

## Bölüm 5

# DİŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTALLEŞME

Hayriye Yasemin YAY KUŞÇU<sup>1</sup>

### GİRİŞ:

Gelişen teknolojiyle beraber, endüstrinin bütün alanlarında dijitalleşme sürmekte, geliştirilen birçok uygulama ve teknik kullanılarak; üretimler, daha hassas ve hızlı bir biçimde yapılabilmektedir. 2000’li yıllarda endüstri 4.0 dönüşümü ile 3D tasarım programları, metalürji ve malzeme bilimindeki gelişmeler, dijitalleşmeyi birçok alanda kullanılır hale getirmiştir (1).

Son 20 yıldan beri, diş hekimliğinde dijitalleşme hızla gelişmekte ve eğitim dahil, tüm klinik uygulamalarında kullanılmaya devam etmektedir. Bilgisayar destekli tasarım sayesinde, dental materyaller hatasız bir şekilde üretilerek insan kaynaklı uygunsuzluklar azaltılmıştır. Dijital diş hekimliği ayrıca, klinik aşamasında tasarım özgürlüğü sağlar ve önceden görselleştirilerek hekimlere fikir verir. Hastalar açısından da, dijital çözümler konfor sağlayarak, memnuniyeti artırmıştır.

Son yıllarda eğitim ve prelinik aşamasında sanal gerçeklik ve yapay zeka ile beraber, hekim ve klinik eğitimi alan öğrencilere büyük faydalar sağlamaktadır (2). Özellikle pandemi sırasında devam eden eğitimde bu tür simülörlerin gerekliliği gözler önüne serilmiştir. İntraoral ve yüz tarayıcılar, 3D görüntüleme cihazları, 3D yazıcılar, CAD/CAM cihazları ile beraber görsel ve dokunsal simülasyonlar ile diş hekimliği uygulamaları ve eğitimi hızla dijitalleşmektedir (3).

### HASTA VERİLERİNİN TOPLANMASI, İŞLENMESİ VE TEŞHİS

Diş hekimliğinde, veri toplama süreci, hasta ile yapılan ilk muayene ve değerlendirme sırasında başlar. Bu sırada, diş hekimleri, hastanın diş ve diş eti sağlığını değerlendirir, ön muayene ve panoramik röntgen çekilerek, hastanın tüm

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi AD, yaseminyaykuscu@harran.edu.tr

dişlerinin görüntüsü elde edilir. Bu veriler, dijital ortamda saklanır ve ihtiyaç duyulduğunda kolaylıkla erişilebilir hale gelir.

Bunun yanı sıra, diş hekimliğinde, intraoral ve ekstraoral tarayıcılar gibi dijital araçlarda veri toplamada kullanılmaktadır. Bu araçlar sayesinde, hastanın dişlerine ait görüntüler daha net ve detaylı bir şekilde elde edilebilir, bu da teşhis ve planlamaya yardımcı olur.

Veri toplama, dijital araçların yardımıyla daha hızlı, doğru ve detaylı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede, diş hekimleri, hastalarının diş ve diş eti sağlığı hakkında daha iyi bir fikir edinerek, etkili ve doğru teşhisler yapabilirler.

## **CAD/CAM TEKNOLOJİSİ**

CAD/CAM teknolojisi, tasarım ve üretim işlemlerini birleştiren bir teknolojidir. “CAD” (Computer Aided Design) veya “CAM” (Computer Aided Manufacturing) olarak adlandırılan bu iki farklı teknolojinin birleşiminden oluşur.

CAD, bilgisayar kullanılarak üretilen ürünlerin tasarımını kolaylaştırmak için kullanılan bir yazılımdır. Üretimi yapılacak modelin tasarımını doğrudan bilgisayar ortamında oluşturabilir ve değiştirebilir. Bu tasarım işlemleri, iki boyutlu veya üç boyutlu olarak gerçekleştirilebilir.

CAM ise, CAD tasarımlarının üretim sürecine dönüştürülmesi için kullanılan yazılımlardır. Örneğin, bir CNC (Kontrollü Numerik Kontrollü) işleme merkezi kullanarak, bir model üretirken CAM yazılımı kullanılır. Bu yazılım, CAD tasarımındaki bilgiyi, CNC işleme merkezinde kullanabilecek programlama diline dönüştürür.

Diş hekimliğinde CAD/CAM sistemleriyle, manuel ölçü alma, model oluşturma ve üretim yöntemleri arasında farklılıklar vardır. CAD/CAM sistemleri, dişlerin, diş etlerinin ve ağız anatomisinin taranmasını veya doğrudan bilgisayar ortamında tasarımını yapmayı ve tasarımı yapılan dental protezin üretimini mümkün kılar (4). Manuel ölçü ve model oluşturma işlemi ise, diş hekimliğinde kullanılan eski ve geleneksel bir yöntemdir. Bu yöntemde, diş hekimi diş ve çevre dokularının ölçü maddeleri ile ölçüsünü alır ve elde edilen kalıbı laboratuvar ortamında işler ve üretimini gerçekleştirir.

CAD/CAM sistemleri, genellikle bir tarayıcı, bir bilgisayar ve bir yazıcıdan oluşur (5). Tarayıcı, dişlerin ve dental protezlerin 3D görüntülerini oluştururken kullanılır (6). Bilgisayar ise, bu görüntüleri kaydeder ve değiştirme imkanı verir (7). Yazıcı ise, tasarım tamamlandıktan sonra, dişlerin ve dental protezlerin üretiminde kullanılır (4).

CAD/CAM teknolojisinin diş hekimliğindeki yaygın kullanımı, diş hekimliğinde hız ve doğruluk artışı sağlamıştır. Bu teknolojinin kullanımı ile diş hekimlerinin çalışma süreleri de azaltılmıştır. CAD/CAM teknolojisi, diş hekimliği için önemli bir yere sahiptir ve diş hekimliğinde kullanımı artarak devam edecektir.

### **3D CAD/CAM DENTAL FREZE MAKİNELERİ**

3D CAD/CAM dental frezeler, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojilerini kullanarak, diş yüzeylerinin veya manuel modelin taranması, tarama sonuçlarının bilgisayar ortamında işlenmesi ve sonunda üretilen 3D modellere göre işlem yapabilme yeteneğine sahiptir.

3D CAD/CAM dental frezeler, inlay, onlay, köprüler, implant üstü restorasyonların üretiminde kullanılırlar (8). Dental 3D freze makineleri sayesinde diş hekimleri tarafından yapılan işlemler daha estetik bir görünüme sahip olur ve zamandan tasarruf sağlayarak tedaviyi kısa sürede bitirebilir (9).

3D CAD/CAM frezeler genellikle 3 eksenli olarak tasarlanmıştır. Bu eksenler arasında; X eksen, yatay hareketleri yapar; Y eksen, dikey hareketleri yapar; Z eksen ise malzeme uzunluğuna göre kesim yapar.

3 eksenli frezeler dışında, 4 eksenli ve 5 eksenli CAD/CAM dental frezelerde vardır.

4 eksenli sistemlerde, A-B eksen, yani malzemeyi yukarı-aşağı hareket ettiren 4. bir eksen mevcuttur. 5 eksenli sistemler ise, 3 ve 4 eksenli sistemlerden daha esneklerdir. 5 eksenli sistemlerde iki ek eksen daha bulunur. Bunlar; A eksen ve B eksen olabilir. A eksen, malzemeyi yukarı-aşağı hareket ettirmek için kullanılır, bu yön ile y-ekseni yer değiştirebilir, B eksen ise malzemeyi döndürmek için kullanılır. 5 eksenli sistemler özellikle daha karmaşık geometrileri şekillendirmek, yüzeyler üzerinde detaylı, yumuşak ve daha estetik işlemleri yapmak için kullanılır.

3D CAD/CAM frezelerin hassasiyeti, makinenin özellikleri, kullanılan tarama teknolojisi, tarama ve işleme sırasında kullanılan yazılım, işlem yapılan malzemenin kalitesi ve operatörün yeterliliği gibi çeşitli faktörler tarafından etkilenebilir.

- Dental freze makineleri birçok farklı materyali işleyebilir. Bu materyaller:
- Metal: Alüminyum, titanyum, sıradan çelik, paslanmaz çelik
- Porselen: Disilikat porselen, leucite takviyeli porselen, feldspatik porselen

- Zirkonyum: Tüm zirkonyum türleri
- Kompozit, agar ve plastikler
- Amalgam: Tüm amalgam türleridir.

## **TARAYICILAR (SCANNER)**

Klinik anlamda tedavinin sonuca ulaşabilmesi için ölçünün geometrik olarak çok hassas olması gereklidir. Geleneksel ölçü yöntemlerindeki zorluklar, model ve ölçülerin saklama koşulları, restorasyonların uyumsuzluğu, bazı durumlarda hastalarda oluşan olumsuz tutumlar sebebi ile dijital ölçülerin kolay alınabilmesi, saklanabilmesi, özellikle gülüş tasarımı vb. gibi uygulamalarda veriler üzerinde değişiklik yapılabilmesi, dijital ölçülerin öneminin artmasına sebep olmuştur (10).

Doğru alınan ölçü ile yapılacak protetik, ortodontik ve restoratif tedavilerin uyumu daha başarılı olacaktır (11).

Tarama sistemleri intraoral ve ekstraoral tarama cihazları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

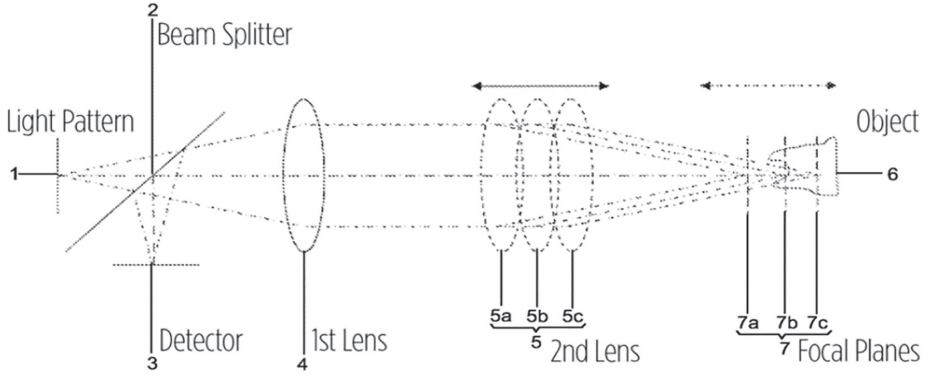
### **İntraoral Tarama Sistemleri:**

Dijitalleşmenin bir sonucu olarak, ağız içi tarayıcılar da yaygınlaşmaya başlamıştır. Ağız içi tarayıcılar, hastaların ağız içini ve dişlerini taramaya yarayan cihazlardır. Dijital olarak taranan ağız içi, üç boyutlu modele çevrilerek sayısal olarak kaydedilir (12). Gerçek doku anatomisiyle uyumlu şekilde tarayarak, elde edilen verileri düşük hata oranıyla sağlar. Ağız içi tarayıcılar, dişlerdeki küçük çatlakları ve dişler arasındaki boşlukları daha iyi görüntüleyebilirler (19). Böylece, dişlerdeki problemler daha erken teşhis edilebilir ve daha etkili bir şekilde tedavi edilebilir. Ağız içi tarayıcılar, hastalar için daha az rahatsızlık verir ve daha hızlı bir ölçü alma yöntemidir.

Ağız içi tarayıcılar aşağıdaki yöntemleri kullanarak tarama yapar:

### ***Paralel Konfokal Lazer Tarama Yöntemi***

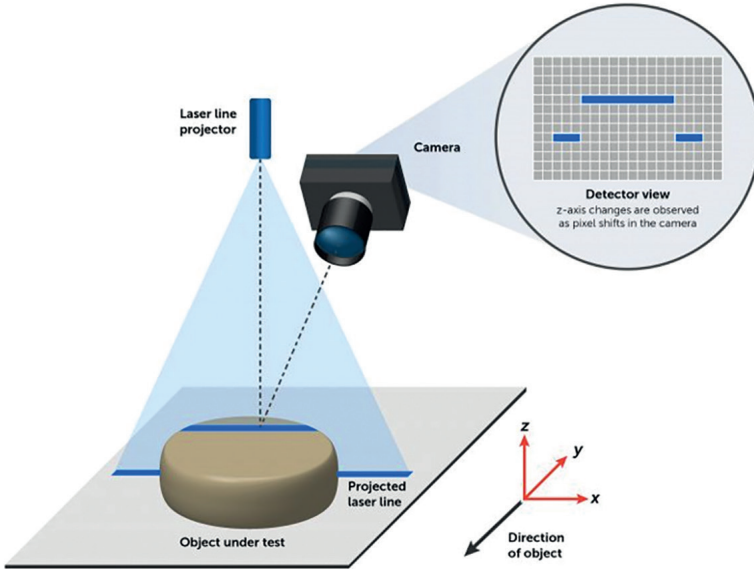
Tarayıcıdan, taranacak nesneye gönderilen ışık, tekrar geri dönerek sensöre yansır. Konfokal görüntüleme içinde bulunan bir filtre, seçici davranarak, sadece nesneden gelen ışını lens üzerine gönderir. Yansıtılan ve yansıyan ışıklar lens üzerinden toplanır. Farklı odak ve farklı açılarda alınan görüntüler toplanarak, sayısal verilere çevrilerek derinlik kontrastı oluşturulur (13).



Şekil 1. Paralel Konfokal Lazer Tarama Yöntemi (US Patent 20100085636A1)

### Triangular Tarama Yöntemi

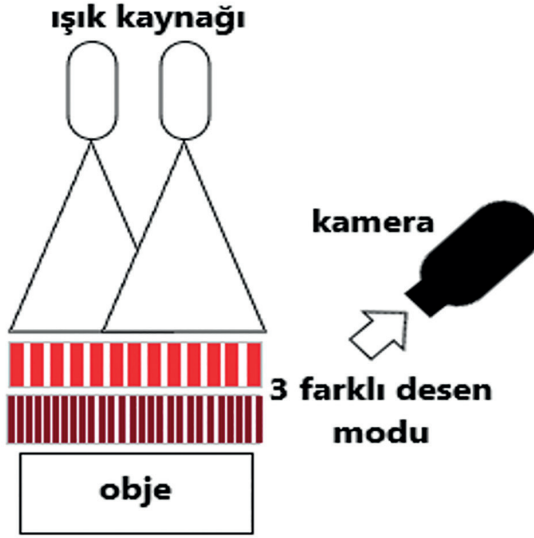
Nesne üzerine, farklı dalga boylarında ışık gönderilerek; yansıyan ışığın kamera tarafından algılanmasıdır. Algılanan ışık, kamera tarafından sayısal veriye çevrilerek, program tarafından işlenir. Üç boyutlu görüntü oluşturulur. Alınan ışığın, çift kamera ve prizma kullanarak tarama yapan yöntem pasif triangular tarama tekniği olarak adlandırılırken; gönderilen ışığın, iki noktadan tek kamera kullanılarak tarama yapan yöneme ise aktif triangular tarama tekniği denir (13).



Şekil 2. Triangular Tarama Yöntemi (<https://imaging.teledyne-e2v.com/products/applications/3d-imaging/laser-triangulation/>)

### **Akordeon Saçak İnterferometri Yöntemi**

Accordion Fringe Interferometry: Bu cihaz iki ışık kaynağını kullanarak dişler ve dokular üzerine üç farklı ışık deseni gönderir. Bu desenler yüzeye isabet ettiğinde değişir ve bozulur. Bu bozulmaya çizgi eğriliği denir. Çizgi eğriliğinin verileri yüksek çözünürlüklü bir kamera tarafından kaydedilir ve bu veriler program tarafından işlenerek üç boyutlu görüntüye çevrilir (14).



Şekil 3. Akordeon Saçak İnterferometri Yöntemi

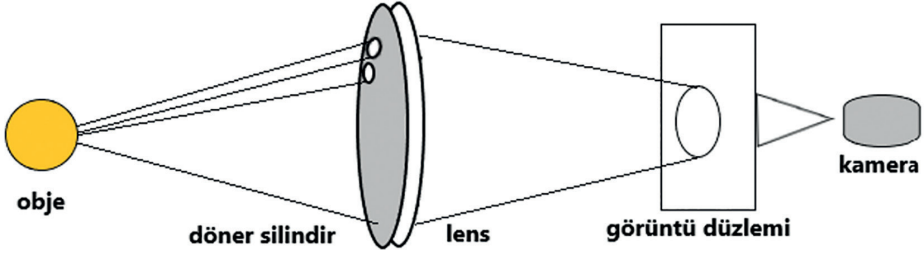
### **Aktif Wavefront Yöntemi (AWS)**

AWS, yüzey görüntüleme için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, bir kamera ve eksen dışı açılı modül kullanır. Modül, optik eksen etrafında döner. Yayılan ışık dalgası, modül üzerindeki delikten geçerek kamera üzerine yansıtılır. Bu döndürme, uzaklık ve derinlik bilgilerini hesaplamak için kullanılır. Program tarafından üç boyutlu görüntü oluşturulur (15).

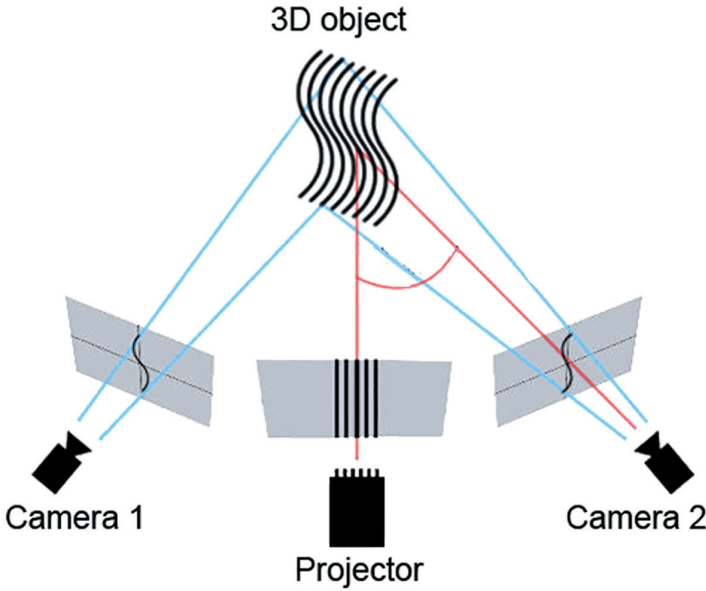
#### **4.1.5.Yapısal Işık Görüntüleme (Structured-Light 3D Surface Imaging):**

Bu teknik, yansıtılan yapılandırılmış ışık modelinin bozulmasından elde edilen bilgilere dayanarak, üç boyutlu yüzey şeklini çıkarmak için kullanılır. Bu teknik, bir görüntüleme sensörü kullanır. Eğer ışık gönderilen yüzey, düzlemsel bir yüzeyse, alınan görüntüde gösterilen model, yansıtılan yapılandırılmış ışık modeline benzer. Yüzey düzlemsel olmadığında, yüzeyin geometrik şekli, kamera-

dan görüldüğü gibi, yansıtılan yapılandırılmış ışık modelini bozar. Böylece üç boyutlu görüntü çeşitli yapılandırılmış ışık ilkeleri ve algoritmaları kullanılarak hesaplanır ve oluşturulur (16).



Şekil 4. Aktif Wavefront Yöntemi (AWS)



Şekil 5. Yapısal Işık Görüntüleme

### ***Yakın Kızılötesi (NIR) Görüntüleme (Near Infrared (NIR) Spectroscopy)***

Yakın IR (NIR) Görüntüleme, Infrared dalga boylarındaki bir kaynak, bir dağıtıcı elemandan (prizma veya filtre) ve infrared dalga boylarındaki yoğunluğun kaydedilmesine izin veren bir dedektörden oluşur (17) (18).

### **Optikal Koherans Tomografi Yöntemi (O.C.T)**

OCT yöntemi, in vivo doku analizi için kullanılmaktadır. OCT sistemi, geniş bantlı bir kaynak ışığını, örnek ve referans ışıklarına böler. Sistem, tarama optiği ve objektif lens vasıtasıyla, örnek ışığı, dokudaki bir noktaya odaklar. Dokudan geri dönen modifiye örnek ışığı, referans ışık ile interfere eder ve foto-detektör yüzeyinde birleştirilerek görüntü elde edilir (13).

İntraoral sayısallaştırıcı, optik koherans tomografi (OCT) veya konfokal sensör olarak tasarlanmıştır. Lazer sayısallaştırıcı, bir fiber optik kabloya bağlı bir lazer kaynağı, bir kuplör ve bir dedektör içerir. Kuplör, ışık kaynağından gelen ışını iki yola ayırır. İlk yol, ışını görüntüleme optiğine; ikinci yol ise, optik gecikme çizgisine ve reflektöre yönlendirir. Diş tarafından yansıtılan ışık, tarayıcı üzerindeki ayna üzerinden geri döner ve optik gecikme hattından gelen referans yol ışığı ile kuplör tarafından birleştirilir. Odaklama optiği, konfokal sensör olarak çalışması için bir konumlandırma üzerine yerleştirilmiştir. Bu sistem, ağız içi taramalarda, 3 boyutlu görüntüleme yaparken, hasta hareketinden etkilenmez ve hızlı ölçüm yapar (13).

### **Ekstraoral Tarama Sistemleri:**

Ekstraoral tarayıcılar, diş hekimliği laboratuvarlarında kullanılan tarama cihazlarıdır. Bu tarayıcılar, lazer ve optik teknolojilerini kullanarak, geleneksel yöntemle, ölçü maddeleri ile alınmış numuneleri tarayarak, 3D görüntüsünü oluşturur ve bu verileri bir bilgisayara aktarır (19).

Tarama sonucunda elde edilen veriler, diş hekimlerinin ve teknisyenlerin, dental protezler, ortodontik apareyler ve restoratif uygulamaların tasarlamalarını kolaylaştırır (20).

### **DİJİTAL RADYOGRAFİ**

Dental radyografi, diş hekimliğinde kullanılan bir görüntüleme tekniğidir. Radyografi cihazları kullanarak çekilen görüntüler, diş hekimleri tarafından dişlerin sağlığını değerlendirmek ve diş ve diş eti hastalıklarını tanımak, diş ve çevre dokudaki patolojileri görüntülemek, dişler arasındaki boşlukları incelemek veya implant uygulamalarını kontrol etmek için kullanılır. Böylece diş hekimi, sağlıklı, güvenilir bir tanı koyabilmekte ve tedavi planlaması yapılabilmektedir (21). Bu yöntem, film tabanlı radyografi yöntemine göre hızlı, kolay ve etkili bir yöntemdir (22). Dijital radyografide, görüntüler elektronik olarak işlenir. Bu



işlemler sayesinde, görüntülerin kalitesi artar, görüntüler düzenlenir ve çeşitli işlemler uygulanabilir (21). Görüntüler parlaklık ve kontrast ayarları yapılarak istenilen şekilde net hale getirilebilir (22). Dijital radyografide, film yerine, radyografik görüntüler elektronik olarak saklanır ve istenildiği zaman kolaylıkla erişilebilir (22). Dijital radyografi, ayrıca çevre dostu bir yöntemdir, çünkü filmlerin üretimi ve atıklarının yönetimi gerekmez (22).

Dijital radyografi yönteminde kullanılan radyasyon dozu 0.02 mSv ile 0.04 mSv iken; film tabanlı radyografi yöntemindeki radyasyon dozu 0.03 mSv ile 0.1 mSv arasındadır. Özellikle, çocuk ve hamile kadınların radyasyona maruz kalma riskinin azaltılması açısından dijital radyografi yöntemi, avantajlı ve güvenilir bir yöntemdir (21). Dijital radyografi yöntemi sayesinde, radyografik görüntüler anında elde edilebileceği için ve hastaların tedavi süreci kısa sürede tamamlanabilir (23).

## **DENTAL YAZICILAR**

Diş hekimliğinde 3D yazıcılar, diş hekimlerinin çeşitli uygulamalar için gerekli olan ürünleri imal etmelerini sağlayan endüstriyel yazıcılardır. Bu yazıcılar, dişlerin, dental protezlerinin, implantların, ortodontik apareylerin tasarımı ve üretimi gibi birçok amaç için kullanılır ve diş hekimlerinin dişlerdeki problemleri tespit etmek ve bu problemleri gidermek için yapacakları planların 3D görüntülerini üretebilmelerine yardımcı olur.

### **Stereolitografi (SLA) yazıcıları,**

SLA yazıcılar, lazer ışınlarını kullanarak, bir fotopolimer çözeltisi üzerinde, üç boyutlu bir nesne oluşturmaya yarar. Bu polimer çözeltisi, cam bir kap içinde bulunur ve lazer ışınları, çözeltinin içine doğru hareket ettirilerek, çözeltiden katmanlar halinde nesnenin oluşturulmasını sağlar (24). Bu sırada, lazer ışınlarının hareket ettirildiği yerlerde polimer çözeltisi katlaşır ve nesne oluşumu tamamlanır.

SLA yazıcıların avantajları, üretim sırasında oldukça hızlı olmaları ve çok yüksek hassasiyetle çalışabilmeleridir. Bu yazıcılarla, diş hekimleri ve diş teknisyenleri, model ve prototipleri, oldukça doğru ve gerçekçi bir şekilde üretebilirler (25).

SLA yazıcılarda kullanılan fotopolimerler içine farklı seramik maddeler eklenerek, geometrik olarak karmaşık modeller dahi elde edilebilmektedir. (26).

SLA yazıcıların fiyatları, diğer 3D yazıcılara göre daha düşüktür. SLA yazıcıları, diş hekimlerinin tasarım esnekliğini artırarak, daha özelleştirilmiş çözümler sunabilmektedir (27).

### **DLP ve cDLP (Digital Light Processing) Yazıcılar,**

DLP (dijital ışık işleme) yazıcılar, genellikle fotopolimerleri kullanırlar. Fotopolimerler, ışığa duyarlı bir materyaldir ve ışık ile aktive edilirler. Bu aktivasyon sırasında, fotopolimerler katı hale gelir ve yazıcı tarafından kullanılan 3D modelin şeklini alır. Sıvı halde bulunan Fotopolimer, alt kısmı transparan olan bir kap içinde bulunur. Bu yüzden üretim sonrasında herhangi bir atık oluşmaz.

DLP yazıcılarda, ışık kaynağının istenilen koordinatlara yönlendirilmesinden dolayı SLA yazıcılara göre üretim hızı oldukça yüksektir. DLP yazıcılar, polikarbonat, polipropilen, acrylonitrile butadiene styrene (ABS) gibi farklı malzemeleri kullanılarak üretim yapılabilir (28). Bu malzeme çeşitliliği, diş hekimlerinin, imalatı yapılacak ürünlerin, özelliklerini ve gereksinimlerini dikkate alarak, en uygun malzemeyi seçme imkânı verir (29).

DLP yazıcıların avantajları arasında, üretim sürecinin hızlı olması, yüksek hassasiyet, atık oluşturmaması, SLA yazıcılara oranla enerji maliyetinin az olması, yüksek kapasiteli üretim yapılabilmesi iken; yazıcı fiyatlarının yüksek olması, üretim materyallerinin sınırlı olması, yazıcıyı kullanacak operatörlerin özel eğitim ve bilgi gerekliliği gibi dezavantajları vardır.

cDLP (aralıksız dijital ışık işleme) yazıcıların, çalışma şekli DLP yazıcılar gibi, ışığın, fotopolimer içine çeşitli mercekler yardımıyla odaklanması ile olur. cDLP yazıcılarda üretilen modeller, tıpkı DLP yazıcılarda olduğu gibi fotopolimer dolu kaptan yukarı doğru çekilir. Kürlenmiş fotopolimer sertleşerek üretilen modeli oluşturur. cDLP yazıcılarda, yüksek çözünürlüklü ve mekanik özellikleri bakımından kaliteli modeller üretilir (30). cDLP yazıcıların kürlenme zamanının fazla olması sebebi ile, SLA yazıcılara oranla üretim hızı yavaştır (31).

### **SLS (Selective Laser Sintering) / SLM (Selective Laser Melting) Yazıcılar**

SLS (Selective Laser Sintering) yazıcılar, diş hekimliğinde 3D baskı teknolojisi kullanarak, çeşitli malzemeleri sinterleme yöntemiyle üretebilen cihazlardır. SLS yazıcılar, model yapımında kullanılan tozları birleştirmek için bir ısı kaynağı, bir kontrol ünitesi ve toz zerreciklerini düzgün şekilde yayan bir sistemden

oluşur. Sinterleme sırasında erimeyen tozlar, destek görevi gördüğü için, baskı sonunda üretilecek modelden temizlenerek çıkarılır (32).

SLS yazıcılarda, metal, cam, seramik, plastik gibi farklı materyallerin çalışılmasına olanak sağlar. SLS yazıcılarla oluşturulan materyallerde, yüksek sıcaklıktan dolayı iç gerilmeler oluşabilir. Bu gerilmeleri gidermek için tavlama işlemi yapılmalıdır. SLS yazıcılar oldukça güçlü bir lazer kaynağı kullandıkları için, üretilen materyallerin maliyeti fazladır.

SLM (Selective Laser Melting) yazıcılar, üretim şekli olarak SLS yazıcılara çok benzer. SLM yazıcılarda sinterleme işlemi yerine eritme işlemi yapılır (33). Bunun için inert gazlar kullanılır. SLM yazıcılar, SLS yazıcılara göre hızlıdır.

SLM yazıcılar, titanyum, paslanmaz çelik, alüminyum vb. gibi metalleri işleyebilme kabiliyeti nedeniyle, havacılık ve biyomedikal sektöründe sıkça kullanılmaktadır. SLM yazıcılarda, plastik, cam, seramik gibi malzemeler kullanılamaz. SLM yazıcılar, güçlü bir lazer enerjisine sahip olduğu için, sıcaklık kontrolleri iyi yapılmalıdır.

### **FDM (Fused Deposition Modeling) Yazıcılar**

Baskı teknolojisi olarak en çok bilinen Eriyik Yığma Modellemesi yöntemini kullanan 3D yazdırma yöntemidir. Bu üretim şeklinde yazıcı makarasına takılmış, çeşitli özelliklere ve renklere sahip filamentler, ısıtılarak basımın yapılacağı yazıcı tablasına doğru itilir. Programdaki 3D modele göre, yazıcı nozulu hareket ederek, obje katman katman oluşturulur. Üretim sonrasında yazıcı tablasından alınan obje, temizlenerek üretim tamamlanmış olur.

FDM yazıcılar, polietilen tereftalat (PETG), poliakrilonitril (PAN), polikarbonat (PC), ABS, poli(fenilen sülfon) (PPSU), PC-ABS birleşimi, PLA gibi termoplastik malzemeler gibi farklı malzemeleri kullanarak üretim yapabilirler (34).

FDM yazıcıların basım hızının yavaş olması, baskı sonrası düşük yüzey çözünürlüğü ve hassasiyet, metal parçaların üretilmemesi, enjeksiyon yöntemiyle model yapmaya göre pahalı olması gibi dezavantajları varken; üretim sonrası herhangi bir kimyasal işlem yapılmaması, kullanımı sırasında özel eğitim ve bilgi gerektirmemesi, yazıcı ve filament, maliyetlerinin ucuz olması, atık bırakmayarak çevreye zarar vermemesi ve fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından üstün özelliklere sahip olması gibi avantajları nedeniyle günümüzde sıkça kullanılmaktadır.

## **DIŞ HEKİMLİĞİNDE SANAL GERÇEKLİK UYGULAMALARI**

Sanal gerçeklik (VR), bir bilgisayar ortamında gerçek yaşam deneyimlerine benzer bir şekilde yaşanmasını sağlayan bir teknolojidir (36). VR, insanların bilgisayar oyunları, filmler, eğitim programları ve benzeri uygulamaları daha gerçekçi bir şekilde yaşamasını sağlar (37).

Sanal gerçeklik teknolojisi, son yılların en popüler teknolojik gelişmelerinden biridir ve farklı alanlarda kullanılmaktadır (36).

Diş hekimliği eğitimi, diş ve çevre dokularının anatomik, histolojik ve fizyolojik bütünlüğünün öğrenilmesi, ağız ve diş sağlığının öğrenilmesi ve operatif işlemlerin yapılabilmesi için hedeflenir. Uygulamalı eğitim ortamları, öğrencilerin zihinsel, duyuşsal ve ince motor bedensel öğrenme alanlarını entegre etmelerine ve uygulamalarına olanak tanır (38). Diş hekimliği uygulamaları için gerekli psikomotor beceriler prelinik laboratuvarlarda öğrenilir (39). Böylece öğrenciler öğrendikleri bilgileri daha iyi anlar, bu bilgileri daha etkili bir şekilde uygulayabilir ve becerilerini arttırabilirler (40).

VR simülatörler, kullanıcının uygulama sırasında yaptığı tüm eylemlerini 3 boyutlu görüntülere dönüştürür. Bu yazılım, üzerinde gelişmiş sensörlerle çalışan fantom kafa, aerotor gibi dental aletler ile kullanıcının eylemlerini kaydeden kameradan meydana gelir. Böylece klinik çalışma sırasındaki tüm uygulamalar, simülatörün üzerinde bulunan optik izleyiciler tarafından kayıt altına alınır. Sistem üzerinde bulunan farklı bir bilgisayarla, öğrencinin tüm hareketleri değerlendirilerek, hatalarına ilişkin olarak geri dönüşler alabilirler (41).

Artırılmış gerçeklik (AR), dijital olarak üretilen görsel unsurların, doğal ortamda bulunan bir çevreye eklenmesidir. Doğal koşulları göstermeyen VR'den farklıdır. AR, hem gerçek hem de sanal unsurları birleşik bir deneyime entegre eder. AR, haptik teknoloji adı verilen, bilgisayar tarafından üretilen nesnelere etkileşim sırasında, dokunma hissini içeren ve temas yoluyla dış çevre ile iletişimi içeren sensörlerden oluşur. Öğrenciler başlarına giydikleri 3D gözlüklerle, soyut kavramları görselleştirebilir ve cerrahi prosedürleri uygulayarak, tüm klinik uygulamaları sanal ortamda gerçekleştirebilir. Bu simülatörde, sanal aerotor veya mikromotor basıncını hissederek; hızını ayarlayabilir (42).

AR Teknolojisi kullanan periodontal bir yazılımda; kullanıcıların, sanal dental enstrümanları kullanarak, dental tartar, diş ve çevre dokularına temas edip, haptik sensörler yardımıyla, tüm dokunuşları hissederek, periodontal hastalıkların, çürüklerin teşhis ve tedavisi için eğitimlerini gerçekleştirebilirler (43)

Özellikle restoratif diş hekimliği ve diş cerrahisi eğitiminde geleneksel öğretime kıyasla diş hekimliği eğitimini geliştirebileceği, ancak endodonti ve ortodontiyi de kapsayacak şekilde genişleyebileceği öne sürülmüştür (44). VR, 3D VR gibi teknolojiler kullanılarak, çevrimiçi derslerin verilmesini sağlamıştır. Teknolojinin esnekliği, katılımcıların aktif katılımına izin vermiş ve teknik sorunların sınırlamasına rağmen cerrahinin ve ilgili anatominin 3D olarak anlaşılmasını kolaylaştırmıştır (45).

## **DİŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI**

Derin Öğrenme, bir tür makine öğrenimi yöntemidir. Derin öğrenme, bir sinir ağı adı verilen özel bir tür Yapay Zeka modeli kullanarak, verilen girdi verilerine dayalı olarak bir çıktı üretebilme yeteneğine sahiptir. Derin öğrenme, özellikle görüntüler, sesler ve metinler gibi doğal dil verilerinin işlenmesinde etkin bir şekilde kullanılır.

Makine öğrenimi, bir bilgisayar programının bir görevi yapmak için öğrendiği süreçtir. Bu görevler arasında, verilen verileri analiz etme, sınıflandırma ve tahmin yapma gibi işlemler yer alabilir. Makine öğrenimi, verilerin yapay olarak öğrenilmesini sağlar ve bu sayede, bilgisayar programlarının insanlar gibi düşünme ve öğrenme yeteneğine sahip olmasını sağlar.

Yapay Zeka (Artificial Intelligence, AI), bilgisayar programlarının insanlar gibi düşünme ve öğrenme yeteneklerine sahip olmasını amaçlayan bir bilim dalıdır. Yapay Zeka, birçok alanda kullanılabilir ve insanların yapamayacağı ya da yapmayı uzun süre alacağı işlemleri hızlandırıp otomatikleştirmeyi hedefler. Yapay Zeka kullanılarak, metinlerin otomatik olarak çevirisi, görüntülerin tanımlanması ve sınıflandırılması gibi işlemler gerçekleştirilebilir.

Diş hekimliği alanında Yapay Zeka teknolojisi son yılların en popüler trendlerinden biridir ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Diş hekimliği alanında Yapay Zeka teknolojisi, özellikle tedavi süreçlerinde kullanılmaktadır. Yapay Zeka teknolojisi kullanılarak hastaların diş hekimliği tedavisine ilişkin verilerinin analiz edilmesine ve bu veriler doğrultusunda tedavi önerilerinin yapılmasına yardımcı olur.

Yapay Zeka teknolojisi, görüntü işleme algoritmaları kullanarak radyolojik görüntüleri değerlendirmesiyle, çeşitli patolojiler, diş ve çene hastalıklarının tespit edilmesi, sınıflandırılması, çene ve diş anatomisinin analizlerinin yapılmasını sağlar (46). Yapay Zeka, ağız içi resimleri, görüntü işleme algoritmasını

kullanarak, ağız içi ve dermatolojik hastalıkları ile diş eti hastalıklarının tespiti yapılabilir (47).

Yapay Zeka ile yapılmış yazılımlar, yüz estetiğinin değerlendirilmesi, ortodontik işlemler, implant uygulamaları gibi tedavileri ve planlanmasını yapabilir. Antropolojik olarak hesaplamalar yaparak, implant üstü protezlerin estetik olarak tasarımı ve üretilmesi gibi protetik diş tedavilerinde, diş hekimlerine yardımcı olur (48) (49).

Bulut Depolama ile ağız ve diş sağlığına ait verilerin işlenerek, ağrı tarifinin yapılması, Nesnelerin İnternetini kullanarak, taşınabilir biosensörler yardımı ile ağızla alakalı verilerin analizini yaparak, ağız bakım alışkanlıklarını ölçerek, kişisel olarak hekimlerin, erken teşhis yapabilmesini sağlayabilir.

Yapay Zeka teknolojisi, ayrıca diş hekimliği alanında hasta takibi ve bakımı sırasında da kullanılmaktadır. Yapay Zeka teknolojisi kullanılarak hastaların ağız sağlığına ilişkin verilerinin takibi yapılmakta ve bu veriler doğrultusunda hastalara özel bakım önerilerinin yapılmasına yardımcı olunmaktadır (50).

Bunun yanı sıra, diş hekimliği alanında Yapay Zeka teknolojisi, diş hekimliği eğitim faaliyetlerinde de kullanılmaktadır. Yapay Zeka teknolojisi, öğrencilerin diş hekimliği eğitimine ilişkin sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanarak farklı simülasyonlarda çalışmasını sağlayarak becerilerinin gelişmesine yardımcı olmaktadır (51).

## **DİŞ HEKİMLİĞİNDE ROBOTİK UYGULAMALAR**

Mekanik, elektromekanik, dokunsal teknoloji, elektronik, bilgisayar ve yazılım mühendisliğindeki gelişmeler, tüm endüstri kollarında robot teknolojisinin kullanılmasını yaygınlaştırmıştır (52).

Robotların, yorulmadan, durmaksızın çalışmaları, yüksek doğruluk hassasiyetleri ile insan hatalarını minimize etmeleri, tıp alanında büyük başarılar elde edilmesini sağlamıştır. Robotik teknoloji, tıp alanında olduğu gibi diş hekimliğinde de son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Diş hekimliği alanında robotik teknolojinin kullanımı, özellikle implant cerrahisi alanında önemli rol oynamaktadır. Robotik teknolojinin kullanımı ile implant cerrahisi sırasında yapılan hataların azaltıldığı, zaman tasarrufu sağlandığı ve tedavinin kısaltmasından dolayı hastaların daha az ağrı çektiği görülmüştür (53) (54).

Endo-mikro robot sistemi, endodontik tedavi kalitesini arttırmak ve insan hatasını azaltmak için geliştirilmiş bir sistemdir (55). Bu sistem tedavinin hazır-

lığını, bilgisayar grafikleri ve diş modelleri kullanarak değerlendirir, bilgisayar destekli prosedür planlaması yapar ve mikro makine ile kanal tedavisi gerçekleştirir. Sistem, debrislere ve artıkların temizlenmesine yardımcı olan ultrasonik temizleme cihazı da içerir (56).

Cerrahi robotlar, oral ve maksillofasial cerrahide, kemik yüzeylerinin kesilmesi ve frezelenmesi, intraoperatif konumlandırma, ortognatik cerrahi planlanması gibi belirli ameliyat süreci fonksiyonlarını yerine getirerek, operasyon sırasında cerrahlar ile etkileşim kuran, programlanmış sistemlerdir (57).

Diş dizilim robotu, tam protez üretimi için kullanılan tek manipülatörlü bir sistemdir. Kanadada üretilen, 6 serbestlik dereceli CRS robotu kullanılarak geliştirilmiştir. Bu robot sistemi, hastanın tıbbi geçmiş dosyalarını seçmek ve oluşturmak, çene arka ve diş eğimlerini çizmek ve dental ark parametrelerine göre ayarlamak için kullanılır. Ayrıca, 3D sanal dişleri ekranda görüntüler ve bireysel olarak diş diziliminin modifikasyonuna yardımcı olur. Bu robot sistemi üst ve alt tam protezlerin üretiminde kullanılmıştır. Üretim kısa sürede bitmekte ve her bir robotik sistemin süreci ve doğruluğu ölçülmektedir (58).

Sensör Donanımlı İmplantlar, alveolar kemiğe gömülü Titanyum vidaların kullanıldığı, uzun ömürlü diş replasmanlarıdır. Bu sistem, ameliyat öncesi aşamada hastanın 3D görüntülerinden yararlanır ve ameliyat sırasında monitörde görüntülenen cerrahi alet pozisyonunu ve yörüngelerini gösterir. İmplant yerleştirme için kullanılan robotik destekli dental cerrahi sistemi olup; hastaların CT taramasına dayalı bir prosedür planlamak için kullanılır (59).

Ortodontik ark teli bükme robotu, diş yapısını analiz ederek; tellerin otonom olarak bükülmesini sağlar. Robot, optik izleme ve bilgisayar tekniklerini kullanarak dişlerin konumunu analiz eder; bükme konumu, ark telinin optimizasyon açısını, kinematik ve bükme özellikleri belirleyerek, ark telini stabilize eder ve bükür (60).

Dental implantoloji robotu, mandibular hareketleri ve dişlerin ve kronların oklüzal temas noktalarını taklit ederek, klinik uygulama öncesi, tedavi prosedürlerinin önceden incelenerek denetlenmesini sağlar. Bu yöntem CT tarayıcı verileri kullanılarak önceden programlanmış bir yazılım ile yapılır. Bu sistem, endüstriyel robot manipülatörleri, veri toplama kartları, gerinim ölçerleri ve tork sensörleri gibi iyi donanımlı araçlar içerir. Duesseldorf Üniversitesi tarafından inşa edilen bir implant cerrahi sistemi ise robot kolu, açı sensörleri, tork sensörleri, doğruluk potansiyometresi, sürücü milleri ve kemikteki mini implantlardan oluşur (61).

Robotik dental frez, dokusal sensör teknolojisini kullanarak, hastanın çenesinin hareketsiz hale getirilmesinden ve diş etine nüfuz ederek, kemiğin yerini belirleyecek ince iğnelerin askıya alınmasından oluşan yeni bir teknolojidir. Dokusal teknoloji, bir nesnenin takip edilmesi, kontrol edilmesi veya manipüle edilmesi için kullanılan hissetme veya dokunma sensörlerini içeren teknolojidir. Bu sensörler, nesnenin pozisyonunu, hacmini, şeklini veya diğer fiziksel özelliklerini algılamak için kullanılır. Dokusal teknoloji, otomatik kontrol sistemleri, robotlar, endüstriyel makineler ve diğer cihazlar için kullanılabilir. Dokusal teknolojiler, hissetme ve dokunma algısının önemli bir parçası olan mekanik, elektronik, optik veya diğer sensörler kullanılarak gerçekleştirilir. Tıp alanında kullanılan robotlar çoğunlukla dokusal teknolojileri kullanır. Robotik dental frez, CT tarama verileriyle bir bilgisayara kablosuz olarak bağlanır ve kendi kendini yönlendirerek veya klinisyen tarafından da müdahale edilerek kemik üzerinde bir dizi delme işlemi yapar (62).

Dental hasta robotları, fantom kafalar olarak adlandırılan, basit fonksiyonel sefalik bölge ve diş diziliminden oluşan dental hasta robotu konseptinin gerçek hastalardan çok farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, diş hekimliği öğrencilerinin daha gerçekçi bir şekilde eğitilmelerine olanak tanımak için insan hareketlerini simüle edebilen robotlar geliştirilmiştir (63). Japonya'da Showa Üniversitesi ve TMSK adlı bir robotik şirketi tarafından geliştirilen Show hanako, diş hekimliği öğrencilerine gerçekçi bir insan gibi davranan bir robot sunmaktadır (64). Geminoid DK ise, yüz ifadelerini ve çeşitli kafa hareketlerini temel alan ve hareket yakalama teknolojisini de kullanan bir robot serisidir ve uzaktan kontrol edilir. Nippon Dental University Kokoro'da geliştirilen Simroid ise diş hekimlerine ağrı ve rahatsızlık gibi duygusal geri bildirim sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu robot aynı zamanda, kendine sorulan soruları cevaplayarak, çeşitli tepkiler verir (64) (65).

## **TELE DİŞ HEKİMLİĞİ**

Diş hekimliği alanında telekonsultasyon olarak da bilinen tele diş hekimliği, diş hekimleri ve diş sağlığı uzmanlarının çeşitli yöntemleri kullanarak, mesafeli olarak danışmanlık, eğitim, muayene ve tedavi hizmeti sunmalarını sağlar. Bu yöntemler arasında videolu görüşme, çeşitli mobil uygulamalar, hastanın tıbbi verilerinin saklandığı yazılımlar, sesli arama ve mesajlaşma yöntemleri yer alır.



Tele Diş Hekimliği, diş hekimliği hizmetlerinin erişilebilirliğini artırmak amacıyla kullanılır. Özellikle küçük ya da nüfusu az olan bölgelerde, diş hekimliği hizmetlerine erişim sıkıntısı yaşayan bireyler için önemli bir rol oynar. Bu teknoloji, pandemi döneminde, diş hekimleri ve hastalar arasında teması azaltarak, hasta ve hekim güvenliğini artırmayı hedefler.

Tele Diş Hekimliği konusunda yapılan bir çalışmada, bu yöntemle yapılan muayenelerin, yüz yüze muayenelerle kıyaslandığında benzer sonuçlar verdiği gösterilmiştir (66)

Ancak, Tele Diş Hekimliği yöntemini kullanırken, diş hekimlerinin çeşitli teknikleri ve yöntemleri bilmeleri gerekir. Örneğin, videolu görüşmelerde, görüşme kalitesinin yüksek olması, muayene sırasında gerekli olan tüm araç ve gereçlerin hazır bulunması gibi konular önemlidir. Tele Diş Hekimliği yöntemi-ne ilişkin olarak yapılan çalışmalar, diş hekimlerinin bu yöntemi kullanırken, eğitim almaları gerektiğini de vurgulamaktadır (67).

Tele Diş Hekimliği uygulamalarının, diş hekimliği hizmetlerinin sunulmasında yararları ve dezavantajları vardır. Diş hekimliği hizmetlerinin ulaşılabilirliğini ve erişilebilirliğini artırma ve hastaların uzun yolculuklar yapmak zorunda kalmamaları gibi avantajları vardır. Dezavantajları arasında ise, bilgisayar korsanları tarafından gerçekleştirilen olumsuz güvenlik riskleri ve kişisel verilerin korunmasını içeren yasal konulardır. Tele Diş Hekimliği, önümüzdeki yıllarda kritik bir öncelik kazanacaktır ve bu nedenle, bu konu hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

## **SONUÇ**

Diş hekimliği alanında teknolojik gelişmeler, hastaların tedavisinde etkinlik, doğruluk ve konforun artmasını hedeflemektedir. Dijital radyografi, 3D tomografi ve CAD/CAM sistemleri gibi teknolojiler, diş hekimliği uygulamalarının daha doğru teşhis ve tedavi planlamasını mümkün kılmıştır. Bunların yanı sıra, yapay zeka ve robotik teknolojiler, tedavi süreçlerinin otomasyonunu ve hassasiyetini artırarak hekimlere yardımcı olmaktadır. Tele diş hekimliği, hastaların konforunu ve hekimlere ulaşılabilirliğini artırmıştır. Öğrencilerin, diş hekimliği eğitimine ilişkin sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanarak, el becerilerinin gelişmesine yardımcı olmaktadır Bilgisayar destekli tasarım, hekimlerin teşhis sürecini ve tedavi prosedürlerinin planlamasını daha kolay ve etkili hale getirmiştir. Dental materyallerin üretimi de hassaslaşarak klinik sonuçların iyileşmesine katkı sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Bulut E, Akçacı T. Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi. ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi;2017;7:50-72.
2. Bertoli E, Lawson KP, Bishop SS. Dental Students' Skills Assessments: Comparisons of Daily Clinical Grades and Clinical and Laboratory Assessments. Journal of Dental Education;2018; 82(4): 417-423.
3. Nayyar N, Ojcius DM, Dugoni AA. The Role of Medicine and Technology in Shaping the Future of Oral Health. Journal of the California Dental Association;2018;48(3):127-130.
4. Jemt T, Sennerby L, Lassila L. CAD/CAM-produced all-ceramic crowns: A review. Journal of Prosthetic Dentistry;2018;119(1):9-20.
5. Wang H, Liu X, Li Y. A review of CAD/CAM technology in the field of dental implantology. International Journal of Oral Science;2017; 9(2):73-79.
6. Schwartz O, Kfir A, Chaushu S. CAD/CAM in dentistry: A comprehensive review. Dental Materials;2017;35(2):1-16.
7. Ercoli C, Maiorana C, Petrucci A, Trisi P. CAD/CAM in dentistry: A review of the current literature. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials; 2016;61: 1-9.
8. D'Souza MR, Shigli SS, Kini RA, et al. Evaluation of surface roughness of machined titanium implant abutments with different machining methods. Journal of Prosthetic Dentistry;2016;106(5): 299-305.
9. Anselmi-Llave J, Osorio-de-Castro N, Rodríguez-Cabello FJ, et al. A comparison of the accuracy and precision of CAD/CAM systems for the production of all-ceramic crowns. Journal of Dentistry;2014; 42(8): 991-999.
10. Çağlar İ, Yeşil Duymuş Z, Ateş S. Diş Hekimliğinde Kullanılan Ölçü Sistemlerinde Güncel Yaklaşımlar: Dijital Ölçü. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi;2015;Ek 10:135-140.
11. BENLİ M. Dijital Ölçü Yöntemlerinin Protetik Marjinal ve İnternal Uyumlarına Etkisinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi 2017.
12. Strub JR, et al. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. The Journal of the American Dental Association;2016; 137(9):1289-1296.
13. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkyynen A. Recent advances in dental optics-part I: 3d intraoral scanners for restorative dentistry. Opt Lasers Eng; 2014;54: 203-21.
14. Kravitz Neal D, et al. Intraoral digital scanners. J Clin Orthod; 2014; 48(6): 337-47.
15. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, Farges JC, Fages M, Ducret M. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. Journal of healthcare engineering; 2017; 8427595.
16. Geng J. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial. Adv. Opt. Photon;2011;3:128-160.
17. Treado PJ, Levin IW, Lewis EN. Near-Infrared Acousto-Optic Filtered Spectroscopic Microscopy: A Solid-State Approach to Chemical Imaging. Applied Spectroscopy;1992; 4 (4): 553-559.
18. Ten Bosch J. General aspects of optical methods in dentistry. Adv Dent;1987;1:5-7.

19. Özcan M, Güneş A, Tüzün E. A review of 3D dental model scanners. *Materials*;2020;13(3): 633.
20. Tan K, Özcan M, Kılıç B. The effect of scanning speed on the accuracy of 3D printed dental models. *Materials*;2021;14(2): 290.
21. Lee JH, Oh JH, Kim EJ. Digital radiography versus film-screen radiography in children and pregnant women: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*;2019; 84:103070.
22. Nakamura Y, Tatsumi Y, Okabe K, Kudo Y. Comparison of diagnostic accuracy and visual quality between film-screen and digital radiography for proximal caries detection: an in vitro study. *Journal of Dentistry*;2020; 94:103169.
23. Hou X, Wang Y, Zeng X. Comparison of image quality between film-screen and digital radiography for occlusal caries. *Chinese Journal of Dental Research*;2018; 21(2): 95-100.
24. Bauernfeind P, Schmied C, Liedl T. A review of photopolymerization-based 3D printing. *Chemical Society Reviews*; 2014; 43(1):269-282.
25. Liu Y, Lin L, Zhang X, Wang X. High-resolution and high-speed 3D printing of dental models using a continuous SLA process. *Scientific Reports*; (2018);8(1):12249.
26. Chaput C, Chartier T. Fabrication of ceramics by stereolithography. *RTEjournal-Forum für Rapid Technologie*;2007; 4(1):204-209.
27. Zhou Y, Li Y, Li X, Hu Z. A review of 3D printing in dentistry. *Journal of Dental Research*;2017; 96(5): 481-491.
28. Güleç Ö, Özcan M, Üstün L. The use of 3D printing in dentistry: A review. *Journal of Dentistry*;2019;22(2): 109-115.
29. Tan K, Özcan M, Üstün L. Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: A Review. *Materials Science and Engineering*; 2020; 7(2): 1-7.
30. Sürmen HK. Eklemeli imalat (3D baskı): Teknolojiler ve uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*;2019; 24(2): 373-392.
31. Dean D, Wallace J, Siblani A, Wang MO, Kim K, Mikos AG, Fisher JP. Continuous digital light processing (cDLP): Highly accurate additive manufacturing of tissue engineered bone scaffolds. *Virtual Phys. Prototyp*;2012; 7(1): 13-24.
32. Vock S, Klöden B, Kirchner A, Weißgärber T, Kieback B. Powders for powder bed fusion: a review. *Progress in Additive Manufacturing*;2019;4: 383-397.
33. Meiners W, Wissenbach K, Gasser A. U.S. Patent No. 6,215,093. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.2001
34. Kılıç B, Özcan M. A review of the use of Fused Deposition Modeling in the production of dental prostheses. *Materials*;2021;14(1):109-114.
35. Melnikova R, Ehrmann A, Finsterbusch K. 3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials. *Materials Science and Engineering*; 2014; vol. 62, Art. no. 012018.
36. Anselmi-Llave J, Velasco-Ochoa S, García-de-Vinuesa M, Patiño AL, Muñoz-Calvo JA. Augmented and virtual reality in dentistry education. *Journal of Dental Education*;2014;78:1435-1442.
37. Wiederhold BK, Wiederhold MD, Riva G. Virtual reality in dental education. *International Journal of Computer Science in Sport*;2007; 6:53-54.

38. Bertoli E, Lawson KP, Bishop S.S. Dental Students' Skills Assessments: Comparisons of Daily Clinical Grades and Clinical and Laboratory Assessments. *Journal of Dental Education*;2018;82(4): 417-423.
39. Riki GJ, Marjoke Vervoorn JB. Simulation in dentistry and oral health. *The Comprehensive Textbook of Healthcare Simulation*; 2012. pp.329-340. New York NY Springer.
40. D'Souza MR, Shetty AK, Shetty GN. Virtual reality in dental education. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*;2011;29: 222-225.
41. Roy E, Bakr MM, George R. The need for virtual reality simulators in dental education: a review. *Saudi Dental Journal*;2017; 29(2): 41-47.
42. Kappers AML, Van Erp JBF, Bergmann Tiest WM, Van der Helm FCT. Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations. *EuroHaptics*; 2010. pp.101-108.
43. Luciano C, Banerjee P, DeFanti TA. Haptics-based virtual reality periodontal training simulator. *Virtual Reality*;2010;13(2): 69-85.
44. Llena C, Folguera S, Forner L, Rodríguez-Lozano FJ. Implementation of augmented reality in operative dentistry learning. *Eur J Dent Educ*;2018;22(1): 122-130.
45. Iwanaga J, Kamura Y, Nishimura Y, et al. A new option for education during surgical procedures and related clinical anatomy in a virtual reality workspace. *Clin Anat*; 2021;34(3):496-503.
46. Hwang JJ, Jung YH, Cho BH, Heo MS. An overview of deep learning in the field of dentistry. *Imaging Sci Dent*;2019;49 (1): 1-7.
47. Jurczynszyn K, Kozakiewicz M. Differential diagnosis of leukoplakia versus lichen planus of the oral mucosa based on digital texture analysis in intraoral photography. *Adv Clin Exp Med*;2019; 28(11):1469-1476.
48. Büyük SK, Hatal S. Artificial intelligence and machine learning in orthodontics. *Ortadogu Medical Journal*;2019;11 (4): 517-523.
49. Nicolielo LFP, Van Dessel J, Van Lenthe GH, Lambrechts I, Jacobs R. Computer-based automatic classification of trabecular bone pattern can assist radiographic bone quality assessment at dental implant site. *Br J Radiol*;2018;91(1092):20180437.
50. Lee SH, Kim JH. Development and application of artificial intelligence-based dental care support system. *Journal of Dental Research*;2017; 96(10): 1234-1240.
51. Lee SJ, Kim CH. Development and application of artificial intelligence-based dental education support system. *Journal of Dental Education*;2018; 82(4): 438-444.
52. Bodner J, Augustin F, Wykypiel H, et al. The da vinci robotic system for general surgical applications: a critical interim appraisal. *Swiss Med Wkly*;2005;135: 674-678.
53. Al-Hezaimi AR, Al-Shalan K. The impact of robot-assisted surgery on the accuracy of dental implant placement: a systematic review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*; 2018;88(1): 180-188.
54. Kim YJ, Kim JH, Kwon YK, Kim JS. A clinical evaluation of robot-assisted versus free-hand implant surgery: a retrospective analysis of surgical time and patient pain. *Clinical Oral Implants Research*;2018; 29(2): 199-205.
55. Dong J. Rule-based Planning for Automated Endodontic Treatment From Dental Radiography, 3-D Computer Modeling to Tool Selection and Path Control. Dissertation, Columbia University. 2003. p. 149-153.

56. Schulz MJ, Shao VN, Yun Y. Nanomedicine Design of Particles, Sensors, Motors, Implants, Robots, and Devices, Artech House, London. UK, 2009. p. 1–10.
57. DiGioia AM, Colgan BD, Koerbel N. Computer aided surgery. In: Satava RM, editor. Cybersurgery: Advanced Technologies for Surgical Practice. John Wiley & Sons, New York, USA, 1998. p. 121–139.
58. Zhang YD, Zhao ZF, Lu JL, et al. Robotic manufacturing of complete dentures. IEEE, USA, 2001. p. 2261–2266.
59. Edinger DH. Planning and implant positioning by a robot system in the dental practice. Digital Dental News; 2012; 6:32–38.
60. Gilbert A. An in-office wire-bending robot for lingual orthodontics, Journal of Clinical Orthodontics; 2011;45(4):230–236.
61. Chen XJ, Wang CT, Lin YP. A computer-aided oral implantology system. Proceedings of the IEEE-EMBS 27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society. 2005. p. 3312–3315.
62. Divya Bhat B, Bhandary S, Naik R, Shetty D. Robotics in dentistry: fiction or reality. J Dent Res Rev; 2017;4: 67-68.
63. Kumar P, Dixit P, Kalaivani V, et al. Future advances in robotic dentistry. J Dent Heal Oral Disord Ther; 2017;7: 3-5.
64. Rawtiya M, Verma K, Sethi P, Loomba K. Application of robotics in dentistry. Indian J Dent Adv; 2014;6:1696-1703.
65. Divya Bhat B, Bhandary S, Naik R, Shetty D. Robotics in dentistry: fiction or reality. J Dent Res Rev; 2017;4:67-68.
66. Bassir MH. Teledentistry: A review. Journal of the Pakistan Association; 2020;70(2): 213-219.
67. Gülmez E, Çelik N. Teledentistry: A promising approach to improve oral health care in rural and remote areas. Journal of the Pakistan Medical Association; 2019;69(5): 738-741.

