

BÖLÜM 11

ORTODONTİDE DİJİTAL İŞ AKIŞI

Irmak PARTAL¹

GİRİŞ

Her alanda olduğu gibi diş hekimliği alanında da teknolojilerin önemi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde, teknolojiler gelişirken bu verilerin elde edilişi, işlenişi, depolanışı ve hastaya sunumu da gelişmekte ve hız kazanmaktadır. Son yıllarda, üç boyutlu görüntüleme teknikleri, robotik uygulamalar ve yapay zekâ uygulamaları ulaşılamaz sistemler olmaktan çıkmış, rutin uygulamalar haline gelmiştir. Tüm bu gelişmeler diğer diş hekimliği alanlarıyla birlikte ortodonti alanında da büyük değişikliklere kapı aralamıştır.

Tamamen dijital iş akışına geçmenin çok sayıda avantajı vardır. Geleneksel ölçü ve dental model elde etme metotlarının kullanılmaması hem hekime pratiklik kazandırmakta hem de hasta konforunu arttırmaktadır. İş akışındaki pek çok basamak ve meydana gelebilecek olası riskler azalmaktadır. Ek olarak, kontaminasyon riski azalmakta ve hem hasta ile hem de teknisyen ile iletişim kolaylaşmaktadır (1,2).

Dijital iş akışına geçiş süreci hem cihaz maliyetlerinin yüksek olması hem de ek yazılımlara ve güncellemelere ihtiyaç duyulması sebebiyle pahalı sistemler olarak görülse de kliniğin rutin giderlerinde ve kargo harcamalarında azalma meydana getirmektedir (1). Üretim aşamasındaki başarı konvansiyonel metotlardan daha yüksek olduğundan tekrar eden uygulamaların olma riskini azaltmaktadır. Ek olarak, günlük hasta bakma kapasitesinde artış ve verimlilik sağlamaktadır.

Dijital iş akışını yalnızca klinik uygulamalar ile kısıtlı tutmak doğru değildir. Hasta kabulünden itibaren tüm süreci dijital olarak yönetmek mümkündür. Bu bilgiler ışığında, bu bölümde ortodonti kliniğinde dijital iş akışı; verilerin eldesi ve işlenişi, verilerin üretimi ve uygulaması ile verilerin takip sistemleri şeklinde üç bölümde işlenecektir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Medipol Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD.,
irmak.partal@ankaramedipol.edu.tr

VERİLERİN ELDESİ VE İŞLENİŞİ

Uzun yıllardır ortodonti hastalarında teşhis ve tedavi takibi iki boyutlu radyografiler ve fotoğraflar üzerinden yapılmaktadır. Ancak, günümüzde üç boyutlu (3D) görüntüleme sistemlerinin gelişmesi ile geleneksel yöntemler yerini konik ışınlı bilgisayarlı tomografilere, ağız içi tarayıcılara ve 3D/4D fotoğraflara bırakmaktadır.

KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (KIBT)

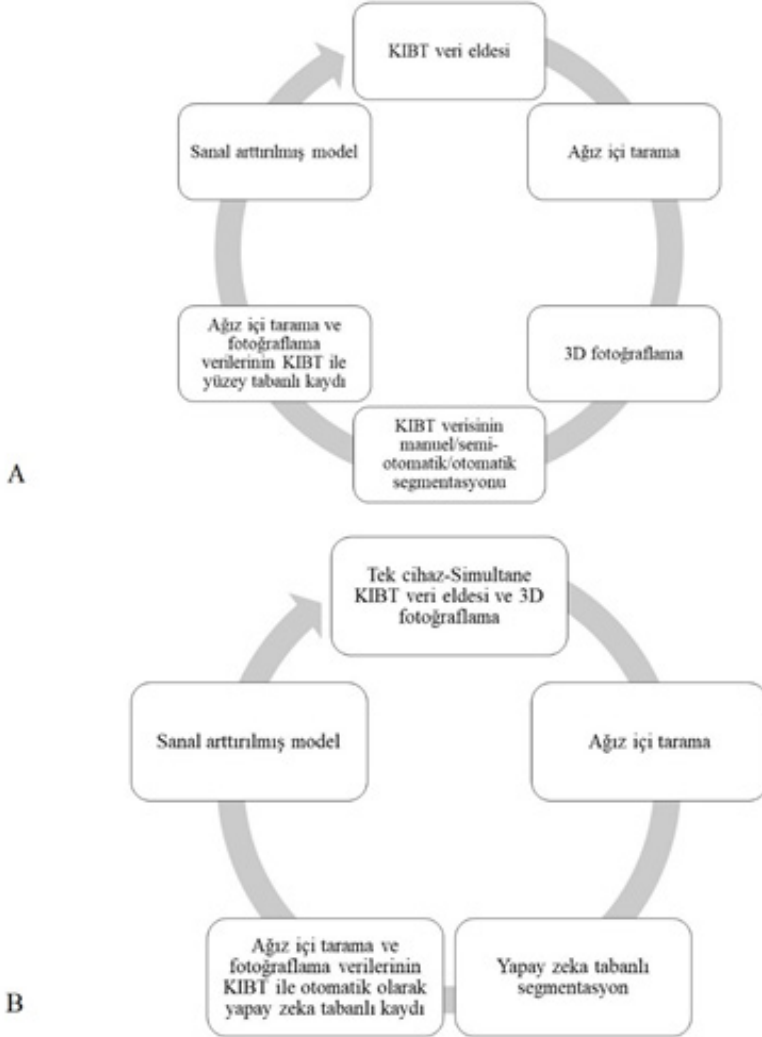
KIBT, ilk kez 1998 yılında Mozzo ve ark. (3) tarafından tanıtılmıştır ve başlangıçta görüntü kalitesi düşük iken, günümüzde düşük doz radyasyon ile yüksek kalitede görüntü elde etmek mümkün hale gelmiştir. Dilimlenmiş görüntülerin birleştirilmesi ile 3D görüntü elde edilmektedir. Ortodontik bozukluklardan özellikle erüpsiyon problemleri ve gömülü diş varlığında, temporomandibular eklem rahatsızlıklarında, ortognatik cerrahi değerlendirme ve planlama aşamalarında, kök ve kemik anatomisini değerlendirmede, maksillofasiyal patolojilerin ve kraniyofasiyal anomalilerin tespitinde KIBT tercih edilmektedir (4,5). Ek olarak, mini vida uygulamalarına rehberlik sağlaması ve havayolu değerlendirmesi amacıyla da kullanım alanı bulmaktadır.

Geçmişte bu amaçla bilgisayarlı tomografiler (BT) kullanılmaktaydı ancak BT'lerin radyasyon dozu yüksek olmakla birlikte, veri eldesi ve işlemesi zaman alıcıdır. KIBT'nin radyasyon dozu multi-dedektör bilgisayarlı tomografiden daha düşük olmakla birlikte panoramik filmin 2 ila 200 katı arasında radyasyon oluşturmaktadır (6). Bu dezavantajı yok etmenin en kolay yolu görüntüleme alanını (Field of view-FOV) sınırlandırmaktır (7). Elbette, FOV sınırlandırması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda, cihaza ait tüp voltajı (kV) ve tüp akımı (mA) gibi parametreler uyumlanabildiği takdirde çekime uygun olacak şekilde düzenlenmelidir (8). Bu sayede, düşük radyasyon ile yüksek kalitede görüntü arasında bir denge sağlanmış olur. Bir diğer dikkat edilmesi gereken parametre ise voksel büyüklüğüdür. Voksel boyutu küçüldükçe görüntü kalitesinin arttığı ancak radyasyon dozunun da yükseldiği unutulmamalıdır.

KIBT görüntülerinin elde edilmesinden sonra yazılım aracılığıyla segmentasyon işlemi yapılmalıdır. Voksel boyutunun küçük olması segmentasyon doğruluğunu da arttırmaktadır ancak bu şekilde radyasyon dozunun da yükselmektedir (9). Günümüzde yapay zekâ tabanlı ağlar, segmentasyonla ilgili hataların önüne geçmek ve iş akışını basitleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Dişlerin ve iskelet yapısının segmentasyonu sırasında derin öğrenme sayesinde artefakt olsa dahi başarılı sonuçlar almak mümkündür (10-12). Geleneksel ve yapay zekâ tabanlı

sistemler arasında dijital görüntüleme iş akışındaki farklılıklar Şekil-1A,B'de gösterilmektedir (7).

KIBT ile baş bölgesinin 1:1 oranında görüntüsü elde edilmektedir. Bu görüntü, fotoğraflar, dental modeller veya taramalar ile süperpoze edilerek sırasıyla teşhis, tedavi, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) prosedürleri için kullanılmaktadır.



Şekil-1: A. Geleneksel B. Yapay zeka tabanlı dijital görüntüleme sistemlerinin dijital iş akış şemaları

DİJİTAL MODEL

Alçı model üretimi yıllarca model analizi için altın standart olarak kullanılmıştır ancak alçı model kullanımının getirdiği dezavantajlar bulunmaktadır. Bunlar hem klinik hem de laboratuvar hizmeti gerektirmesi, fiziksel depolama alanı ihtiyacı olması, kırılabilir ve bozulabilir olması, transfer sırasında hasar veya kayıp yaşanması şeklindedir (13). Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için günümüzde dijital modellemeler sıklıkla tercih edilmektedir.

Ağız dışı veya masaüstü tarama olarak ifade edilen dijital model teknolojisinde, hareketli bir tabla üzerine yerleştirilmiş olan modele yansıtılan lazer ışını sayesinde dijital kameralar görüntüyü kaydetmektedir. Bireyden geleneksel metotlarla elde edilen dental modeller cihaz aracılığıyla taranmakta ve görüntülerin kliniğe iletimi sağlanmaktadır ve bu teknoloji ile modellerin fiziksel saklanma güçlüklerine çözüm sunulmaktadır. Cihazlar arasındaki farklılık genellikle çözünürlük ve hız açısındandır. Taramaların doğruluğu 15-200 mikron aralığında ve alçı model ile ölçü taraması hızı 1 dakika 30 saniye ile 7 dakika arasındadır (1).

Ağız içi tarayıcılar ise, ergonomik tasarımları sayesinde doğrudan hasta üzerinden diş ve diş çevresindeki dokuların kayıt alınmasına imkân sağlamaktadır. Günümüzde tekerlekli sistemler olmakla birlikte tek kablo ile bağlantı sağlayabilen mobil tasarımlar da bulunmaktadır. Her geçen gün geliştirilen cihazlarla birlikte optik teknolojileri de farklılık göstermektedir. Cihazların optik tarama teknolojisi sayesinde ağız içi taramalara ek olarak alçı model taraması da yapılabilmektedir.

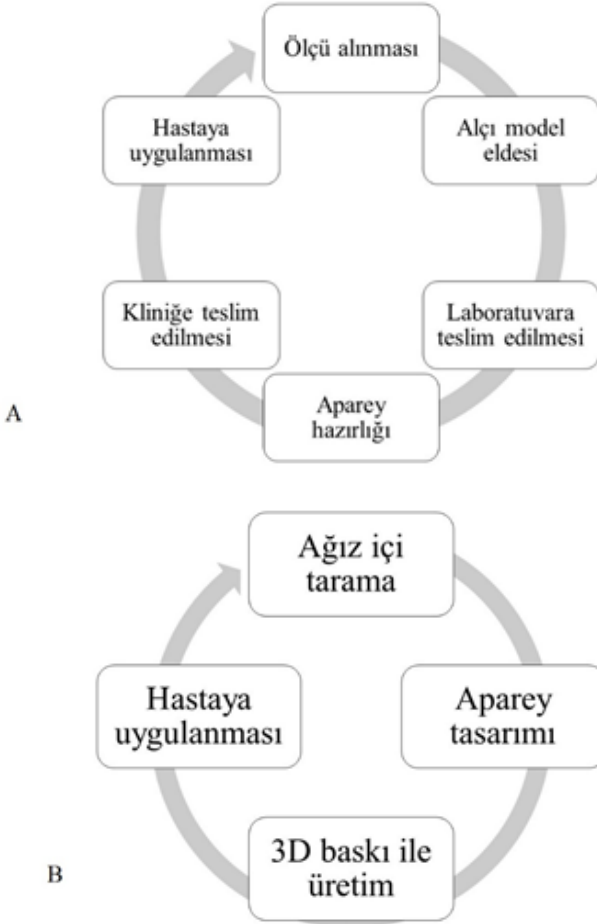
Ağız içi tarayıcılar ile doğru tarama şablonu kullanıldığı takdirde yüksek kalitede veri elde edilirken, hata yapma ihtimali ve tekrar ihtiyacı azalmakta, hasta başı süre kısaltılmakta ve hasta konforu artmaktadır (14). Ağız içi tarayıcılar, geleneksel yöntemlere nazaran iş basamaklarında azalma sağlamak ve kontaminasyon önlemlerine de katkı sağlamaktadır (Şekil-2A,B). Basamak azaldıkça hata meydana gelme olasılığı da azalmaktadır. Ayrıca, ağız içi tarayıcılar bulantı refleksi olan bireylerde ve ölçü alımından endişe duyan çocuklarda büyük kolaylık sağlamaktadır.

Tarama sonrası elde edilen dijital veriler genellikle STL (Standart Triangle Language) formatına getirilmektedir. Bu format, pek çok yazılım tarafından kullanılan standart ve açık bir formattır. Bu format üzerinden prototip oluşturma ve üretim aşamalarına geçilmektedir (2). Ek olarak, KIBT görüntüleri ile STL dosyası birleştirilerek ve ilk görüntü ile karşılaştırılarak dişlerle birlikte kök hareketleri de izlenebilmektedir (15). STL formatı monokromdur ve renk haritası yoktur. Renkli bir doku olması istendiği takdirde OBJ (Objective File Wavefront 3D) ya da PLY (Polygon File Format) formatları tercih edilmelidir (16).

Dijital modeller ile konvansiyonelerde olduğu gibi overjet, overbite, diş-ark boyutu uyumsuzlukları, transvers ölçümler ve Bolton analizi gibi tüm model de-

ğerlendirmeleri yapılabilmektedir. Ek olarak, indirekt braketleme ve tedavi planına göre set-up uygulamaları yapmak da mümkündür. Geçici ankraj ünitelerinin yerleştirilmesi için rehber plak veya ortognatik cerrahi operasyonlarında kullanılması için splint plak yapımında da faydalanmak mümkündür (2). Günümüzde sanal tedavi hedefi (Virtual treatment objective-VTO) teknolojilerinin de gelişmesi ile taramanın hemen ardından yazılım aracılığıyla hastalara tedavi bitim simülasyonunu göstermek de mümkün olabilmektedir.

Dijital model sistemleri dezenfeksiyon ve laboratuvar sarf malzemelerinin kullanımında, kargolama masraflarında azalma meydana getirmektedir ancak günümüzde hala maliyeti yüksek sistemlerdir. Son yıllarda şeffaf plak tedavilerindeki artışla birlikte dijital modelleme teknolojileri de gelişmekte ve mesleğin geleceğini şekillendirmektedir.



Şekil-2: A. Geleneksel B. Dijital modelleme ile klinik iş akışı

3D VE 4D FOTOĞRAF

Mevcut verilerine, fotoğraf görüntüleri de 3D olarak kaydedilen bir bireyin, birbir sanal temsilini elde etmek mümkün olmaktadır. Bu amaçla kullanılan yüz tarayıcıları, yüzün anatomisinin üç boyutlu topografisini çıkararak, otomatik olarak referans noktaları yerleştirir ve yüzün simetrisini değerlendirerek, oranlama analizlerini gerçekleştirmektedir (17,18).

3D fotoğraflamanın en büyük avantajlarından biri neredeyse anlık görüntü elde ederek (1,5 milisaniye) hareket artefaktlarını azaltmasıdır. Bu sayede çocuk ve bebeklerde de başarılı görüntüler elde edilebilmektedir. Ayrıca, sistem görüntü kalitesini anında değerlendirerek tekrar çekim ihtiyacı olup olmadığını da belirlemektedir. Ancak, maliyetinin yüksek olması, yaygın kullanılmaması, parlak, gölge veya saydam fasiyal yapıların kayıtlarında güçlük olması ve interaktif referans noktaların tespitinin güç olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Ek olarak, ölçümler ve karşıtırmalarda başarılı sonuç elde edebilmek için olabildiğince baş pozisyonu, projeksiyon ve stabilizasyonda standardizasyonu sağlamak gerekmektedir (2).

3D fotoğraflar, dental model, radyograf ve diğer fotoğraflar ile kolayca entegre olabilmektedir ve diş hareketi ile tedavi sonuçları simülasyonlarına olanak tanımaktadır (18,19). Ek olarak, tedavi öncesi, arası ve sonrası karşıtırmalarda da oldukça etkili sonuçlar elde etmek mümkündür.

4D fotoğraf ise, yumuşak doku hareketliliği, gerçek anatomik hareket ve yüz ifadesinin ölçülebilir bir şekilde anlaşılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir (20). Bu teknolojiyle 10 dakikaya kadar yüksek çözünürlüklü bir çekim döngüsünde görüntünün saniyede yaklaşık 60 kare hızında çekimi gerçekleştirilmektedir.

4D fasiyal görüntüleme ortodontik teşhis, cerrahi rekonstrüksiyonlar ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesinde faydalanılmaktadır. Özellikle, kraniyo-fasiyal bozuklukların değerlendirilmesinde oldukça faydalıdır. Ek olarak, sinirler ve ilişkili kasların tonusunu ve hareketlerini etkileyebilecek cerrahiler sırasında değerlendirme amacıyla bu tekniği kullanmak da mümkündür (20).

Günümüzde elde edilen tüm verilerin birleştirilmesinde sıklıkla yüzey-tabanlı kayıt metodu kullanılmaktadır (21). Bu metot, yinelemeli en yakın nokta (iterative closest point-ICP) algoritmasından faydalanarak KIBT'nin dentogingival bölümü ile tarama görüntüsünü eşleştirmektedir. Bu işlemi algoritma otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Ancak, dişler üzerinde metal braketler olmasından kaynaklanan KIBT artefaktları bu karşıtırma işlemi olumsuz etkileyebilmektedir. Benzer bir durum, fotoğraf görüntüsü ile karşıtırma yaparken de meydana

na gelebilmektedir. Yüzey tabanlı kayıt metodunun uygulanması sırasında çene ve baş hareketleri, hastanın pozisyonu ve stabilizasyonu, yumuşak doku ve kas görünümünde meydana gelen değişimler başarıyı etkilemektedir. Bunu önlemek amacıyla, fasiyal tarayıcı KIBT çekimi sırasında kullanılmak üzere KIBT cihazının önüne yerleştirilebilir (22) ya da entegre cihazlar aracılığıyla aynı anda ve tek cihaz ile kayıt alınması sağlanabilmektedir (23).

VERİLERİN ÜRETİMİ VE UYGULAMASI

Görüntülerin birleştirilmesi ve işlenmesinin ardından üretim aşaması ve bu ürünün uygulanmasına geçilmektedir. Bu amaçla çok sayıda cihaz kullanılmakla birlikte günümüzde ortodonti açısından da büyük fark yaratan ve en popüler olanlar CAD/CAM teknolojileri ile 1980'li yıllarda ortaya çıkan 3D yazıcılarıdır. İlk bölümde bahsi geçen teknolojiler aracılığıyla STL dosyası haline getirilen 3D görüntü, yazılım aracılığıyla istenilen şekilde tasarlanmakta ve üretilmektedir.

3D YAZICILAR

3D yazıcıların ilk prototipleri 1990'lı yıllarda ortaya çıkmıştır ve pek çok farklı bilim dalında kullanılmaya başlanmıştır. 3D yazıcılar aracılığıyla üretilmek istenen nesne, CAD teknolojisi ile dijital olarak tasarlandıktan sonra malzemenin tabaka tabaka ilavesi ile nihai şeklini almaktadır (24). Bu materyal üretilmek istenen nesneye göre plastik, kobalt, nikel, çelik, alüminyum, titanyum vb. olabilmektedir (25).

Dental model ağız içi tarama sayesinde doğrudan elde edilebilir veya alçı modelin ağız dışı tarama cihazıyla taranması ile dijitalize edilebilir. Ardından 1:1 ölçülerde dental model çıktısı elde edilebilir. 3D baskı modeli, daha ayrıntılı inceleme ve hasta iletişimi için kullanılabilmesi gibi hareketli veya sabit aparey üretiminde kullanılmak üzere de üretilmektedir. Aynı amaçla, şeffaf plak tedavilerinde de dental model üretimleri bu teknoloji ile gerçekleştirilmektedir. Tedavi planlamasına göre sayısı belirlenen her bir şeffaf plak için dental model basılmaktadır. Ancak her adım için ayrı ayrı basılan dental modeller, baskı malzemesi (reçine) açısından ciddi israf oluşturmaktadır (1).

3D yazıcıların farklı uygulama teknikleri bulunmaktadır (Şekil-3) ve ortodonti alanında dental model üretimi, aparey ve splint üretimi, kişiye özel braket ve ark teli üretimi için kullanılmakla birlikte, en sık şeffaf plak üretiminde kullanımı yaygınlaşmıştır (26). Bu sayede üretilen apareyler kusursuz uyum göstermekte ve hasta konforunu arttırmaktadır.



Şekil-3: Ortodonti alanında kullanılabilen bazı 3D yazıcı teknolojileri

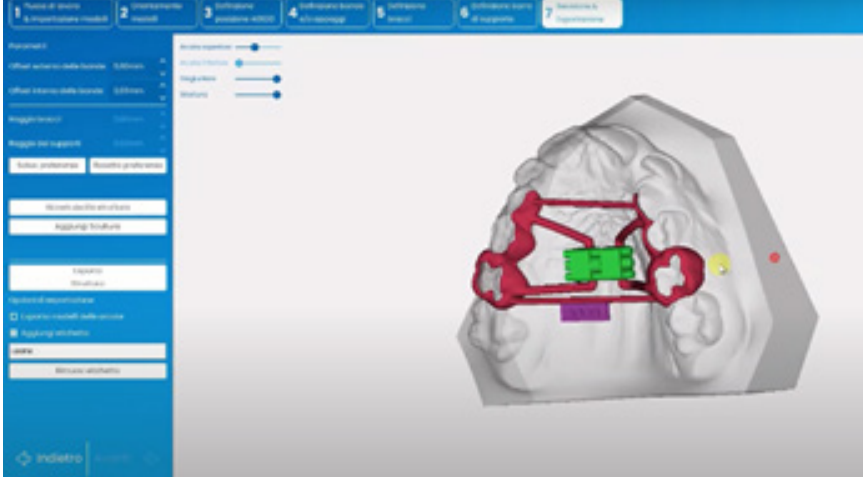
APAREY ÜRETİMİ

3D yazıcı teknolojisinin gelişmesi ile birlikte reçinelerin de çeşitliliği artmıştır. Günümüzde diş hekimliğinin farklı branşlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş farklı renk ve teknik özelliklerde reçineler bulunmaktadır. Ağız içerisinde kullanılmak üzere geliştirilen reçineler biyouyumlu özellikte üretilmektedir. Günümüzde, kişiye özel tasarlanabilen apareylerin her aşamasını dijital olarak planlamak mümkün hale gelmiştir (Şekil-4) (31).

Apareylerin metal kısımları için ise lazer eritme teknolojisi sayesinde kobalt-krom veya titanyum malzemeler kullanılmaktadır (27). Birden fazla metal parçanın birbirine tutunması gereken aparey tasarımlarında da lehimleme yerine doğrudan reçine model üzerinde uygulanan ve az ısı açığa çıkaran lazer kaynak tercih edilmektedir (27,28).

Fonksiyonel aparey yapımında konvansiyonel sistemde yer alan artikülör aşaması dahil olmak üzere tamamını dijitalize etmek mümkündür. Bu amaçla, dental arkların taramasından sonra okluzyon olması istenen pozisyona getirilerek tarama yapılmaktadır ve bu kapanış ilişkisine göre aparey üretimine geçilmektedir (29). Titanyum alaşımdan Herbst apareyi de dijital olarak üretilmektedir. Maliyeti daha yüksek olmakla birlikte konvansiyonel yöntemden daha hızlı ve başarılı sonuç alınmaktadır (30).

Mini vida destekli aparey tasarımlarında ise dijital sistemler büyük avantaj sağlamaktadır çünkü, bu sayede KIBT üzerinde değerlendirmeye birlikte mini vidalar için ideal bölgeler belirlenmekte ve apareyle birlikte rehber plak da üretilmektedir (29).



Şekil-4: Dijital aparey üretim yazılımı (Onay alınmıştır)

ŞEFFAF PLAK ÜRETİMİ

90'lı yılların sonuna doğru piyasaya sürülen şeffaf plak sistemlerinin çalışma mekanizması, dişle birbirine sıkıca tutunan plastik materyal aracılığıyla dişin her yönde hareketini sağlamaktır. Genel olarak itme kuvvetleri oluşturarak hareketi sağlayan plakların her biri yaklaşık olarak 0,25-0,35 mm diş hareketi oluşturmaktadır.

Planlamanın oluşturulabilmesi için ilk olarak dijital modellerin elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla ağız içi tarayıcıların kullanılması süreci oldukça hızlandırmaktadır. Kişiyeye özel olarak hazırlanan tedavi planının yazılım aracılığıyla henüz tedaviye başlamadan görülebilir olması hasta iletişimi açısından avantaj sağlamaktadır (32). Ancak, her zaman planlanan tedavi sonuçları ağız içerisine yansımamaktadır. Bu nedenle, şeffaf plak mekanikleri ve yardımcı elemanları çok kapsamlı şekilde düşünmek gereklidir. Tedavi maliyetinin yüksek olması ve tedavi sırasında kontrolün hekimden ziyade hastada olması ise diğer dezavantajları olarak belirtilmektedir (32).

KİŞİYE ÖZEL BRAKET ÜRETİMİ VE İNDİREKT BRAKETLEME

Geleneksel metotta braketler dişlerin labial yüzeylerine doğrudan uygulanmaktadır ve bu sırada izolasyon ve braket konumlandırma ile ilgili güçlükler yaşanmaktadır. Günümüzde ise kişiye özel braketler hem labial hem de lingual braket olarak üretilmektedir.

Kişiye özel braket üretimi, dijital model eldesi ile başlamaktadır. Ardından şeffaf plak tedavileri ile benzer şekilde dijital set-up uygulanmaktadır. Bu set-up sırasında slot içermeyen braketler kullanılmaktadır. Hekim onayı sonrasında ise istenen diş hareketine uygun slot özelliğinde braketler sanal olarak yerleştirilmektedir (33,34).

Yazılımlar aracılığıyla dişler tek tek belirlendikten sonra otomatik olarak braket kütüphanesinden tercih edilen braketler diş yüzeylerine yerleştirilmektedir. İhtiyaç halinde hekim istediği düzenlemeleri de yapabilmektedir (29). Hatta günümüzde ark teli uygulama simülasyonu yapabilen yazılımlar da bulunmaktadır, bu sayede ileride tespit edilebilecek hatalar çok daha önceden tespit edilip, düzeltilmektedir (1).

Lingual braket üretiminde dijital olarak dişlerin lingual yüzey anatomisine göre 3D mum örnek oluşturulmakta ardından altın alaşımdan döküm yapılmaktadır. Bu sayede, dişlerle kusursuz temasta bulunan, okluzal kapanışı etkilemeden ve dili minimum seviyede rahatsız eden lingual braketler elde edilmektedir (35).

İndirekt braketleme, klinik uygulama süresini kısaltmakla birlikte ortodontiste ek malzeme ihtiyacıyla birlikte maliyet ve çok sayıda laboratuvar aşaması getirmektedir. Dijital teknolojilerin gelişimi ile birlikte ise bu dezavantajlar ortadan kalkmaktadır. Hem ağız içi tarama görüntüleri hem de KIBT görüntülerinden yazılım aracılığıyla tüm indirekt braketleme sürecini yönetmek mümkün olmaktadır. KIBT görüntüleri kök paralellenmesinin de hassasiyetle incelenmesine imkân sağlamakla birlikte radyasyon oluşturması nedeniyle bu alandaki endikasyonu sınırlıdır (36).

Braket pozisyonlandırmasının ardından baskı aşamasına geçilmektedir. Hazır model elde edildikten sonra ise braket aktarma kaşığı olarak adlandırılan transfer aparatı üretilmektedir. Bu aparatın içi transparan veya non-transparan polivinil siloksan materyalden, dışı ise vakumla şekillendirilen termoplastik materyalden üretilmektedir. Bu sayede kolaylıkla braketlerden ayrılarak, braketlerin ağız içerisine aktarımı sağlanmaktadır (29). 3D yazıcılarda üretim amacıyla kullanılan reçine teknolojisindeki gelişmeler sayesinde günümüzde doğrudan braket taşıma kaşığını basmak da mümkün hale gelmiştir. Bu sayede hem üretim süresi hem de maliyeti azalmaktadır (1).

DİJİTAL ORTODONTİK ARK TELİ BÜKÜMÜ

Günümüzde düz tel tekniği tercih edilmekle birlikte ortodontik tedavinin farklı aşamalarında büküm yapmaya da ihtiyaç duyulmaktadır. CAD/CAM teknolojisi istenen aşamada tarama verilerinin elde edilmesi ile kişiye özel ark teli bükümünü de mümkün kılmaktadır.

3D görüntülerden faydalanılmasının bir avantajı kökleri ve hareket ihtiyacını da tespit ederek hazırlık yapma imkânı olması ve fotoğraf çakıştırması ile ideal bir gülümseme estetiği sağlanabilir olmasıdır (5).

3D sistemlerde konvansiyonel braket pozisyonlandırmanın yarattığı dezavantajları elimine eden bir sistem kullanılmaktadır. Ek olarak, diş anatomisinin de tedavi üzerine etkisi elimine edilmiş olmaktadır. Genellikle, tedavi sonuna doğru tercih edilen bu sistemde final set-up uygulaması yapılmakta ve istenen sonuç doğrultusunda tel bükücü robotlar kişiye özel ark teli hazırlamaktadır. Bu sayede, bitim safhasında çok daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir (30). Bu amaçla kullanılan ark teli bükme robotu; bükme pozisyonu, ark telinin optimizasyon açısını, kinematik özellikleri ve eğilme özelliklerini analiz ederek teli uygun şekilde bükülebilmektedir (37).

Lingual ortodonti uygulamalarında da kişiye özel braketlerle birlikte ark telleri de kişiye özel olarak hazırlanmaktadır. Braketlerin taban yüzeyi, kişinin dişlerinin lingual yüzey anatomisine uygun şekilde üretilirken, braket slotları da dijital olarak taban üzerine yerleştirilmektedir. Son aşamada ise bu slotlara yerleşecek şekilde ve farklı kalınlıklarda ark tellerinin üretimi gerçekleştirilmektedir. İhtiyaç halinde ara kayıt iletimi ile yeni ark teli veya farklı kalınlıklarda ark teli talebinde bulunmak da mümkün olmaktadır.

DİJİTAL RETAINER BÜKÜMÜ

Ortodontik tedavi sonrasında stabilizasyonu sağlamak amacıyla hareketli veya sabit retansiyon aparatı uygulaması yapılmaktadır. Estetik olması, hasta konforunun yüksek olması ve uyum gerektirmemesi gibi sebeplerle anterior dişlerin lingual yüzeylerine sabit retainer teli uygulaması sıklıkla tercih edilmektedir.

CAD/CAM teknolojisiyle üretimi yapılabilen retainer teli okluzal temaslardan etkilenmeyecek şekilde planlandığından kırılma riski de oldukça azalmaktadır. Kesici diş ilişkisinin ve anatomisinin uygulamayı zorlaştırdığı durumlarda dahi bu sayede başarılı sonuç elde etmek mümkündür (30). Ek olarak, henüz tedavi bitmeden ağız içi tarama kayıtlarının alınması ve üretime başlanması, ortodontik tedavinin sonlandırıldığı gün retainer telinin de hazır olmasını sağlamakta, işlem süresini kısaltmaktadır (38).

Kişiye özel üretim retainer tellerinde şekil hafızalı alaşımlar tercih edilmektedir. Bu sayede, fizyolojik diş hareketlerine izin veren çok daha ince bir telin, dişlere maksimum teması sağlanmaktadır (1). Tamamen pasif halde hazırlanmış telin, relaps yaratabilecek bir kuvvet oluşturmasının da önüne geçilmektedir.

Kişiye özel üretilen ortodontik apareyler, tedavi planlamasının doğruluğunu, tutarlılığını, verimliliğini ve öngörülebilirliğini arttırmaktadır. Tedavi sürecinin hızlanmasına, dijital eğitimin ve hasta etkileşiminin artmasına katkı sağlamaktadır (30). Bu yönleriyle ortodontistler arasında da tercih edilirlikleri her geçen gün artmaktadır.

VERİLERİN TAKİP SİSTEMLERİ

Ortodonti kliniklerinin klinik ve laboratuvar aşamalarında dijitalleşmesini veri ve/veya hasta takip sistemlerinin dijitalleşmesi izlemektedir. Özellikle hastalarla iletişime büyük katkı sağlayan bu sistemler, çok hekimli veya çok klinikli işletmeler için de iletişim ve takip yönünden büyük avantaj oluşturmaktadır.

Kliniğe entegre edilen dijital sistemlerin tüm verileri içinde barındırabilen yazılımları sayesinde, tüm kayıtlar bir bütün halinde saklanabilmektedir. Ayrıca, hasta kayıtlarının fiziki dosyalar yerine bulut sistemlerinde taşınması her daim ulaşılabilirliği de sağlamaktadır. Ancak, dijital sistemlerin güvenliğine önem vermek gerekliliği de unutulmamalı, her daim siber saldırılara hazırlıklı olunmalıdır.

ORTODONTİ APLİKASYONLARI

2019 yılında yapılan bir araştırmaya göre, iOS ve Android platformlarında toplamda 354 adet ortodonti uygulaması bulunmaktadır. Hem ücretli hem de ücretsiz olabilen bu uygulamalar; hasta eğitimi, hasta takibi ve teşhise katkı amaçlı olarak geliştirildikleri görülmektedir (1,39).

Uygulamalar aracılığıyla hasta ile ilişkili konularla birlikte hekimle ilişkili konular da ele alınmıştır. Sefalometrik ve model analizi uygulamaları, dergi ve makale uygulamaları, eğitime ve tanı koyma sürecine katkı sağlayan uygulamalar, hasta hatırlatma uygulamaları ve fotoğraf uygulamaları gibi çok sayıda alternatif uygulama kullanıma sunulmuştur.

TELE-ORTODONTİ

Tele-Ortodonti, telekomünikasyon sistemleri aracılığıyla uzaktan ortodontik konsültasyon, öneri veya tedavi sürecini yönetmeyi tarif etmektedir. Kliniğinden uzakta ikamet eden, fiziki engellilik durumu olan, iş programı yoğun olan veya farklı sebeplerle kliniğe gelmekte güçlük çeken hastalarda avantaj sağlamaktadır.

Tele-Ortodonti hastaya zaman ve maliyet yönünden avantaj sağlarken, klinik için de ünit kullanım yoğunluğu azaltılmış olmaktadır (40).

Uzaktan iletişim, her iki taraf açısından da oldukça pratik olmakla birlikte, elbette dezavantajları da bulunmaktadır. Hasta-hekim mahremiyetinin ihlal edilme riski, yeteri kadar iletişim sağlayamama ve bu sebeple hasta-hekim güveninin sarsılması ile tedavi prognozunun olumlu ilerlememesi muhtemel dezavantajlardır (1).

Günümüzde hem Tele-Ortodonti yönünden faydalanılabilecek hem de diş hareketlerini takip edebilen uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamalar, hasta ve hekim için ayrı ayrı tasarlanmıştır ve tedavinin ilerleyişi de algoritma sayesinde izlenebilmektedir. Her yönüyle tam bir takip sistemi sunmaktadır (39).

SONUÇ

2019 yılında ortaya çıkan COVID-19 pandemisi ile klinik işleyişleri de farklı bir yapı kazanmıştır. Geçmişte daha uzak olduğumuz dijital teknolojiler, uygulamalar ve Tele-Ortodonti kavramları sıkça kullanılan hizmetler haline gelmiştir. Her geçen gün verinin elde edilmesinden takip sistemlerine kadar, ortodonti kliniğinde işleyişe dahil olan tüm basamaklarda teknoloji ilerlemekte, kolaylaşmakta ve ulaşılabilir olmaktadır. Bununla birlikte maliyetleri de azalmaktadır. Bu sayede de tamamen dijitalleşmiş, uygulama basamaklarını minimize etmiş ve hasta bakım süreçlerinde daha az yorulan ve daha başarılı sonuçlar alan kliniklerin sayısı artmaktadır. Bu tip dijital kliniklerin en büyük avantajlarından biri de tedavi süresini kısaltarak, hastayla hekim arasında kaliteli iletişime daha çok vakit ayrılabilmesidir.

Öyle görülmekte ki ilerleyen yıllarda robotik uygulamalar, yapay zekâ ve bilişim teknolojileri hızla gelişmeye devam ettikçe ortodontistler, sistemleri kontrol eden birer operatör rolünü üstlenecektir.

KAYNAKLAR

1. Dalbah L. Digital Orthodontics. In: Jain P, Gupta M (ed.) *Digitization in Dentistry: Clinical Applications*. Berlin: Springer; 2021. p. 189-221.
2. Taneva E, Kusnoto B, Evans CA. 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. In: Bourzgui F (ed.) *Issues in Contemporary Orthodontics*. London: IntechOpen; 2015. p. 147-188. doi: 10.5772/60010
3. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, et al. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European Radiology*. 1998;8(9): 1558-1564.
4. Ghoneima A, Allam E, Kula K, et al. Three-dimensional imaging and software advances in orthodontics. In: Bourzgui F (ed.) *Orthodontics-Basic Aspects and Clinical Considerations*. London: IntechOpen; 2012. p. 177-194.
5. Tarraf NE, Darendeliler MA. Present and the future of digital orthodontics. *Seminars in Ortho-*

dontics. 2018;24(4): 376-385.

6. Jacobs R, Quirynen M. Dental cone beam computed tomography: justification for use in planning oral implant placement. *Periodontology* 2000. 2014;66(1): 203–213.
7. Shujaat S, Bornstein MM, Price JB, et al. Integration of imaging modalities in digital dental workflows-possibilities, limitations, and potential future developments. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2021;50(7): 20210268. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210268>
8. Gaêta-Araujo H, Alzoubi T, Vasconcelos KdeF, et al. Cone beam computed tomography in dentomaxillofacial radiology: a two-decade overview. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2020;49: 20200145. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200145>
9. Jacobs R, Salmon B, Codari M, et al. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health*. 2018;18(88). <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0523-5>
10. Hung K, Montalvao C, Tanaka R, et al. The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48: 20190107. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190107>
11. Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM, et al. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48: 20180051. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180051>
12. Lahoud P, EzEldeen M, Beznik T, et al. Artificial intelligence for fast and accurate 3-dimensional tooth segmentation on cone-beam computed tomography. *Journal of Endodontics*. 2021;47: 827-835. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.12.020>
13. Akyalcin S, Cozad BE, English JD, et al. Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;144(6): 916-922. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.024>
14. Kravitz ND, Groth C, Jones PE, et al. Intraoral digital scanners. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2014;48(6): 337-347.
15. Lee RJ, Pham J, Choy M, et al. Monitoring of typodont root movement via crown superimposition of single cone-beam computed tomography and consecutive intraoral scans. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;145: 399-409. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.12.011>
16. Canova FF, Oliva G, Beretta M, et al. Digital (R)Evolution: Open-Source Softwares for Orthodontics. *Applied Sciences*. 2021;11(13): 6033. <https://doi.org/10.3390/app11136033>
17. Zhurov A, Richmond S, Kau CH, et al. Averaging Facial Images. In: Kau C, Richmond S (ed.) *Three-Dimensional Imaging for Orthodontics and Maxillofacial Surgery*. United Kingdom: Wiley Blackwell; 2010.
18. Hajeer MY, Millett DT, Ayoub AF, et al. Applications of 3D imaging in orthodontics: part I. *Journal of Orthodontics*. 2004;31(1): 62-70.
19. Rosati R, De Menezes M, Rossetti A, et al. Digital dental cast placement in 3-dimensional, full-face reconstruction: a technical evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010;138(1): 84-88.
20. Shujaat S, Khambay BS, Ju X, et al. The clinical application of three-dimensional motion capture (4D): a novel approach to quantify the dynamics of facial animations. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2014;43(7): 907-916.
21. Jung K, Jung S, Hwang I, et al. Registration of Dental Tomographic Volume Data and Scan Surface Data Using Dynamic Segmentation. *Applied Sciences*. 2018;8(10): 1762. <https://doi.org/10.3390/app8101762>
22. Naudi KB, Benramadan R, Brocklebank L, et al. The virtual human face: superimposing the simultaneously captured 3D photorealistic skin surface of the face on the untextured skin image of the CBCT scan. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013;42: 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2012.10.032>
23. Rasteau S, Sigaux N, Louvrier A, et al. Three-dimensional acquisition technologies for facial soft tissues - Applications and prospects in orthognathic surgery. *Journal of Stomatology oral*

- and Maxillofacial Surgery. 2020;121: 721–728. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2020.05.013>
24. Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*. 2016;32(1): 54–64. doi:10.1016/j.dental.2015.09.018
 25. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*. 2012;55.2: 155–162.
 26. Groth C, Kravitz ND, Jones PE, et al. Three-dimensional printing technology. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2014;48(8): 475–485.
 27. Graf S. Clinical guidelines for direct printed metal orthodontic appliances. *Seminars in Orthodontics*. 2018;24(4): 461–469. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2018.10.010>
 28. Groth C, Kravitz ND, Shirck JM. Incorporating three-dimensional printing in orthodontics. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2018;52(1): 28–33.
 29. Christensen LR. Digital workflows in orthodontics. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2018;52(1): 34–44.
 30. Nathasha MM, Chakravarthi NCS, Srinivasan D, et al. Orthodontics in the era of digital innovation – a review. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*. 2021;10(28): 2114–2121 doi: 10.14260/jemds/2021/432.
 31. Leone. Leone 3D designer software. (14.02.2022 tarihinde https://www.leone.it/english/3d-software/index_n3.php adresinden ulaşılmıştır).
 32. Melkos AB. Advances in digital technology and orthodontics: a reference to the Invisalign method. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2005;11(5): PI39–42.
 33. Gracco A, Tracey S. The insignia system of customized orthodontics. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2011;45(8):442–451.
 34. Nguyen T, Jackson T. 3D technologies for precision in orthodontics. *Seminars in Orthodontics*. 2018;24(4): 386–392.
 35. Wiechmann D, Rummel V, Thalheim A, et al. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003;124(5): 593–599.
 36. El-Timamy AM, El-Sharaby FA, Eid FH, et al. Three dimensional imaging for indirect-direct bonding. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016;149(6): 928–931.
 37. Kumar P. Future advances in robotic dentistry. *Journal of Dental Health, Oral Disorders & Therapy*. 2017;7(3): 278–280. <https://doi.org/10.15406/jdhodt.2017.07.00241>
 38. Wolf M, Schumacher P, Jäger F, et al. Novel lingual retainer created using CAD/CAM technology: evaluation of its positioning accuracy. *Journal of Orofacial Orthopedics*. 2015;76(2): 164–174.
 39. Phatak SM, Daokar SS. Orthodontic apps: A stairway to the future. *International Journal of Orthodontic Rehabilitation*. 2019;10: 75–81.
 40. Hansa I, Semaan SJ, Vaid NR, et al. Remote monitoring and “tele-orthodontics”: concept, scope and applications. *Seminars in Orthodontics*. 2018;24(4): 470–481. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2018.10.011>