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104636>

Waldecker, M., Rues, S., Behnisch, R., Rammelsberg, P., & Bömicke, W. (2024). Effect of scan-path length on the scanning accuracy of completely dentate and partially edentulous maxillae. *J Prosthet Dent*, 131(1), 146-154.

Zhongpeng, Y., Tianmin, X., & Ruoping, J. (2019). Deviations in palatal region between indirect and direct digital models: an in vivo study. *BMC Oral Health*, 19(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0751-3>

BÖLÜM 6

DİŞ HEKİMLİĞİNDE FLORESANS

Eminenur UYTUN¹

Elif ALKAN²

Dilek TAĞTEKİN³

Giriş

Günümüzde estetik beklentilerin giderek arttığı restoratif diş hekimliğinde, yalnızca restorasyonun mekanik dayanıklılığı değil, aynı zamanda optik özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Bu optik özellikler arasında bulunan floresans, dişlerin gün ışığında daha beyaz ve parlak görünmesine katkı sağlar (Meller & Klein, 2015). Floresans, ultraviyole (UV) ışık altında en belirgin şekilde algılanmakta ve hastaların farklı ışık kaynaklarına maruz kalması nedeniyle restoratif materyallerin üretim sürecinde bu özelliğin

¹ Arş. Gör. Dt., Marmara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, İstanbul/Türkiye, Orcid: 0009-0001-2193-3462

² Dr. Öğr. Üyesi, Marmara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, İstanbul/Türkiye Orcid: 0000-0001-7167-6946

³ Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Diş hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, İstanbul/Türkiye Orcid: 0000-0002-2675-1764

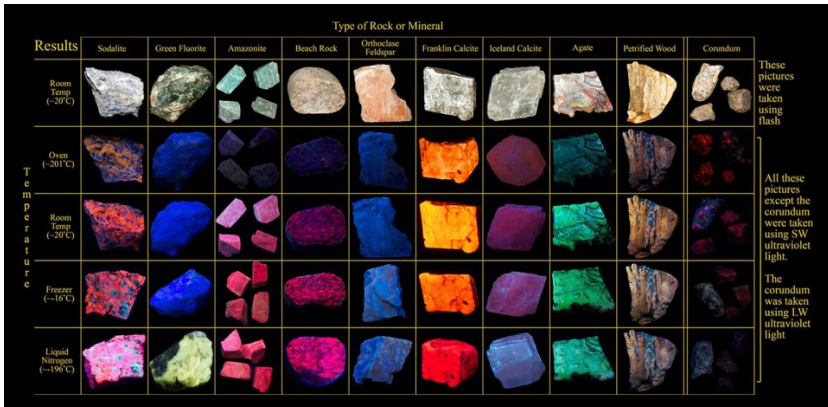
dikkate alınması önerilmektedir (Guth & Magne, 2016). Dolayısıyla bu özelliğin restoratif materyallerde başarılı bir şekilde yeniden üretilmesi, restorasyonların ağız içinde doğal dişlerle bütünleşmesini kolaylaştırmakta ve görsel gerçekçiliği artırmaktadır (Guth & Magne, 2016; Miller, 2003). Bu bölümde floresansın tanımı, diş hekimliğindeki rolü, analiz yöntemleri ve klinik uygulama alanlarına değinilecektir.

Floresans

Floresans, sözlükte belirli maddelerin kısa dalga boylu radyasyonu emmesi sonucu daha büyük bir dalga boyunda yayması olarak tanımlanır (Mosby's Dental Dictionary, 2020). Bu madde aldığı ışığa göre daha fazla görünür ışık yayar, bu da onu floresan olmayan bir maddeden daha parlak gösterir (Nassau, 1998). Floroforlar, moleküllerinin uyarılmasıyla neon rengi gibi bir yanılsama veren belirli renkleri veya bileşenleri ifade eder. Ralph M. Evans, bu renkleri floresan olarak adlandırmıştır. Floroforların doğada birçok örneği bulunur: balıklar, böcekler, çiçekler, mineraller ve değerli taşlar. Doğada bulunan birçok kalsit ve kehribar türü, uzun dalga ultraviyole, kısa dalga ultraviyole ve görünür ışık spektrumlarında floresan gösterir. Yakut, zümrüt ve elmaslar uzun dalga ultraviyole altında kırmızı, bazen mavi ve yeşil ışık yayar; elmaslar ayrıca X-ışını radyasyonu altında da ışık yayabilir. B12 vitamini sarı floresans yayar; fosforlu kalem mürekkebi içindeki "piranin" de bir florofordur. Günümüzde floroforlar, biyomedikal ajanlar, nükleik asitler veya enzim

substratlarını izlemek için boya veya işaretleyici olarak kullanılmakta, spektroskoplar veya X-ışını cihazları ile izlenmektedir (Valeur & Berberan-Santos, 2012).

Şekil 1: İlk satırda minerallerin normal ışık altındaki görüntüleri, diğer satırlarda ise farklı sıcaklıklarda UV ışığı altında verdikleri floresans tepkileri yer almaktadır. Soldan sağa doğru sıralanan mineral türleri şunlardır: sodalit, yeşil florit, amazonit, çakıl taşı, ortoklaz feldspat, kalsit, İzlanda kalsiti, akik, taşlaşmış ağaç ve korendon.



Kaynak: Society, 2022

Doğal Dişlerin Floresansı

Stubell, 1911 yılında UV ışığı kullanarak tavşanların dişlerini incelemiş ve saniyeler içinde dişlerin yoğun mavi bir renk aldığını gözlemlemiştir (Stübel, 1911). 1924'te Policard, sağlam ve çürük dişler arasındaki floresan farklılığından bahsetmiştir (Mualla, 2016). 1928'de Benedict, dentinin mineye göre çok daha fazla floresan gösterdiğini ve sementin dentine benzer ancak daha az yoğunlukta floresan gösterdiğini bulmuştur. Benedict ayrıca, mine

veya dentin dahil olmak üzere çürük diş dokularının sonunda floresanlarını kaybedeceğini ve UV ışık altında siyah veya koyu kahverengi görüneceğini belirtmiştir (Benedict, 1928). 1953 yılında Hartles ve Leaver, farklı diş yapılarının floresansını detaylı olarak incelemiş ve minenin genellikle mavi-beyaz renkte, bazen hafif sarımsı tonla “normal” floresans sergilediğini raporlamıştır (İñaki Gamborena, 2011). 1963’te Armstrong, farklı diş dokularının otofloresans özelliklerini araştırmıştır. 1980’den itibaren birçok araştırmacı, floresan özellikleri kullanarak sağlam ve çürük diş yapılarını ayırt etmeye çalışmıştır. Albin, Alfano ve Buchala, çeşitli UV ışık dalga boyları uygulayarak sağlam ve çürük diş dokularının floresans davranışlarını incelemiş ve floresans zirve değerlerini ve uyarılma aralıklarını raporlamışlardır (Fardad S, 2011). Florometrik araştırmalar, diş dokusundaki ana floresan bileşenin kolajen ve hidroksiapatit olduğunu göstermiştir. Bir dişin organik yapısı, çürük veya pulpa nekrozu nedeniyle etkilendiğinde hem doğal ışık hem de ultraviyole ışık altında canlılığını kaybetmekte ve koyu kahverengi görünmektedir. Dolayısıyla, daha az floresans, daha düşük değerlerle ilişkilendirilmiştir (Lee, Lu, & Powers, 2005). Floresansın restorasyonun canlılığına katkıda bulunan en kritik yönü, ışığı materyalin içinden yayma yeteneğidir. Bununla birlikte, protein kaybı, ilerleyen doku mineralizasyonu, zamanla oluşan pigmentasyon gibi süreçler ve doğal yaşlanma gibi durumlar diş dokusundaki floresans yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır (Bardocz-Veres & ark., 2022).

Şekil 2: Bir premolar kesitinin floresansı (385 nm UV ışık altında). Kullanılan dijital ekipman, bir DSLR fotoğraf makinesi (Nikon D3100, Tokyo, Japonya) olup, makro objektif (Tamron 90 mm), ISO 200, f/22 diyafram, 1/200 saniye pozlama süresi ile donatılmıştır.



Kaynak: Bardocz-Veres & ark., 2022

Dental Materyallerin Floresansı

Doğal dişler, özellikle de dentin tabakası sayesinde otofloresans özelliğine sahiptir. Dentin, kolajen liflerinde bulunan triptofan gibi amino asitler içerdiğinden, mineye kıyasla üç kat daha fazla floresans gösterir. Kompozit rezinler, optik özelliklerini geliştirmek amacıyla floresans özellikli cam (vitröz) matrisler kullanılarak üretilmişlerdir. Bu materyallerin tam kimyasal formülü bilinmese de, nadir toprak elementlerinin oksitleri, PEMA ile oluşturulan terbiyum koordinasyon polimerleri ve aromatik bileşikler gibi bazı florofor ajanlarının yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir (Volpato, Pereira, & Silva, 2018). Bu nadir toprak elementleri arasında europiyum, seryum ve iterbiyum bulunur. Kompozit materyallerde bulunan bu floresans, periyodik tablonun III, IV ve V gruplarındaki elementler aracılığıyla diş yapısına benzer

şekilde tasarlanmıştır. Ancak bu floresans özelliği, dahil edildikleri malzeme türüne büyük ölçüde bağlıdır. Tarihsel olarak uranyum oksit uzun yıllar floresan madde olarak kullanılmıştır fakat radyasyon yaydığı için kullanımı sonlandırılmıştır (İñaki Gamborena, 2011). Doğal dişlerin floresanları 410-500 nm dalga boyu aralığında zirve yapmaktadır. Günümüzde kompozit üreticileri, kullandıkları floroforların kompozit restorasyonların doğal dişlerle aynı floresans dalga boyuna sahip olmasını sağladığını ve belirtilen dalga boyu aralığında beyazımsı mavi renk verdiğini, bunun da restorasyonların maskelenmesini ve dolayısıyla UV ışığı altında fark edilmeyen restorasyonların elde edilmesini sağladığını iddia etmektedir (Mualla, 2016). Kompozit materyallerdeki floresans etkisi en fazla restorasyonun son katmanında ortaya çıkar. Çünkü doğal dişlerde dentin daha fazla floresans gösterirken, kompozitlerde mine katmanı, dentin ve opak katmanlara kıyasla daha yoğun floresans sergiler. Bu nedenle, kompozit tabakalama tekniklerinde yüksek floresans elde edilmek isteniyorsa bu ya son mine katmanında sağlanır ya da mine ve dentin katmanlarının birlikte kullanımıyla orta seviyede floresans elde edilir (D'Alpino & ark., 2006). Seramiklerde ise aynı kompozit materyaller gibi terbiyum, seryum ve iterbiyum gibi nadir toprak elementleri kullanılarak floresans sağlanır (Mack, 1988). Floresans şiddeti, seramiğin tipi, bileşimi ve sinterleme özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. 2017'de yapılan lityum dislikatlar örneklerinin farklı renkli altyapılar üzerindeki floresansının incelendiği bir çalışmaya

göre, koyu zeminlerde floresansın azaldığı gözlenmiştir (Rafael & ark., 2017). Ayrıca geleneksel zirkonya floresans içermemekte olup yüzey astarları ve floresans artırıcı sıvılarla optik özellikleri arttırılmaya çalışılmaktadır (Kim ST, 2009). Kullanımı yaygınlaşan Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim sistemlerinde (CAD/CAM) kullanılan bloklar, floresans özellikleri bakımından materyal türüne göre önemli farklılıklar göstermektedir. Klein ve arkadaşlarının 2021 yılında gerçekleştirdiği kapsamlı araştırmaya göre CAD/CAM seramik bloklar, üretim sürecinde maruz kaldıkları yüksek sinterleme sıcaklıkları nedeniyle yalnızca inorganik floroforlar içerebilmektedir. Bu yüzden doğal diş dokusuna kıyasla oldukça düşük bir floresans sergilemektedirler. Buna karşın, CAD/CAM kompozit blokların büyük çoğunluğu, doğal diştten belirgin şekilde daha yüksek ve yoğun bir floresans yayma eğilimindedir (Klein, Connert, von Ohle, & Meller, 2021).

Şekil 3: QrayPen cihazı (AIOBIO Co., Güney Kore) ile alınmış sırasıyla beyaz ışık ve Kantitatif Işık Etkili Floresans (QLF) görüntüsü



Kaynak: Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Kliniği

Şekil 4: QrayCam cihazı (AIOBIO Co., Güney Kore) ile alınmış sırasıyla beyaz ışık ve Kantitatif Işık Etkili Floresans (QLF) görüntüsü



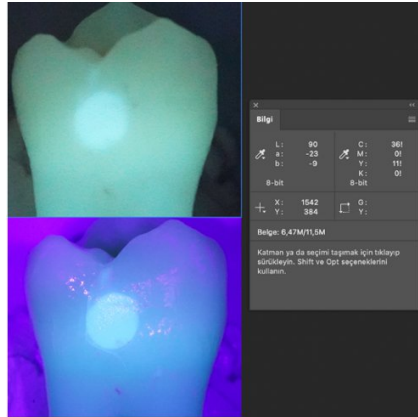
Kaynak: Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Kliniği

Floresansın Analizi ve Nicel Olarak Ölçüm Yöntemleri

Estetik materyallerde floresans şiddetinin değerlendirilmesi ve nicel olarak ölçülmesi için farklı yöntem ve cihazlar kullanılmaktadır. En yaygın yöntemlerden biri, UV ışık altında çekilen fotoğrafların yazılımlar (ör. ImageJ, MATLAB) aracılığıyla analiz edilmesidir (de Lima & ark., 2015; Kim & ark., 2016). Floresans yoğunluğu, renkli görüntülerin gri tonlamaya dönüştürülmesiyle hesaplanmakta ve komşu diş dokusu ile karşılaştırılmaktadır (de Lima & ark., 2015). Ayrıca floresans parametrelerini daha hassas ölçebilen florometre ve spektrofotometreler kullanılmaktadır (da Silva & ark., 2014; Meller & Klein, 2015). Brokos ve ark. yaptığı bir çalışmada, 365 nm ve 405 nm dalga boylarında filtrelenmiş bir DSLR makro flaş sistemiyle çekilen fotoğrafların, spektrofotometre kullanılarak elde edilen floresans ölçümleriyle uyumlu olup olmadığı incelenmiştir. Sonuç olarak, dijital fotoğrafçılık yöntemiyle elde edilen görüntülerin,

spektrofotometrik olarak ölçülen L^* (parlaklık) değerleriyle yüksek düzeyde korelasyon gösterdiği belirlenmiştir (Brokos, & ark., 2021). Bayraktar ve ark. tarafından kompozit materyallerin floresans özelliklerinin nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla VALO X Polimerizasyon Cihazı (Ultradent Products Inc., ABD) cihazının ‘black light’ modu kullanılarak sağlanan floresans ışığı altında, bir dijital fotoğraf makinesi kullanılarak floresans aydınlatmalı görüntüler kaydedilmiştir. Elde edilen bu görüntüler üzerinden Photoshop CC (Adobe Systems Inc., ABD) yazılımı kullanılarak L^* , a^* ve b^* renk parametreleri hesaplanıp CIEDE2000 formülü kullanılarak diş ile restorasyon arasındaki floresans farkı ölçülmüştür (Tuter Bayraktar & ark., 2024).

Şekil 5: Kompozit materyallerin floresansını değerlendirmeye yönelik yürütülen çalışmada floresans analizi için sırasıyla Ashur Dental Plak İndikatörü (Faithful Instrument, Çin) ve Valo X cihazı kullanılarak alınmış görüntüler ve Photoshop yazılımı ile analizi



Kaynak: Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Kliniği (Bu çalışma, 2025 yılında düzenlenen 26. Restoratif Diş Hekimliği Derneği Kongresi'nde sunulmuştur.)

Floresans Destekli Tanımlama Tekniği (FIT)

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin yanı sıra, restoratif materyallerin floresans özelliğini kullanan başka bir yöntem ise Floresans Destekli Tanımlama Tekniği'dir (FIT). Bu teknik, floresans kullanılarak kompozit materyaller ile sağlıklı diş dokusunu birbirinden ayırt etmeyi kolaylaştıran tanısal bir araçtır. Günümüzde kullanılan birçok kompozit rezin, doğal mine ve dentin dokularına kıyasla farklı düzeylerde floresans yoğunluğu sergilemektedir; bu fark, FIT'in etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır (Kiran & ark., 2017; Meller & Klein, 2012). Yapılan araştırmalarda, FIT özellikle posterior bölgelerde kompozit materyallerin seçici biçimde uzaklaştırılmasını (Kiran & ark., 2020), travma sonrası yerleştirilen splintlerin çıkarılmasını (Dettwiler & ark., 2018) ve ortodontik braketlerin sökülmesini (Stadler & ark., 2019) kolaylaştırdığı ortaya konmuştur. Ayrıca, adli diş hekimliği alanında yapılan çalışmalarda da FIT'in uygulanması sayesinde dolgulu yüzeylerin daha yüksek oranlarda tespit edilebildiği bildirilmiştir (Kiran & ark., 2019). Leontiev ve ark. yaptığı FIT ve farklı FIT cihazlarının, tanısal doğruluklarını araştırdıkları çalışmada, dişlerdeki kompozit restorasyonları ayırt etmede FIT ile konvansiyonel aydınlatma yöntemi kıyaslamış ve FIT'in, hızlı, tekrarlanabilir ve noninvaziv olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Leontiev & ark., 2021). Ayrıca Meller ve ark. bu yöntemin kompozit dolgular ile sağlıklı diş dokusunu ayırt etmede, geleneksel yöntemle kıyasla anlamlı şekilde daha yüksek bir doğruluk sağladığını belirtmiştir. Ayrıca, FIT'in

kullanımında tekrar edilebilirlik, üretilebilirlik ve hem gözlemciler arası hem de gözlemci içi uyumun daha yüksek olduğu da gösterilmiştir (Meller ve ark., 2017). Bu yöntem kapsamında floresans indükleyici kaynak olarak kullanılan cihazlara, DIObright Prototype (JADENT Dentalvertrieb GmbH, Almanya), D Light Pro (GC, İsviçre), Dia Stick (I.C. Lercher GmbH & Co. KG, Almanya), VistaCam iX (Dürr Dental, Almanya) ve SIROInspect (Dentsply Sirona, ABD) örnek verilebilir. Bu cihazlar el lambası, baş lambası veya kamera-bilgisayar sistemi gibi farklı türlerde olabilir (Leontiev & ark., 2021).

Sonuç

Floresans özelliği hem restorasyonların doğal diş dokusuyla uyumunu artırmakta hem de restorasyonu daha estetik hale getirmektedir. Doğal diş dokusunun otofloresans özelliğini taklit etmek amacıyla kompozit ve seramik materyallere nadir toprak elementleri eklenir. Ayrıca materyallerin üretim teknikleri de farklılık göstermektedir. CAD/CAM sistemleri ile üretilen restoratif materyaller de optik davranışlar sergilemekte ancak doğal diş yansıtmada halen yetersiz kalmaktadır. Bununla birlikte, floresansın yalnızca estetik değil, aynı zamanda tanı ve tedavi sürecinde de önemli avantajlar sunduğu görülmektedir. FIT, kompozit materyallerin sağlıklı diş dokusundan ayırt edilmesini kolaylaştırmakta ve minimal invaziv çalışılmasını desteklemektedir. Sonuç olarak, floresans özelliği restoratif diş hekimliğinde hem estetik başarıyı artıran hem de tanısal doğruluğu destekleyen çok

yönlü bir özelliktir. Gelecekte floresans şiddeti doğal dişe daha yakın olan, zamanla bu özelliği kaybetmeyen ve tanısal olarak daha ayırt edici materyallerin geliştirilmesi, klinik başarıyı önemli ölçüde artıracaktır.

Kaynakça

- Bardocz-Veres, Z., Szekely, M., Salamon, P., Bala, E., Bereczki, E., & Kerekes-Mathe, B. (2022). Quantitative and Qualitative Assessment of Fluorescence in Aesthetic Direct Restorations. *Materials (Basel)*, 15(13). doi:10.3390/ma15134619
- Benedict, H. C. (1928). A Note on the Fluorescence of Teeth in Ultra-Violet Rays. *Science*, 67(1739), 442. doi:10.1126/science.67.1739.442
- Brokos, I., Stavridakis, M., Lagouvardos, P., & Krejci, I. (2021). Fluorescence intensities of composite resins on photo images. *Odontology*, 109(3), 615-624. doi:10.1007/s10266-020-00583-z
- D'Alpino, P. H., Pereira, J. C., Svizero, N. R., Rueggeberg, F. A., & Pashley, D. H. (2006). Use of fluorescent compounds in assessing bonded resin-based restorations: a literature review. *J Dent*, 34(9), 623-634. doi:10.1016/j.jdent.2005.12.004
- da Silva, T., de Oliveira, H., Severino, D., Balducci, I., Huhtala, M., & Goncalves, S. (2014). Direct spectrometry: a new alternative for measuring the fluorescence of composite resins and dental tissues. *Oper Dent*, 39(4), 407-415. doi:10.2341/12-464-L
- de Lima, L. M., Abreu, J. D., Cohen-Carneiro, F., Regalado, D. F., & Pontes, D. G. (2015). A new methodology for fluorescence analysis of composite resins used in anterior direct restorations. *Gen Dent*, 63(5), 66-69. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26325645>
- Dettwiler, C., Meller, C., Eggmann, F., Saccardin, F., Kuhl, S., Filippi, A., . . . Connert, T. (2018). Evaluation of a

- Fluorescence-aided Identification Technique (FIT) for removal of composite bonded trauma splints. *Dent Traumatol*, 34(5), 353-359. doi:10.1111/edt.12425
- Fardad S, G. R., Walsh L. (2011). Applications of Laser induced fluorescence in Dentistry. *International journal of dental clinics*, 3(3), 38-44.
- Guth, J. F., & Magne, P. (2016). Optical integration of CAD/CAM materials. *Int J Esthet Dent*, 11(3), 394-409. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27433552>
- Iñaki Gamborena, M. B. B. (2011). Fluorescence—Mimicking Nature for Ultimate Esthetics in Implant Dentistry. *Quintessence of dental technology*, 34.
- Kim, B. R., Kang, S. M., Kim, G. M., & Kim, B. I. (2016). Differences in the intensity of light-induced fluorescence emitted by resin composites. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 13, 114-119. doi:10.1016/j.pdpdt.2016.01.005
- Kim ST, P. J., Baik J, Know KR, et al. (2009). Fluorescent effect of zirconia liner on zirconia coping. *Dental Mater.*, 25.
- Kiran, R., Chapman, J., Tennant, M., Forrest, A., & Walsh, L. J. (2019). Detection of Tooth-Colored Restorative Materials for Forensic Purposes Based on Their Optical Properties: An In Vitro Comparative Study. *J Forensic Sci*, 64(1), 254-259. doi:10.1111/1556-4029.13851
- Kiran, R., Chapman, J., Tennant, M., Forrest, A., & Walsh, L. J. (2020). Fluorescence-aided selective removal of resin-based composite restorative materials: An in vitro comparative study. *J Esthet Restor Dent*, 32(3), 310-316. doi:10.1111/jerd.12536
- Kiran, R., Walsh, L. J., Forrest, A., Tennant, M., & Chapman, J. (2017). Forensic applications: Fluorescence properties of tooth-coloured restorative materials using a fluorescence DSLR camera. *Forensic Sci Int*, 273, 20-28. doi:10.1016/j.forsciint.2017.01.022
- Klein, C., Connert, T., von Ohle, C., & Meller, C. (2021). How well can today's tooth-colored dental restorative materials reproduce the autofluorescence of human teeth? - Ambition and reality! *J Esthet Restor Dent*, 33(5), 720-738. doi:10.1111/jerd.12729

- Lee, Y. K., Lu, H., & Powers, J. M. (2005). Fluorescence of layered resin composites. *J Esthet Restor Dent*, 17(2), 93-100; discussion 101. doi:10.1111/j.1708-8240.2005.tb00092.x
- Leontiev, W., Magni, E., Dettwiler, C., Meller, C., Weiger, R., & Connert, T. (2021). Accuracy of the fluorescence-aided identification technique (FIT) for detecting tooth-colored restorations utilizing different fluorescence-inducing devices: an ex vivo comparative study. *Clin Oral Investig*, 25(9), 5189-5196. doi:10.1007/s00784-021-03826-7
- Mack, P. J. (1988). Uneasy lies the head that wears the crown? The recent history of radioactive fluorescers in dental porcelain. *Aust Dent J*, 33(5), 404-406. doi:10.1111/j.1834-7819.1988.tb04603.x
- Meller, C., Connert, T., Lost, C., & ElAyouti, A. (2017). Reliability of a Fluorescence-aided Identification Technique (FIT) for detecting tooth-colored restorations: an ex vivo comparative study. *Clin Oral Investig*, 21(1), 347-355. doi:10.1007/s00784-016-1797-0
- Meller, C., & Klein, C. (2012). Fluorescence properties of commercial composite resin restorative materials in dentistry. *Dent Mater J*, 31(6), 916-923. doi:10.4012/dmj.2012-079
- Meller, C., & Klein, C. (2015). Fluorescence of composite resins: A comparison among properties of commercial shades. *Dent Mater J*, 34(6), 754-765. doi:10.4012/dmj.2014-219
- Miller, M. B. (2003). The elusive nature of fluorescence. *Pract Proced Aesthet Dent*, 15(1), 84. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12680069>
- Mosby's Dental Dictionary Fourth Edition*. (2020). Elsevier.
- Mualla, S. K. (2016). Fluorescence And Dentistry. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)*, 15(3), 65-75.
- Nassau, K. (1998). *Color for science, art and technology*. Amsterdam ; New York: Elsevier.
- Rafael, C. F., Guth, J. F., Kauling, A. E. C., Cesar, P. F., Volpato, C. A. M., & Liebermann, A. (2017). Impact of background on color, transmittance, and fluorescence of leucite based

- ceramics. *Dent Mater J*, 36(4), 394-401.
doi:10.4012/dmj.2016-322
- Society, T. F. M. (2022). Common Varieties of Luminescence in Minerals. Retrieved from uvminerals.org
- Stadler, O., Dettwiler, C., Meller, C., Dalstra, M., Verna, C., & Connert, T. (2019). Evaluation of a Fluorescence-aided Identification Technique (FIT) to assist clean-up after orthodontic bracket debonding. *Angle Orthod*, 89(6), 876-882. doi:10.2319/100318714.1
- Stübel, H. (1911). Die Fluoreszenz tierischer Gewebe in ultraviolettem Licht. *Pflüger's Arch*, 142, 1-14.
- Tuter Bayraktar, E., Kizil Ozturk, E., Saygili, C. C., Turkmen, C., & Korkut, B. (2024). Fluorescence and color adjustment potentials of paste-type and flowable resin composites in cervical restorations. *Clin Oral Investig*, 28(12), 649. doi:10.1007/s00784-024-06054-x
- Valeur, B., & Berberan-Santos, M. N. (2012). *Molecular fluorescence : principles and applications* (Second edition. ed.). Weinheim, Germany: Wiley.
- Volpato, C. A. M., Pereira, M. R. C., & Silva, F. S. (2018). Fluorescence of natural teeth and restorative materials, methods for analysis and quantification: A literature review. *J Esthet Restor Dent*, 30(5), 397-407. doi:10.1111/jerd.12421

