

Restoratif Diş Hekimliğinde Dijitalleşme

Digitalization in Restorative Dentistry

Cem PEŞKERSOY
Gözde ACAR

<https://orcid.org/0000-0003-2502-2698>

<https://orcid.org/0000-0002-1583-0045>

Ege Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İzmir

Atıf/Citation: Peşkersoy, C., Acar, G., (2022). Restoratif Diş Hekimliğinde Dijitalleşme. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2022; DİJİTAL DİŞ HEKİMLİĞİ ÖZEL SAYI, 95-104.

ÖZ

Restoratif diş hekimliğinde dijitalleşme, tanıdan teşhise, planlamadan iş akışının yönetilmesine ve dental tedavilerin geniş bir yelpazede uygulanabilmesine kadar çeşitliği birçok noktada hekimlere kolaylık sağlamaktadır. Doğru ve kesin çürük teşhisinde, geleneksel görsel-dokunsal metotların yerini artık lazer yardımlı floresans, fiber optik transillüminasyon ve dijital teşhis yöntemleri almıştır. Minimal invaziv diş hekimliği ve konservatif yaklaşımların tercih edilmesiyle, başta Er: YAG ve Nd: YAG olmak üzere dental lazerlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. İndirekt restorasyon sürecindeki en zor basamak olan hasta ağzının modele yansıtılması aşamasında yıllardır geliştirilmekte olan ölçü maddeleri ve yöntemleri kullanılmaktaydı. Gelişen ağız-ıçi tarayıcı teknolojisi sayesinde, hata oranı çok düşük ölçümlerin alınmasının yanı sıra kayıtların saklanabilmesi ve hatta gerekirse renk tespiti yapılabilmesi hekim-teknisyen arasındaki uyumu artırmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretimin (CAD/CAM) artık diş kliniklerinde kullanılabilecek düzeyde evrimleşmiş olmasıyla beraber birçok restoratif ve protetik tedavi bu sistemler aracılığıyla üretilmeye başlanmıştır. Hızlı prototiplemenin gelişmesi ve 3 boyutlu (3B) yazıcıların diş hekimliğine girişi ile, hekimler daha estetik, fonksiyonel, uyumlu restorasyonları daha hızlı, başarılı ve kolay bir şekilde uygulamaya başlamıştır. Dijital dental yazılımların ve uygulamalarının üretilmesi ile Dijital Gülüş Tasarımı kavramı gelişmiş ve bu gelişme hastaların gülümsemesini iyileştirmede büyük bir etki yaratmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dijital diş hekimliği, Ağız-ıçi tarayıcılar, CAD/CAM, 3 boyutlu yazıcılar, Dijital gülüş tasarımı

ABSTRACT

Digitalization in restorative dentistry, provides convenience to both clinicians and patients in the diagnosis, planning, workflow and implementation of dental treatments. In accurate and precise caries diagnosis, traditional visual-tactile methods have now been replaced by laser-assisted fluorescence, fiber optic transillumination and digital diagnostic methods. With the preference of minimally invasive dentistry and conservative approaches, the use of Er: YAG and Nd: YAG dental lasers, has become widespread. Impression materials and methods that have been developed for years were used in the process of reflecting the patient's mouth to the model, which is the most difficult step in the indirect restoration process. With the intraoral scanner technology, taking impressions with a very low error rate, as well as keeping records and even detecting shade increased the harmony between the dentists and the technicians. CAD/CAM systems have evolved to a level that many restorative and prosthetic treatments have begun to be produced through these systems in dental clinics. Rapid prototyping and 3D printers led the dental professionals to apply more aesthetic, functional, compatible and hygienic restorations quickly, successfully and easy. The development of digital dental software and applications resulted in Digital Smile Design concept, which had a major impact in improving patients' smiles.

Keywords: Digitalized Dentistry, Intraoral scanners, CAD/CAM, 3D printers, Digital smile design

Sorumlu yazar/Corresponding author*: dtcempeskersoy@hotmail.com

Başvuru Tarihi/Received Date: 04.10.2022

Kabul Tarihi/Accepted Date: 22.11.2022

GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte artan dijitalleşme, pek çok alanda olduğu gibi diş hekimliğinde de yaygınlaşmaktadır. Geleneksel yöntemlerin artık kullanılmamaya başlaması diş hekimliğinde iş akışına bütünüyle farklı bir boyut kazandırmıştır. Restoratif tedaviler açısından bakıldığında geleneksel ve objektif çürük tespit yöntemleri yerini bilgisayar ortamına kaydedilebilen, üzerinde değişiklik yapılabilen, erken çürük teşhisinde daha başarılı olan dolayısıyla koruyucu ve minimal invaziv tedaviye olanak sağlayan yeni yöntemlere bırakmıştır.¹ Ayrıca ağız içi ve ağız dışı tarayıcılar geleneksel ölçülerin yerini almaya başlamış, bilgisayar destekli yazılım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) sistemleri kullanılarak restorasyon tasarımı ve üretimleri yapılmaya başlanmıştır. Bu durumun hem hekim hem de hastaya zaman kazandırması, hekime çalışma kolaylığı ve hastaya da konfor sağlaması gibi birçok avantajı mevcuttur.² Ayrıca kullanılan ürün çeşitliliğinin artması, restorasyonların her olgu için kişiselleştirilebilir olması, hasta ve hekim açısından tatmini yüksek sonuçların ortaya çıkmasını sağlamaktadır.³ Bununla birlikte geleneksel yöntemlere göre daha maliyetli görünse de daimi restorasyon elde edilmeden önce hastaya dijital ortamda nihai sonucun önceden gösterilebilmesi önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Geleneksel ölçü yöntemlerine kıyasla çok daha hassas şekilde ağız içi ve eklem hareketlerini kayıt altına alınabilmesi sebebiyle de birçok olguda daha uyumlu, hasta tarafından beğenilen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Tüm bunların sonucunda yapılan tedavide başarısızlık, uyumsuzluk ve buna bağlı olarak restorasyonun yenilenme ihtimalini azaltmaktadır.³

DİJİTAL ÇÜRÜK TEŞHİSİ

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte birçok farklı çürük tespit yöntemi kullanılmaktadır. Çürük tespiti için kullanılan yöntemler genellikle “altın standart” olarak belirlenmiş histolojik incelemeler ile karşılaştırılır. Ölçümler hatalı pozitif, hatalı negatif, gerçek pozitif ve gerçek negatif şeklinde değerlendirilir.⁴ Bu değerlendirme sonucu yöntemin diagnostik derecesi duyarlılık (sensitivite) ve özgüllük (spesifite) terimleri kullanılarak hesaplanır.⁵ Duyarlılık çürükten zarar görmüş tüm yüzeyler için gerçek pozitiflerin oranını tanımlarken; özgüllük tüm sağlıklı yüzeyler için gerçek negatiflerin oranını tanımlar. Bu değerler 0 ile 1 arasında ifade edilir ve 1’e yaklaşan değerler kalitesi yüksek sonuçları belirtir.⁵ Ayrıca farklı kişiler tarafından uygulandığında aynı sonuçların elde edilebilmesi yöntemin güvenilir olduğunu göstermektedir.^{4,5}

Lazer Floresans Yöntemi (Diagnodent)

Günümüz diş hekimliğinde invaziv tedavilerin yerini koruyucu tedaviler almaya başlamıştır. Bu nedenle erken çürük lezyonu tespitinin önemi her geçen gün

artmaktadır. Bu amaçla üretilen bir cihaz olan Diagno Dent (Kavo, Almanya) floresan yardımıyla çürük tespiti için kullanılır. DiagnoDent dişe 655 nm dalga boyunda kırmızı bir ışık uygular.⁶ Diş dokusu tarafından floresan olarak geri yansıtılan bu ışığın şiddeti Diagno-dent tarafından 0-99 arasında numerik bir değere dönüştürülerek cihazın göstergesinde izlenir. Diş dokusunda çürüğün etkisiyle oluşan değişimler floresan değerleri etkiler.⁶ Sağlıklı dişler çok az veya hiç floresan üretmezken, çürük dişler çürük derecesiyle orantılı olarak floresan üretir.⁷ Bu sayede çürük yoğunluğu belirlenir. Örneğin 0 ile 10 arasındaki değerler sağlıklı olarak değerlendirilirken, 30’un üzerindeki değerler restoratif tedavi gerektiren bir lezyonu gösterebilir.⁷ Floresandaki bu değişikliklerin, bakteriyel metabolik aktivitelerin bir sonucu olarak çürük dokularda bulunan ışığa duyarlı bir pigment olan proto-porfirinden kaynaklandığı bildirilmiştir.⁸

Elektronik Çürük Monitörü (ECM)

Çürük teşhisinde elektrik akımının kullanıldığı bu yöntemde sağlıklı ve çürük diş dokularındaki elektriksel iletkenlik farkı esas alınır. Sağlıklı mine yüzeyi iyi bir iletkenlik göstermezken demineralizasyonun başladığı ve çürük oluşumunun gözlemlendiği yüzeylerde iletkenlikte artış görülür. Bu iletkenlik demineralizasyonun artması ile artar. Sağlam dentin ise içerdiği çok sayıda dentin tübülü nedeniyle minenin aksine oldukça iyi bir iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle demineralizasyon mine dentin sınırına ulaştığında elektriksel iletkenlikte artış gözlenir.⁹

Fiber Optik Trans İllüminasyon (FOTİ)

Fiber Optik Trans İllüminasyon (FOTİ) yöntemi diş aydınlatmak için yüksek yoğunluklu beyaz ışık demeti kullanılan bir tekniktir. FOTİ'nin prensibi, demineralize diş dokularında bozulmuş mine kristalleri olan alanların transilüminasyonunun, ışık saçılımındaki ve ışık fotonlarının absorpsiyonundaki değişikliklerden dolayı koyu gölgelerle sonuçlanmasıdır.¹⁰ Bu teknik ince bir fiber uç yardımıyla dişin bukkal ve lingual yüzeyine uygulanır.¹⁰ Yüzey okluzal açıdan incelenir, mine ve dentinde demineralizasyona bağlı koyu gölgeli alanlara göre lezyonlar saptanır.

Dijital olarak geliştirilmiş DI-FOTİ'nin kullanımı kolay ve ekonomik bir yöntem olması gibi avantajlarının yanı sıra yüksek bağlaşımlı cihaz (CCD) sensör bulunmaktadır ve bu sayede eşzamanlı olarak okluzal, bukkal ve lingual yüzeylerden görüntü yakalayabilmektedir.¹¹ DIFOTİ ile alınan bu görüntülerde çürük lezyonu siyah alan olarak gözükmemekte ve dijital ortama aktarılarak hekim tarafından değerlendirilebilmektedir.^{12,13} Ayrıca DIFOTİ'nin lezyon boyutunu, derinliğini, hacmini ve mineral içeriğini objektif olarak ölçebildiği gösterilmiştir. Fakat çürük lezyonları ile florozis gibi gelişimsel kusurları ayırt edemez, çürük aktivitesini belirleyemez.

Floresans Yardımlı Çürük Ekskavasyonu (FACE)

Diş çürüğünün temizlenmesinde en zor kısımlardan biri kavite sınırlarının tayini ve etkilenmiş/enfekte dentinin kaldırıp kaldırılmayacağına karar vermektir.¹⁴ Bu karar genellikle hekimlerin subjektif görüşlerine bağlı olmakla birlikte, enfekte dentin dokusu tamamıyla uzaklaştırılmadığında restoratif tedavi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır.¹⁵ Bu ikilemde kalan hekimlere yardımcı olmak amacıyla birçok teknik ve malzeme üretilmiştir. Son yıllarda geliştirilmiş olan, floresan yardımıyla çürük temizleme (FACE) yönteminde, mavi-mor bir ışık altında diş dokularına otofloresan özellik kazandırılmaktadır.¹⁶ Bu mavi-mor ışık altında sağlıklı diş sert dokuları yeşil renkte görünürken, çürük dokusu ise turuncu-kırmızı görünmektedir.¹⁷ Turuncu-kırmızı rengin oral mikroorganizmaların yan ürünü olan porfirinden kaynaklandığını düşünülmektedir.^{8,18} Teknik uygulanırken oluşan floresanın hekim tarafından daha iyi görülmesi için, yeşil, turuncu ve kırmızı renklerin yansımalarını iyi geçiren, ancak mavi-mor ışığı bloklayan bir filtre içeren gözlük kullanılır. Yapılan çalışmalar FACE sisteminin, enfekte dentinin selektif bir şekilde uzaklaştırılmasında konvansiyonel yöntemle göre daha üstün olduğunu göstermiş, ayrıca gereksiz kavite genişletilmesine ve diş sert doku kaybına da engel olduğunu bildirilmiştir.^{18,19}

Dijital Radyografiler

Dijital radyografi, bir sensör yardımıyla dijital görüntü elde edilmesi, bu görüntünün elektronik parçalara ayrılması, bilgisayar ortamında görünebilir ve saklanabilir hale getirilmesi yöntemidir.^{10,20} Restoratif diş hekimliğinde dijital radyografilerin genel kullanım amacı, görüntünün bilgisayar ortamında saklanması ve üzerinde düzenleme yapılabilmesidir.²⁰ Ayrıca dijital radyografiler ile çalışma süresi oldukça kısalmış ve radyasyon dozu da konvansiyonel radyografilere göre azaltılmıştır.^{14,21} Bunun yanında dijital radyografiler ile elde edilen görüntülerde sistemdeki farklı algoritmalar kullanılarak çeşitli ölçümler ve iyileştirmeler yapılabilir.²² Dijital radyografinin sağladığı önemli avantajlardan birisi de Dijital Fark Radyografisi (DFR) 'dir. Bu yöntemde, bir dişe ait iki farklı radyografinin piksel değerleri karşılaştırılarak başlangıç diş çürüğü, demineralizasyon alanları, internal rezorpsiyon gibi tespiti zor radyolusens oluşumların takibi yapılabilir.^{23,24}

DİJİTAL RESTORATİF TEDAVİLER

Restoratif diş hekimliğine kullanılan dijital teknolojinin evrimi öncelikle CAD/CAM sistemleri ile başlamış,

kavite preparasyonunda dental lazerlerin kullanılması ile devam etmiştir. Diş rengi ve tonunu belirlemede sıklıkla kullanılan spektrofotometreler ve kolorimetreler, beyazlatma tedavilerinin ve veneer/lamina gibi estetik restorasyonların vazgeçilmez olmuştur. Gelişen teknoloji ile ağız içi tarayıcılar geleneksel ölçü alma yöntemlerinin yerini almakta iken, 3 boyutlu (3B) dental yazıcılar CAD/CAM sistemlerinin tahtına göz koymuştur. Tüm bu dijital teknik ve ekipmanlar hasta için daha rahat bir deneyim ve diş hekimi içinse daha verimli bir iş akışı ve başarılı restoratif tedaviler sunma potansiyeline sahiptir.

Kavite Hazırlamada Dijital Yöntemler

Restoratif diş tedavilerinde kavite preparasyonu gerektiren olguların büyük bir bölümünü diş çürüğü veya travma nedeniyle meydana gelen doku kayıpları oluşturmaktadır.²⁵ Diş çürüğü, diş sert dokularının loka-lize çözünmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkan bir bakteriyel hastalık olduğu için ilgili dişin restorasyonu amacıyla hazırlanan kavitelerin çürük ve etkilenmiş (yumuşamış) diş dokularından tamamen arındırılması gereklidir.²⁵ Bu kavite hazırlama işlemlerinde kullanılan ekskavator ve frezlerin dikkatli kullanılmaması sonucunda, bazen sağlam dokularda fazla miktarda kayıplar, iatrojenik pulpa perforasyonları, işlem sırasında ve sonrasında (post-operatif) hassasiyet görülmesi kuvvetle muhtemeldir.²⁶ Ayrıca pulpa üzerindeki basınç, ısı, titreşim ve ses çürüğün temizlenmesi işlemini hasta açısından rahatsız edici hale getirebilir. Günümüzde minimal invaziv tedavi konsepti diş hekimleri tarafından daha fazla kabul gördüğünden, kavite preparasyonlarında daha konservatif tedavi yaklaşımlarına olan yönelim artmıştır.²⁶ Bu amaçla, başta "Atravmatik Restorasyon Tekniği (ART) olmak üzere kemo-mekanik çürük temizleme yöntemleri, air-abrazyon ve dental lazerlerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.^{27,28} Diş sert dokularında preparasyonu yapabilme yeteneğine sahip dental lazerler farklı özelliklerde olmakla birlikte en sık kullanılanları Karbondioksit (CO₂), Diyet, Erbiyum: Yttriyum-Aliminyum-Garnet (Er:YAG) ve Neodyum: YAG (Nd:YAG) lazerlerdir (Tablo-1). Dental lazer ile kavite preparasyonundaki temel avantajlar; hastalarda düşük ağrı algısı, daha az doku hasarı, minimum pulpa irritasyonu ve odontoblast hücrelerinde biyostimülasyondur.²⁹ Öte yandan, lazerle hazırlanan kaviteler elektron mikroskopunda incelendiğinde daha az smear tabakası kaldığı, mine prizmaları ve dentin tübüllerinin daha net izlenebildiği ve buna bağlı olarak adeziv sistemlerin bağlanabilme özelliklerinin arttığı bildirilmiştir.³⁰ Erbiyum ve neodyum lazer ile hazırlanan kavitelerde restoratif materyallerin daha iyi bir örtüleme sağladığı ve daha az ikincil çürüğe yol açtığı gözlenmiştir.³⁰

Tablo 1: Diş Hekimliğinde Kullanılan Dental Lazerler

Dental Lazer Tipi	Dalga Boyu	Aktif Madde	Kullanım Alanı
ArF (Argon Floride) Excimer	193 nm	Gaz Lazer	Çürük temizliği, sert doku işlemleri, endodontik irrigasyon ve dezenfeksiyon işlemleri.
Argon İyon	488 nm	Gaz Lazer	Çürük teşhisi, beyazlatma tedavisi, rezin polimerizasyonu, pigmente lezyonların tedavisi, yumuşak doku insizyonu.
Alexandrite	377 nm	Katı Lazer	Diştaşı temizliği ve periodontal tedaviler.
DiYot (GaAlAs: Galium-Aluminum-Arsenide, GaAs: Galium-Arsenide)	600 – 900 nm	Elektronik Lazer	Dişeti şekillendirme, depigmentasyon, hipertrofik dokuların eksizyonu, frenektomi, fotostimülasyonu, pulpotomi.
Er:YAG (Erbium:Yttrium-Aluminum-Garnet)	2.94 µm	Katı Lazer	Sert doku preparasyonları, selektif çürük uzaklaştırma, periimplantitis tedavisi, alveolar kemik düzenlemeleri, restorasyon sökümü, kök kanal dezenfeksiyonu.
Er:YSSG (Erbium:Yttrium-Scandium-Galium-Garnet)	2.79 µm	Sıvı Lazer	Smear tabakasını kaldırma, kavite ve kök kanal dezenfeksiyonu selektif çürük uzaklaştırma, dentin hassasiyetinin giderilmesi, periodontal tedaviler.
He-Ne (Helyum – Neon)	632 nm	Gaz Lazer	Dermatolojik uygulamalar, depigmentasyon ve akne tedavisi, periodontal küretaj.
Ho:YAG (Holmium: Yttrium-Aluminum-Garnet)	2.12 µm	Katı Lazer	TME cerrahisi, artroskopik cerrahi, dentin hipersensitivitesi tedavisi, periodontal tedavi, kök-kanal dezenfeksiyonu.
Karbondioksit (CO2) ve TEA CO2	9.3 – 10.6 µm	Gaz Lazer	Diş beyazlatma, dentin hassasiyeti tedavisi, epitel keratinizasyonu, benign ve malign oral lezyonların eksizyonu.
KrF (Kripton Floride) Excimer	248 nm	Gaz Lazer	Çürük teşhisi, remineralizasyon tedavileri.
Nd:YAG (Neodymium:Yttrium-Aluminum-Garnet)	1064 nm	Katı Lazer	Kavite ve kök kanal dezenfeksiyonu, dentin hipersensitivitesinin tedavisi, alveolar kemiğin düzenlenmesi, periodontal tedavi depigmentasyon, gingivektomi.

Dijital Ölçü Rehberi

İdeal bir indirekt restorasyon için, hazırlanan kavite-nin tüm ayrıntıları, kontaktaki komşu dişlerle olan ilişkiler, hastanın oklüzyonu ve kapanış durumu gibi faktörlerin net ve hatasız olarak kaydedilmesi son derece önemlidir.³¹ Yıllardır diş hekimliğinde kullanılan ölçü materyalleri ve yöntemlerinin deformasyon, distorsiyon ve yetersiz adaptasyon gibi sorunları mevcuttur.³¹ Özellikle derin kaviteelerde, çapraşık dişli olgularda detayları tam oluşturmama veya diş etine yakın bölgelerde yetersiz ve eksik kalma gibi hatalarla da karşılaşmaktadır.³² Bu amaçla geliştirilen silikon ölçü maddelerinde malzemeye bağlı istenmeyen yan etkiler azaltılmış olmakla birlikte, yumuşak dokuların detayları ve kapanış ilişkisinin tam olarak tespitinde hatalar yaşanabilmektedir.³³ Ayrıca restoratif diş tedavilerinde preparasyonların, kavite sınırlarının ve duvarlarının pürüzsüz, net ve bozulma olmadan ölçüsünün alınması gerektiği olgularda daha az hata payı olan, saklanabilen ve kolaylıkla tekrarlanabilen bir yöntemle ihtiyaç duyulmuştur.³⁴ Yapılacak restorasyonun başarısı, doğrudan ölçünün netliği ve doğruluğu ile doğru orantılı olduğu için, hekimin kavite veya preparasyondaki undercut, keskin kenar ve köşeler gibi hataları ölçü aşamasında fark etmesi kritik öneme sahiptir. 2000’li yıllardan itibaren geliştirilmekte olan “Ağız-İçi Dijital Tarayıcılar” diş hekimlerine oldukça kolaylık sağlamıştır.³⁵ İlk üretilen

tarayıcılar, kavite sınırlarını belirlemek için toz kullanmaları, düşük çözünürlükte olmaları ve alınan görüntünün siyah-beyaz olması gibi sebeplerden ötürü yeteri kadar popülerliğe sahip olamamışlardır.³⁶ Son 10 yıl içinde gelişen tarayıcı teknolojisi hem kullanım kolaylığı hem de doğru ve güvenilir bir ölçü alınmasını sağlayacak düzeyde ilerlemiştir. Modern ağız-İçi tarayıcılarda diş ve yumuşak dokuların birçok farklı açıdan renkli fotoğrafları alınmakta, sistem içerisindeki yazılım ile bir araya getirilerek 2B fotoğraflar 3B olgulara dönüştürülmektedir.³⁷

Dijital yöntemle alınan ölçülerle, geleneksel yöntemlerde kullanılan polivinil veya polieter malzemelerin kıyaslandığı araştırmalar göstermiştir ki, dijital yöntemlerde deformasyon ve distorsiyon belirgin düzeyde azalmıştır.³⁸ Dijital tarayıcılar tek diş için, inley/onley, seramik kron, veneer ve laminate preparasyonları gibi estetik tedavilerde diş ve dişeti sınırının daha iyi belirlenmesini sağlaması nedeniyle restorasyon-diş uyumsuzluğunu ortadan kaldırmakta etkilidirler.³⁹ Bununla birlikte bazı çalışmalarda, tüm ağız (full mouth) sabit protetik tedaviler ve total dişsiz olgularda planlanan hareketli protezler gibi uzun ve detaylı tedavilerde tarayıcının özelliklerine bağlı olarak distorsiyon görülme ihtimalinin bulunduğu, bu nedenle hekimin ölçü alınması sırasında mümkün olduğunca dikkatli ve yavaş çalışması gerektiği de bildirilmiştir.⁴⁰ Günümüzde diş hekimle-

rinin kullanımına sunulmuş olan ağız-içi tarayıcıların büyük bölümü açık erişim (open source) özelliğine sahiptir ve farklı CAD/CAM ünitelerinde üretim yapılmasına olanak sağlar (Tablo-2). Bununla birlikte CEREC gibi kapalı yazılım programlarına sahip CAD/CAM ünitelerinin tarayıcı üniteleri, yalnızca kendi cihazları ve yazılımları için aktarılıp kullanılabilen dosyalar kullanır.

Buradaki temel amaç görüntünün farklı formatlara dönüştürülürken yaşayabileceği çözünürlük kaybının engellenmesidir (37). Trios (3Shape, ABD) ve Primescan (CEREC, ABD) gibi ağız içi tarayıcıların yazılımı, taramadan sonra renk tonu belirleme seçeneği de sunmaktadır.⁴¹

Tablo 2: Diş Hekimliğinde Kullanılan Ağız-içi Tarayıcılar

Ağız-içi Tarayıcı	Açık Erişim	Çıktı Formatı	Tarayıcı Tipi	Tarama Kesinliği	Tarama Süresi	Diğer Özellikler
True Definition (3M ESPE, ABD)	Yok	STL	3B Video	< 5 mikron	10 dakika	Sınırsız bulut desteği, ücretsiz yazılım yükseltmeler, CAM ünitesinden ayrılabilme.
TRIOS (3Shape, Danimarka)	Var	DCM, STL	3B Video, Konfokal Görüntüleme	< 5 mikron	5-10 dakika	Gerçek renkte tarama, HD foto kaydetme, Diş rengi seçimi, 3 saniyede kapanış alma.
CS 3600 (Carestream, ABD)	Var	DCM, STL, PLY	Yönlendirilmiş Işık	9.8 mikron	1-3 dakika	En küçük tarayıcı enstrümana sahip cihaz, Renkli tarama, Tabletten kontrol.
CARES (Straumann, Almanya)	Var	STL	LED Projeksiyon	20 mikron	2 dakika	Ses ve mimik kontrolü, en küçük tarayıcı başlığı, 5 kamerası sayesinde tüm ağız tarama özelliği.
iTero (Align Tech, İsviçre)	Var	STL	Paralel Konfokal	12 mikron	3-4 dakika	Diş kayıtları üzerinde karşılaştırma yapabilmek, Renkli ve hızlı tarama, Ortodontik hareket planlama.
Omniscam (Cerec, ABD)	Yok	STL, DCM	Triangüler Konfokal, 3B Video,	5-6 mikron	5-10 dakika	Doğal diş renginde tarama, 3B video olarak kayıt alma, Renk seçimi, Minimum distorsiyon.
Planmeca Emerald (E4D Tech, ABD)	Var	STL, PYZ, XML, D4D	Lazer	< 5 mikron	1-10 dakika	Tek diş restorasyonlarında en hızlı tarama, Diş rengi seçimi, otomatik kapanış oluşturma özelliği.

Dijital Renk Seçimi

Diş hekimliğinde renk seçimi, doğal diş renginin son derece öznel doğası ve karmaşık optik özelliklere sahip olmasından dolayı zor bir süreçtir.⁴² Diş renginin değerlendirilmesi ve tanımlanması amacıyla geliştirilen “Munsell Renk Sistemi” nin kullanılmasıyla bu zorluk aşılabilmektedir. Bu sistemde diş rengi ton, parlaklık ve saflık (kroması) değerlerinden oluşan 3 boyutlu bir yapı olarak tanımlanmış ve kategorilere ayrılmıştır.⁴³ Bu renk sistemi kullanılarak hazırlanan birçok renk ska-lasında diş rengi karşılaştırmalı olarak tespit edilmekte olduğu için genellikle verilen kararlar subjektif verilere dayanmaktadır.⁴³ Ayrıca bu renk skalalarında, sayısal değerler olmadığından kalitatif bir renk ölçümü yapmak oldukça zordur. Bu amaçla gelişen teknoloji sayesinde önce kolorimetreler sonrasında da spektrofotometreler Munsell Renk Sistemi’ndeki 3 temel kategoriyi alt kategorilere sayısal değerler üzerinden aktarmayı başarmış ve daha öngörülebilir sonuçların elde edilmesinin yolunu açmışlardır.⁴⁴ Bu dijital renk ölçüm sistemlerinin bir diğer avantajı ise ölçülen rengin diş üzerindeki dağılımlarını belirleyerek bir renk haritası çıkarmalarıdır.⁴⁴ Bu sayede her noktası aynı renkte olmayan (hete-rojen yapıdaki) diş dokusunun restorasyonunda hekim ve teknisyen için bir rehber hazırlanmış olmaktadır. Dijital renk ölçümünde elde edilen sayısal değerler cihazdan alınan verilerin

bilgisayar analizine dayanır.⁴⁴ Bu cihazlar renk ölçümünde, ölçüm yapacak ucun (probe) yaydığı ışık miktarı, cihaza geri yansıyan ışık yoğunluğu ve algılanan gri gölge miktarının ölçülmesiyle renk tespiti yaparlar.⁴⁴

Dijital renk tespit cihazlarının geleneksel yöntemlere göre belirgin avantajları vardır. Geleneksel yöntemlerle diş rengi belirlenirken ölçüm yapılan ortamın şartları, dişin pozisyonu ve durumu, hekimin uygulama parametreleri son karara etkili olan subjektif faktörleri oluşturur.⁴⁵ Dijital renk tespitinde ise yapılan ölçümlerin tekrarlanabilir ve kanıtlanabilir olmasının yanı sıra, elde edilen renk değerleri objektif ve nihaidir. Renk tespiti sırasında ölçüm yapılan değerlerin saklanabilmesi, beyazlatma tedavileri gibi öncesi-sonrası kayıtların önemli olduğu uygulamalarda hekim ve hasta açısından da güvenli bir kaynak oluşturacaktır.⁴⁶ Günümüzün dijital renk tespiti teknolojileri, doğal diş yapısına daha uygun restoratif / protetik tedavilerin yapılmasına olanak sağlayarak sonuçların başarısını da artırmaktadır.⁴⁷

CAD/CAM ve Bilgisayar Destekli Restorasyonlar

1980’li yıllarda adından ilk kez söz edilmeye başlanılan CAD/CAM teknolojisi, son yıllarda dental kliniklerde ve laboratuvarlarda daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.⁴⁸ CAD/Cam teknolojisi ile bugün diş hekimliğinin birçok alanında daha hızlı, güvenli ve

başarılı uygulamalar yapılabilmektedir. CAD/CAM teknolojisindeki temel avantaj, kullanılan malzemelerin kalitesinin yüksek oluşu ve düşük üretim maliyetleri sunmasıdır.⁴⁹ Bununla birlikte hasta konforunu artırmak ve tedavi sürecini kısaltmak için tedaviler “Ofis içinde” (chairside) bitirilebildiği gibi, çoklu üretimlerde dental laboratuvarlardan da destek alınabilmektedir. Bu ofis içi CAD/CAM sistemlerinin yardımıyla, restorasyonlar hekim tarafından tasarlandığı için, hastaya ve olguya özgü durumlar dikkatle değerlendirilip planlama

yapılabilmektedir.⁴⁹ Restorasyonun tek bir randevuda hazırlanabilmesi, başta tedavi süresini kısaltmakta, gerekli görülürse aynı gün yenilenmesine olanak sağlamakta, geçici restorasyon ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve postoperatif hassasiyetin engellenmesinde rol oynamaktadır.⁵⁰ Günümüzde bu teknolojinin yaygınlaşması ve gelişmesiyle birlikte, artık diş hekimleri de kendi kliniklerinde rahatlıkla birçok CAD/CAM sistemi kullanabilir hale gelmişlerdir (Tablo-3).

Tablo 3: Diş Hekimliğinde Ofis İçi (Chairside) Kullanılan CAD/CAM Sistemler

Sistem Adı	Dizayn Ekipman ı	Otomatik Dizayn Özelliği	Yazılım Kararlılığı	Konfigürasyon Özellikleri	Açık / Kapalı Erişim	Üretim Hızı	Maliyet
ROLAND DWX (3Shape, Danimarka)	Orta	Yeterli	Orta	SD Kart, USB, Kablosuz	STL Girdi / Çıktı	Yavaş	Orta
Dental CS Solutions 300 (Carestream, ABD)	Yeterli	Zayıf	Çok iyi	USB, Kablosuz	STL Girdi / Çıktı	Çok hızlı	Düşük
Glidewell IO (Glidewell Lab, ABD)	Yeterli	Yok	İyi	USB, Kablosuz	STL Girdi / Çıktı	Orta	Orta
DG Shape (Roland DG, ABD)	Orta	Zayıf	Orta	SD Kart, USB	STL Çıktı	Orta	Orta
CEREC MC (Dentsply Sirona, ABD)	Yeterli	Çok iyi	Çok iyi	SD Kart	STL Çıktı	Çok Hızlı	Yüksek
Planmeca FIT (E4D Tech, ABD)	Çok iyi	Yeterli	İyi	USB	STL Girdi / Çıktı	Hızlı	Orta

3 Boyutlu (3B) Yazıcılar ve Eklemeli Üretim

1999 yılında diş hekimliğiyle tanıştırılan 3B yazıcılar ile ilk kez bir hastaya kaybedilen maksiller kemik dokusu için bir obtüratör yapılmıştır.⁵¹ Zamanla gelişen teknoloji sayesinde birçok farklı tedavi seçeneği sunan 3B yazıcıların genel olarak; üretim süresinin ve maliyetlerinin azaltılması, temiz, güvenli ve hızlı bir üretim süreci sağlama, dijital olarak saklanabilirlik ve kompleks olgularda minimum hata ile üretim yapılabilmesi gibi avantajları vardır.⁵² Diş hekimliğinde genel olarak kullanılan 3B yazıcılar; reçineler, lastikler (PLA -TPA), cam, seramik, zirkonyum ve titanyum gibi metalleri baskı olarak çıkarabilmektedir.⁵² İlk üretilen 3B yazıcılar genel olarak “Yoğunlaştırılmış Biriktirme Modellemesi (FDM)” yöntemiyle üretim yapmaktaydı.⁵³ Bununla birlikte bu yöntem detayların net olması, porözite, materyalin fiziksel dayanımının ağız içi şartlara uygun olmaması nedeniyle günümüzde kullanılmamaktadır. Daha sonra metal tozlarının lazer enerjisiyle birleştirilmesi sayesinde “Seçici Lazer Sinterleme (SLS)” yöntemini kullanan 3B yazıcılar üretilmiştir. Bu yazıcılar ile günümüzde, implantlar, kron/köprü alt

yapıları ve bölümlü hareketli protezlerin metal kaideleri üretilmektedir.⁵⁴

Restoratif diş hekimliğinde, estetiğin fonksiyon ve hijyen kadar önemli olmasından dolayı bu 3B yazıcılar yerine epoksi reçine bazlı kompozit / seramik hibrit materyalleri üretilen ısı ve ışık ile polimerize edebilen Dijital Işık Projeksiyonu (DLP) ve Stereolitografi (SLA) yazıcıları geliştirilmiştir.⁵⁵ Her iki yöntemdeki temel faktör, restorasyonun bütünü oluşturmak için fotopolimer bir reçineden parça katmanlarının birer birer hazırlanması, ultraviyole bir lazer kullanarak birbirlerine eklenmesi ve mor ötesi bir ışıkla polimerize edilmesidir. SLA’daki en temel avantajlar büyük miktarda restorasyonun veya modelin hızlı ve düşük maliyetli üretilmesi iken, DLP ‘deki en önemli gelişme ise detayların daha net oluşturulması ve kullanılan malzemenin ağız içi şartlar için optimize edilmiş olmasıdır.⁵⁶ Restoratif diş hekimliği için kullanılan 3B yazıcılar farklı türlerde ve özelliklerde olmakla birlikte genel olarak FDM yazıcılar ile beyazlatma plakları, dental ekartör ve izolasyon setleri; DLP yazıcılar ile inley, onley, veneer restorasyonlar ile geçici ve daimi tek kronlar üretilmektedir.

(Tablo-4).

Tablo 4: Restoratif Diş Tedavilerinde Kullanılan 3B Yazıcılar ve Özellikleri

Sistem Adı	Üretim Teknolojisi	Üretim Malzemesi	Kullanıldığı Alanlar
Form 3 / 3B (Formlabs, ABD)	SLA	Biouyumlu seramik içerikli rezin	Daimi onlay restorasyonlar, geçici kronlar, tanı modelleri, cerrahi kılavuzlar, gece koruyucu plaklar, splintler.
VarseoSmile Crown + (Bego, Almanya)	DLP	Biouyumlu seramik içerikli rezin	Cerrahi kılavuzlar, gece koruyucu plaklar, daimi onlay restorasyonlar, geçici kronlar, tanı modelleri.
Objet 30 Denta Prime (Stratasys, İsrail)	DLP	Bio-uyumlu dental rezin (Renkli-Şeffaf)	Tanı modelleri, cerrahi kılavuzlar, gece koruyucu plaklar, dökülebilir hareketli protez iskeletleri, geçici kronlar.
Pro 95 S (Sprinray, ABD)	DLP	Biouyumlu seramik içerikli rezin	Tanı modelleri, gece koruyucu ve cerrahi rehber plaklar, hareketli protez iskeletleri, geçici kron ve köprüler.
NextDent 5100 (Amman Girschbach, Almanya)	DLP / SLA / SLS	Bio-uyumlu dental rezin (Renkli-Şeffaf) ve titanyum poliamid	Tanı modelleri, metal / rezin içerikli hareketli ve sabit protez altyapıları, geçici kron ve köprüler, gece koruyucu plaklar, implant üstü koplingler.
3Dmax (DMG Mori, Japonya)	DLP	Bio-uyumlu dental rezin (Renkli-Şeffaf)	Cerrahi kılavuz plaklar ve gece koruyucuları, geçici kronlar, tanı modelleri, splintler ve ölçü kaşıkları.
Max Pro 4K (Asiga, Avustralya)	DLP	Bio-uyumlu dental rezin (Renkli-Şeffaf)	Ortodontik modeller ve braketler, geçici kron ve köprüler, şeffaf plaklar (cerrahi / gece koruyucu) ve splintler,
D100 (Rapidshape, Almanya)	DLP	Bio-uyumlu dental rezin (Renkli-Şeffaf)	Wax-up modeller, tanı modelleri, gece koruyucu ve cerrahi rehber plaklar, hareketli protez iskeletleri, geçici kron.
Envision One (ETEC, Almanya)	CDLM	Bio-uyumlu dental rezin / elastomerler	Tanı modelleri, geçici kron ve köprüler, gece koruyucu plaklar, cerrahi rehber plaklar.

* **DLP:** Dijital Işık Projeksiyonu, **SLA:** Stereolitografi, **SLS:** Seçici Lazer Sinterleme, **CDLM:** Devamlı Dijital Işıkla Üretim sistemi.

DİJİTAL GÜLÜŞ TASARIMI

Tedavi seçeneğinin çok olduğu karmaşık vakalar ve estetik beklentinin yüksek olduğu olgular için, en uygun tedavi sürecini belirlemek için genellikle multidisipliner uzmanların tedavi planı üzerinde tartışması gereklidir.⁵⁷ Bu amaçla geleneksel tedavilerde hastalara ait alçı modellerin elde edilmesi, mum (wax-up) modelajların ve silikon anahtarların hazırlanarak klinikte uygulanmaları söz konusudur.⁵⁸ Bu yöntemler zaman alıcı olmakla birlikte her vakada hedeflenen sonuca ulaşmak da mümkün olmamaktadır. Gelişen teknoloji, azalan zaman ve artan beklentinin ışığında son dönemlerde popüler

olan “Dijital Gülüş Tasarımı” (DGT) programlarının birçok olguda kullanılmaları sözü geçen kısıtlamaları aşmada hekimlere yardımcı olmaktadır.⁵⁹ DGT, dişlerin ve yumuşak dokuların durumunu göz önünde bulundurarak hastanın gülüş estetiğinin dijital ortamda hazırlanması, hekime ve hastaya olası sonucu görselleştirerek sunulmasıdır. Bu yöntemin amacı, vakaların zorluğundan bağımsız olarak hem hastaların beklentilerini karşılayıp hem de olgunun sınırlılıklarını ortaya koyarak diş hekimlerine yol göstermektir.⁶⁰ Bu amaçla üretilen farklı birçok sistem ve program hekimlerin kullanımına sunulmuştur (Tablo-5).

Tablo-5: Dijital Gülüş Tasarımı için Kullanılan Programlar ve Özellikleri

PROGRAM	FİRMA	ÖZELLİKLERİ
Coachman App	Digital Smile Design, İspanya	Keynote'un dijital gülüş tasarımının gelişmiş versiyonu olan Coachman App için üç farklı açıdan alınmış dental fotoğraf gereklidir. İlki maksimum gülümsemede, ikincisi istirahatte olmak üzere tam yüz ve sadece dişlerin olduğu fotoğraflar çekilir. Üçüncü olarak da oklüzal açıdan alınmış tam maksiller ark fotoğrafı çekilir. 45 derece yan profil görünümü ve videolar Keynote sunumuna eklenir. Gülüş tasarımları manuel yöntemle (elle) tasarlanır ve bu yüzden hem zaman alıcıdır hem de subjektif değerlendirmeler olabilir.
Romexis Smile Design	Planmeca Oy, Finlandiya	Windows ve MacOS işletim sistemlerinde çalışması için herhangi bir ekstra destekleyici programa ihtiyacı yoktur. Öncelikle hasta doğal olarak gülümsediğinde ön bölgeden tam yüz fotoğrafları çekilir. Yazılım daha sonra otomatik olarak belirlenen en/boy oranlarına sahip bir diş görüntüsü oluşturur. Kitaplığında bulunan VITA Klasik ve VITA 3D-Master diş renklerini (Vita Skalası) içeren yazılımı sayesinde, mevcut dişlerin renkleri tanımlayıp renk ve ton tespiti de yapabilir.
Smilecloud	SM Biometrics, ABD	Bulut tabanlı bir platform olan Smile Cloud, kullanıcılara hastaların tıbbi verilerini, kişisel verilerini, fotoğraflarını, videolarını, ağız içi tarama görüntülerini, radyografilerini (OPG ve periapikal) ve bilgisayarlı tomografi (B-CT) sonuçlarını saklama fırsatı verir. Çekilen fotoğraflar sisteme yüklendikten sonra, yazılımın içindeki algoritma ilgili dişleri bulur ve otomatik hizalar. Diş hekimi dilerse bu tasarımı değiştirebilir. Ayrıca CAD/CAM ve 3B yazıcı için uygun formatlarda (stl, obj) çıktı alabilir
Smile Designer App / Pro	Neuralp Software Inc, Türkiye	Çevrimiçi bir dijital gülüş tasarım yazılımı olan Smile Design App, hızlı ve kolay bir şekilde kodlanmış "Gülüş Tasarım Algoritması" kullanır. Bu algoritma, sisteminde hastanın sadece yüz, ağız ve diş özellikleri değil, "hastanın karakter özellikleri" gibi bilgiler de kayıt altına almaktadır. Bu yazılımdan tüm CAD/CAM sistemleri için gülüş tasarımının görüntüsünün veya 3B yazıcılar için dizaynın çıktısının alınabilir.
3Shape Smile Design	3Shape Company, Danimarka	3Shape gülüş tasarımı, doğrudan hastadan alınan 2 boyutlu resim üzerinden 3 boyutlu bir gülüş tasarımı yapar. Real View motorunu kullanan sistemde, dental fotoğraftan gelen 2B görüntü ile tarayıcıdan gelen 3B dijital tarama görüntüsü birleştirilir. Restorasyon tamamlanmadan önce hekim isterse ilgili dişlerin mock-up modelini üretebilir.
Cerec SW	Dentsply Sirona, ABD	Cerec SW yazılımının birçok adımı ve algoritmayı yapay zeka ile kontrol edebildiği bildirildi. Çoklu hazırlık ve daha net modellerin marjinal uyumluluğunu sağlayan yazılım için tam yüz görüntüsü gereklidir. Dosyayı yazılıma yükledikten sonra görselde 16 önemli noktanın belirtilmesi gerektiği belirtildi. Daha sonra bu noktalar kullanılarak yazılım tarafından çeşitli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra 2D görüntü 3D'ye dönüştürülür. Cerec Smile Design aracı, araç çubuğunda bulunur ve CAD tasarım sürecinde etkinleştirilebilir.
Smile Creator	Exocad GmbH, Almanya	Chairside CAD platformuna entegre Smile Creator ile, mevcut hasta fotoğrafları veya web kameraları kullanılarak çekilen fotoğraflar otomatik olarak 3B nesnelere dönüştürülür ve ardından dişlerin 3B taramaları ile senkronize edilir.
Visagi Smile:	Web Motion LTD, Türkiye	Bu program Türkiye Estetik Diş Hekimliği Akademisi'nin kurucusu ve Avrupa Estetik Diş Hekimliği Akademisi'nin eski başkanı olan Dr. Galip Gürel tarafından geliştirilmiştir. Web tabanlı bir başka gülüş tasarımı programında 'vizajizm' kavramını kullanılarak hastanın karakteri ve alışkanlıkları da hesaplanmakta ve kişiye özgü bir görüntü tasarlanmaktadır.

SONUÇ

Diş hekimliğinde kullanılan teknik ve yöntemlerin dijitalleşmesi, hekimler açısından zamandan ve maliyetten tasarruf sağlarken uyguladıkları tedavilerin de kalitesini artırmıştır. Renk tespiti, çürük dokunun ayırt edilmesi gibi zor ve subjektif durumlarda dijital ekipmanlar hekime kolaylık sağlamak ve doğru endikasyon için yol göstermektedir. Operatif işlemlerde kullanılan dental lazerler sert ve yumuşak dokularda geleneksel aletlere kıyasla daha güvenli ve kontrollü çalışma imkanı

sunmaktadır. CAD/CAM ve 3B yazıcıların diş hekimliğinde giderek yaygınlaşması dental restorasyonların daha hızlı, kolay ve uyumlu üretilmelerinin yolunu açmıştır. Tüm bu teknolojik gelişmeler hekime kolaylık sağlamanın yanı sıra hastasına da konfor ve tam bir güven duygusu kazandırmaktadır. Bütün bu gelişmeler ışığında, diş hekimleri mutlak başarıya ulaşmak için kendi çalışma tarzlarına ve klinik koşullarına uygun olan ekipmanı seçmek ve verimli şekilde kullanmakla yükümlüdür.

KAYNAKLAR

- Peng M, Li C, Huang C, Liang S. Digital technologies to facilitate minimally invasive rehabilitation of a severely worn dentition. *J Prost Dent* 2021; 126: 167-72.
- Kaleli N, Ural C. What does complete digital workflow mean for dentistry? *J Exp Clin Med* 2021; 38: 175-9.
- Coachman C, Sesma N, Blatz MB. The complete digital workflow in interdisciplinary dentistry. *Int J Esth Dent* 2021; 16 :2-18.
- Gomez J. Detection and diagnosis of the early caries lesion. *BMC Oral Health* 2015; 15: 3-12.
- Nyvad B, Fejerskov O, Baelum V. Visual-tactile caries diagnosis. In: Fejerskov O, Kidd E, eds. *Dental Caries: The disease and its clinical management*. Blackwell pub. 2008.p.49-69.
- Lussi A, Hibst R, Paulus R. DIAGNOdent: an optical method for caries detection. *J Dent Res* 2004; 83:80-3.
- Pretty IA, Ellwood RP. The caries continuum: opportunities to detect, treat and monitor the remineralization of early caries lesions. *J Dent* 2013; 41:12-21.
- Marović D, Tarle Z, Miljanić S, Meić Z, Pichler L, Pichler G. The detection of carious lesion porphyrins using violet laser induced fluorescence. *Acta Stomato Croatica* 2010; 44:232-40.
- Ashley PF, Blinkhorn AS, Davies RM. Occlusal caries diagnosis: an in vitro histological validation of the electronic caries monitor and other methods. *J Dent* 1998; 26:83-8.
- Johnson O N, Thomson E M. *Essentials of dental radiography for dental assistants and hygienists*. 8th Ed, New Jersey: Pearson Education Inc.2007, p: 35-99.
- Bin-Shuwaish M, Yaman P, Dennison J, Neiva G. The correlation of DIFOTI to clinical and radiographic images in Class II carious lesions. *J Am Dent Assoc* 2008; 139:1374-81.
- Young DA, Featherstone JD. Digital imaging fiberoptic trans-illumination, F-speed radiographic film and depth of approximal lesions. *J Am Dent Assoc* 2005; 136:1682-7.
- Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J. Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Res* 1997; 31:103-10.
- Özgür B, Ünverdi GE, Çehrel Z. Diş çürüğünün tespitinde geleneksel ve güncel yaklaşımlar. *Türkiye Klinikleri Journal of Pediatric Dentistry-Special Topics* 2018; 4:1-9.
- Zandona AF, Zero DT. Diagnostic tools for early caries detection. *J Am Dent Assoc* 2006; 137: 1675-84.
- Lennon AM, Attin T, Martens S, Buchalla W. Fluorescence-aided caries excavation (FACE), caries detector, and conventional caries excavation in primary teeth. *Pediatr Dent* 2009; 31:316-9.
- Lennon AM, Attin T, Buchalla W. Quantity of remaining bacteria and cavity size after excavation with FACE, caries detector dye and conventional excavation in vitro. *Oper Dent* 2007; 32:236-41.
- Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann PD, Lennon A. Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentin. *Caries Res* 2008; 42:223-31.
- Schwendicke F, Paris S, Tu YK. Effects of using different criteria for caries removal: a systematic review and network meta-analysis. *J Dent* 2015 ;43:1-15.
- Keleş Evlice B, Öztunç H. Dijital radyografi ve diş hekimliğinde ileri görüntüleme yöntemleri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi* 2013; 22:230-8.
- Mialhe FL, Pereira AC, Meneghim Mde C, Ambrosano GM, Pardi V. The relative diagnostic yields of clinical, FOTI and radiographic examinations for the detection of approximal caries in youngsters. *Indian J Dent Res* 2009; 20:136-40.
- Geetha V, Aprameya KS, Hinduja DM. Dental caries diagnosis in digital radiographs using back-propagation neural network. *Health Information Science and Systems* 2020; 8:1-14.
- Eberhard J, Hartman B, Lenhard M, Mayer T, Kocher T, Eickholz P. Digital subtraction radiography for monitoring dental demineralization. An in vitro study. *Caries Res* 2000; 34:219-24.
- Nascimento EHL, Gaêta-Araujo H, Galvão NS, Moreira-Souza L, Oliveira-Santos C, Freitas DQ. Effect of brightness and contrast variation for detectability of root resorption lesions in digital intraoral radiographs. *Clinical Oral Investigations* 2019; 23:3379-86.
- Garg N, Garg A. *Textbook of Operative Dentistry*. Jaypee Brothers Medical Publishers, ABD, 2019; p: 15-22.
- Ricucci D, Siqueira Jr JF, Rôças IN, et, al. Pulp and dentine responses to selective caries excavation: A histological and histobacteriological human study. *J Dent* 2020; 100:103430.
- Hamama HH, Yiu C, Burrow M, King N. Systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials on chemomechanical caries removal. *Oper Dent* 2015; 40:167-78.
- Leal S. Atraumatic restorative treatment: restorative component. In: *Caries Excavation: Evolution of Treating Cavitated Carious Lesions*. Karger Publ, ABD, 2018, p. 92-102.
- Davoudi A, Sanei M, Badrian H. Application of laser irradiation for restorative treatments. *Open Dent J* 2016; 10:636-50.
- Lopes RM, Trevelin LT, da Cunha SRB, et al. Dental adhesion to erbium-lased tooth structure: A review of the literature. *Photomed Laser Surg* 2015;33: 393-403.

31. Naumovski B, Kapushevska B. Dimensional stability and accuracy of silicone-based impression materials using different impression techniques. *Prilozi* 2017; 38:131-8.
32. Pandey P, Mantri S, Bhasin A, Deogade SC. Mechanical properties of a new vinyl polyether silicone in comparison to vinyl polysiloxane and polyether elastomeric impression materials. *Contemp Clin Dent* 2019; 10:203-14.
33. Kumari N, Nandeeshwar DB. The dimensional accuracy of polyvinyl siloxane impression materials using 2 different impression techniques. *J Indian Prosthodont Soc* 2015; 15:211-9.
34. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res* 2020; 64:109-13.
35. Liu W, Huang GJ. Improving the efficiency of intraoral scanning. *J Clin Orthodon* 2014; 48:549-54.
36. Amornvit P, Rokaya D, Peampring C, Sanohkan S. Confocal 3D optical intraoral scanners and comparison of image capturing accuracy. *Comput Mater Contin* 2021; 66:303-14.
37. Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig* 2017; 21:1445-55.
38. Henkel GL. A comparison of fixed prostheses generated from conventional vs digitally scanned dental impressions. *Compend Contin Educ Dent* 2007; 28:422-31.
39. Zimmermann M, Ender A, Mehl A. Local accuracy of actual intraoral scanning systems for single-tooth preparations in vitro. *J Am Dent Assoc* 2020; 151:127-35.
40. Revilla-León M, Att W, Özcan M, Rubenstein J. Comparison of conventional, photogrammetry, and intraoral scanning accuracy of complete-arch implant impression procedures evaluated with coordinate measuring machine. *J Prosth Dent* 2021; 125:470-8.
41. Akl MA, Mansour DE, Zheng F. The Role of Intraoral Scanners in the Shade Matching Process: A Systematic Review. *J Prosthodont* 2022;1-8.
42. Ristic I, Stankovic S, Paravina RD. Influence of color education and training on shade matching skills. *J Esthetic Rest Dent* 2016; 28:287-94.
43. Chu SJ, Paravina RD, Saller I, Mieleszko AJ. Color in Dentistry: A Clinical Guide to Predictable Esthetics Quintessence Publ. 1st ed., ABD, p:8-35.
44. Chang JY, Chen WC, Huang TK., et al. Evaluating the accuracy of tooth color measurement by combining the Munsell color system and dental colorimeter. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences* 2012; 28:490-4.
45. He WH, Park CJ, Byun S, et al. Evaluating the relationship between tooth color and enamel thickness, using twin flash photography, cross-polarization photography, and spectrophotometer. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 2020; 32:91-101.
46. Bilski T. Digital Workflow in Restorative Dentistry. Dental Learning Systems Publ, ABD, 2017, p:3-140.
47. Huang M, Ye H, Chen H, et al. Evaluation of accuracy and characteristics of tooth-color matching by intraoral scanners based on Munsell color system: an in vivo study. *Odontology* 2022; 110:759-68.
48. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204:505-11.
49. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am* 2011; 55:559-70.
50. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012; 28:3-12.
51. Fasbinder DJ. Digital Dentistry: Innovation for restorative treatment. *Compend Contin Educ Dent* 2010; 31:2-11.
52. Tamimi F, Hirayama H. Digital Restorative Dentistry: A guide to materials, equipment, and clinical procedures. 1st Ed., Springer Nature Ltd, ABD, 2019, p:7-44.
53. Rekow D. Digital Dentistry: A Comprehensive Reference and Preview of the Future. 1st Ed., Quintessence Publ., Hirvatistan, 2018, p:17-51.
54. Cakmak G, Donmez MB, Cuellar AR, Kahveci C, Schimmel M, Yilmaz B. Additive or subtractive manufacturing of crown patterns used for pressing or casting: A trueness analysis. *J Dent* 2022; 124:104221.
55. Jockusch J, Özcan M. Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dent Mater J* 2020; 39:345-54.
56. Anadioti E, Kane B, Zhang Y, Bergler M, Mante F, Blatz MB. Accuracy of dental and industrial 3D printers. *J Prosthodont* 2022; 31:30-7.
57. Espíndola-Castro LF, Monteiro GQM, Ortigoza LS, da Silva CHV, Souto-Maior JR. Multidisciplinary approach to smile restoration: gingivoplasty, tooth bleaching, and dental re-anatomization. *Compendium* 2019; 40:1-5.
58. An H, Fischer CM, Miller SE, Al-Bitar KM, Luepke PG. A fully digital workflow to achieve predictable esthetic and functional outcomes: A case series. *Int J Perio Rest Dent* 2022; 42:165-74.
59. Thomas PA, Krishnamoorthi D, Mohan J, Raju R, Rajajayam S, Venkatesan S. Digital Smile Design. *J Pharm Bioallied Sci* 2022; 14:43-9.
60. Gürel G, Paolucci B, Iliev G, Filtchev D, Schayder A. The fifth dimension in esthetic dentistry. *Int J Esthet Dent* 2021; 16:10-32.