ORTODONTİDE KLİNİK VE DİJİTAL PERSPEKTİFLER

Editör:
DEMET SÜER TÜMEN



BİDGE Yayınları

BİDGE Yayınları

Ortodontide Klinik ve Dijital Perspektifler

Editör: DEMET SÜER TÜMEN

ISBN: 978-625-5057-62-4

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-10-25
BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374
Yayın hakları © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

İÇİNDEKİLER

ORTODONTİDE ÜST HAVA YOLUNUN ÜÇ BOYUTLU DEĞERLENDİRİLMESİ VE ORTODONTİK TEDAVİYLE İLİŞKİSİ 1

ASAD SHAMASNA, BURÇİN AKAN

ORTODONTİ ALANINDA ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİNİN KULLANIMI: SERT VE YUMUŞAK DOKU GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ ... 17

ASAD SHAMASNA, BURÇİN AKAN

SINIF II MALOKLÜZYON TEDAVİSİNDE SABİT FONKSİYONEL APAREYLER 62

ÖZLEM SU KAYA, ZEHRA İLERİ

BÖLÜM 1

ORTODONTİDE ÜST HAVA YOLUNUN ÜÇ BOYUTLU DEĞERLENDİRİLMESİ VE ORTODONTİK TEDAVİYLE İLİŞKİSİ

ASAD SHAMASNA[1]
BURÇİN AKAN[2]

Giriş

Bu bölümde üst hava yolu terimi, nazal kavite ile faringeal hava yolunu kapsayan genel bir terim olarak kullanılmaktadır. Faringeal hava yolu ise bunun nazofarinks, orofarinks ve hipofarinksten oluşan bölümünü ifade etmektedir. Ortodonti alanında üst hava yoluna yönelik ilgi, kraniyofasiyal büyüme ve gelişim ile solunum paterni arasındaki uzun süredir bilinen yakın ilişkiye dayanmaktadır. Özellikle büyüme ve gelişim döneminde, nazal solunumun engellenmesi ve ağız solunumunun alışkanlık hâline gelmesi; baş ve dil postürünü, çenelerin büyüme ve gelişim yönünü ve buna bağlı olarak kraniyofasiyal morfolojiyi etkileyebilmektedir. Adenoidektomi sonrasında solunum biçimindeki değişime eşlik eden diş arkı ve dentoalveoler değişiklikler bildirilmiştir (Linder-Aronson, 1974). Bu bulgular,

[1] Uzm. Dt., Özel Klinik, İzmir. ORCID: 0009-0000-1542-6416
[2] Doç. Dr., İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı. ORCID: 0000-0001-7487-3769

solunum biçimi ile dentofasiyal gelişimin ilişkili olabileceğini düşündürmekle birlikte, her bireyde aynı iskeletsel paternin oluşacağını veya ilişkinin tek yönlü olduğunu göstermez. Bu nedenle, üst hava yolunun değerlendirilmesi, ortodontik tanı ve tedavi planlaması sürecinde dikkate alınması gereken önemli unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Baş postürü, üst hava yolu açıklığı ve kraniyofasiyal morfoloji arasında çeşitli ilişkiler olduğu bildirilmiştir. Özellikle üst hava yolu açıklığının azaldığı bireylerde, başın gövdeye göre daha fazla ekstansiyonda konumlandırılmasının, hava yolu açıklığının korunmasına yönelik adaptif bir yanıt olabileceği öne sürülmüştür (Solow et al., 1984). Hyoid kemiğinin konumu ise dil ve çevresindeki kas yapılarıyla olan anatomik ve fonksiyonel bağlantıları nedeniyle baş postürü ve kraniyofasiyal morfoloji ile ilişkili olarak değerlendirilmektedir (Tallgren & Solow, 1987). Bununla birlikte, söz konusu gözlemsel ilişkiler doğrudan bir nedensellik ortaya koymamakta olup bu ilişkilerin yorumlanmasında bireysel anatomik ve fonksiyonel farklılıkların yanı sıra yapılar arasındaki karşılıklı adaptasyon mekanizmalarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Üst hava yolu, uzun yıllar boyunca iki boyutlu lateral sefalometrik radyografiler üzerinde gerçekleştirilen doğrusal ölçümler aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, üst hava yolunun kesitsel boyutları anatomik bölgeler arasında farklılık gösteren, üç boyutlu ve asimetrik bir yapı olması nedeniyle, iki boyutlu görüntüleme yöntemleriyle gerçek hacminin ve minimum kesit alanının doğrudan belirlenmesi mümkün değildir. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) kullanıma girmesiyle birlikte, üst hava yolunun farklı anatomik bölgelerinin hacimsel olarak değerlendirilmesi ve minimum kesit alanının belirlenmesi mümkün hâle gelmiştir (Aboudara et al., 2009; Savoldi et al., 2024). Bu bölümde, üst hava yolunun üç boyutlu değerlendirilmesi; anatomik

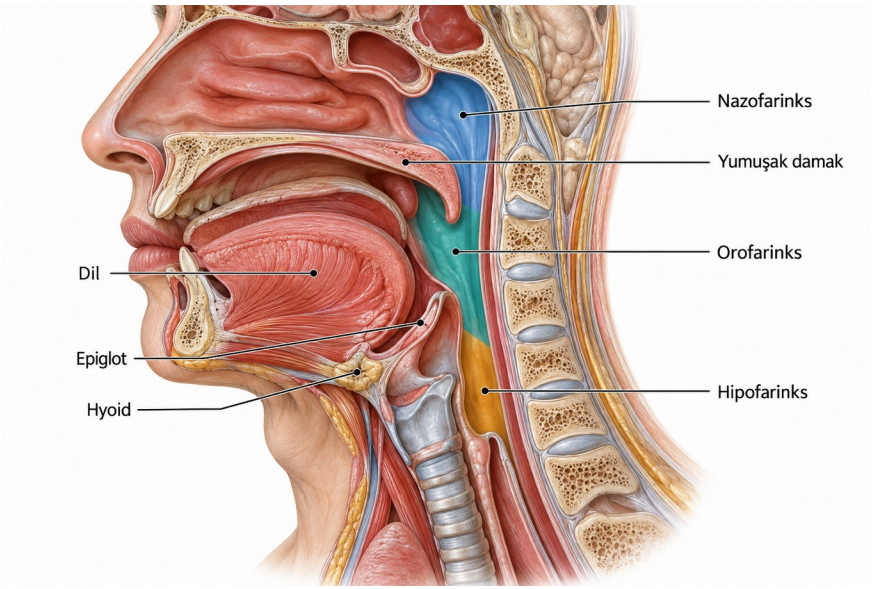
bölümleri, görüntüleme ve ölçüm yöntemleri, kraniyofasiyal iskeletsel paternlerle ilişkisi, ortodontik ve cerrahi tedavilerin üst hava yolu üzerindeki etkileri ve obstrüktif uyku apnesi (OUA) ile ilişkisi çerçevesinde ele alınacaktır. Üst hava yolunun anatomik bölümleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Üst Hava Yolunun Bölümleri ve Ölçüm Parametreleri

Faringeal hava yolu, kafa tabanından krikoid kıkırdağın alt sınırına kadar uzanan farinks lümenini kapsamaktadır. Bu bölümde bölgesel tanımlama için nazofarinks, nazal kavitenin posteriorunda kafa tabanı ile yumuşak damak arasında; orofarinks, yumuşak damak ile epiglotun üst kenarı arasında; hipofarinks ise epiglotun üst kenarından krikoid kıkırdağın alt sınırına kadar, larinksin posteriorunda uzanan bölüm olarak ele alınmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu anatomik sınıflandırma, KIBT çalışmalarında kullanılan ölçüm sınırlarıyla her zaman tam olarak örtüşmemektedir. Bu nedenle, ölçümlerin tekrarlanabilirliğinin sağlanması ve farklı çalışmalar arasında karşılaştırma yapılabilmesi açısından, analizlerde kullanılan anatomik referans noktalarının ve düzlemlerinin açıkça tanımlanması önem taşımaktadır (Guijarro-Martínez & Swennen, 2011). Üst hava yolunun üç boyutlu değerlendirilmesinde kullanılan temel parametreler, toplam ve bölgesel hava yolu hacimleri (mm^3) ile minimum aksiyel kesit alanıdır (mm^2). Minimum kesit alanı, tanımlanan ölçüm bölgesindeki ardışık aksiyel kesitlerin lümen alanları karşılaştırılarak elde edilen en küçük alanı ifade etmektedir. Bu değer seçilen anatomik sınırlara ve kesit yönelimine bağlıdır; üç boyutlu modelin dış görünüşünde dar görünen bir noktanın seçilmesiyle belirlenmemektedir. Hacimsel ölçümler hava yolunun genel boyutları hakkında bilgi sağlarken, minimum kesit alanı bölgesel daralmaların belirlenmesine olanak tanımaktadır. Ancak bu parametrelerin hiçbiri tek başına hava akımının dinamik özelliklerini

veya uyku sırasında meydana gelebilecek hava yolu kollapsını doğrudan değerlendirmemektedir (Şekil 1 ve 2).

Şekil 1. Üst hava yolunun bölümleri



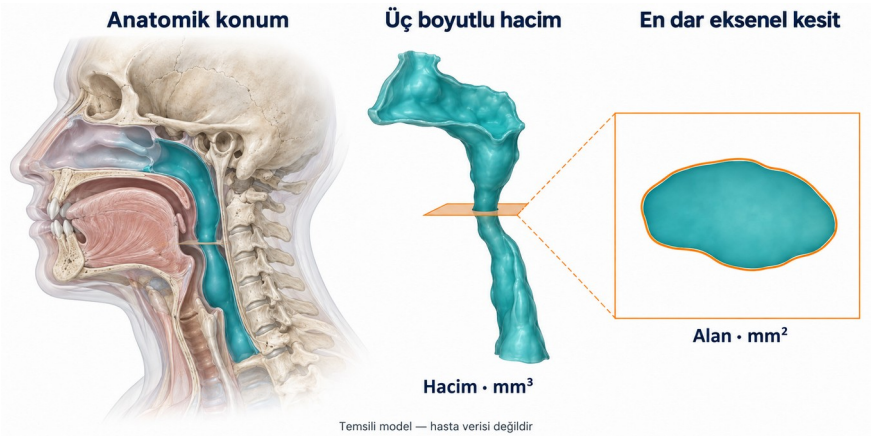
Kaynak: Bu bölüm için özgün hazırlanmış yapay zekâ destekli tıbbi illüstrasyon; gerçek hasta görüntüsü değildir. Renkli alanlar temsili bölgesel ayrımı gösterir; ölçüm sınırları kullanılan protokole göre tanımlanmalıdır.

Görüntüleme, Ölçüm Yöntemleri ve Güvenilirlik

Üst hava yolunun hacimsel değerlendirilmesi, KIBT verilerinin segmentasyonu yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu süreçte, havayı çevre dokulardan ayırt etmek için uygun eşik değerleri belirlenmektedir. Hava yolu boşluğu çevre dokulardan ayrıştırılarak üç boyutlu olarak modellenmekte; ardından hacim ve kesit alanları hesaplanmaktadır. Bununla birlikte, segmentasyon sırasında kullanılan eşik değerleri, analiz yazılımı ve belirlenen anatomik sınırlar, ölçüm sonuçlarını etkileyebilen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, ölçümlerin güvenilirliğinin ve doğruluğunun birbirinden ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Bir ölçüm yönteminin tekrarlanan uygulamalarda benzer sonuçlar

vermesi, söz konusu yöntemin gerçek değere yakın ölçümler sağladığını tek başına göstermemektedir. Üç ticari DICOM görüntüleyicisini karşılaştıran bir çalışmada, hava yolu hacim ölçümleri yüksek tekrarlanabilirlik göstermiş; buna karşın referans segmentasyon yöntemiyle ve yazılımlar arasında sistematik farklılıklar saptanmıştır (El & Palomo, 2010). Bu nedenle, üst hava yolunun üç boyutlu analizlerinde kullanılan yöntemlerin geçerliliğinin değerlendirilmesi ve segmentasyon parametreleri ile anatomik sınırların açıkça tanımlanması önem taşımaktadır. Hacimsel ölçümler ile kesit alanı ölçümleri arasındaki temel farklılıklar Şekil 2'de özetlenmiştir.

Şekil 2. Hacim ve minimum kesit alanı



Kaynak: Bu bölüm için özgün hazırlanmış yapay zekâ destekli tıbbi illüstrasyon; gerçek hasta görüntüsü değildir. Turuncu düzlem, tanımlanan bölgedeki ardışık aksiyel kesitler arasında en küçük lümen alanına sahip seviyeyi temsili olarak gösterir; bu nedenle minimum kesit olarak adlandırılmıştır. Sağda aynı kesit büyütülmüştür. Gerçek bir KIBT veri setinden hesaplanmış minimum alan veya hasta ölçümü içermez.

Üst hava yolunun hacimsel ölçümlerinin güvenilirliğini etkileyen başlıca faktörler arasında, görüntüleme sırasında ortaya çıkan fizyolojik ve pozisyonel değişkenler yer almaktadır. Doğal baş pozisyonundan sapma, görüntülerin inspirasyon veya ekspirasyon

fazında elde edilmesi ve dil ile yumuşak damağın görüntüleme sırasındaki konumları, ölçülen hava yolu hacminde belirgin farklılıklara neden olabilmektedir. Bununla birlikte, KIBT'nin statik görüntüler sağlaması nedeniyle, uyku sırasında meydana gelen dinamik hava yolu daralmalarının bu yöntemle doğrudan değerlendirilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla, statik koşullarda elde edilen hacimsel ölçümler, solunum fonksiyonunun dinamik değerlendirmesinin yerini tutmamaktadır. Görüntüleme sürecindeki fizyolojik ve pozisyonel değişkenlerin yeterince standardize edilmemesi, farklı çalışmaların bulgularının karşılaştırılabilirliğini sınırlayan önemli metodolojik sorunlardan biridir. Nitekim, üç boyutlu hava yolu analizlerinde kullanılan yöntemleri inceleyen çalışmalar, görüntüleme protokollerinin, segmentasyon yöntemlerinin ve anatomik sınırların standartlaştırılmasının önemini vurgulamaktadır (Guijarro-Martínez & Swennen, 2011). Üç boyutlu hava yolu değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken temel standardizasyon parametreleri Şekil 3'te özetlenmiştir.

Şekil 3. Üç boyutlu ölçümde standardizasyon koşulları



Kaynak: Bu bölüm için özgün hazırlanmış şema. Aynı analiz yöntemi, fizyolojik ve pozisyonel farklılıkları tek başına ortadan kaldırmaz.

Üst Hava Yolu ve İskeletsel Patern

Üst hava yolu boyutları ile kraniyofasiyal morfoloji arasında çeşitli ilişkiler bulunduğu bildirilmekle birlikte, bireyler arasındaki anatomik ve morfolojik farklılıklar nedeniyle iskeletsel paternin tek

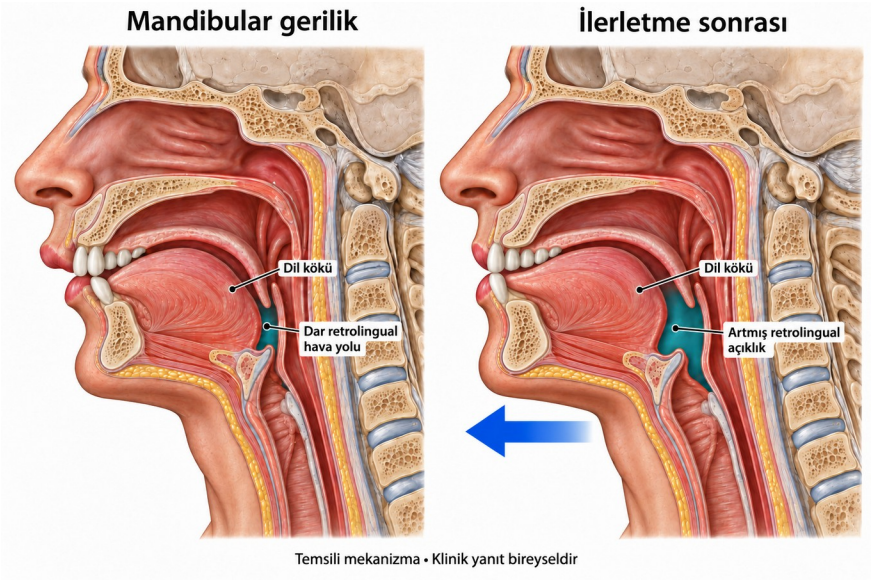
başına hava yolu hacmini açıklamak için yeterli olmadığı belirtilmektedir (El & Palomo, 2011; Grauer et al., 2009). Hyoid kemiği, dil ve çevresindeki kas yapılarıyla olan anatomik ve fonksiyonel bağlantıları nedeniyle, üst hava yolu ile kraniyofasiyal morfoloji arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde önemli bir anatomik yapı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, hyoid kemiğinin konumu baş postürüyle birlikte değerlendirilmeli ve belirli bir kraniyofasiyal büyüme paterninin doğrudan üst hava yolu daralmasına neden olduğu varsayımından kaçınılmalıdır (Tallgren & Solow, 1987).

Ortodontik ve Ortopedik Tedavinin Üst Hava Yoluna Etkisi

Hızlı üst çene genişletmesi, maksiller transversal darlığı bulunan büyüme ve gelişim dönemindeki bireylerde nazal taban genişliğinin artırılmasına katkı sağlayarak üst hava yolu boyutları ve nazal solunum fonksiyonu üzerinde olumlu etkiler oluşturabilmektedir. Bununla birlikte, anatomik düzeyde elde edilen genişlemenin, obstrüktif uyku apnesinin klinik olarak düzeldiği anlamına gelmediği göz önünde bulundurulmalıdır. Bir şemsiye derlemede, pediatrik uyku apnesinde hızlı üst çene genişletmesinin etkinliğine ilişkin kanıtın sınırlı ve tutarsız olduğu vurgulanmıştır (Barbosa et al., 2023). Daha yeni bir meta-analizde uyku parametrelerinde olumlu değişiklikler bildirilmekle birlikte, çalışmalar arasındaki heterojenlik ve metodolojik sınırlılıklar nedeniyle bu bulgular dikkatle yorumlanmalıdır (Yu et al., 2026). Mandibulanın öne konumlandırılmasına ilişkin bulgular ise hasta grubuna ve ölçüm yöntemine göre yorumlanmalıdır. OUA hastalarında mandibulanın öne konumlandırılmasını değerlendiren iki boyutlu radyografik bir çalışmada, orofaringeal açıklığın bazı doğrusal ölçümlerinde artış bildirilmiştir (Battagel et al., 1999). Bununla birlikte bu bulgular, çocuklarda büyüme döneminde uygulanan fonksiyonel ortopedik tedavinin uzun dönem etkisine veya üç boyutlu hacim artışına kanıt olarak yorumlanmamalıdır.

Mandibular gerilikle birlikte hava yolu daralması görülen temsili bir örnek ve ilerletmeyle açıklığın artabileceği durum Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4. Mandibular ilerletmenin olası mekanizması



Kaynak: Bu bölüm için özgün hazırlanmış yapay zekâ destekli tıbbi illüstrasyon; gerçek hasta görüntüsü değildir. Sol panel, mandibular gerilikle birlikte dil kökü arkasındaki hava yolunun dar olduğu temsili bir örneği; sağ panel, mandibulanın öne alınmasıyla bu açıklığın artabileceği durumu gösterir. Mavi ok ilerletme yönünü belirtir. Mandibular gerilik her bireyde hava yolu tıkanıklığı oluşturmaz; görsel gerçek hasta verisi veya tedavi başarısı göstergesi değildir.

Ortognatik Cerrahi ve Üst Hava Yolu

Çenelerin ortognatik cerrahi ile yeniden konumlandırılması, faringeal hava yolunun anatomik boyutları ve morfolojisi üzerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Mandibular geri alma cerrahisi, dil ve ilişkili yumuşak dokuların posterior yönde yer değiştirmesine bağlı olarak faringeal hava yolu boyutlarında azalmaya yol açabilmektedir. Bununla birlikte, cerrahi tedaviye maksiller ilerletmenin eşlik etmesi, hava yolunun farklı anatomik bölgelerinde

meydana gelen değişiklikleri etkileyebilmektedir. Ancak yalnızca anatomik daralma saptanmasından obstrüktif uyku apnesi geliştiği sonucu çıkarılamaz. Nitekim, 2024 yılında yayımlanan bir meta-analizde, genç ve sistemik açıdan sağlıklı Sınıf III maloklüzyona sahip bireylerde, ortognatik cerrahi sonrasında kısa dönem uyku parametrelerinde grup düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir kötüleşme saptanmamıştır. Bununla birlikte, büyük miktarda mandibular geri alma uygulanan bazı olgularda postoperatif dönemde obstrüktif uyku apnesi geliştiği bildirilmiştir (Honglertnapakul et al., 2024). Bu nedenle, ortognatik cerrahi planlamasında çenelerin hareket yönü ve miktarının yanı sıra hastaya özgü anatomik özelliklerin ve solunumla ilişkili risk faktörlerinin de kapsamlı biçimde değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Ortognatik cerrahi sonrasında elde edilen anatomik değişikliklerin uzun dönem stabilitesi, tedavi sonuçlarının değerlendirilmesinde önemli bir kriter olarak kabul edilmektedir. Saat yönünün tersine rotasyonla birlikte maksillomandibular ilerletme uygulanan bireylerde, orta ve alt orofaringeal açıklığa ilişkin bazı sefalometrik ölçümlerdeki artışın ortalama 34 aylık takipte korunduğu; üst orofaringeal bölgede ise farklı bir zamansal yanıt görüldüğü bildirilmiştir (Goncalves et al., 2006). Bununla birlikte, iki boyutlu sefalometrik ölçümlerle belirlenen bu değişikliklerin, üç boyutlu hava yolu hacmindeki artışı veya obstrüktif uyku apnesinde klinik iyileşmeyi doğrudan yansıttığı varsayılmamalıdır. Bu nedenle, ortognatik cerrahi planlamasında ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesinde, elde edilen anatomik değişikliklerin uzun dönem stabilitesi ile solunum fonksiyonuna ilişkin klinik sonuçların ayrı sonlanımlar olarak değerlendirilip birlikte yorumlanması önem taşımaktadır.

Üst Hava Yolu ve Obstrüktif Uyku Apnesi

Obstrüktif uyku apnesi, uyku sırasında üst hava yolunun tekrarlayan şekilde kısmen veya tamamen obstrüksiyona uğramasıyla karakterize bir solunum bozukluğudur. Mandibulanın öne konumlandırılması, dil ve ilişkili yumuşak dokuların anterior yönde yer değiştirmesi yoluyla orofaringeal açıklığı artırabilir. Battagel ve arkadaşları, hafif ve orta şiddette OUA bulunan hastalarda iki boyutlu lateral sefalometrik radyografilerini incelemiş; dişlerin maksimum interküspasyonda olduğu konumu, mandibulanın tolere edilebilen en ileri konumuyla karşılaştırmıştır. Bulgular bu konumsal değişimin radyografik etkisini yansıtmaktadır (Battagel et al., 1999). Bu tedavi yaklaşımının olası anatomik etki mekanizması Şekil 4'te gösterilmiştir. Erişkin hastalarda, uygun endikasyonların varlığında kişiye özel olarak hazırlanan ve ayarlanabilir özellikteki mandibular ilerletme apareyleri, uyku hekimi ve diş hekiminin multidisipliner iş birliğiyle uygulanabilmektedir. Tedavinin etkinliğinin ise takip sürecinde gerçekleştirilen objektif uyku testleriyle değerlendirilmesi önerilmektedir (Ramar et al., 2015). KIBT, üst hava yolunun anatomik ve morfolojik özelliklerinin üç boyutlu olarak incelenmesine katkı sağlamakla birlikte, tek başına obstrüktif uyku apnesi tanısı koymak için yeterli değildir. OUA tanısı, kapsamlı klinik uyku değerlendirmesiyle birlikte polisomnografi veya uygun erişkin hastalarda evde uygulanan uyku apnesi testleri aracılığıyla konulmaktadır (Kapur et al., 2017).

Dudak-Damak Yarığında Üst Hava Yolu

Dudak-damak yarığı bulunan bireylerde maksiller büyüme ve gelişim özellikleri, geçirilmiş cerrahi müdahaleler ve yumuşak dokulardaki anatomik farklılıklar, üst hava yolunun morfolojik yapısını etkileyebilmektedir. Sendromik olmayan dudak-damak yarıklı bireyler ile sağlıklı kontrol gruplarını karşılaştıran bir meta-

analizde, özellikle velofarinks ve orofarinks hacimlerinin ve faringeal minimum kesit alanının grup düzeyinde daha düşük olduğu bildirilmiştir (Ahrari et al., 2026). Bununla birlikte, gruplar arasında belirlenen bu morfolojik farklılıkların, bireysel düzeyde solunum fonksiyon bozukluğunun veya obstrüktif uyku apnesinin varlığını doğrudan gösterdiği düşünülmemelidir. Bu nedenle, üst hava yolunun değerlendirilmesinde bireye özgü anatomik özelliklerin, klinik semptomların ve geçirilmiş cerrahi müdahalelerin birlikte ele alınması önem taşımaktadır. Ayrıca, üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin kullanıldığı değerlendirmelerde, ölçümlerin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini artırmak amacıyla anatomik sınırların ve görüntüleme koşullarının açıkça tanımlanması gerekmektedir.

Sınırlılıklar ve Sonuç

Üst hava yolunun üç boyutlu değerlendirilmesi, farklı anatomik bölgelerdeki hava yolu hacimlerinin ve minimum kesit alanlarının ayrıntılı olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, elde edilen ölçüm sonuçları; baş postürü, solunum fazı, dilin konumu, segmentasyon sırasında kullanılan eşik değerleri ve anatomik sınırların tanımlanması gibi çeşitli fizyolojik ve metodolojik faktörlerden etkilenebilmektedir. Bu nedenle, özellikle farklı zaman noktalarında gerçekleştirilen ölçümlerin karşılaştırılmasında, görüntüleme ve analiz koşullarının standardize edilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca, üst hava yolunda meydana gelen statik anatomik değişiklikler ile solunum fonksiyonundaki klinik iyileşmelerin ayrı sonlanımlar olarak değerlendirilip birlikte yorumlanması gerekmektedir. KIBT, obstrüktif uyku apnesinin tanı veya taramasında tek başına kullanılan bir yöntem olarak değerlendirilmemeli; görüntüleme endikasyonu belirlenirken klinik gereklilik ve iyonlaştırıcı radyasyon maruziyetinin gerekçelendirilmesi ilkeleri göz önünde bulundurulmalıdır (Savoldi et al., 2024). Sonuç olarak, ortodontik ve ortognatik cerrahi tedavi

kararları yalnızca anatomik ve morfolojik ölçümlere dayandırılmamalı; klinik değerlendirme bulguları ve gerekli durumlarda uyku tıbbına yönelik tanısal incelemelerle birlikte bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır.

Kaynakça/References

Aboudara, C., Nielsen, I., Huang, J. C., Maki, K., Miller, A. J., & Hatcher, D. (2009). Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 135*(4), 468–479. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.04.043

Ahrari, F., Eslami, N., Bardideh, E., Ghorbani, M., Forghani, M., & Gazerani, A. (2026). Comparison of pharyngeal airway dimensions between nonsyndromic cleft lip and palate patients and healthy controls: A systematic review and meta-analysis. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal, 63*(5), 1373–1384. https://doi.org/10.1177/10556656251325095

Barbosa, D. F., Bana, L. F., Michel, M. C. B., Meira e Cruz, M., Zancanella, E., & Machado Júnior, A. J. (2023). Rapid maxillary expansion in pediatric patients with obstructive sleep apnea: An umbrella review. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, 89*(3), 494–502. https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2023.02.004

Battagel, J. M., Johal, A., L'Estrange, P. R., Croft, C. B., & Kotecha, B. (1999). Changes in airway and hyoid position in response to mandibular protrusion in subjects with obstructive sleep apnoea (OSA). *European Journal of Orthodontics, 21*(4), 363–376. https://doi.org/10.1093/ejo/21.4.363

El, H., & Palomo, J. M. (2010). Measuring the airway in 3 dimensions: A reliability and accuracy study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 137*(4 Suppl.), S50.e1–S50.e9. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.11.010

El, H., & Palomo, J. M. (2011). Airway volume for different dentofacial skeletal patterns. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 139*(6), e511–e521. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.02.015

Goncalves, J. R., Buschang, P. H., Goncalves, D. G., & Wolford, L. M. (2006). Postsurgical stability of oropharyngeal airway changes following counter-clockwise maxillo-mandibular advancement surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 64*(5), 755–762. https://doi.org/10.1016/j.joms.2005.11.046

Grauer, D., Cevidanes, L. S. H., Styner, M. A., Ackerman, J. L., & Proffit, W. R. (2009). Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: Relationship to facial morphology. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 136*(6), 805–814. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.01.020

Guijarro-Martínez, R., & Swennen, G. R. J. (2011). Cone-beam computerized tomography imaging and analysis of the upper airway: A systematic review of the literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 40*(11), 1227–1237. https://doi.org/10.1016/j.ijom.2011.06.017

Honglertnapakul, Y., Peanchitlertkajorn, S., Likitkulthanaporn, A., Saengfai, N. N., Chaweewannakorn, C., & Boonpratham, S. (2024). Impacts of mandibular setback with or without maxillary advancement for class III skeletal correction on sleep-related respiratory parameters: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research, 27*(6), 839–852. https://doi.org/10.1111/ocr.12798

Kapur, V. K., Auckley, D. H., Chowdhuri, S., Kuhlmann, D. C., Mehra, R., Ramar, K., & Harrod, C. G. (2017). Clinical practice guideline for diagnostic testing for adult obstructive sleep apnea: An American Academy of Sleep Medicine clinical practice guideline. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 13*(3), 479–504. https://doi.org/10.5664/jcsm.6506

Linder-Aronson, S. (1974). Effects of adenoidectomy on dentition and nasopharynx. *American Journal of Orthodontics, 65*(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/0002-9416(74)90153-5

Ramar, K., Dort, L. C., Katz, S. G., Lettieri, C. J., Harrod, C. G., Thomas, S. M., & Chervin, R. D. (2015). Clinical practice guideline for the treatment of obstructive sleep apnea and snoring with oral appliance therapy: An update for 2015. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 11*(7), 773–827. https://doi.org/10.5664/jcsm.4858

Savoldi, F., Dagassan-Berndt, D., Patcas, R., Mak, W.-S., Kanavakis, G., Verna, C., Gu, M., & Bornstein, M. M. (2024). The use of CBCT in orthodontics with special focus on upper airway analysis in patients with sleep-disordered breathing. *Dentomaxillofacial Radiology, 53*(3), 178–188. https://doi.org/10.1093/dmfr/twae001

Solow, B., Siersbæk-Nielsen, S., & Greve, E. (1984). Airway adequacy, head posture, and craniofacial morphology. *American Journal of Orthodontics, 86*(3), 214–223. https://doi.org/10.1016/0002-9416(84)90373-7

Tallgren, A., & Solow, B. (1987). Hyoid bone position, facial morphology and head posture in adults. *European Journal of Orthodontics, 9*(1), 1–8. https://doi.org/10.1093/ejo/9.1.1

Yu, K., Li, Y., Ngan, P., Li, L., Huang, J., Hua, F., Zhao, T., & He, H. (2026). The effect of rapid maxillary expansion on children with obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Sleep and Breathing, 30*(1), Article 77. https://doi.org/10.1007/s11325-026-03606-1

BÖLÜM 2

ORTODONTİ ALANINDA ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİNİN KULLANIMI: SERT VE YUMUŞAK DOKU GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ

ASAD SHAMASNA[1]
BURÇİN AKAN[2]

Giriş

Ortodontik tanı ve tedavi planlaması, uzun yıllar boyunca klinik muayene bulgularının yanı sıra alçı çalışma modelleri, standart hasta fotoğrafları ve iki boyutlu radyografik kayıtların değerlendirilmesine dayandırılmıştır. Bu tanısal yöntemler arasında önemli bir yere sahip olan lateral sefalometrik radyografi, kraniyofasiyal yapıların standart koşullar altında açısal ve doğrusal ölçümler aracılığıyla değerlendirilmesine olanak sağlamıştır (Broadbent, 1931). Bununla birlikte, üç boyutlu anatomik yapıların iki boyutlu bir düzlem üzerinde temsil edilmesi, yöntemin doğasından kaynaklanan çeşitli sınırlılıkları beraberinde getirmektedir. Özellikle anatomik yapıların süperpozisyonu,

[1]Uzm. Dt., Özel Klinik, İzmir. ORCID: 0009-0000-1542-6416
[2]Doç. Dr., İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı. ORCID: 0000-0001-7487-3769

bilateral yapıların birbirinden bağımsız olarak değerlendirilememesi ve yapıların X-ışını kaynağına olan uzaklıklarına bağlı olarak ortaya çıkan magnifikasyon farklılıkları, ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilmektedir. Ayrıca, görüntüleme sırasında baş pozisyonunda meydana gelen küçük değişiklikler, açısal ve doğrusal ölçümlerde farklılıklara neden olarak farklı zamanlarda elde edilen radyografik kayıtların karşılaştırılabilirliğini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, geleneksel iki boyutlu görüntüleme yöntemleri, kraniyofasiyal yapıların üç boyutlu morfolojisinin, hacimsel özelliklerinin ve anatomik asimetrilerinin kapsamlı biçimde değerlendirilmesinde belirli sınırlılıklara sahiptir (Şekil 1).

Kraniyofasiyal bölgenin üç boyutlu anatomik yapısının iki boyutlu görüntülerle temsil edilmesi, uzaysal derinlik bilgisinin kaybına neden olmaktadır. Bu sınırlılığın aşılmasına yönelik olarak üç boyutlu görüntüleme ve rekonstrüksiyon teknikleri, stereoskopik yöntemlerden holografik görüntülemeye kadar uzanan kapsamlı bir teknolojik gelişim sürecinden geçmiştir. Işık dalgalarının kaydedilmesi ve yeniden oluşturulması yoluyla üç boyutlu görüntü algısının elde edilmesini sağlayan holografi ilkesinin tanımlanması, bu alandaki önemli gelişmelerden biri olmuştur (Gabor, 1948). Bilgisayarlı görüntüleme teknolojilerinin ve dijital görüntü işleme yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte, üç boyutlu görüntüleme yaklaşımları tıp ve diş hekimliği alanlarında giderek yaygınlaşmıştır. Maksillofasiyal bölgenin kesitsel görüntüleme yöntemleriyle üç boyutlu olarak değerlendirilmesi, karmaşık anatomik yapıların ve patolojik oluşumların iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin sınırlılıklarına bağlı kalınmaksızın ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda, konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) diş hekimliğine yönelik, geleneksel bilgisayarlı tomografiye kıyasla genellikle daha düşük radyasyon dozu gerektiren hacimsel bir görüntüleme yöntemi olarak geliştirilmesi, üç boyutlu kesitsel görüntülemenin klinik

uygulamalarda yaygınlaşmasına önemli katkı sağlamıştır (Mozzo et al., 1998).

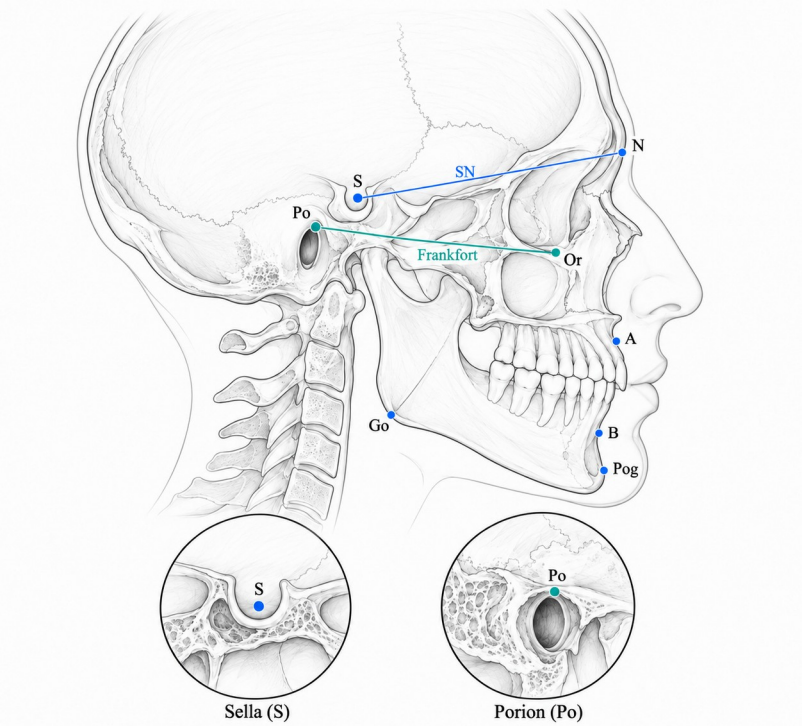
Ortodonti alanında üç boyutlu görüntüleme teknolojileri, birbirini tamamlayan iki temel yaklaşım doğrultusunda gelişim göstermiştir. Bunlardan ilki, iskeletsel ve dişsel sert dokuların üç boyutlu olarak değerlendirilmesini amaçlayan hacimsel görüntüleme yöntemleridir. Bu yöntemlerin başında gelen konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), kraniyofasiyal yapıların kesitsel ve hacimsel olarak ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlamasının yanı sıra, elde edilen aynı veri seti üzerinden üç boyutlu sefalometrik analizlerin gerçekleştirilmesini de mümkün kılmaktadır (Scarfe & Farman, 2008). İkinci yaklaşım ise yüz yumuşak dokularının morfolojik özelliklerinin iyonize radyasyon kullanılmaksızın değerlendirilmesini sağlayan üç boyutlu yüzey görüntüleme yöntemlerini kapsamaktadır. Stereofotogrametri ile lazer ve yapılandırılmış ışık teknolojilerine dayalı yüzey tarama sistemleri, bu grupta yer alan başlıca görüntüleme yöntemleridir (Kau et al., 2007). Bunlara ek olarak, intraoral tarayıcıların klinik uygulamalarda yaygınlaşması, geleneksel alçı modellerin yerini dijital modellerin almasına ve diş arklarının üç boyutlu ortamda ayrıntılı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Böylece, iskeletsel sert dokulara, yüz yumuşak dokularına ve dişsel yüzeylere ilişkin üç boyutlu verilerin ortak bir dijital ortamda birleştirilmesi ve bütüncül olarak değerlendirilmesi mümkün hâle gelmiştir.

Üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin gelişimi ve klinik uygulamalarda yaygınlaşması, ortodontik tanı, tedavi planlaması ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi başta olmak üzere ortodontik yaklaşımın birçok aşamasına önemli katkılar sağlamıştır. Bu yöntemler; kraniyofasiyal asimetrilerin objektif ve kantitatif olarak değerlendirilmesi, temporomandibular eklem yapılarının ayrıntılı biçimde incelenmesi, üst hava yolu ve paranazal sinüsler gibi anatomik boşlukların hacimsel analizlerinin gerçekleştirilmesi,

gömülü dişlerin üç boyutlu konumlarının belirlenmesi, kök rezorpsiyonlarının ve alveoler kemik sınırlarının değerlendirilmesi gibi çeşitli klinik alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, büyüme ve gelişim süreçleri ile ortodontik tedavi sonucunda meydana gelen iskeletsel ve yumuşak doku değişikliklerinin izlenmesi, ortognatik cerrahi müdahalelerin planlanması ve olası tedavi sonuçlarının öngörülmesi açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Bunun yanı sıra, üç boyutlu görüntüleme verilerinin kullanılması, hastalara mevcut anatomik durumun ve planlanan tedaviye ilişkin olası değişikliklerin görsel olarak aktarılmasını kolaylaştırarak hasta-hekim iletişiminin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır (Kapila & Nervina, 2015).

Bu bölümde, ortodonti alanında kullanılan üç boyutlu görüntüleme sistemlerinin temel prensiplerinin, teknik özelliklerinin ve klinik uygulama alanlarının kapsamlı ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, öncelikle üç boyutlu görüntülemenin temel ilkeleri ve görüntü elde etme ile işleme süreçlerinin ortak aşamaları açıklanacaktır. Ardından, sert ve yumuşak dokuların değerlendirilmesinde kullanılan üç boyutlu görüntüleme yöntemleri; teknik özellikleri, ölçüm doğrulukları, güvenilirlikleri ve ortodontik kullanım alanları açısından ayrı ayrı incelenecektir. Son olarak, farklı görüntüleme yöntemlerinden elde edilen verilerin süperpozisyon ve veri füzyonu teknikleri aracılığıyla bütünleştirilmesi, bu yöntemlerin avantajları ve sınırlılıkları ile üç boyutlu görüntüleme alanında yapay zekâ temelli teknolojilerin güncel gelişmeleri değerlendirilecektir.

Şekil 1. Temsili lateral sefalometrik çizim, temel işaret noktaları ve Sella (S) ile anatomik Porion (Po) ayrıntıları.



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Üç Boyutlu Görüntülemenin Temel İlkeleri

İnsan görsel sistemi, derinlik algısını iki gözün farklı bakış açılarından elde ettiği görüntülerin beyinde bütünleştirilmesiyle oluşan stereopsis mekanizması aracılığıyla sağlamaktadır. Bu nedenle, tek bir bakış açısından elde edilen iki boyutlu görüntülerde derinlik algısı, perspektif, gölgelendirme ve anatomik yapıların birbiriyle örtüşmesi gibi görsel ipuçları aracılığıyla oluşturulabilmekte; ancak bu görüntüler, nesnelerin gerçek üç boyutlu geometrik yapısını ve hacimsel özelliklerini doğrudan yansıtmamaktadır. Buna karşılık, üç boyutlu görüntüleme

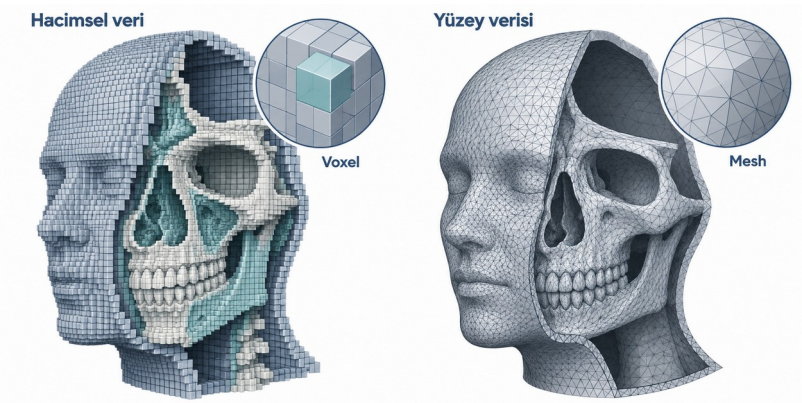
yöntemleri, nesnelerin yüzey morfolojisine veya iç anatomik yapılarına ait noktaların uzaysal konumlarının sayısal koordinatlar aracılığıyla kaydedilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede elde edilen dijital veriler farklı açılardan yeniden görüntülenebilmekte ve üç boyutlu uzayda döndürülebilmekte; uygun kalibrasyon koşullarında bu veriler üzerinde doğrusal, açısal ve hacimsel ölçümler yapılabilmektedir. Böylece üç boyutlu görüntüleme, anatomik yapıların uzaysal ilişkilerinin ve morfolojik özelliklerinin daha kapsamlı ve ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Hajeer et al., 2004).

Veri türleri: hacimsel ve yüzey veri

Diş hekimliğinde kullanılan üç boyutlu görüntüleme verileri, elde edilme yöntemlerine ve temsil ettikleri anatomik özelliklere göre hacimsel (volumetrik) veriler ve yüzey (surface) verileri olmak üzere iki temel grupta sınıflandırılmaktadır. Hacimsel görüntüleme yöntemlerinde, incelenen anatomik bölge voksel (voxel) olarak adlandırılan üç boyutlu hacim elemanlarına ayrılmakta ve her voksel, X-ışınlarının dokulardan geçişi sırasında meydana gelen zayıflamayı temsil eden bir gri değer içermektedir. Bununla birlikte, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntülerinden elde edilen gri değerler, kalibre edilmiş mutlak doku yoğunluğu ölçümleri olarak değerlendirilmemelidir. Bilgisayarlı tomografi (BT) ve KIBT sistemlerinin temelini oluşturan bu görüntüleme yaklaşımı, kemik ve diş gibi anatomik yapıların kesitsel ve üç boyutlu olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır (Scarfe & Farman, 2008). Yüzey görüntüleme yöntemlerinde ise nesnenin yalnızca dış yüzey geometrisi kaydedilmekte; elde edilen veriler, üç boyutlu uzayda konumlandırılmış nokta bulutları ve bu noktaların birleştirilmesiyle oluşturulan çokgen yüzey ağları (mesh) aracılığıyla temsil edilmektedir. Ayrıca, görüntüleme sisteminin özelliklerine bağlı olarak oluşturulan üç boyutlu yüzey modellerine gerçek renk ve doku bilgileri de eklenebilmektedir. Stereofotogrametri ve optik

yüzey tarama sistemleri bu prensibe dayanmakta olup yüzeyin altında bulunan anatomik yapılar hakkında doğrudan bilgi sağlamamaktadır (Kau et al., 2007). Hacimsel görüntüleme verileri farklı anatomik düzlemlerde kesitsel olarak incelenebilmekte ve uygun görüntü işleme yöntemleriyle üç boyutlu yüzey modellerine dönüştürülebilmektedir. Buna karşılık, yüzey görüntüleme verileri yalnızca incelenen yapının dış geometrik özelliklerini yansıtmakta ve iç anatomik yapıların doğrudan değerlendirilmesine olanak tanımamaktadır (Şekil 2).

Şekil 2. Hacimsel (voxel) ve yüzey (mesh) veri türlerinin temsili karşılaştırması.



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Hacimsel ve yüzey görüntüleme yöntemleri arasındaki bu temel farklılık, ortodontik tanı ve tedavi planlamasında kullanılan anatomik yapıların değerlendirilmesine de yansımaktadır. İskeletsel ve dişsel sert dokuların üç boyutlu incelenmesinde iyonize radyasyon kullanan hacimsel görüntüleme yöntemlerinden yararlanılırken, yüz yumuşak dokularının morfolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde iyonize radyasyon içermeyen yüzey görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır (Hajeer et al., 2004). Bu bağlamda, söz konusu görüntüleme yaklaşımları birbirinin alternatifi

olmaktan ziyade, farklı anatomik yapıların değerlendirilmesinde birbirini tamamlayan yöntemler olarak kabul edilmektedir. Ancak BT ve KIBT gibi X-ışını temelli hacimsel yöntemler iyonize radyasyon kullandığından, bu yöntemlerin kullanımı klinik endikasyonlarla sınırlandırılmalı ve radyasyon maruziyeti, tanısal görüntü kalitesinden ödün verilmeksizin mümkün olan en düşük düzeyde tutulmalıdır (ALARA ilkesi). Buna karşılık, yüzey görüntüleme yöntemlerinde iyonize radyasyon kullanılmaması, özellikle büyüme ve gelişimin izlenmesi, tedavi sürecindeki morfolojik değişikliklerin değerlendirilmesi ve uzun dönem takiplerde tekrarlayan görüntülemelerin gerçekleştirilmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Görüntüleme zinciri

Kullanılan yöntemden bağımsız olarak, üç boyutlu görüntüleme süreci; veri edinimi, rekonstrüksiyon, segmentasyon (bölütleme), görselleştirme ve ölçüm olmak üzere birbirini izleyen temel aşamalardan oluşmaktadır. Veri edinimi aşamasında, incelenecek anatomik yapılara ilişkin ham görüntüleme verileri elde edilirken, rekonstrüksiyon aşamasında bu veriler işlenerek üç boyutlu hacimsel veya yüzeysel modeller oluşturulmaktadır. Segmentasyon aşamasında ise kemik, diş ve yumuşak doku gibi ilgilenilen anatomik yapılar, gri değer eşikleme veya yüzey ayrıştırma yöntemleri kullanılarak çevre dokulardan ayırt edilmekte ve analiz için uygun hâle getirilmektedir. Bu aşama, anatomik yapıların sınırlarının belirlenmesini ve dolayısıyla ölçümlerin doğruluğunu doğrudan etkilemesi bakımından kritik öneme sahiptir. Ardından, elde edilen üç boyutlu modeller görselleştirilmekte, anatomik referans noktaları belirlenmekte ve doğrusal, açısal veya hacimsel ölçümler gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, görüntüleme sürecinin her aşaması farklı hata kaynakları içerebildiğinden, elde edilen ölçümlerin güvenilirliğinin ve tekrarlanabilirliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu

doğrultuda, gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumun sınıf içi korelasyon katsayısı (Intraclass Correlation Coefficient, ICC) gibi uygun istatistiksel yöntemlerle belirlenmesi, üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin bilimsel araştırmalarda ve klinik uygulamalarda güvenilir biçimde kullanılabilmesi açısından önem taşımaktadır (Lisboa et al., 2015).

Referanslama ve doğal baş pozisyonu

Üç boyutlu görüntüleme verilerinin elde edilmesinin ardından, farklı zamanlarda veya farklı yöntemlerle oluşturulan kayıtların karşılaştırılabilmesi için ortak bir uzaysal referans sisteminde konumlandırılması gerekmektedir. Geleneksel sefalometrik değerlendirmelerde bu amaçla uzun yıllardır kullanılan doğal baş pozisyonu, bireyin başının yer çekimi doğrultusuna ve fizyolojik postüral dengesine göre tekrarlanabilir bir konumda kaydedilmesine olanak sağlamaktadır (Solow & Tallgren, 1971). Üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinde ise farklı zaman noktalarında veya farklı görüntüleme sistemleriyle elde edilen verilerin ortak bir koordinat sisteminde hizalanmasını sağlayan süperimpozisyon (çakıştırma) işlemi, anatomik değişikliklerin objektif ve kantitatif olarak değerlendirilmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Bu yöntem aracılığıyla tedavi öncesi ve sonrası kayıtlar karşılaştırılabilmekte, aynı bireye ait sert ve yumuşak doku verileri ortak bir uzaysal referans sisteminde birleştirilerek meydana gelen morfolojik değişiklikler ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir. Bununla birlikte, süperimpozisyon işlemlerinde kullanılan anatomik referans yapılarının, referans düzlemlerinin ve koordinat sistemlerinin tutarlı ve standart biçimde tanımlanması, üç boyutlu ölçümlerin doğruluğunun, güvenilirliğinin ve tekrarlanabilirliğinin sağlanması açısından temel önem taşımaktadır.

Sert Doku Görüntüleme Yöntemleri

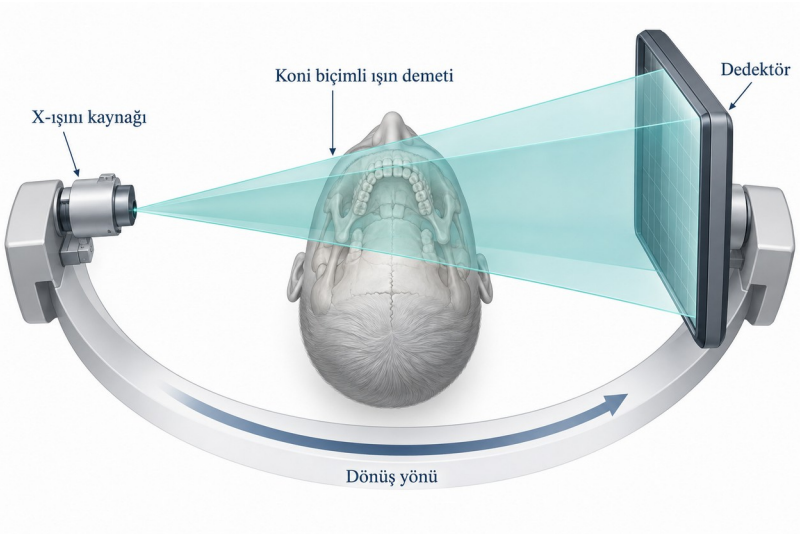
Kemik ve diş gibi mineralize sert dokular, yüksek mineral içerikleri nedeniyle X-ışınlarını çevre yumuşak dokulara kıyasla daha fazla zayıflatmakta ve bu özellikleri sayesinde radyografik görüntüleme yöntemleriyle ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmektedir. Sert dokuların üç boyutlu incelenmesinde, anatomik yapıların iç morfolojisinin ve uzaysal ilişkilerinin hacimsel olarak görüntülenmesine olanak sağlayan iyonize radyasyon temelli tomografik yöntemlerden yararlanılmaktadır. Günümüzde ortodontik tanı ve tedavi planlamasında bu amaçla en yaygın kullanılan yöntem konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) olup medikal bilgisayarlı tomografi (BT) belirli klinik endikasyonlarda, mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) ise yüksek çözünürlüklü görüntüleme gerektiren, ağırlıklı olarak in vitro ve deneysel araştırmalarda kullanılmaktadır (Scarfe & Farman, 2008).

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi: çalışma ilkesi

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), adını görüntüleme sırasında kullanılan koni biçimindeki X-ışını demetinden almaktadır. Geleneksel medikal bilgisayarlı tomografi (BT) sistemlerinde, yelpaze biçimindeki X-ışını demeti ve dedektör sistemi aracılığıyla hastanın anatomik yapıları genellikle helikal tarama yöntemiyle görüntülenirken, KIBT sistemlerinde koni biçimindeki X-ışını demeti ve iki boyutlu alan dedektörü, hastanın çevresinde genellikle tek bir rotasyon gerçekleştirerek incelenecek anatomik hacme ait çok sayıda projeksiyon görüntüsü elde etmektedir (Mozzo et al., 1998). Elde edilen projeksiyon verileri, bilgisayar destekli rekonstrüksiyon algoritmaları aracılığıyla işlenerek üç boyutlu hacimsel veri setine dönüştürülmektedir. Bu veri seti, üç uzaysal eksende eşit boyutlara sahip hacim elemanlarından oluşan izotropik vokseller ile temsil edilmektedir.

İzotropik voksel yapısı, farklı anatomik düzlemlerde eşit örnekleme aralığı sağlayarak üç boyutlu rekonstrüksiyonların gerçekleştirilmesine ve uygun kalibrasyon koşullarında doğrusal ve açısal ölçümlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, görüntülerin gerçek uzaysal çözünürlüğü ve ölçümlerin doğruluğu yalnızca voksel boyutuna bağlı olmayıp kullanılan cihazın teknik özellikleri, görüntüleme parametreleri, rekonstrüksiyon algoritmaları ve görüntüleme koşulları gibi çeşitli faktörlerden de etkilenmektedir (Scarfe & Farman, 2008) (Şekil 3).

Şekil 3. KIBT görüntüleme geometrisi: koni biçimli ışın demeti ve dönen kaynak–dedektör sistemi. Temsili şema.



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Teknik parametreler ve radyasyon dozu

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile elde edilen hacimsel görüntülerin kapsadığı anatomik bölge, görüntüleme alanı (field of view, FOV) ile belirlenirken, görüntülerin örnekleme düzeyi voksel boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Daha küçük voksel boyutlarının kullanılması, anatomik yapıların daha yüksek uzaysal

örnekleme düzeyinde görüntülenmesine olanak sağlayarak ince ayrıntıların ayırt edilebilirliğini artırabilmektedir. Bununla birlikte, görüntüleme alanının genişletilmesi ve daha küçük voksel boyutlarının elde edilmesi amacıyla kullanılan görüntüleme protokolleri, tüp akımı-zaman çarpımı (mAs) ve tüp gerilimi (kVp) gibi ışınlama parametreleriyle birlikte hastanın maruz kaldığı radyasyon dozunu etkileyebilmektedir. Özellikle yüksek çözünürlüklü görüntüleme protokolleri, kullanılan teknik parametrelere bağlı olarak radyasyon dozunda artışa neden olabilmektedir. KIBT sistemlerinin etkin radyasyon dozu, cihazın teknik özelliklerine, görüntüleme alanına ve kullanılan protokole göre değişkenlik göstermekle birlikte, genel olarak aynı anatomik bölgenin medikal bilgisayarlı tomografi ile görüntülenmesinde ortaya çıkan dozdan daha düşük, panoramik ve lateral sefalometrik radyografilerdeki dozlardan ise daha yüksek düzeydedir (Loubele et al., 2009; Ludlow et al., 2006).

Radyografik görüntüleme yöntemlerine bağlı radyasyon maruziyetinin değerlendirilmesinde kullanılan etkin doz değerleri, görüntüleme tekniğine ve uygulanan protokole göre farklılık göstermektedir. Dijital panoramik radyografilerde etkin dozun yaklaşık 6–38 µSv, lateral sefalometrik radyografilerde ise 2–10 µSv aralığında olduğu bildirilmektedir. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) sistemlerinde ise etkin radyasyon dozu, kullanılan cihazın teknik özelliklerine, görüntüleme parametrelerine ve özellikle görüntüleme alanının (field of view, FOV) büyüklüğüne bağlı olarak geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir. Küçük görüntüleme alanına sahip protokollerde etkin doz onlarca µSv düzeyindeyken, geniş görüntüleme alanını kapsayan protokollerde birkaç yüz µSv düzeyine ulaşabilmekte; günümüzde kullanımdan kaldırılmış bazı eski nesil cihazlarda ise 1000 µSv’nin üzerinde değerler bildirilmektedir (Abdelkarim, 2019; Ludlow et al., 2006). Bu nedenle, özellikle çocuk ve adölesan bireylerde gereksiz

radyasyon maruziyetinin önlenmesi amacıyla görüntüleme alanının tanısal gereksinim duyulan anatomik bölgeyle sınırlandırılması ve uygun doz azaltma protokollerinin tercih edilmesi önem taşımaktadır. Nitekim, ilgili uluslararası kılavuzlarda KIBT görüntüleme endikasyonlarının bireysel klinik gereklilikler doğrultusunda gerekçelendirilmesi, görüntüleme alanının tanısal amacı karşılayacak mümkün olan en küçük boyutta seçilmesi ve radyasyon dozunun tanısal görüntü kalitesini koruyacak şekilde optimize edilmesi önerilmektedir (American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology, 2013; European Commission, 2012). Güncel ADA–AAOMR uzlaşı önerileri de görüntüleme kararından önce hastanın tıbbi ve dental öyküsünün, klinik bulgularının ve mevcut görüntülerinin değerlendirilmesini; KIBT'nin bireysel klinik gereklilik doğrultusunda seçilmesini vurgulamaktadır (Benavides et al., 2026).

Avantajlar, artefaktlar ve doğruluk

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) ortodontik tanı ve tedavi planlamasında sağladığı başlıca avantajlardan biri, geleneksel iki boyutlu sefalometrik radyografilerde karşılaşılan anatomik yapıların süperpozisyonu ve projeksiyona bağlı magnifikasyon hataları gibi sınırlılıkları büyük ölçüde ortadan kaldırmasıdır. Bu yöntem sayesinde bilateral anatomik yapılar birbirinden bağımsız olarak değerlendirilebilmekte, kraniyofasiyal yapılar çok düzlemli rekonstrüksiyon (multiplanar reconstruction, MPR) teknikleri aracılığıyla farklı anatomik düzlemlerde ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir. Ayrıca, anatomik yapıların hacimsel ölçümlerinin gerçekleştirilmesi ve üç boyutlu yüzey modellerinin oluşturularak görselleştirilmesi mümkün olmaktadır. KIBT görüntüleri üzerinden gerçekleştirilen doğrusal ölçümlerin, gerçek anatomik mesafelerle yüksek düzeyde uyum gösterdiği ve ölçüm sapmalarının bir milimetrenin altında olduğu bildirilmiştir (Lascala et al., 2004). Bununla birlikte, ölçümlerin doğruluğunun kullanılan

cihazın teknik özellikleri, görüntüleme parametreleri ve anatomik referans noktalarının belirlenmesindeki hassasiyet gibi faktörlerden etkilenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Öte yandan, konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) yumuşak doku kontrast çözünürlüğünün sınırlı olması, yumuşak dokuların anatomik detaylarının ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Ayrıca, görüntüleme ve rekonstrüksiyon süreçlerinde ortaya çıkabilen çeşitli artefaktlar, görüntü kalitesini ve tanısal doğruluğu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle metalik restorasyonlar ve ortodontik apareylerden kaynaklanan ışın sertleşmesi (beam hardening) ve saçılma artefaktları, yüksek yoğunluklu yapıların çevresinde koyu ve açık renkli çizgilenmelere veya yıldız biçiminde görüntü bozulmalarına neden olabilmektedir. Görüntüleme sırasında meydana gelen hasta hareketleri ise anatomik yapıların sınırlarında bulanıklaşmaya ve görüntü netliğinin azalmasına yol açabilmektedir. Bunların yanı sıra, halka (ring) artefaktları, kısmi hacim etkisi (partial volume effect) ve örnekleme yetersizliğine bağlı örtüşme (aliasing) artefaktları da KIBT görüntülerinin kalitesini etkileyen diğer faktörler arasında yer almaktadır (Schulze et al., 2011). Söz konusu artefaktlar, anatomik yapıların doğru biçimde değerlendirilmesini ve ölçümlerin güvenilirliğini sınırlandırabildiği gibi patolojik oluşumlarla karıştırılarak hatalı tanısal yorumlara da neden olabilmektedir. Bu nedenle, KIBT görüntülerinin değerlendirilmesinde olası artefakt kaynaklarının bilinmesi, görüntüleme protokollerinin uygun şekilde düzenlenmesi ve artefaktların etkisini azaltmaya yönelik edinim ve rekonstrüksiyon parametrelerinin optimize edilmesi önem taşımaktadır.

Medikal ve mikro-bilgisayarlı tomografi

Medikal çok kesitli bilgisayarlı tomografi (BT), konik ışınlı bilgisayarlı tomografiye (KIBT) kıyasla daha yüksek yumuşak doku

kontrast çözünürlüğü sağlaması ve dokuların X-ışını zayıflatma özelliklerini Hounsfield birimi (Hounsfield Unit, HU) aracılığıyla standartlaştırılmış bir ölçekte ifade edebilmesi bakımından farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, medikal BT sistemlerinin genellikle daha yüksek iyonize radyasyon dozu gerektirmesi nedeniyle, ortodontik tanı ve tedavi planlamasında rutin bir görüntüleme yöntemi olarak kullanımı sınırlıdır. Bu yöntem, özellikle kraniyofasiyal sendromlar, tümöral lezyonlar ve kompleks maksillofasiyal travmalar gibi geniş anatomik bölgelerin ve yumuşak doku yapılarının ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini gerektiren klinik durumlarda tercih edilebilmektedir (Loubele et al., 2009). Mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) ise mikrometre düzeyinde uzaysal çözünürlük sağlayarak mineralize dokuların ve kemiğin trabeküler mikromimarisinin ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak tanımaktadır. Diş hekimliği ve maksillofasiyal araştırmalarda mikro-BT; çıkarılmış diş ve kemik örneklerinin, biyomateryallerin ve doku mühendisliği yapılarının üç boyutlu değerlendirilmesinde kullanılan, ağırlıklı olarak laboratuvar temelli bir yöntemdir (Campioni et al., 2020). Bu nedenle, üç boyutlu sert doku görüntüleme yöntemlerinin seçiminde elde edilmesi hedeflenen anatomik bilgi, uzaysal çözünürlük, radyasyon maruziyeti ve klinik uygulanabilirlik birlikte değerlendirilmelidir.

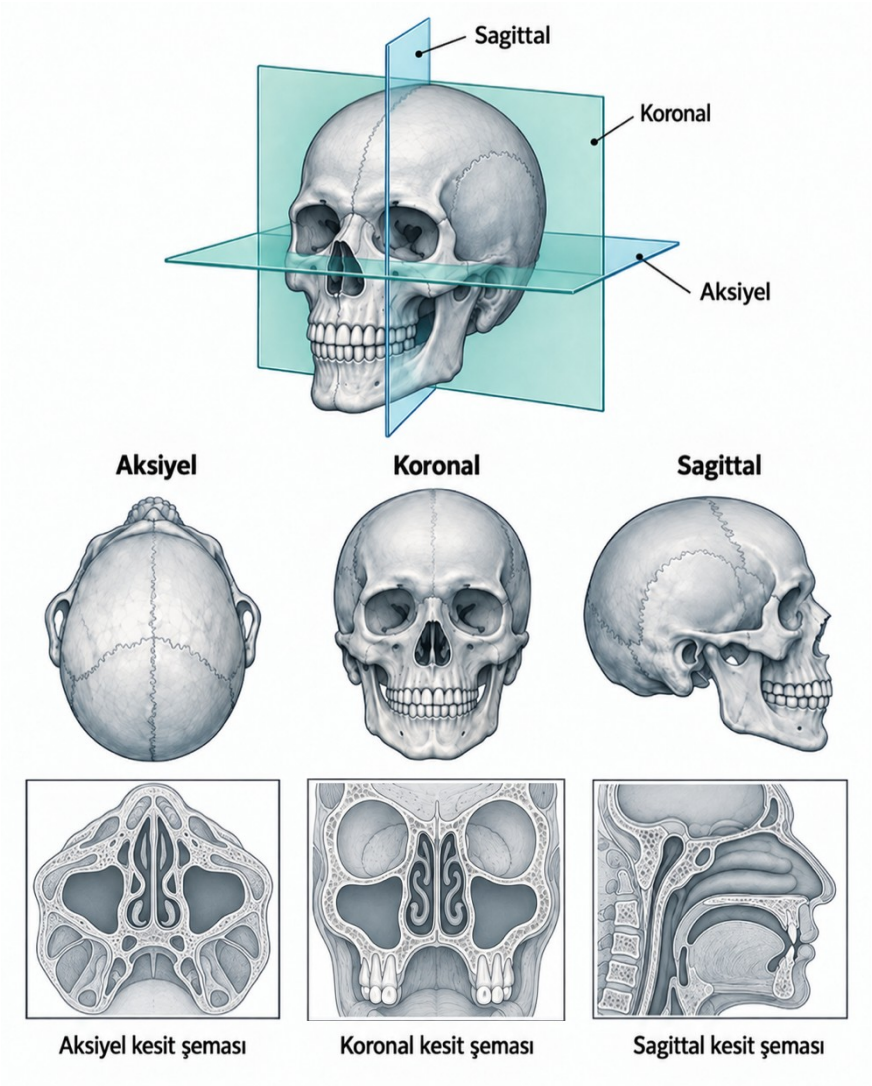
Üç boyutlu sefalometri

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile elde edilen hacimsel veriler, kraniyofasiyal yapıların üç boyutlu sefalometrik analizler aracılığıyla değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Geleneksel iki boyutlu sefalometrik analizlerde anatomik referans noktaları, üç boyutlu yapıların iki boyutlu radyografik düzlem üzerindeki izdüşümleri esas alınarak belirlenirken, üç boyutlu sefalometrik analizlerde bu noktalar hacimsel veri seti içerisinde gerçek uzaysal koordinatlarıyla tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, geleneksel sefalometrik radyografilerde karşılaşılan projeksiyona

bağlı magnifikasyon farklılıkları ve anatomik yapıların süperpozisyonundan kaynaklanan sınırlılıkların büyük ölçüde giderilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, görüntülerin üç boyutlu ortamda standart referans düzlemlerine göre yeniden yönlendirilebilmesi, görüntüleme sırasında başın konumlandırılmasına bağlı farklılıkların ölçümler üzerindeki etkisini azaltabilmektedir. Bununla birlikte, iki boyutlu sefalometrik analizlerden üç boyutlu değerlendirmeye geçiş, anatomik yapıların uzaysal özelliklerini doğru biçimde yansıtabilecek yeni referans noktalarının, anatomik düzlemlerin ve ölçüm parametrelerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır (Swennen et al., 2006) (Şekil 4).

Üç boyutlu sefalometrik analizlerde anatomik referans noktalarının belirlenmesine ilişkin güvenilirlik, söz konusu noktaların anatomik konumlarına ve morfolojik özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntüleri üzerinde üç boyutlu sefalometrik referans noktalarının tekrarlanabilirliğini değerlendiren bir sistematik derlemede, midsagittal düzlemde yer alan anatomik noktalar ile dişsel referans noktalarının genel olarak daha yüksek güvenilirlik gösterdiği; buna karşılık kondil, porion ve orbitale gibi eğrisel anatomik yüzeyler üzerinde konumlanan referans noktalarının belirlenmesinde güvenilirliğin daha düşük olabildiği bildirilmiştir (Lisboa et al., 2015). Aynı derlemede, sella gibi bazı anatomik referans noktalarının konumlarının yalnızca üç boyutlu rekonstrüksiyonlar üzerinden değil, çok düzlemli kesitsel görüntüler aracılığıyla da doğrulanmasının önemi vurgulanmış ve yumuşak doku referans noktalarının belirlenmesine ilişkin güvenilirliğin henüz yeterli düzeyde araştırılmadığı belirtilmiştir.

Şekil 4. Aksiyel, koronal ve sagittal düzlemler, kafatası görünümleri ve temsili kesit şemaları.



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur. Kesitler aynı bireye ait eşleşen KIBT kesitleri değildir.

Bununla birlikte, KIBT ile elde edilen hacimsel veri setlerinden iki boyutlu sefalometrik görüntülerin de oluşturulabilmesi, geleneksel sefalometrik analiz yöntemleriyle olan sürekliliğin korunmasına olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, üç boyutlu görüntülemenin sunduğu ayrıntılı anatomik değerlendirme olanaklarından yararlanılırken, elde edilen ölçümlerin geleneksel sefalometrik normlarla karşılaştırılması da mümkün hâle gelmektedir (Kumar et al., 2008).

Ortodontide sert doku görüntülemenin kullanım alanları

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), ortodontik tanı ve tedavi planlamasında tüm hastalara rutin olarak uygulanması gereken bir görüntüleme yöntemi olmayıp, üç boyutlu görüntüleme ile elde edilecek ek anatomik bilgilerin tanısal değerlendirmeye veya tedavi kararlarına anlamlı katkı sağlayabileceği seçilmiş klinik durumlarda tercih edilmektedir. Literatürde KIBT'nin ortodontik kullanım alanları arasında gömülü ve ektopik dişlerin üç boyutlu konumlarının ve komşu anatomik yapılarla ilişkilerinin belirlenmesi, faringeal hava yolunun morfolojik ve hacimsel olarak değerlendirilmesi, ortodontik mini vida yerleşimi için uygun anatomik bölgelerin belirlenmesi, kraniyofasiyal anomalilerin incelenmesi, maksiller sinüs anatomisinin ve patolojik oluşumların değerlendirilmesi, kök rezorpsiyonlarının ve alveoler kortikal kemik yapısının incelenmesi ile ortognatik cerrahi müdahalelerin planlanması ve tedavi sonuçlarının izlenmesi yer almaktadır (Abdelkarim, 2019; Kapila & Nervina, 2015). Bununla birlikte, KIBT kullanımına ilişkin endikasyonlar her hasta için bireysel olarak değerlendirilmeli ve görüntüleme kararı, elde edilecek tanısal yarar ile radyasyon maruziyetine ilişkin olası riskler göz önünde bulundurularak verilmelidir.

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) ortodontik uygulamalardaki önemli kullanım alanlarından biri, kraniyofasiyal

asimetrilerin üç boyutlu olarak değerlendirilmesidir. Geleneksel iki boyutlu radyografilerde bilateral anatomik yapıların süperpozisyonu, asimetrilerin objektif ve kantitatif olarak değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Buna karşılık, KIBT ile elde edilen hacimsel veriler, sağ ve sol kraniyofasiyal yapıların birbirinden bağımsız olarak incelenmesine ve anatomik referans noktalarının midsagittal düzleme göre konumsal farklılıklarının sayısal olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, asimetrinin iskeletsel veya dentoalveoler kaynaklı bileşenlerinin ayırt edilmesine, etkilenen çenelerin belirlenmesine ve asimetrinin transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerdeki dağılımının ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Böylece, elde edilen üç boyutlu anatomik veriler, asimetrinin özelliklerinin daha kapsamlı biçimde ortaya konmasını sağlayarak ortodontik ve ortognatik cerrahi tedavi seçeneklerinin belirlenmesinde ve bireye özgü tedavi planlamasının oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır (Kapila & Nervina, 2015).

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) sağladığı üç boyutlu görüntüleme olanakları, temporomandibular eklemin (TME) kemiksel yapılarının ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine de önemli katkılar sağlamaktadır. Bu yöntem aracılığıyla mandibular kondilin hacmi, yüzey alanı, anatomik konumu ve bilateral simetrisi ile glenoid fossanın morfolojik özellikleri ve eklem boşluğu mesafeleri üç boyutlu olarak incelenebilmektedir. Ayrıca, kondiler yüzeylerde meydana gelen dejeneratif kemik değişikliklerinin belirlenmesi ve eklem yapılarındaki morfolojik farklılıkların değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda KIBT, farklı iskeletsel maloklüzyon gruplarında kondiler konum ve morfolojinin karşılaştırılması ve ortodontik tedavi veya ortognatik cerrahi sonrasında görülebilecek kondiler yeniden şekillenmenin izlenmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Nitekim, güncel literatürde KIBT’nin temporomandibular eklemin kemiksel yapılarını ve

dejeneratif değişikliklerini değerlendirmede panoramik radyografi ve geleneksel tomografik yöntemlere kıyasla daha ayrıntılı anatomik bilgi sağladığı bildirilmektedir (Savoldi et al., 2024). Bununla birlikte, KIBT'nin eklem diski ve diğer yumuşak doku bileşenlerinin değerlendirilmesindeki sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalı ve görüntüleme yöntemi klinik endikasyona göre belirlenmelidir.

Üst hava yolu ve paranazal sinüslerin değerlendirilmesi, konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) sağladığı üç boyutlu hacimsel analiz olanaklarından yararlanılan önemli klinik alanlar arasında yer almaktadır. Bu yöntem aracılığıyla faringeal hava yolunun toplam ve bölgesel hacimleri ile minimum kesit alanı kantitatif olarak belirlenebilmekte; kraniyofasiyal büyüme ve gelişimin, çeşitli ortodontik ve ortopedik tedavi yaklaşımlarının üst hava yolu morfolojisi üzerindeki etkileri ve obstrüktif uyku apnesi sendromuyla olası ilişkileri araştırılabilmektedir. Ağız solunumu ve maksiller transversal darlığı bulunan bireylerde hızlı üst çene genişletmesinin (HÜÇG) etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, tedavi sonrasında anterior ve posterior nazal taban genişliklerinde yaklaşık 2,8 mm artış meydana geldiği bildirilmiştir. Ayrıca, nazal kavite ve nazofarenksin birlikte değerlendirildiği hava yolu hacminde ortalama 1646,1 mm^3'lük istatistiksel olarak anlamlı artış saptanırken, orofaringeal hava yolu hacmindeki artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirtilmiştir (Izuka et al., 2015). Bununla birlikte, üst hava yolunun üç boyutlu değerlendirilmesinde kullanılan anatomik sınırların, ölçüm yöntemlerinin ve terminolojik tanımların henüz tam olarak standardize edilmemiş olması, farklı çalışmaların bulgularının karşılaştırılabilirliğini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, hava yolu hacminde belirlenen anatomik değişiklikler mevcut metodolojik sınırlılıklar çerçevesinde dikkatle yorumlanmalı ve hacimsel artışların solunum fonksiyonunda doğrudan klinik iyileşme sağladığı şeklinde yorumlanmasından kaçınılmalıdır (Savoldi et al., 2024).

Gömülü dişlerin, özellikle maksiller kaninlerin konumlarının ve komşu anatomik yapılarla ilişkilerinin değerlendirilmesinde, üç boyutlu görüntüleme yöntemleri önemli tanısal avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel iki boyutlu radyografiler ile konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) karşılaştırıldığı bir çalışmada, aynı olguların üç boyutlu görüntüler üzerinden yeniden değerlendirilmesi sonucunda tedavi planlarının yaklaşık %27'sinde değişiklik meydana geldiği bildirilmiştir. Ayrıca, komşu kesici dişlerdeki kök rezorpsiyonlarının belirlenmesinde iki görüntüleme yöntemi arasında yaklaşık %36 oranında uyumsuzluk saptanmış ve klinisyenlerin tanısal değerlendirmelerine ve tedavi planlarına ilişkin güven düzeylerinin üç boyutlu görüntüleme ile belirgin biçimde arttığı belirtilmiştir (Haney et al., 2010). Bu bulgular, özellikle gömülü dişlerin komşu diş kökleriyle yakın anatomik ilişkide bulunduğu ve kök rezorpsiyonu şüphesinin söz konusu olduğu olgularda, üç boyutlu görüntülemenin tanısal değerlendirmeye katkı sağlayabileceğini ve tedavi kararlarını etkileyebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, KIBT görüntülemesinin gerekli olduğu durumlarda radyasyon maruziyetinin en aza indirilmesi amacıyla geniş görüntüleme alanlarından kaçınılmalı ve tanısal gereksinimleri karşılayacak şekilde yalnızca ilgili anatomik bölgeyi kapsayan küçük görüntüleme alanına (field of view, FOV) sahip protokoller tercih edilmelidir (Abdelkarim, 2019).

Eksternal kök rezorpsiyonunun saptanmasında da konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), geleneksel iki boyutlu radyografik yöntemlere kıyasla önemli tanısal avantajlar sağlamaktadır. Toplam 15 in vitro çalışmayı ve 1000'in üzerinde şüpheli bölgeyi kapsayan bir sistematik derleme ve meta-analizde, KIBT'nin eksternal kök rezorpsiyonunun belirlenmesindeki duyarlılığı yaklaşık 0,89, özgüllüğü 0,92 ve alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alan (Area Under the Curve, AUC)

0,96 olarak bildirilmiştir. Aynı meta-analizde KIBT'nin, eksternal kök rezorpsiyonunun saptanmasında periapikal radyografiye kıyasla daha yüksek tanısal doğruluk sergilediği belirtilmiştir (Yi et al., 2017). Bununla birlikte, söz konusu sonuçların in vitro koşullarda gerçekleştirilen çalışmalardan elde edildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Deneysel ortamda belirlenen tanısal doğruluk değerleri, klinik koşullarda karşılaşılabilecek anatomik farklılıklar, görüntüleme artefaktları ve diğer teknik değişkenler nedeniyle doğrudan hasta popülasyonuna genellenmemelidir. Bu nedenle, KIBT'nin kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesindeki tanısal katkısı, mevcut bilimsel kanıtların metodolojik sınırlılıkları ve bireysel klinik gereksinimler çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Alveoler kemiğin üç boyutlu değerlendirilmesinde, konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) sağladığı tanısal avantajların yanı sıra yöntemin teknik sınırlılıklarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. KIBT aracılığıyla alveoler kemik kalınlığı ve yüksekliği, ortodontik mini vida yerleşimi için uygun anatomik bölgeler ile kemik dehisensi ve fenestrasyon gibi alveoler kemik defektleri ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir. Bununla birlikte, özellikle ince kortikal kemik yapılarının değerlendirilmesinde ölçümlerin doğruluğu, kullanılan görüntüleme protokolüne ve voksel boyutuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Kuru mandibulaların anterior bölgesindeki dehisens ve fenestrasyonların KIBT ve yüzey tarayıcı ölçümleriyle karşılaştırıldığı bir çalışmada, KIBT ile belirlenen dehisensle ilişkili bukkal yüzey alanlarının, yüzey tarayıcı ölçümlerine kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, fenestrasyonların değerlendirilen voksel boyutlarının hiçbirinde güvenilir biçimde saptanamadığı, buna karşılık daha küçük voksel boyutlarının (örneğin 0,2 mm), daha büyük voksel boyutlarına (örneğin 0,6 mm) kıyasla ölçüm doğruluğunu artırdığı belirtilmiştir (van Leeuwen et al., 2022). Bu bulgular, özellikle ince alveoler kortikal kemik

yapılarının değerlendirilmesinde görüntüleme protokolünün uygun şekilde seçilmesinin ve elde edilen bulguların yöntemin uzaysal çözünürlük sınırlılıkları dikkate alınarak yorumlanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Son olarak ortognatik cerrahi ve cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesi gibi girişimlerde, üç boyutlu sert doku görüntüleme yöntemleri, cerrahi tedavinin sanal ortamda planlanmasına, hasta anatomisine özgü cerrahi splintlerin tasarlanmasına ve üretilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, cerrahi öncesi ve sonrası elde edilen üç boyutlu görüntülerin süperimpozisyon yöntemleriyle karşılaştırılması, meydana gelen iskeletsel değişikliklerin objektif ve kantitatif olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Swennen et al., 2006). Ancak KIBT'nin kullanım alanları giderek genişlese de iyonize radyasyon maruziyetine neden olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, KIBT görüntüleme endikasyonları her bireyin klinik gereksinimleri doğrultusunda belirlenmeli ve elde edilmesi beklenen tanısal yarar ile radyasyon maruziyetine ilişkin olası riskler birlikte değerlendirilmelidir. Ayrıca, yöntemin bazı klinik uygulama alanlarında mevcut bilimsel kanıtların henüz yeterli düzeyde olmaması nedeniyle, elde edilen bulguların kanıt düzeyi ve metodolojik sınırlılıklar çerçevesinde dikkatle yorumlanması önem taşımaktadır (Kapila & Nervina, 2015; Yanev et al., 2024).

Yumuşak Doku Görüntüleme Yöntemleri

Ortodontik tedavinin başarısı geleneksel olarak dişsel ve iskeletsel ilişkilerin düzeltilmesi üzerinden değerlendirilmiş olmakla birlikte, günümüzde tedavi hedeflerinin belirlenmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde yüz yumuşak dokularının morfolojik özellikleri ve estetik görünümü giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) yumuşak doku kontrast çözünürlüğünün sınırlı olması ve yüzey

morfolojisi ile estetik özelliklerin değerlendirilmesinde çoğu durumda iyonize radyasyon kullanımının gerekli olmaması, radyasyon içermeyen alternatif görüntüleme yöntemlerine yönelik ilgiyi artırmıştır. Bu kapsamda, yüz yumuşak dokularının üç boyutlu değerlendirilmesinde, yüzey geometrisinin iyonize radyasyon kullanılmaksızın kaydedilmesine olanak sağlayan optik yüzey görüntüleme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Geleneksel iki boyutlu hasta fotoğraflarının perspektif farklılıkları, magnifikasyon ve görüntüleme sırasındaki konumlandırma değişikliklerinden kaynaklanan sınırlılıkları ise üç boyutlu yüzey görüntüleme yöntemlerinin geliştirilmesini ve ortodontik uygulamalarda giderek yaygınlaşmasını destekleyen önemli faktörler arasında yer almaktadır (Kau et al., 2007).

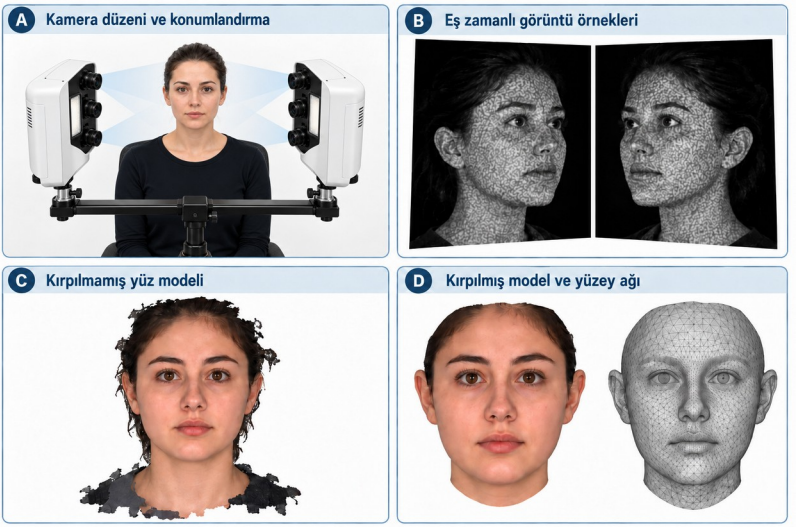
Stereofotogrametri

Stereofotogrametri, farklı açılardan konumlandırılmış en az iki kameranın eş zamanlı olarak elde ettiği görüntülerin dijital ortamda birleştirilmesiyle yüz yumuşak dokularının üç boyutlu yüzey modelinin oluşturulmasını sağlayan bir görüntüleme yöntemidir. Bu yöntemle elde edilen üç boyutlu model, yüzey geometrisini temsil eden nokta bulutları ve bu noktaların birleştirilmesiyle oluşturulan çokgen yüzey ağı (mesh) üzerine eşleştirilen gerçek renk ve doku bilgilerinden oluşmaktadır. Böylece yüzün doğal morfolojik ve görsel özellikleri korunurken, anatomik referans noktalarının belirlenmesi ve yüzey üzerinde çeşitli doğrusal, açısal ve morfolojik ölçümlerin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır (Kau et al., 2007). Stereofotogrametrinin başlıca avantajlarından biri, görüntülerin çok kısa sürede, genellikle milisaniyeler içerisinde, eş zamanlı olarak elde edilebilmesidir. Bu özellik, görüntüleme sırasında hasta hareketlerinden kaynaklanabilecek artefaktların ve yüzey deformasyonlarının en aza indirilmesine katkı sağlamakta; özellikle uzun süre hareketsiz

kalmakta güçlük yaşayabilen pediatrik hastalarda önemli bir klinik avantaj sunmaktadır (Şekil 5A ve 5B).

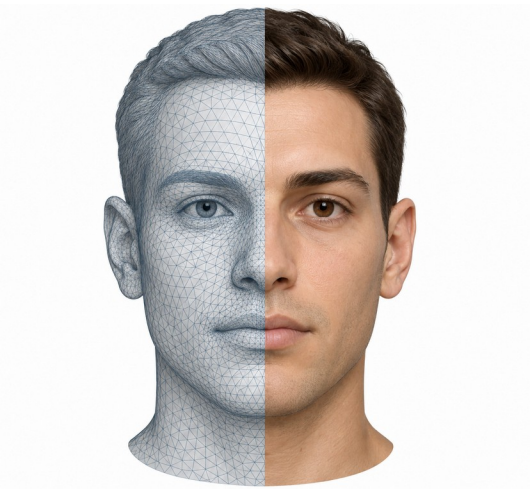
Stereofotogrametri yönteminin doğruluğu ve güvenilirliği, çeşitli çalışmalarda kantitatif ölçümler aracılığıyla değerlendirilmiştir. Stereofotogrametri ile elde edilen doğrusal ölçümlerin doğrudan antropometrik ölçümlerle karşılaştırıldığı bir çalışmada, incelenen parametreler açısından iki yöntem arasındaki en yüksek ortalama farkın 0,21 mm olduğu bildirilmiştir. Bu bulgu, stereofotogrametrinin doğrudan antropometrik ölçümlerle yüksek düzeyde uyum gösterdiğini desteklemektedir. Aynı çalışmada yöntemin iki boyutlu fotogrametriye kıyasla daha yüksek ölçüm doğruluğu sağladığı da bildirilmiştir (Dindaroğlu et al., 2016). Elde edilen bu sonuçlar, stereofotogrametrinin uygun görüntüleme ve analiz koşullarında milimetre altı düzeyde ölçüm doğruluğu sağlayabildiğini ve yüz yumuşak dokularının morfolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde hem klinik uygulamalar hem de bilimsel araştırmalar açısından güvenilir bir görüntüleme yöntemi olduğunu desteklemektedir.

Şekil 5A. 3dMD tipi sistemde hasta konumu (A), görüntü örnekleri (B), kırpılmamış model (C) ve işlenmiş model (D).



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Şekil 5B. Sentetik üç boyutlu yüz modelinde üçgen yüzey ağı (solda) ve dokulu yüzey (sağda).



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Lazer tarama ve yapılandırılmış ışık

Lazer tarama ve yapılandırılmış ışık teknolojilerine dayalı görüntüleme yöntemleri, yüzeylerin üç boyutlu geometrik özelliklerinin iyonize radyasyon kullanılmaksızın değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Lazer tarama sistemlerinde, incelenecek yüzeyin hareketli bir lazer ışını veya çizgisi aracılığıyla taranması sonucunda üç boyutlu yüzey verileri elde edilmektedir. Yapılandırılmış ışık sistemlerinde ise yüzeye önceden tanımlanmış bir ışık deseni yansıtılmakta ve bu desenin yüzeyin morfolojik özelliklerine bağlı olarak uğradığı deformasyonlar analiz edilerek derinlik bilgisi hesaplanmaktadır. Bununla birlikte, ardışık görüntü elde etme prensibine dayanan sistemlerde veri toplama işleminin belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilmesi, hasta hareketlerinden kaynaklanan görüntü bozulmalarına ve yüzey modelinde deformasyonlara neden olabilmektedir. Bu durumun ölçüm doğruluğu üzerindeki etkisi, kullanılan cihazın görüntü edinim tekniğine, tarama hızına ve teknik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Farklı üç boyutlu yüzey görüntüleme sistemlerinin karşılaştırıldığı güncel çalışmalarda, stereofotogrametri, yapılandırılmış ışık teknolojisi ve akıllı telefon tabanlı tarama sistemlerinin birçok ölçüm parametresi açısından birbirine yakın sonuçlar sağlayabildiği, ancak ölçümlerin doğruluğunun kullanılan cihazın özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebildiği bildirilmiştir (Pellitteri et al., 2023; Quinzi et al., 2022). Bu nedenle, farklı görüntüleme sistemleriyle elde edilen üç boyutlu yüzey kayıtlarının karşılaştırılmasında, cihazlara özgü teknik özelliklerin, ölçüm doğruluğunun ve yöntemler arası uyumun dikkate alınması önem taşımaktadır.

İntraoral tarayıcılar ve dijital modeller

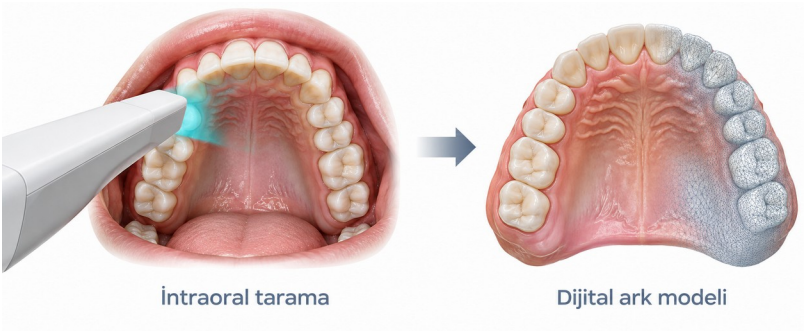
Üç boyutlu yüzey görüntüleme teknolojilerinin intraoral uygulamalara uyarlanmasıyla birlikte, dişler ve ağız yumuşak

dokularının optik yöntemlerle taranması ve üç boyutlu dijital modellerinin oluşturulması mümkün hâle gelmiştir. İntraoral tarayıcılar, geleneksel ölçü alma yöntemlerine ve alçı çalışma modellerine dijital bir alternatif sunarak dişlerin, gingival dokuların ve palatal yapıların morfolojik özelliklerinin üç boyutlu ortamda ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen dijital modeller üzerinde diş ark boyutlarının belirlenmesi, çapraşıklık miktarının değerlendirilmesi, Bolton analizi ve oklüzal ilişkilerin incelenmesi gibi çeşitli ortodontik ölçüm ve analizler gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanı sıra, intraoral tarama verileri, şeffaf plak (aligner) tedavilerinin dijital ortamda planlanması ve apareylerin üretilmesi, sanal diş dizilimi (digital setup) oluşturulması ve hastaya özgü ortodontik apareylerin tasarlanması gibi bilgisayar destekli dijital iş akışlarının temelini oluşturmaktadır (Şekil 6).

Dijital çalışma modellerinin doğruluğu, güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği, çeşitli bilimsel çalışmalarda kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Dijital çalışma modelleri ile geleneksel alçı modeller üzerinde gerçekleştirilen doğrusal ölçümlerin karşılaştırıldığı bir sistematik derlemede, incelenen parametrelerin büyük bölümünde iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadığı ve dijital modellerin geleneksel alçı modellerle karşılaştırılabilir düzeyde doğruluk, güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca, ölçüm sonuçlarını etkileyen başlıca hata kaynaklarından birinin kullanılan cihaz veya yazılımdan ziyade anatomik referans noktalarının belirlenmesindeki farklılıklar olduğu vurgulanmıştır. Dijital modellerin maliyet, işlem süresi ve arşivleme kolaylığı açısından sunduğu avantajlar göz önünde bulundurulduğunda, ortodontik değerlendirmelerde geleneksel alçı modellere alternatif bir referans yöntem olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Rossini et al., 2016). Güncel literatürde de intraoral tarama sistemleriyle elde edilen dijital modellerin ölçüm tekrarlanabilirliğinin tatmin edici ile mükemmel düzeyler arasında

değiştiği, tarama işlemlerinin zaman açısından avantaj sağlayabildiği ve hasta konforunun geleneksel ölçü yöntemlerine kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Dijital modellerin doğruluğu, kullanılan tarayıcının teknik özelliklerine ve tarama koşullarına göre değişebilmektedir. Bununla birlikte mevcut bulgular, uygun koşullarda elde edilen intraoral tarama verilerinin ortodontik tedavi planlaması ve şeffaf plak üretimi için yeterli doğruluk sağlayabildiğini desteklemektedir (Alassiry, 2023).

Şekil 6. İntraoral tarama ve dijital üst diş arkı modelinin temsili gösterimi.



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Ortodontide yumuşak doku görüntülemenin kullanım alanları

Üç boyutlu yumuşak doku görüntüleme yöntemleri, ortodontik tanı, tedavi planlaması ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesinde giderek daha geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu yöntemler aracılığıyla farklı yaş grupları, cinsiyetler ve iskeletsel yüz paternlerine özgü yüz yumuşak doku normlarının belirlenmesi, kraniyofasiyal asimetrilerin objektif ve kantitatif olarak değerlendirilmesi ve yüz yumuşak dokularında istirahat ile gülümseme sırasında meydana gelen morfolojik değişikliklerin ayrıntılı biçimde incelenmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, üç

boyutlu normatif verilerin oluşturulması, bireylerin yüz morfolojisine ve kraniyofasiyal özelliklerine uygun tedavi hedeflerinin belirlenmesine katkı sağlamakta ve tedavi sonrasında elde edilen yumuşak doku değişikliklerinin referans değerlerle karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. Böylece, üç boyutlu yüzey görüntüleme yöntemleri, ortodontik tedavi planlamasında bireysel anatomik farklılıkların dikkate alınmasını ve tedavi sonuçlarının estetik ve morfolojik açıdan daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesini desteklemektedir (Hajeer et al., 2004).

Büyüme ve gelişim süreçleri ile çeşitli ortodontik ve ortopedik tedavi yaklaşımlarına bağlı olarak yüz yumuşak dokularında meydana gelen morfolojik değişiklikler, tedavi öncesi ve sonrası elde edilen üç boyutlu yüzey kayıtlarının süperimpozisyonu (çakıştırılması) aracılığıyla objektif ve kantitatif olarak değerlendirilebilmektedir. Bu kapsamda, fonksiyonel aparey tedavileri, hızlı üst çene genişletmesi, molar distalizasyonu ve çekimli veya çekimsiz ortodontik tedaviler sonucunda yüz yumuşak dokularında ortaya çıkan değişikliklerin üç boyutlu olarak incelenmesi mümkün olmaktadır. Benzer şekilde, ortognatik cerrahi müdahalelerin yüz yumuşak dokularının morfolojisi üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmekte ve postoperatif dönemde meydana gelen ödem gibi bölgesel hacimsel değişiklikler sayısal olarak belirlenebilmektedir. Bunun yanı sıra, üç boyutlu yüzey modelleri, hastaların mevcut kraniyofasiyal özelliklerinin ve planlanan tedavi sonucunda ortaya çıkabilecek olası değişikliklerin görsel olarak sunulmasına olanak sağlayarak hasta-hekim iletişimini güçlendirmekte ve tedaviye ilişkin beklentilerin daha gerçekçi biçimde yönetilmesine katkıda bulunmaktadır (Kau et al., 2007).

Üç Boyutlu Verilerin Birleştirilmesi ve Süperimpozisyon

Üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin sağladığı önemli avantajlardan biri, farklı zamanlarda veya farklı görüntüleme

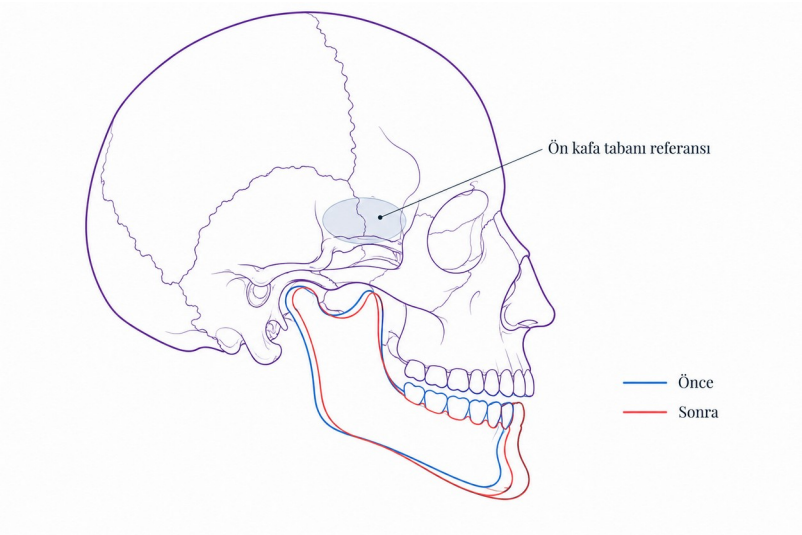
teknikleriyle elde edilen verilerin ortak bir uzaysal koordinat sisteminde bütünleştirilebilmesidir. Bu bütünleştirme süreci, temel olarak süperimpozisyon (çakıştırma) ve veri füzyonu (veri birleştirme) olmak üzere iki farklı yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. Süperimpozisyon yönteminde, aynı görüntüleme tekniği kullanılarak farklı zaman noktalarında elde edilen üç boyutlu kayıtlar, uygun anatomik referanslar esas alınarak ortak bir koordinat sisteminde hizalanmaktadır. Böylece, büyüme ve gelişim süreçleri veya uygulanan tedaviler sonucunda meydana gelen anatomik ve morfolojik değişikliklerin objektif ve kantitatif olarak değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Veri füzyonu yaklaşımında ise farklı görüntüleme sistemlerinden elde edilen ve birbirini tamamlayan anatomik bilgiler ortak bir dijital ortamda birleştirilmektedir. Bu kapsamda, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) aracılığıyla elde edilen iskeletsel ve dişsel sert doku verileri, üç boyutlu yüzey tarama sistemlerinden sağlanan yüz yumuşak doku kayıtları ve intraoral tarayıcılarla oluşturulan dişsel yüzey modelleri bütünleştirilerek hastanın kraniyofasiyal anatomisini farklı doku bileşenleriyle temsil eden kapsamlı bir sanal model oluşturulabilmektedir. Bu yaklaşım, farklı anatomik yapıların uzaysal ilişkilerinin birlikte değerlendirilmesine ve bireye özgü tanı ile tedavi planlamasının daha bütüncül bir çerçevede gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Cevidanes et al., 2006).

Süperimpozisyon yöntemleri

Üç boyutlu görüntüleme yöntemleriyle farklı zaman noktalarında elde edilen anatomik kayıtların karşılaştırılmasında kullanılan süperimpozisyon (çakıştırma) teknikleri, temel olarak anatomik referans noktası temelli, yüzey temelli ve voksel temelli olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Anatomik referans noktası temelli süperimpozisyon, önceden belirlenen anatomik noktaların manuel veya yarı otomatik olarak işaretlenmesi ve bu noktalar esas alınarak görüntülerin hizalanması prensibine

dayanmaktadır. Bununla birlikte, yöntemin doğruluğu ve tekrarlanabilirliği, referans noktalarının belirlenmesindeki gözlemciye bağlı farklılıklardan etkilenebilmektedir. Yüzey temelli süperimpozisyon ise segmentasyon işlemi sonucunda elde edilen üç boyutlu anatomik yüzeylerin, en iyi uyum (best-fit) algoritmaları aracılığıyla hizalanmasını esas almakta olup segmentasyon sırasında ortaya çıkabilecek hatalara duyarlılık göstermektedir. Voksel temelli süperimpozisyon yönteminde ise hacimsel görüntüleme verilerindeki anatomik yapıların gri değer dağılımları karşılaştırılarak görüntüler ortak bir koordinat sisteminde hizalanmaktadır. Bu yaklaşım, anatomik referans noktalarının manuel olarak belirlenmesine veya yüzey segmentasyonuna doğrudan gereksinim duymadan hacimsel görüntü verilerinden yararlanılmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, yöntemin doğruluğu; görüntüleme sırasında meydana gelen hasta hareketleri, görüntüleme artefaktları, referans bölgesinin seçimi ve kullanılan kayıt algoritmasının özellikleri gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Voksel temelli süperimpozisyonun ortodontik değerlendirmelerde kullanımı literatürde tanımlanmıştır (Cevidanes et al., 2006). Süperimpozisyon işlemlerinde referans olarak, büyüme ve gelişim sürecinde görece stabil kabul edilen anterior kraniyal kaide yapıları sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak büyüyen bireylerde anatomik yapıların gelişimsel değişiklikler göstermesi, güvenilir referans bölgelerinin belirlenmesini güçleştirebilmektedir. Bu nedenle, maksilla ve mandibula gibi farklı kraniyofasiyal yapıların büyüme ve tedaviye bağlı değişikliklerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla bölgeye özgü süperimpozisyon yöntemleri de geliştirilmiştir (Şekil 7).

Şekil 7. Ortak ön kafa tabanı referansında iki sentetik modelin çakıştırılması. Mavi ve kırmızı çizgiler farklı zamanları, mandibular fark ise temsili bir değişimi gösterir.



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Sanal cerrahi planlama ve çok merkezli iş birlikleri

Farklı görüntüleme yöntemlerinden elde edilen verilerin bütünleştirilmesiyle oluşturulan üç boyutlu modeller üzerinde gerçekleştirilen sanal cerrahi planlama, ortognatik cerrahide yalnızca iskeletsel hareketlerin planlanmasına değil, bu hareketlerin yüz yumuşak dokularında oluşturabileceği morfolojik değişikliklerin öngörülmesine de olanak sağlamaktadır. İskeletsel Sınıf III maloklüzyona sahip 10 Çinli hastada ProPlan CMF yazılımıyla çift çene cerrahisi öncesinde oluşturulan üç boyutlu yumuşak doku öngörülerinin, ameliyattan en az altı ay sonra alınan yüzey taramalarıyla karşılaştırıldığı çalışmada, tüm yüz yüzeyi ve altı farklı anatomik bölge için ortalama mutlak sapma değerlerinin 0,72–1,42 mm arasında değiştiği ve yüzey ağı noktalarının %72,5–92,5’inde öngörü hatasının 2 mm’nin altında olduğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte, öngörü doğruluğunun uygulanan sagittal cerrahi hareketin büyüklüğüyle ilişkili olduğu ve en düşük doğruluğun alt dudak bölgesinde gözlendiği bildirilmiştir (Lee et al., 2022). Bu bulgular, üç boyutlu sanal cerrahi planlamanın postoperatif yüz yumuşak doku değişikliklerinin öngörülmesinde önemli bir araç olduğunu desteklemekle birlikte, öngörülerin doğruluğunun anatomik bölgeye ve cerrahi hareketin özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, sonuçların küçük bir örneklemde ve belirli bir yazılımla elde edildiği dikkate alınmalı; bulgular tüm hasta gruplarına ve yazılımlara genellenmemelidir. Bu nedenle, sanal cerrahi planlama sistemleri, intraoperatif klinik değerlendirme ve doğrulama süreçlerinin yerine geçen yöntemler olarak değil, cerrahi karar verme sürecini destekleyen ve olası tedavi sonuçlarının öngörülmesine katkı sağlayan yardımcı araçlar olarak değerlendirilmelidir.

Üç boyutlu verilerin ortak koordinat sistemlerinde bütünleştirilmesi, farklı merkezlerde elde edilen görüntüleme verilerinin ortak dijital platformlarda birleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, farklı görüntüleme yöntemlerinden elde edilen anatomik ve morfolojik verilerin birlikte değerlendirilmesi, bireye özgü kraniyofasiyal özelliklerin daha kapsamlı biçimde analiz edilmesine katkıda bulunarak kişiselleştirilmiş ortodontik tanı ve tedavi planlaması yaklaşımlarının geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır (Yatabe et al., 2019).

Avantajlar, Sınırlılıklar ve Gelecekteki Yönelimler

Üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin ortodontik tanı ve tedavi planlamasına sağladığı başlıca avantajlar arasında, anatomik yapıların süperpozisyonundan ve projeksiyona bağlı magnifikasyon farklılıklarından kaynaklanan sınırlılıkların azaltılması, bilateral anatomik yapıların birbirinden bağımsız olarak değerlendirilebilmesi ve uygun kalibrasyon koşullarında doğrusal, açısal ve hacimsel ölçümlerin yüksek doğrulukla

gerçekleştirilebilmesi yer almaktadır. Ayrıca, elde edilen üç boyutlu verilerin farklı anatomik düzlemlerde yeniden yapılandırılabilmesi ve tedavi öncesi ile sonrası kayıtların süperimpozisyon yöntemleri aracılığıyla karşılaştırılabilmesi, büyüme ve tedaviye bağlı anatomik ve morfolojik değişikliklerin objektif ve kantitatif olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, üç boyutlu dijital modellerin kullanılması, hastaların mevcut anatomik durumlarının ve planlanan tedavi sonucunda ortaya çıkabilecek değişikliklerin görsel olarak aktarılmasını kolaylaştırarak hasta-hekim iletişimini güçlendirmektedir. Üç boyutlu görüntüleme verileri, tanısal değerlendirmeden dijital tedavi planlamasına ve kişiye özgü apareylerin bilgisayar destekli tasarım ve üretimine kadar uzanan bütünleşik dijital iş akışlarının da temelini oluşturmaktadır.

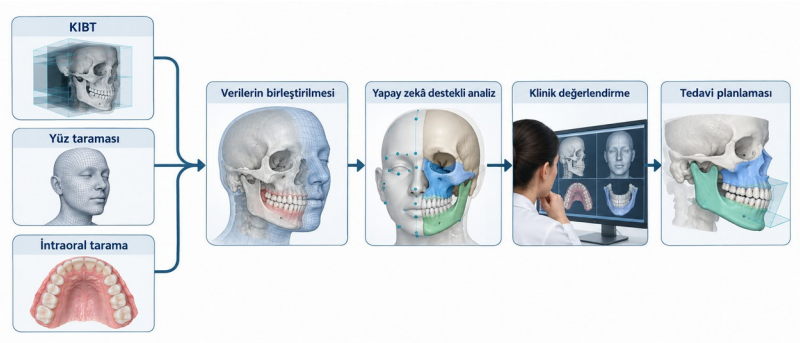
Bununla birlikte, üç boyutlu görüntüleme yöntemleri, sağladıkları tanısal avantajların yanı sıra kendilerine özgü teknik ve klinik sınırlılıklara da sahiptir. Bu bölümde ele alınan bilgisayarlı tomografi (BT) ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) gibi hacimsel görüntüleme yöntemleri, iyonize radyasyon maruziyetine neden olmalarının yanı sıra, özellikle KIBT'de yumuşak doku kontrast çözünürlüğünün sınırlı olması ve metalik restorasyonlar ile hasta hareketlerinden kaynaklanan artefaktların görüntü kalitesini olumsuz etkileyebilmesi gibi dezavantajlar taşımaktadır (Schulze et al., 2011). Üç boyutlu yüzey görüntüleme yöntemleri ise yalnızca dış yüzey morfolojisinin değerlendirilmesine olanak sağlamakta olup yüzeyin altında bulunan anatomik yapılar hakkında doğrudan bilgi sunmamaktadır. Ayrıca, farklı görüntüleme sistemleri ve analiz yazılımları arasında ölçüm protokolleri, anatomik referans noktalarının tanımlanması ve kullanılan terminoloji açısından tam bir standardizasyonun sağlanamamış olması, elde edilen verilerin güvenilirliğini ve farklı çalışmalar arasındaki karşılaştırılabilirliğini sınırlayabilmektedir. Bunun yanı sıra, cihaz ve yazılım maliyetleri,

teknik altyapı gereksinimleri ve sistemlerin etkin biçimde kullanılabilmesi için gerekli eğitim ve deneyim süreci, bu yöntemlerin klinik uygulamalarda yaygınlaşmasını etkileyen diğer faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, özellikle iyonize radyasyonun olası etkilerine karşı daha duyarlı olan çocuk ve adölesan bireylerde, radyasyon içeren görüntüleme yöntemlerine ilişkin endikasyonlar bireysel klinik gereksinimler doğrultusunda belirlenmeli ve radyasyon maruziyeti, tanısal görüntü kalitesinden ödün verilmeksizin mümkün olan en düşük düzeyde tutulmalıdır.

Üç boyutlu görüntüleme teknolojilerinin gelecekteki gelişiminin, büyük ölçüde yapay zekâ temelli uygulamalarla şekillenmesi beklenmektedir. Yapay zekâ ve özellikle derin öğrenme algoritmaları, anatomik referans noktalarının otomatik olarak belirlenmesi, anatomik yapıların segmentasyonu ve sefalometrik analiz süreçlerinin otomatikleştirilmesi gibi çeşitli alanlarda giderek daha yaygın biçimde kullanılmaktadır. Güncel bilimsel kanıtlar, iki boyutlu sefalometrik radyografilerde anatomik referans noktalarının otomatik olarak belirlenmesinin bir dakikadan kısa sürede gerçekleştirilebildiğini ve bazı uygulamalarda klinik açıdan kabul edilebilir doğruluk düzeylerine ulaşılabildiğini göstermektedir. Buna karşılık, üç boyutlu konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) verileri üzerinde gerçekleştirilen otomatik referans noktası belirleme işlemlerinde ortalama konumlandırma hatalarının yaklaşık 1,0–5,8 mm arasında değiştiği ve farklı çalışmaların sonuçları arasında belirgin heterojenlik bulunduğu bildirilmiştir (Hendrickx et al., 2024). Bu bulgular, yapay zekâ destekli üç boyutlu sefalometrik analizlerin önemli bir gelişim potansiyeline sahip olduğunu, ancak yöntemlerin doğruluğu, güvenilirliği ve klinik uygulanabilirliği açısından henüz yeterli düzeyde standardizasyon sağlanamadığını ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, sanal ortognatik cerrahi planlaması, otomatik dijital diş dizilimi (digital setup) ve şeffaf plak tedavilerinin bilgisayar destekli tasarım ve üretimi gibi uygulamalar,

üç boyutlu görüntüleme teknolojilerinin kullanım alanlarını genişletmektedir. Bu gelişmeler, üç boyutlu görüntüleme verilerinin ortodontik tanı ve tedavi planlamasından tedavi sonuçlarının öngörülmesine ve kişiye özgü apareylerin üretimine kadar uzanan bütünleşik dijital iş akışlarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmesine katkı sağlamaktadır (Şekil 8).

Şekil 8. Üç boyutlu kayıtların birleştirilmesi, yapay zekâ destekli analiz, klinik değerlendirme ve tedavi planlamasını içeren temsili iş akışı.



Kaynak: Yazarların yönlendirmesiyle yapay zekâ yardımıyla oluşturulmuştur. Temsili illüstrasyondur.

Sonuç

Ortodontik görüntüleme yöntemleri, geleneksel iki boyutlu kayıtların anatomik ve geometrik sınırlılıklarının aşılması amacıyla gelişim göstermiş ve kraniyofasiyal yapıların üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak sağlayan teknolojilerin klinik uygulamalarda yaygınlaşmasına zemin hazırlamıştır. Bu kapsamda, iskeletsel ve dişsel sert dokuların değerlendirilmesinde bilgisayarlı tomografi (BT) ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) gibi hacimsel görüntüleme yöntemlerinden yararlanılırken, yüz yumuşak dokularının morfolojik özelliklerinin incelenmesinde iyonize radyasyon içermeyen optik yüzey görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. İntraoral tarayıcılar ise diş yüzeylerinin ve çevre

ağız yumuşak dokularının üç boyutlu dijital modellerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Farklı görüntüleme yöntemlerinden elde edilen verilerin ortak bir dijital ortamda bütünleştirilmesi, hastanın kraniyofasiyal anatomisinin kapsamlı biçimde temsil edilmesini ve bireye özgü sanal tedavi planlamasının gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, uygun görüntüleme yönteminin seçiminde radyasyon maruziyeti, görüntüleme artefaktları, ölçüm ve analiz süreçlerindeki standardizasyon eksiklikleri ile mevcut bilimsel kanıtların düzeyi birlikte değerlendirilmelidir. Özellikle çocuk ve adölesan bireylerde iyonize radyasyon içeren görüntüleme yöntemlerinin kullanımı, bireysel klinik gereklilikler doğrultusunda gerekçelendirilmeli ve radyasyon dozu, tanısal görüntü kalitesini koruyacak şekilde optimize edilmelidir. Sonuç olarak, üç boyutlu görüntüleme teknolojileri ve yapay zekâ destekli analiz sistemleri, ortodontik tanı ve tedavi planlamasında klinik değerlendirmeyi destekleyen önemli araçlar olmakla birlikte, otomatik analizlerden elde edilen bulguların doğruluğu ve klinik uygunluğu uzman hekim tarafından değerlendirilerek doğrulanmalıdır.

Kaynakça/References

Abdelkarim, A. (2019). Cone-beam computed tomography in orthodontics. *Dentistry Journal, 7*(3), Article 89. https://doi.org/10.3390/dj7030089

Alassiry, A. M. (2023). Clinical aspects of digital three-dimensional intraoral scanning in orthodontics – A systematic review. *The Saudi Dental Journal, 35*(5), 437–442. https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.04.004

American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. (2013). Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics. Position statement by the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology, 116*(2), 238–257. https://doi.org/10.1016/j.oooo.2013.06.002

Benavides, E., Krecioch, J. R., Allareddy, T., Buchanan, A., Keels, M. A., Mascarenhas, A. K., Duong, M.-L., O'Brien, K. K., Ziegler, K. M., Lipman, R. D., Connolly, R. T., Cevidanes, L., Cordell, K., Elangovan, S., Fouad, A. F., González-Cabezas, C., Huja, S. S., Kademani, D., Khan, A., … Yepes, J. (2026). American Dental Association and American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology patient selection for dental radiography and cone-beam computed tomography: Clinical recommendations. *The Journal of the American Dental Association, 157*(1), 20–35.e5. https://doi.org/10.1016/j.adaj.2025.10.013

Broadbent, B. H. (1931). A new X-ray technique and its application to orthodontia. *The Angle Orthodontist, 1*(2), 45–66. https://doi.org/10.1043/0003-3219(1931)001%3C0045:ANXTAI%3E2.0.CO;2

Campioni, I., Pecci, R., & Bedini, R. (2020). Ten years of micro-CT in dentistry and maxillofacial surgery: A literature overview. *Applied Sciences, 10*(12), Article 4328. https://doi.org/10.3390/app10124328

Cevidanes, L. H. S., Styner, M. A., & Proffit, W. R. (2006). Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 129*(5), 611–618. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.12.008

Dindaroğlu, F., Kutlu, P., Duran, G. S., Görgülü, S., & Aslan, E. (2016). Accuracy and reliability of 3D stereophotogrammetry: A comparison to direct anthropometry and 2D photogrammetry. *The Angle Orthodontist, 86*(3), 487–494. https://doi.org/10.2319/041415-244.1

European Commission. (2012). *Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology: Evidence-based guidelines (Radiation Protection No. 172)*. https://sedentexct.eu/files/radiation_protection_172.pdf

Gabor, D. (1948). A new microscopic principle. *Nature, 161*(4098), 777–778. https://doi.org/10.1038/161777a0

Hajeer, M. Y., Millett, D. T., Ayoub, A. F., & Siebert, J. P. (2004). Applications of 3D imaging in orthodontics: Part I. *Journal of Orthodontics, 31*(1), 62–70. https://doi.org/10.1179/146531204225011346

Haney, E., Gansky, S. A., Lee, J. S., Johnson, E., Maki, K., Miller, A. J., & Huang, J. C. (2010). Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computed tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 137*(5), 590–597. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.06.035

Hendrickx, J., Gracea, R. S., Vanheers, M., Winderickx, N., Preda, F., Shujaat, S., & Jacobs, R. (2024). Can artificial intelligence-driven cephalometric analysis replace manual tracing? A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics, 46*(4), Article cjae029. https://doi.org/10.1093/ejo/cjae029

Izuka, E. N., Feres, M. F. N., & Pignatari, S. S. N. (2015). Immediate impact of rapid maxillary expansion on upper airway dimensions and on the quality of life of mouth breathers. *Dental Press Journal of Orthodontics, 20*(3), 43–49. https://doi.org/10.1590/2176-9451.20.3.043-049.oar

Kapila, S. D., & Nervina, J. M. (2015). CBCT in orthodontics: Assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofacial Radiology, 44*(1), Article 20140282. https://doi.org/10.1259/dmfr.20140282

Kau, C. H., Richmond, S., Incrapera, A., English, J., & Xia, J. J. (2007). Three-dimensional surface acquisition systems for the study of facial morphology and their application to maxillofacial surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 3*(2), 97–110. https://doi.org/10.1002/rcs.141

Kumar, V., Ludlow, J., Cevidanes, L. H. S., & Mol, A. (2008). In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *The Angle Orthodontist, 78*(5), 873–879. https://doi.org/10.2319/082907-399.1

Lascala, C. A., Panella, J., & Marques, M. M. (2004). Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofacial Radiology, 33*(5), 291–294. https://doi.org/10.1259/dmfr/25500850

Lee, K. J. C., Tan, S. L., Low, H. Y. A., Chen, L. J., Yong, C. W., & Chew, M. T. (2022). Accuracy of 3-dimensional soft tissue prediction for orthognathic surgery in a Chinese population. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery, 123*(5), 551–555. https://doi.org/10.1016/j.jormas.2021.08.001

Lisboa, C. O., Masterson, D., Motta, A. F. J., & Motta, A. T. (2015). Reliability and reproducibility of three-dimensional cephalometric landmarks using CBCT: A systematic review. *Journal of Applied Oral Science, 23*(2), 112–119. https://doi.org/10.1590/1678-775720140336

Loubele, M., Bogaerts, R., Van Dijck, E., Pauwels, R., Vanheusden, S., Suetens, P., Marchal, G., Sanderink, G., & Jacobs, R. (2009). Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *European Journal of Radiology, 71*(3), 461–468. https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.06.002

Ludlow, J. B., Davies-Ludlow, L. E., Brooks, S. L., & Howerton, W. B. (2006). Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofacial Radiology, 35*(4), 219–226. https://doi.org/10.1259/dmfr/14340323

Mozzo, P., Procacci, C., Tacconi, A., Tinazzi Martini, P., & Bergamo Andreis, I. A. (1998). A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: Preliminary results. *European Radiology, 8*(9), 1558–1564. https://doi.org/10.1007/s003300050586

Pellitteri, F., Scisciola, F., Cremonini, F., Baciliero, M., & Lombardo, L. (2023). Accuracy of 3D facial scans: A comparison of three different scanning system in an in vivo study. *Progress in Orthodontics, 24*, Article 44. https://doi.org/10.1186/s40510-023-00496-x

Quinzi, V., Polizzi, A., Ronsivalle, V., Santonocito, S., Conforte, C., Manenti, R. J., Isola, G., & Lo Giudice, A. (2022). Facial scanning accuracy with stereophotogrammetry and smartphone technology in children: A systematic review. *Children, 9*(9), Article 1390. https://doi.org/10.3390/children9091390

Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A., & Debernardi, C. L. (2016). Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 149*(2), 161–170. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.06.029

Savoldi, F., Dagassan-Berndt, D., Patcas, R., Mak, W.-S., Kanavakis, G., Verna, C., Gu, M., & Bornstein, M. M. (2024). The use of CBCT in orthodontics with special focus on upper airway analysis in patients with sleep-disordered breathing. *Dentomaxillofacial Radiology, 53*(3), 178–188. https://doi.org/10.1093/dmfr/twae001

Scarfe, W. C., & Farman, A. G. (2008). What is cone-beam CT and how does it work? *Dental Clinics of North America, 52*(4), 707–730. https://doi.org/10.1016/j.cden.2008.05.005

Schulze, R., Heil, U., Groß, D., Bruellmann, D. D., Dranischnikow, E., Schwanecke, U., & Schömer, E. (2011). Artefacts in CBCT: A review. *Dentomaxillofacial Radiology, 40*(5), 265–273. https://doi.org/10.1259/dmfr/30642039

Solow, B., & Tallgren, A. (1971). Natural head position in standing subjects. *Acta Odontologica Scandinavica, 29*(5), 591–607. https://doi.org/10.3109/00016357109026337

Swennen, G. R. J., Schutyser, F., & Hausamen, J.-E. (2006). *Three-dimensional cephalometry: A color atlas and manual*. Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-29011-7

van Leeuwen, B. J., Dijkstra, P. U., Dieters, J. A., Verbeek, H. P. J., Kuijpers-Jagtman, A. M., & Ren, Y. (2022). Effect of voxel size in cone-beam computed tomography on surface area measurements of dehiscences and fenestrations in the lower anterior buccal region. *Clinical Oral Investigations, 26*(9), 5663–5672. https://doi.org/10.1007/s00784-022-04521-x

Yanev, N., Yordanova, G., & Emiliyanov, E. (2024). CBCT evaluation methods in orthodontics – Review and clinical correlation. *Journal of IMAB, 30*(3), 5680–5687. https://doi.org/10.5272/jimab.2024303.5680

Yatabe, M., Prieto, J. C., Styner, M., Zhu, H., Ruellas, A. C., Paniagua, B., Budin, F., Benavides, E., Shoukri, B., Michoud, L., Ribera, N., & Cevidanes, L. (2019). 3D superimposition of craniofacial imaging—The utility of multicentre collaborations. *Orthodontics & Craniofacial Research, 22*(S1), 213–220. https://doi.org/10.1111/ocr.12281

Yi, J., Sun, Y., Li, Y., Li, C., Li, X., & Zhao, Z. (2017). Cone-beam computed tomography versus periapical radiograph for diagnosing external root resorption: A systematic review and meta-analysis. *The Angle Orthodontist, 87*(2), 328–337. https://doi.org/10.2319/061916-481.1

BÖLÜM 3

SINIF II MALOKLÜZYON TEDAVİSİNDE SABİT FONKSİYONEL APAREYLER

Özlem Su KAYA[1]
Zehra İLERİ[2]

Giriş

Sınıf II maloklüzyonlar ortodontik anomali tiplerinin büyük bir kısmını oluşturur; bu nedenle klinisyenlerin sık rastladığı maloklüzyonlardan biridir. Ortodontik maloklüzyonlar 1899 yılında Angle tarafından tanımlanmıştır. Yapılan tanımlamada oklüzyonun anahtarı üst birinci büyük azı dişi kabul edilmiş ve konumu sabit olarak değerlendirilerek yorum yapılmıştır. Üst birinci büyük azı dişinin meziobukkal çıkıntısının, alt birinci büyük azının mezial ve distal bukkal çıkıntıları arasındaki sulkusa oturduğu durum normal oklüzyon yani Sınıf I ilişki olarak kabul edilmiş ve alt birinci büyük azı dişinin olması gerektiği konumdan daha distalde olduğu durum ise Sınıf II maloklüzyon (distoklüzyon) olarak adlandırılmıştır (Angle, 1899).

[1] Arş. Gör., Selçuk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0008-4964-9720.
[2] Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0001-5718-8022

Angle (1899, 1907) Sınıf II maloklüzyonu iki gruba ayırarak incelemiştir. Bunlar:

Sınıf II Bölüm 1: Sınıf II molar ilişkinin artmış overjetle birlikte görüldüğü maloklüzyondur. Etiyolojisinde ağız solunumu yer alabilir ve genellikle üst çene darlığıyla birlikte görülmektedir.

Sınıf II Bölüm 2: Sınıf II molar ilişkinin artmış overbite ve keser dişlerin retrokline olmasıyla birlikte görüldüğü maloklüzyon tipidir.

Sınıf II maloklüzyonun epidemiyolojisine yönelik birçok çalışma mevcuttur. Angle (1907) klinikte gözlemlediği hastaların %27'sinde Sınıf II maloklüzyonun görüldüğünü belirtmiştir. Bildirilen oranlar, örneklemin toplum tabanlı ya da hastalardan oluşmasına ve tanıda dental (Angle) ya da iskeletsel (ANB açısı) ölçüt kullanılmasına göre değişmektedir. Türkiye'de okul çocuklarında dental sınıflamaya göre yaklaşık %20, ortodonti kliniğinde tedavi edilen hastalarda dental sınıflamaya göre %28, iskeletsel sınıflamaya göre ise %34,6 oranı bildirilmiştir; bu nedenle Tablo 1'deki oranlar doğrudan toplum sıklığı olarak karşılaştırılmamalıdır.

Tablo 1. Sınıf II maloklüzyonun görülme sıklığına ilişkin çalışmalar

Çalışma	**Bölge / örneklem**	**Yaş (yıl)**	**Sınıf II oranı**
Angle (1907)	Klinik hastaları; Angle sınıflaması	—	%27
Başçiftçi et al. (2002)	Konya, okul çocukları (n = 965); Angle sınıflaması	6–19	Bölüm 1: %15,9 Bölüm 2: %4,3
Sarı et al. (2003)	Konya, ortodonti kliniğinde tedaviye alınanlar (n = 1602); Angle sınıflaması	0–38	%28,07

Çalışma	Bölge / örneklem	Yaş (yıl)	Sınıf II oranı
Alhammadi et al. (2018)	Dünya geneli, 53 toplum tabanlı çalışma; Angle sınıflaması	5–54*	Daimi dişlenme: %19,56 Karma dişlenme: %23 Avrupa (daimi): %33,51
Hezenci & Bulut (2024)	Batı Karadeniz, hastalar (n = 1043); iskeletsel sınıflama (ANB > 4°)	7–17	%34,6

Kaynak: Angle (1907), Başçiftçi et al. (2002), Sarı et al. (2003), Alhammadi et al. (2018) ve Hezenci & Bulut (2024) çalışmalarından derlenmiştir. Okul ve klinik örneklemleri farklı toplulukları temsil eder; ANB'ye dayalı iskeletsel sınıflama dental Angle sınıflamasından farklıdır. *Alhammadi et al. (2018) için verilen yaş aralığı, derlemeye dahil edilen çalışmaların yaş aralığıdır; oranlar yaşa göre değil, dişlenme dönemine göre bildirilmiştir.

Sınıf II maloklüzyonun etiyolojisi multifaktöriyeldir ancak genel olarak 2 başlık altında toplamak gerekirse genetik ve çevresel faktörler olarak ikiye ayırabiliriz (Bishara, 2006). Ebeveynler ile çocukları arasındaki kraniyofasiyal benzerlikler ve Sınıf II Bölüm 2 bireylerdeki diş boyutları üzerine yapılan çalışmalar genetik etkiyi desteklerken (Nakasima et al., 1982; Peck et al., 1998), ağız solunumu, parmak emme alışkanlığı, anormal yutkunma alışkanlığı, üst ikinci süt azı dişinin erken kaybı, dudak yetersizliği başlıca çevresel faktörler arasında sayılmaktadır (Bishara, 2006; Proffit et al., 2019/2020).

Mandibulanın kafa kaidesine göre geride olması nedeniyle gelişen Sınıf II maloklüzyonlarda tedavideki temel amaç alt çenenin gelişim yönü ve miktarına etki etmektir. Hareketli fonksiyonel apareylerin etkili bir şekilde çalışabilmesi için hasta kooperasyonu gerektirmesi ve boyutlarının büyük ve hacimli olması nedeniyle hasta konforunu olumsuz etkilemesi, sabit fonksiyonel apareylerin geliştirilmesine yol açmıştır (Karaçay et al., 2006). Bu bölümde fonksiyonel tedavinin temelleri kısaca özetlendikten sonra sabit

fonksiyonel apareylerin sınıflandırılması, rijit, fleksibl ve hibrit apareylerin özellikleri, iskeletsel ankrajlı uygulamalar ve bu apareylerin temporomandibular eklem üzerindeki etkilerine ilişkin kanıtlar ele alınmaktadır.

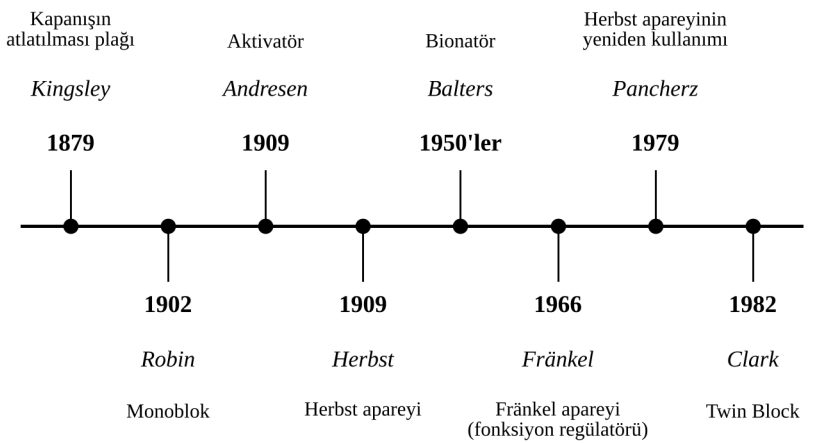
Fonksiyonel Tedavinin Temelleri

Çenelerin yanlış konumlarının ve yapı bozukluklarının tedavisinde gerekli dokusal değişimlerin organa ait fonksiyonel uyarılar aracılığıyla sağlanarak gerçekleştirilen tedaviye, 'fonksiyonel çene ortopedisi' denir (Ülgen, 2005). Bu tedavi yöntemi büyüme ve gelişimin devam ettiği bireylerde büyümenin yönlendirilmesini esas alır. Fonksiyonel uyaranlar aracılığıyla stomatognatik sistemin parçası olan dişlerin, periodontal membranın, alveolar ve bazal kemiklerin, temporomandibular eklemin ve nöromusküler yapıların gelişiminin yönlendirilmesi amaçlanır (Şar & Acar, 2022).

Sınıf II maloklüzyonun tedavi planı, sorunun dişsel ya da iskeletsel kaynağına göre belirlenir. Çenelerin kafa kaidesine göre konumunun normal olduğu dişsel Sınıf II olgularda üst büyük azı dişlerinin ağız dışı ya da ağız içi apareylerle distalizasyonu, Sınıf II elastikler veya çekimli tedavi uygulanabilir. Maksiller prognatide headgear ile maksiller büyümenin sınırlandırılması, kamuflaj amacıyla üst küçük azı dişlerinin çekimi ya da ortognatik cerrahi; mandibular retrognatide ise hareketli veya sabit fonksiyonel apareylerle mandibular büyümenin uyarılması, kamuflaj tedavisi ya da ortognatik cerrahi tercih edilir (McNamara, 1981; Sassouni, 1970). Alt çene üzerindeki büyümenin uyarılması etkisi nedeniyle büyüme dönemindeki hastalarda fonksiyonel çene ortopedisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak fonksiyonel apareylerin mandibula boyuna etkisinin klinik açıdan anlamlı olmadığını bildiren çalışmalar da mevcuttur (Chen et al., 2002).

İlk fonksiyonel aparey, 1879 yılında Norman Kingsley tarafından tanıtılmıştır. Bu aparey geride olan alt çeneyi öne almak için kapanışın atlatılması (bite jumping) prensibine dayanan maksiller anterior rehber bite plane uygulamasını içermektedir (Şar & Acar, 2022). 1902 yılında Pierre Robin kendi ismiyle anılan sendroma sahip olan bebeğe yaptığı monobloğu tanıtmıştır. Pierre Robin'in apareyinin Kingsley'in apareyinden en büyük farkı dişlerden destek almıyor olmasıdır (Graber, 2005/2017). Viggo Andresen 1909 yılında geliştirdiği apareye aktivatör adını vermiştir (Şar & Acar, 2022). Aynı yıl Emil Herbst, Berlin'deki Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi'nde sabit bir kapanış sıçratma apareyi tanıtmış(Pancherz, 1997). Sonraki yıllarda Balters'in Bionatör apareyi (1950'ler), Fränkel'in fonksiyon regülatörü (1966) ve Clark'ın Twin Block apareyi (1982) tanıtılmıştır (Graber, 2005/2017; Şar & Acar, 2022). Fonksiyonel apareylerin tarihsel gelişimi Şekil 1'de özetlenmiştir.

Şekil 1. Fonksiyonel apareylerin tarihsel gelişimi



Kaynak: Graber (2005/2017), Şar & Acar (2022) ve Pancherz (1997) temel alınarak yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Fonksiyonel çene ortopedisinin dayandığı başlıca teoriler Roux teorisi, Wolff kanunu, Muzy'nin enerjivital ve lienplastik teorileri ile Moss'un fonksiyonel matriks teorisidir (Graber, 2005/2017; Ülgen, 2005). Roux 1883 yılında, fonksiyon sırasında oluşan kas uyarılarının kemikte hücresel aktiviteyi ve kemik yapımını artırdığını, inaktivitenin ise kemik yapımını azalttığını ileri sürmüştür (Şar & Acar, 2022). Wolff'un 1892 yılında tanımladığı yasaya göre kemiğe uygulanan fonksiyonel kuvvetlerin oluşturduğu trabeküler değişiklikler, kemiğin dış morfolojisinde de değişikliklere yol açar (Ülgen, 2005). Muzy'nin enerjivital teorisine göre canlıların gelişimi bir engelle karşılaştığında duraklar ve engel ortadan kalktığında yeniden ilerler; lienplastik teorisine göre ise birbiriyle ilişkili iki kemikten birinde meydana gelen değişiklik diğer kemiği de etkiler (Ülgen, 2005). Moss'un fonksiyonel matriks teorisinde kraniyofasiyal büyümede belirleyici rolü iskeletsel üniteler değil, işlev gören boşluklar ve bunları saran yumuşak dokulardan oluşan fonksiyonel matriks üstlenir; iskeletsel yapılarda oluşan değişikliklerin tamamı fonksiyonel matrikste meydana gelen değişikliklerin sonucudur (Moss, 1968, 1997).

Tedavi Zamanlaması

Fonksiyonel çene ortopedisi ile elde edilen sonuçları daha sonrasında koruyabilmek büyük oranda tedavinin başlangıç zamanının belirlenmesi ile ilgilidir. Tedaviye ne zaman başlanması gerektiğine ilişkin görüşler yıllar içinde değişmiştir. Fränkel (1969) tedavide kas adaptasyonunun önemini vurgulayarak tedaviye 6–8 yaşlarında başlanması gerektiğini savunmuştur. Ülgen'e (2005) göre ise fonksiyonel ortopedik tedaviye en iyi cevap, pubertal atılıma başlamamış ya da başlamak üzere olan vakalarda alınmaktadır. Tedaviye daha erken de başlanabilir, fakat bu dönemde yıllık büyüme miktarı az olduğu için tedavi süresi uzayabilir. Hasta pubertal atılım başlangıcında tedaviye kabul edilirse daha kısa sürede sonuca ulaşılabilmektedir (Ülgen, 2005).

El-bilek filminde sesamoid kemikte kireçlenmenin görülmesi pubertal büyüme atılımının başladığını gösterir. Atılımın zirvesine (MP3cap dönemi) bundan ortalama 1 yıl sonra ulaşılır. Bu süre bireyden bireye değişebilir (Şar & Acar, 2022).

Apareye özgü çalışmalar da pubertal dönemi işaret etmektedir. Baccetti et al. (2000), Twin Block tedavisine pubertal atılımdan önce başlanan hastalarla atılım sırasında ya da hemen sonrasında başlanan hastaları, iskeletsel ve dentoalveolar değişiklikler açısından tedavisiz kontrollerle karşılaştırmıştır. İkinci grupta mandibular uzunluk daha çok artmış, iskeletsel molar düzeltimi de daha fazla olmuştur. Yazarlar en uygun zamanın pubertal büyüme hızı zirvesinin başladığı dönem ya da hemen sonrası olduğunu belirtmiştir. Güncel yaklaşımda iskeletsel olgunluk servikal vertebra olgunlaşma yöntemiyle de değerlendirilmektedir. Baccetti et al. (2005), mandibular büyüme atılımının CS3 ile CS4 evreleri arasında gerçekleştiğini ve fonksiyonel tedaviye başlamak için ideal evrenin CS3 olduğunu bildirmiştir.

Fonksiyonel Tedavinin Etkileri

Graber (2005/2017), fonksiyonel apareylerle Sınıf II düzeltimine ilişkin olası bir senaryoda sagital düzeltmeyi 6–7 mm olarak vermiş ve büyüme yönünün elverişli olduğu varsayımıyla bu düzeltmenin hangi büyüme ve adaptasyon bileşenlerinden ne kadar gelebileceğini sıralamıştır (Tablo 2). Değerler tahminidir ve tedavi süresince gerçekleşen normal büyümeyi de içerir; belirli bir aparey, tedavi süresi ya da ölçüm yöntemiyle elde edilmiş bulgular değildir. Bileşenlerin hepsi her hastada görülmez ve bir kısmı birbiriyle örtüşebilir; bu nedenle aralıklar toplanarak toplam düzeltme hesaplanmamalıdır.

Tablo 2. Graber'e göre fonksiyonel apareylerle Sınıf II düzeltimine katkıda bulunabilecek bileşenler ve tahmini aralıkları

Değişiklik	**Miktar**
Tedavi süresince kondiler büyüme[a]	1–3 mm
Glenoid fossada büyüme, yer değiştirme ve adaptasyon	3–5 mm
Fonksiyonel retrüzyonun giderilmesi[b]	0,5–1,5 mm
Trabeküler yönelimin gösterdiği daha elverişli büyüme yönü	0,5–1,5 mm
Maksillanın aşağı ve öne büyümesinin kısıtlanması	1–1,5 mm
Alt posterior segmentlerin diferansiyel olarak yukarı ve öne sürmesi (overbite derinliğine bağlı)	1,5–2,5 mm
Headgear etkisi[c]	0–0,5 mm

[a] Graber'e göre tedavi süresince mandibula maksilladan 1–5 mm daha fazla büyür; üst değerler daha çok erkeklerde görülür. Bu değer normal büyümeyi de içerir.

[b] Bazı Sınıf II olgularda, özellikle derin kapanışta, mandibula istirahat konumundan habitüel oklüzyona kapanırken yukarı ve geriye kayar; kondil de fossada fonksiyonel olarak geride konumlanır. Fonksiyonel aparey bu retrüzyonu giderdiğinde mandibulanın bu öne gelişi sagital düzeltmeye eklenir.

[c] Graber maksiller büyümenin kısıtlanmasını ve headgear etkisini ayrı bileşenler olarak verir, fakat ikisini neye göre ayırdığını açıklamaz. Literatürde "headgear etkisi" hem maksiller büyümenin hem de üst dentoalveolar yapının geriye doğru etkilenmesi için kullanıldığından (Ghislanzoni et al., 2011; Pancherz, 1997) iki bileşen kısmen örtüşebilir.

Kaynak: Graber (2005/2017, s. 997.e59) temel alınarak hazırlanmıştır.

Tablodaki değerler, fonksiyonel tedaviyle elde edilen sagital düzeltmenin tek bir mekanizmadan değil, iskeletsel ve dentoalveolar değişikliklerin birlikte etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. Ancak bu bileşenlerin her birinin hasta üzerindeki katkısını önceden tahmin etmeye olanak veren güvenilir bir yöntem yoktur (Graber, 2005/2017).

Başçiftçi et al. (2003), aktivatör apareyinin etkilerini kesinleştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada ramus yüksekliği, korpus uzunluğu, ön ve arka yüz yüksekliğinin arttığını, maksiller keser dişlerde lingual devrilme ve mandibular keserlerde labial devrilme olduğunu göstermişlerdir. Bu bulgular, aktivatörün etkisinin yalnızca iskeletsel düzeyde kalmadığını, keser

eğimlerindeki değişiklikler aracılığıyla dentoalveolar bir bileşen de içerdiğini göstermektedir.

Twin Block ve Herbst apareyinin Sınıf II Bölüm 1 maloklüzyona sahip hastalarda kullanımı sonucunda oluşan yumuşak doku değişikliklerini incelemek amacıyla yapılan çalışmada Twin Block ve Herbst apareyi kullanan iki grupta da yumuşak doku konveksite açısında (Na'-Sn-Pog') artma görülmüştür; ancak bu açının artışı daha yüksek oranda Twin Block apareyi kullanan grupta olmuştur. Twin Block grubunda alt dudak ve yumuşak doku pogonion Herbst apareyine göre daha fazla öne gelmiştir (Baysal & Uysal, 2013). Bu sonuçlar, fonksiyonel apareylerin yumuşak doku üzerindeki etkilerinin farklılık gösterebileceği ve aparey seçiminde profile ilişkin beklentilerin de göz önünde bulundurulması gerektiğini düşündürmektedir.

Sabit Fonksiyonel Apareyler

Sabit fonksiyonel apareylerin ilk örneği, Emil Herbst'in 1909 yılında tanıttığı Herbst apareyidir. Uzun yıllar literatürde çok az yer alan aparey, 1979 yılında Pancherz'in yayınladığı sefalometrik çalışmayla yeniden gündeme gelmiştir (Pancherz, 1997). Herbst apareyinin yeniden yaygınlaşması, bu apareyi temel alan ya da modifiye eden pek çok yeni tasarımın geliştirilmesine yol açmıştır (Graber, 2005/2017). 1987 yılında tanıtılan Jasper Jumper ile esnek kuvvet modülüne sahip apareyler kullanıma girmiş (Jasper, 1987), daha sonra rijit ve esnek apareylerin özelliklerini bir araya getiren hibrit apareyler geliştirilmiştir (Papadopoulos, 2006a). Günümüzde ise bu apareylerin dentoalveolar yan etkilerini azaltmak amacıyla iskeletsel ankraj araçlarıyla birlikte kullanımı gündeme gelmiştir (Rutili et al., 2026).

Sabit fonksiyonel apareylerin hareketli fonksiyonel apareylere göre avantajları ve dezavantajları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Sabit fonksiyonel apareylerin hareketli fonksiyonel apareylere göre avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	**Dezavantajlar**
Kooperasyon güçlüğü çeken hastalarda kullanılabilmektedir.	Sabit fonksiyonel apareyler karmaşık tasarımlarından dolayı daha maliyetlidir.
Sabit apareyler sürekli ağız içinde bulunduğundan takılıp çıkarılmalarına bağlı bir hasta uyumu gerektirmez.	Aparey tasarımına da bağlı olarak kırılma riskleri daha yüksektir. Kırılmaları önlemek, ağız hijyenini sağlamak ve kontrollere düzenli gelmek için hasta iş birliği yine de gerekir.
Ağız solunumu olan hastalarda da etkili bir şekilde kullanılabilmektedir.	Alt keserlerde istenmeyen proklinasyona neden olurlar.
Sabit fonksiyonel apareyler daha küçük boyutlarda olduğundan dolayı hastanın fonksiyonel becerisini daha az kısıtlar.	Bazı tasarımlarda hastanın lateral hareketleri kısıtlanmaktadır (Herbst).

Kaynak: Pancherz (1985), Jasper & McNamara (1995) ve McNamara & Brudon (1993).

Sabit fonksiyonel apareylerle elde edilen düzeltimin büyük bölümü dentoalveolar düzeyde gerçekleştiği için (Zymperdikas et al., 2016), hasta seçiminde iskeletsel sorun kadar alt keserlerin başlangıçtaki konumuna ve periodontal duruma da bakmak gerekir. Apareyleri geliştiren yazarlar, tedaviye prokline alt keserlerle başlayan, alt ön bölgede ileri derecede çapraşıklığı ya da fazla diş eti görünümü (gummy smile) olan ve ağız hijyeni yetersiz hastalarda bu apareylerin kullanılmamasını önermektedir (Sabbagh, 2006; Winsauer & Muchitsch, 2006). Winsauer & Muchitsch (2006), alt keserlerin aşırı protrüzyonunun alveolar kemik kaybına ve diş eti çekilmesine yol açabileceğini belirtir. Güncel kohort çalışmaları bu riskin klinikte küçük kaldığını göstermektedir. Herbst-multibraket tedavisi gören Sınıf II Bölüm 1 hastalarda labial diş eti çekilmesi görülen dişlerin oranı tedavi öncesinde %1,1, retansiyon sonrasında %5,3 bulunmuştur. Bu oran alt keserlerde %16,4'e kadar çıkmış, ancak ortalama çekilme miktarı 0,08 mm'de kalmıştır (Bock et al.,

2019). Sınıf II Bölüm 2 hastalarda da oran %1,4'ten %6,7'ye yükselmiş, ortalama miktar 0,06 mm olmuştur (Bock et al., 2020). Dikey yön de seçimi etkiler. Üst molarlara intrüziv kuvvet uygulayan Eureka Spring gibi apareyler dolikofasiyal hastalarda yarar sağlarken ileri derecede brakifasiyal olgularda istenmeyebilir (DeVincenzo, 2006).

Uygun hasta seçilse bile tedavi sırasında komplikasyonlarla sık karşılaşılır. Forsus FRD ile tedavi edilen 58 adölesan kız hastanın %62'sinde en az bir komplikasyon görülmüştür (Elkordy et al., 2020). Bu çalışmada aparey yalnızca iki hastada kırılmış, buna karşılık alt kaninlerin rotasyonu (%51,7), posterior çapraz kapanış (%25,9) ve üst birinci molar bantlarındaki tüplerin kopması (%20,9) çok daha sık sorun çıkarmıştır. Üst birinci molarlar bütün hastalarda intrüze olmuş, dört hastada buna bağlı yan açık kapanış gelişmiştir. Üç hastada yanak ülserasyonuyla birlikte ekstraoral şişlik görülmüş, aparey çıkarıldıktan sonra sorun tekrarlamamıştır. Yazarlar apareyin aşırı aktive edilmemesini, alt kaninlerin sıkı bağlanmasını, uygun boyutta aparey seçilmesini, ikinci molarların tedaviden önce bağlanıp seviyelenmesini ve sıkı bir ağız hijyeni protokolü uygulanmasını önermektedir (Elkordy et al., 2020). Sorunların zamanında fark edilmesi için düzenli kontrol de gerekir. Eureka Spring'de iç yay erken kırılıp kuvvet azalabilir. Hasta bunu fark etmez, üstünkörü bir muayenede de anlaşılmaz; bu yüzden itici kolun kuvveti her randevuda kontrol edilmelidir (DeVincenzo, 2006).

Sabit fonksiyonel apareylerle elde edilen Sınıf II düzeltiminin uzun dönem stabilitesine ilişkin literatür verileri oldukça sınırlıdır. Bock et al. (2016) sistematik derleme ve meta-analizlerinde Sınıf II tedavisinde kullanılan 76 sabit fonksiyonel aparey tanımlamış, ancak tedavi sonrası en az bir yıllık takip içeren çalışma verilerine yalnızca Herbst ve Twin Force Bite Corrector apareyleri için ulaşabilmiştir. Twin Force Bite Corrector için

yalnızca 5 hastalık tek bir çalışma bulunduğundan meta-analiz Herbst apareyiyle elde edilen sonuçlar üzerinden yapılmıştır. Analiz sonuçları, tedavi sırasında sağlanan overjet düzeltiminin %26,2'sinin, sagital molar ilişki düzeltiminin ise %21,8'inin tedavi sonrasında geri döndüğünü göstermiştir. Overbite açısından değerlendirildiğinde Sınıf II Bölüm 1 olgularında düzeltimin %44,7'sinin kaybedildiği görülmüştür. İskeletsel ve yumuşak doku değişiklikleri ise büyük ölçüde korunmuştur. Herbst apareyi için ortalama stabilite iyi bulunmuş, fakat nüks miktarı hastadan hastaya büyük farklılık göstermiş ve bireysel düzeyde önceden tahmin edilememiştir. Diğer sabit fonksiyonel apareylerin çoğu için stabilite verisi bulunmamaktadır (Bock et al., 2016).

Moro et al. (2020) de hareketli ve sabit fonksiyonel apareylerle elde edilen Sınıf II düzeltiminin stabilitesini ele aldıkları derlemede oklüzal değişikliklerin çoğunlukla uzun dönemde korunduğunu belirtmiştir. Yazarlara göre takip sürecinde ortaya çıkan hafif değişiklikler gerçek bir tedavi nüksünden çok fizyolojik yaşlanmayla ilişkilidir. Bock et al. (2024) da Bionatör ve Herbst-multibraket tedavisi gören hastaları tedaviden en az 15 yıl sonra değerlendirmiştir. Her iki grupta overjet, sagital oklüzal ilişki ve PAR (Peer Assessment Rating) indeksi uzun dönemde korunmuş, takip döneminde keserlerde çapraşıklık artışı ve bazı ark genişliği değişiklikleri görülmüştür. Araştırmacılar bu geç dönem değişiklikleri büyük ölçüde fizyolojik yaşlanmaya bağlamıştır. Nüks daha çok dentoalveolar düzeyde ortaya çıkar. Overjet ve molar ilişkisindeki geri dönüş, tedavi sonrasında üst dişlerin öne, alt dişlerin geriye hareket etmesi ile maksilla ve mandibulanın elverişsiz büyümesinin birleşiminden kaynaklanabilir. Posterior dişler arasında stabil bir interdigitasyon sağlanamamışsa bu risk artar (Moro et al., 2020).

Sabit fonksiyonel tedavide Sınıf II ilişki çoğu zaman keserler başa baş konuma gelene kadar aşırı düzeltilir. Forsus Fatigue

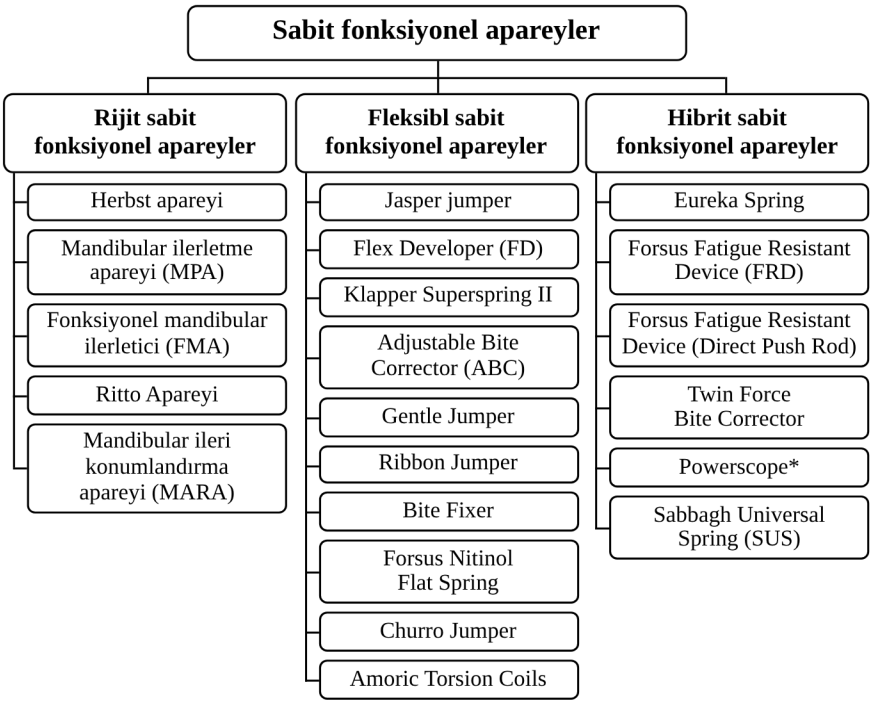
Resistant Device ile tedavi edilen hastaları inceleyen Elkordy et al. (2020), aparey kullanımını keserler arasında başa baş ilişki elde edilene kadar sürdürmüş; hastalar bu aşamadan sonra ortodontik tedavilerine devam etmiştir. Twin Force Bite Corrector ile tedavi edilen hastalarda aparey çıkarıldıktan sonra alt keserlerdeki proklinasyon anlamlı ölçüde geri dönmüş, ancak hastalar başa baş ilişkiye kadar düzeltildiği için overjet yeniden artmamıştır (Uribe et al., 2006).

Sabit fonksiyonel apareylerle sağlanan düzeltimin korunması için kullanılabilecek intermaksiller retansiyon yöntemlerini karşılaştıran bir çalışma henüz yoktur (Moro et al., 2020). Bock et al. (2016) derlemesindeki çalışmalarda da retansiyon protokolleri hareketli apareylerden yapıştırılmış retainerlara kadar büyük farklılık göstermiş, bazı hastalara hiç retainer uygulanmamıştır. Moro et al. (2020), dental nüksün üst ve alt keserlere yapıştırılan sabit retainerlarla ve üst arkta Hawley ya da vakumla şekillendirilmiş hareketli retainerlarla önlenebileceğini belirtmektedir. Yazarlar özellikle alt çenede uzun süreli retansiyonun yararlı olacağını düşünmektedir. Aktivatör ya da Bionatör gibi bir fonksiyonel apareyin aktif retainer olarak kullanılmasını ise yalnızca belirli durumlar için önermektedirler: 3 mm'den fazla oklüzal düzeltme gerektiğinde, posterior bölgede güçlü bir interdigitasyon sağlanamadığında ya da sabit tedavi sırasında nüks geliştiğinde. Kanıt düzeyi düşük olduğu için retansiyon planı, hekimin deneyimi ile hastanın beklenti ve koşulları birlikte değerlendirilerek yapılır (Moro et al., 2020).

Sabit Fonksiyonel Apareylerin Sınıflandırılması

Sabit fonksiyonel apareyler 3 ana gruba ayrılarak incelenmektedir (Papadopoulos, 2006a). Bu sınıflama Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2. Sabit fonksiyonel apareylerin sınıflandırılması



Kaynak: Papadopoulos (2006a) temel alınarak hazırlanmıştır. *Powerscope, Papadopoulos'un 2006 sınıflamasından sonra geliştirildiği için listeye sonradan eklenmiştir. Ribbon Jumper, Forsus Nitinol Flat Spring'in American Orthodontics tarafından satılan eşdeğeridir (Vogt, 2003).

Rijit Sabit Fonksiyonel Apareyler

Herbst Apareyi

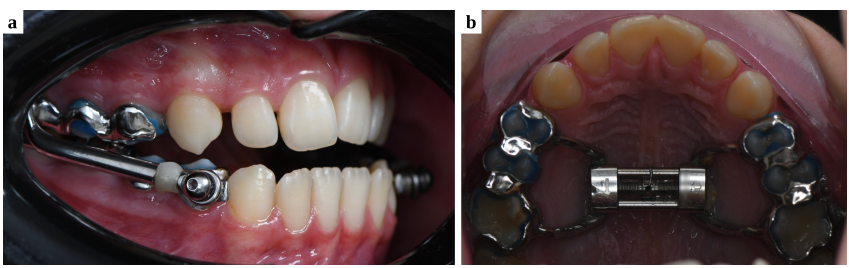
Aparey ilk defa Emil Herbst tarafından 1909 yılında Berlin'deki Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi'nde tanıtılmıştır. Herbst, "Retentionsscharnier" adını verdiği apareye ilişkin yayınını ise 1934 yılında yapmıştır (Pancherz, 1997).

Herbst apareyi, maksilla ve mandibula arasındaki yapay bir eklem ile karşılaştırılabilir. Her cihaz bir tüp ve piston (plunger) mekanizmasından oluşan iki taraflı teleskopik bir yapıya sahiptir

(Resim 1). Bilateral teleskopik mekanizma, fonksiyon sırasında bile mandibulanın öne konumlandırılmış pozisyonunu korur. Tüpün pivotu genellikle maksiller birinci molar banda lehimlenir ve pistonun pivotu mandibular birinci premolar banda bağlanır (Graber, 2005/2017).

Apareyin kullanımı sonucu görülen sagital değişiklikler maksiller arkın kısıtlanması ve mandibular büyümenin uyarılması sonucu meydana gelmektedir. Alt kesici dişler prokline olur, üst molar ise arkaya doğru hareket eder. Kondilin fossadaki nihai konumu, başlangıçtaki sorun Sınıf II Bölüm 2 maloklüzyon olmadığı sürece Herbst tedavisinden etkilenmez. Glenoid fossanın kendisi ise büyüme döneminde değişir. Derin kapanışlı Sınıf II maloklüzyonlarda overbite Herbst tedavisiyle önemli ölçüde azalabilir. Bu azalma başlıca alt molarların sürmesi ve alt keserlerin intrüzyonuyla oluşur. Alt keserler aynı anda prokline olduğu için intrüzyon ölçümlerde olduğundan fazla görünür. Overbite azalmasının bir kısmı da glenoid fossanın konum ve morfolojisindeki değişikliklerle ilgilidir (Graber, 2005/2017; Pancherz, 1997). Bu bulgular, bantlı ya da döküm splint Herbst apareyiyle genellikle 6–8 ay tedavi edilen ve tedavisiz kontrollerle karşılaştırılan ardışık Sınıf II hastalardan elde edilmiştir (Pancherz, 1997).

Resim 1. Herbst apareyi: (a) yandan görünüm, (b) üst çene oklüzal görünüm (ayna görüntüsü; üst ankraj ünitesi ve RME vidası)



Kaynak: Yazarların arşivinden.

Herbst apareyi, iskeletsel Sınıf II maloklüzyonların tedavisinde etkili olarak uygulanan bir apareydir. Hareketli fonksiyonel apareylerin aksine ergenlik sonrası dönemdeki, kooperasyon güçlüğü yaşanan ve ağız solunumu olan hastalarda da başarıyla kullanılabilir. Pancherz (1997), uzun dönem takip verilerine dayanarak Herbst tedavisini özellikle daimi dişlenmede ve pubertal atılımın zirvesinde ya da hemen sonrasında önermiştir. Bu dönemde tedavi edilen hastalarda kondiler büyümeye etki ortalamada daha fazla, alt keser proklinasyonu daha azdır. Karma dişlenmede tedavinin önerilmemesi zamanlamadan çok oklüzyonla ilgilidir: süt azı dişleriyle stabil bir Sınıf I tüberkül interdigitasyonu sağlanamaz ve retansiyon bütün daimi dişler sürene kadar uzar. Retansiyon yetersiz kalırsa nüks eğilimi artar (Graber, 2005/2017; Pancherz, 1997). Bu öneriler bantlı ve döküm splint Herbst apareyleriyle tedavi edilen hastalara dayanır; yazar, hangi ankraj sistemi kullanılırsa kullanılsın alt keser hareketlerini kontrol etmenin güç olduğunu da belirtmektedir (Pancherz, 1997). Büyümesi tamamlanmış bireylerde ise iskeletsel etki çok az olup tedavi etkisi dentoalveolar bölgeyle sınırlı kaldığından aparey büyük dikkatle kullanılmalıdır (Pancherz, 1997).

Mariscal et al. (2024), Herbst apareyini pubertal atılım öncesi, pubertal atılım sırası ve sonrası kullanan 3 farklı grup arasında yumuşak doku değişimlerini incelemişlerdir. Herbst apareyi kullanımı sonucunda her üç büyüme döneminde de yumuşak doku değişiklikleri elde edilebileceği ancak pubertal atılım öncesi ve atılım sırasında apareyin uygulandığı bireylerde bu değişikliklerin daha büyük oranda gerçekleşeceği sonucuna varılmıştır.

Ritto Apareyi

Aparey 1999 yılında Korrodi Ritto tarafından tanıtılmıştır. Basitleştirilmiş intraoral uygulama ve aktivasyona sahip minyatürleştirilmiş bir teleskopik cihaz olarak tanımlanabilir.

Mekanizmasının basit olması sebebiyle her iki tarafta da kullanılabilmektedir. Ritto tasarladığı apareyin rahat, ağza uygulanması kolay, maliyeti düşük, estetik ve kırılmaya karşı dirençli olduğunu dile getirmektedir. Kapalıyken cihazın uzunluğu 25 mm ve maksimum açıklıkta ise 33 mm'dir (Prateek & Sandhya, 2017; Ritto, 1999).

Mandibular İlerletme Apareyi (MPA)

Aparey Coelho Filho tarafından 1995 yılında tanıtılmıştır. Aparey yıllar içerisinde çeşitli değişimlere uğramıştır. Toplam 4 tipi bulunmaktadır. Herbst apareyinin maliyeti ve laboratuvar süreci gibi dezavantajlarını yenmek amacıyla geliştirilen bir apareydir. Ancak aparey yeterince rijit olmayıp kolay bir şekilde kırılabilmektedir. Tip IV apareyin yapımı daha kolay ve rahat olan versiyonudur. Bu tip T tüpler, üst molar kilitleme pimi, mandibular çubuk ve ark telinden meydana gelmektedir. Tip IV üstte 1. molar dişin bandına altta ise kaninin distaline bükülen loop üzerine takılır (Coelho Filho, 1995, 1997).

MPA apareyinin etkileri:

1. Maksillaya iskeletsel etkisi oldukça azdır.
2. Efektif mandibular uzunluğu pubertal atılım döneminde kullanılması durumunda artırabilir. Yetişkin dönemde kullanılması durumunda mandibula üzerine iskeletsel bir etkisi yoktur.
3. Mandibular kesici dişlerde proklinasyona neden olabilmektedir.
4. Sınıf II molar ilişkinin düzeltilmesini sağlar.
5. Alt molarlarda ekstrüzyon etkisi görülmüştür.

6. Overbite'ın azalmasına yol açabilir; bunun klinik önemi başlangıçtaki vertikal ilişkiye göre değişir (Furquim et al., 2018; Pontes et al., 2017).

Mandibular İleri Konumlandırma Apareyi (MARA)

MARA, Douglas Toll ve James Eckhart tarafından 1998 yılında Ormco şirketi ile yaptıkları iş birliğiyle tanıtılmıştır. MARA, kapanış sırasında kaçınılması gereken bir engel oluşturarak mandibulayı öne yönlendiren rijit bir apareydir ve Forsus ya da Jasper Jumper'dan farklı olarak alt ve üst ark arasında sürekli bir bağlantı içermez. Aparey sabit tedaviyle eş zamanlı kullanılabilir ve 2–3 mm'lik adımlarla aktive edilir (Ghislanzoni et al., 2011).

Ghislanzoni et al. (2011), MARA ile tedavi edilen 23 Sınıf II hastayı, yayımlanmış büyüme verilerinden oluşturulan tedavisiz Sınıf II kontrol grubuyla karşılaştırmıştır. Ortalama 2,1 yıllık aktif tedavi döneminde mandibular uzunluk (Co-Gn) tedavi grubunda 7,2 mm, kontrol grubunda 4,9 mm artmış; tedavi grubundaki artış kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde 2,2 mm daha fazla bulunmuştur ($p = 0,005$). Alt keserler mandibular düzleme göre kontrol grubuna kıyasla 5,8° daha fazla prokline olmuştur. Kapsamlı tedavinin bitiminden en az 1 yıl sonraki değerlendirmede Co-Gn'deki fark 2,0 mm ($p = 0,025$) olarak korunmuş; yazarlar MARA'nın iskeletsel etkisini ılımlı düzeyde değerlendirmiştir.

Olgu sunumlarında bildirilen avantajlar:

1. Basit bir tasarıma sahiptir. Maksilla ve mandibulayı bağlayan herhangi bir yay yoktur. Dayanıklı ve kırılmaya karşı dirençli bir apareydir.
2. Estetik olarak hastaları rahatsız etmeyen, oldukça küçük bir apareydir.

3. Temizlenmesinin kolay olduğu, bu nedenle ağız mukozasını daha az tahriş edebileceği belirtilmektedir.
4. Fonksiyonel hareketleri oldukça az miktarda kısıtlar.
5. Dişlerden aldığı ankraj noktası diğer sabit fonksiyonel apareylere göre daha azdır; yazarlar bunun dişler üzerindeki yan etkileri azaltabileceğini öne sürmektedir (Weber et al., 2019). Bu görüş karşılaştırmalı çalışmalarla doğrulanmamıştır; kontrollü bir çalışmada MARA ile anlamlı alt keser proklinasyonu görülmüştür (Ghislanzoni et al., 2011).

Fonksiyonel Mandibular İlerletici (FMA)

FMA, ilk bakışta MARA'ya benzeyen sabit bir fonksiyonel apareydir ancak MARA apareyi ile arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. FMA, fonksiyonel çene ortopedisinin temel konseptlerinden biri olan eğik düzlem prensibini benimser. Ana bileşenler her iki tarafta bukkale yerleştirilen kılavuz pimleri ve eğik düzlemlerdir. Eğik düzlem yatay düzlemle 60° açı yapacak şekilde tasarlanmıştır ve çene kapandığında mandibulanın anteriora aktif olarak yönlendirilmesini sağlar. Bu, neredeyse kısıtsız çiğneme hareketlerine olanak tanır ve buna bağlı olarak uyum sağlama süresini azaltır. Kinzinger et al. (2002), FMA'nın etkinliğinin takıp çıkarma uyumuna bağlı olmadığını ve alışkanlık gereği ağız açıklığı artmış olan (ağız solunumu veya hipotonik kas yapısı/dikey büyüme modeli) hastalarda bile apareyin aktif şekilde çalıştığını bildirmiştir.

Fleksibl Sabit Fonksiyonel Apareyler

Jasper Jumper

Aparey 1987 yılında James J. Jasper tarafından tanıtılmış (Jasper, 1987), klinik kullanımı ise Jasper & McNamara (1995)

tarafından ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Aparey temel olarak iki parçadan oluşmaktadır:

1. Kuvvet modülü: Herbst aygıtındaki bite jumping mekanizmasının boru ve piston parçalarına benzerdir ancak esnektir. Kuvvet modülü düz haldeyken pasiftir; dişler oklüzyona geldiğinde ya da çiğneme kasları mandibulayı kapattığında yay bükülür, alt ark üzerinde protrüziv ve intrüziv kuvvetler, üst arkta ise retrüziv ve intrüziv kuvvetler oluşturarak çalışır.
2. Ankraj ünitesi: Kuvvet modülü üst çene arkına bir top pim (ball pin) aracılığıyla sabitlenir. Bu top pim kuvvet modülünün distalinden geçirilip üst 1. molardaki bandın yüz yayı (face bow) tüpüne takılır. Alt tarafta kaninin distaline bayonet büküm yapılır ve üzerine Lexan boncukları yerleştirilir (Jasper & McNamara, 1995).

Flex Developer

Aparey 1997 yılında Winsauer tarafından tanıtılmıştır. Aparey kuvveti 3 mm çapında elastik poliamid miniroddan sağlamaktadır. Apareyin poliamidden üretilmesinin amacı kırılmaları engelleyerek daha dayanıklı hale getirmektir. Aletin uzunluğu aktiflik derecesine göre ağız içinde ayarlanabilmektedir; alt kaninin distaline takılan ön kanca modülü poliamid minirod üzerinde kayabilmektedir. Her bir apareyin kuvveti, minirodun çapı inceltilerek 1000 cN ile 50 cN arasında ayarlanabilir (1 cN ≈ 1 g). Aktivasyon miktarı ve aparey uzunluğu da kuvveti değiştirir; örneğin 38 mm uzunluğunda ve 3 mm çapındaki bir aparey yalnızca 2 mm aktivasyonda yaklaşık 300 cN kuvvet üretir (Winsauer & Muchitsch, 2006).

Forsus Nitinol Flat Spring

Aparey Vogt tarafından geliştirilmiştir. Aktif parçası, şeffaf plastikle kaplanmış, 0,5 × 3,0 mm boyutlarında düz bir nikel-titanyum yay çubuğundan oluşmaktadır (Papadopoulos, 2006b). Her iki tarafa birer yay yerleştirilir ve ilk aktivasyonda 5 mm sıkıştırılan her yay yaklaşık 225–250 g kuvvet üretir. Yeniden aktivasyon için yayın önüne ark teline sıkıştırılan bir durdurucu takılır; durdurucu yayı yaklaşık 1,5 mm daha sıkıştırır. Yay nikel-titanyumdan yapıldığı için takıldığı andan çıkarılana kadar görece sabit bir kuvvet uygular (Vogt, 2003).

Bildirilen avantajlar:

1. Zaman alıcı ya da pahalı laboratuvar işlemleri gerektirmez.
2. Apareyin takılıp çıkarılmasına yönelik hasta iş birliği gerektirmez.
3. Dentoalveolar etkisi baskındır.
4. Bir tarafta diğerine göre daha fazla aktive edilebildiğinden orta hat sapmalarının düzeltilmesinde kullanılabilir (Vogt, 2003).

Hibrit Sabit Fonksiyonel Apareyler

Forsus Fatigue Resistant Device

Forsus Flat Spring apareyindeki kırılmalardan dolayı yine aynı firma tarafından çok daha dayanıklı olduğu iddiasıyla üretilmiştir ve Vogt (2006) tarafından tanıtılmıştır. Aparey 3 parçadan oluşmaktadır:

1. Yay modülü
2. İtici kol (push rod)
3. Üst bağlantı parçası (L-pin veya EZ2 modülü)

Aparey, süperelastik nikel-titanyum sarmal yay içeren üç parçalı, yarı rijit teleskopik bir sistemdir (Jones et al., 2008). İlk sürümünde yay modülü üst çenede birinci molar bandının headgear tüpüne L şeklinde bir pimle (L-pin) bağlanır. İtici kol (push rod) ise alt ark teline doğrudan ya da premolar bölgesini atlayan yardımcı bir ark teliyle takılır (Papadopoulos, 2006b). Sonradan geliştirilen EZ ve EZ2 modüllerinde üst bağlantı, oklüzal headgear tüpüne geçmeli olarak takılan bir modülle sağlanır. İtici kol ark teline sıkıştırılarak sabitlenir ve bu modüle yerleştirilir (3M Oral Care, 2016). Resim 2'de EZ2 modüllü bir uygulama görülmektedir. Yay sıkıştıkça oluşan karşıt kuvvetler bağlantı noktalarına iletilir (Jones et al., 2008). Bir laboratuvar çalışmasında her bir yay 12 mm sıkıştırıldığında yaklaşık 226 g kuvvet üretmiştir (El-Sheikh et al., 2007, akt. Li et al., 2020). Yeniden aktivasyon için itici kola halka şeklinde ek parçalar takılarak yay 2–3 mm daha sıkıştırılabilir ya da daha uzun bir itici kol kullanılabilir (Papadopoulos, 2006b).

Resim 2. Forsus Fatigue Resistant Device, yandan görünüm



Kaynak: Yazarların arşivinden.

Apareyin etkileri:

1. Üst molarlarda intrüzyon ve distalizasyon görülebilir.
2. Üst kesici dişlerde retrüzyon
3. Alt molarlarda mesializasyon
4. Alt keserlerde labiale devrilme

5. Overjeti azaltır.
6. Hastanın büyüme yönü üzerinde belirgin bir fark oluşturmamaktadır.
7. Oklüzal düzlemde belirgin saat yönünde rotasyona neden olur.
8. Maksilla üzerinde iskeletsel etkisi oldukça sınırlıdır.
9. Mandibula üzerindeki iskeletsel etki isteniyorsa büyüme atılım döneminde kullanılmalıdır. Bu dönemde kullanan hastalarda efektif mandibular uzunlukta artış görüldüğünü söyleyen çalışmalar vardır.
10. Yumuşak doku pogonionu öne getirdiğini söyleyen çalışmalar olduğu gibi postpubertal dönemde yapılan çalışmalarda anlamlı yumuşak doku değişiminin görülmediğini belirten çalışmalar da vardır (Akan & Veli, 2020; Giuntini et al., 2015; Heinig & Göz, 2001; Jones et al., 2008; Zitouni & Acar, 2021).

Zitouni & Acar (2021), Forsus Fatigue Resistant Device ile tedavi edilmiş, büyümesi tamamlanmış 20 hasta üzerinde uzun dönem stabilizasyonu değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Araştırmanın sonunda apareyle elde edilen etkilerin iskeletsel değil dentoalveolar olduğu ve 19 ± 3 aylık takip süresinde elde edilen etkilerin stabil kaldığına karar verilmiştir.

Sabbagh Universal Spring

Aladin Sabbagh tarafından tasarlanmıştır (Dentaurum). Aparey Herbst aygıtı ve Jasper Jumper'ın kombinasyonu olarak tanıtılmıştır. Bu iki apareyin negatif özelliklerini eleyerek olumlu taraflarını birleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Apareyin üzerindeki vidanın saat yönü ya da tersi yönünde çevrilmesiyle iki farklı etki oluşturulur. Eğer vida saat yönünün tersine çevrilirse sert teleskop

etkisi oluşturarak Herbst aygıtına benzer işlev görür. Vida saat yönünde çevrilirse apareyin içerisindeki esnek yay aktif hale gelir (Sabbagh, 2006).

Twin Force Bite Corrector

Twin Force Bite Corrector (Ortho Organizers, San Marcos, CA, USA) apareyi, 2001 yılında Corbett ve Molina tarafından tanıtılmıştır (Papadopoulos, 2006a). Aparey birbirine paralel 16 mm'lik iki teleskopik silindirden oluşur. Her silindirin içinde zıt uçlarda bir itici (plunger) bulunur. Silindirin içindeki aktif nikel-titanyum yay, her iticiyi silindirin dışına 15 mm'lik bir mesafede iter. Aparey iki tarafa ayrı ayrı bağlanır. Hasta kesici dişler başa baş gelecek şekilde kapattığında her elemanın içindeki NiTi yay tamamen sıkışır ve yaklaşık 210 g kuvvet uygular. Fonksiyon sırasında kuvvet sürekli değiştiği için büyüklüğünü belirlemek güçtür (Uribe et al., 2006). Aparey oklüzal düzlemde saat yönünde rotasyona neden olur (Rothenberg et al., 2004; Uribe et al., 2006).

Powerscope

Aparey Andy Hayes tarafından American Orthodontics iş birliği ile tanıtılmıştır. Powerscope yarı rijit teleskopik bir sistemden oluşur ve ark teline somunlar yardımıyla bağlanır. Apareyin herhangi bir laboratuvar işlem gerektiren süreci yoktur. Her bir apareyin NiTi yayı 260 g'lık sabit bir kuvvet uygular (G. J. Kaur et al., 2022). Aktivasyon, itici kola eklenen 2 mm ve 3 mm'lik sıkıştırılabilir halkalarla, kesici dişler başa baş konuma gelene kadar aşama aşama yapılır (Agrawal & Shashikala Kumari, 2023).

Olgu sunumlarında bildirilen avantajlar:

1. Apareyin tek bir boyutta üretilmesi
2. Laboratuvar aşaması gerektirmemesi
3. Kolay ve hızlı bir şekilde ark teline bağlanabilmesi

4. Hastaların apareyi iyi tolere etmesi (R. Kaur et al., 2024)

Eureka Spring

Aparey 1997 yılında DeVincenzo tarafından tanıtılmıştır. NiTi sarmal yayın piston sistemiyle kaplanmasından oluşur. Hafif (150 g) ve ağır (225 g) kuvvet uygulayan iki yay modülü vardır ve modül her taraf için ayrı seçilebilir. Sınıf II ilişkinin bir tarafta daha belirgin olduğu olgularda o tarafa ağır, karşı tarafa hafif modül yerleştirilebilir (DeVincenzo, 2006). Sınıf II maloklüzyonun düzeltimini dentoalveolar olarak yapmaktadır; vertikal boyutlarda ise anlamlı değişikliklere neden olmamaktadır (Miles, 2016).

İskeletsel Ankrajlı Uygulamalar

Sabit fonksiyonel apareyler takıp çıkarma uyumuna bağımlılığı azaltmalarına karşın dişsel ankraj kaybına bağlı istenmeyen dentoalveolar etkilere yol açmaktadır. Apareyin üst arka posterior, alt arka ise anterior yönde kuvvet uygulaması alt keserlerde proklinasyona neden olmakta ve sabit fonksiyonel apareylerle sağlanan Sınıf II düzeltiminin önemli bir kısmı bu proklinasyondan kaynaklanabilmektedir. Negatif tork uygulanması ya da daha kalın dikdörtgen ark telleri kullanılması gibi yöntemler bu etkiyi önlemede başarılı olamamıştır (Rutili et al., 2026). Bu nedenle dentoalveolar yan etkileri azaltmak ve iskeletsel etkiyi artırmak amacıyla sabit fonksiyonel apareyler minivida ya da miniplak gibi geçici ankraj araçlarıyla birlikte kullanılmaya başlanmıştır (Arvind TR & Jain, 2021; Rutili et al., 2026).

Elkordy et al. (2019), iskeletsel Sınıf II maloklüzyona sahip 48 kız hastayı miniplak destekli Forsus, yalnız Forsus ve tedavi görmeyen kontrol grubu olmak üzere üç gruba ayırdıkları çalışmada miniplakları mandibular simfize yerleştirmiş ve Forsus apareyini doğrudan miniplaklara bağlamışlardır. Efektif mandibular uzunluk yalnızca miniplak destekli grupta anlamlı olarak artmıştır (4,05 mm).

Yalnız Forsus kullanılan grupta alt keserlerde anlamlı proklinasyon (9,17°) görülürken miniplak destekli grupta alt keserlerde anlamlı olmayan bir retroklinasyon meydana gelmiştir. Bununla birlikte miniplak grubunda mandibulanın saat yönünde rotasyonu sagital düzeltmeye katkıyı azaltmış ve miniplakların %13,3'ünde mobiliteye bağlı başarısızlık görülmüştür.

Celikoglu et al. (2016) ise retrospektif çalışmalarında mandibular simfize yerleştirilen miniplaklarla desteklenen Forsus FRD EZ apareyi ile Herbst apareyinin etkilerini 32 hastada karşılaştırmışlardır. Her iki aparey de iskeletsel Sınıf II maloklüzyonu benzer iskeletsel ve yumuşak doku değişiklikleriyle düzeltmiş; ancak Herbst grubunda alt keserler ortalama 7,50° prokline olurken iskeletsel ankrajlı Forsus grubunda 4,09° retrokline olmuştur.

Bu alandaki sistematik derlemeler de benzer sonuçlara ulaşmıştır. Arvind TR & Jain (2021), 116 hastayı kapsayan meta-analizlerinde iskeletsel ankrajlı ve ankrajsız Forsus apareyleri arasında mandibular uzunluk ve SNB açısı değişimlerinde anlamlı fark bulmamış; ancak iskeletsel ankrajın alt keser proklinasyonunu anlamlı derecede azalttığını ve miniplak destekli uygulamaların bu konuda minivida destekli uygulamalardan daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Rutili et al. (2026), sistematik derlemeleri değerlendirdikleri çalışmalarında dört randomize kontrollü çalışmayı (142 hasta) içeren meta-analizde iskeletsel ankrajlı apareylerin alt keser eğimini ortalama 5,03° daha fazla azalttığını, buna karşın mandibular uzunluk (Co-Gn) ve SNB açısında anlamlı fark oluşturmadığını göstermişlerdir. Yazarlar bu sonuçların kanıt kesinliğini düşük bulmuştur. Aynı çalışmada minivida mobilitesi, minivida başarısızlığı ve aparey kırılması gibi komplikasyonların iskeletsel ankrajlı grupta daha sık görüldüğü bildirilmiştir. Bu analizdeki dokuz çalışmanın sekizinde minivida kullanılmıştır; kanıt kesinliği burada da düşüktür.

Kesinliği düşük olan mevcut kanıtlar, iskeletsel ankrajın sabit fonksiyonel apareylere belirgin bir ek iskeletsel yarar sağladığını göstermemektedir; gösterilebilen başlıca yarar alt keser proklinasyonunun kontrolüdür. Bu nedenle iskeletsel ankraj özellikle tedavi başında alt keserleri prokline olan ya da ince alveolar kemik ve periodontal biyotipe sahip hastalarda tercih edilebilir; ancak miniplakların yerleştirilmesi ve çıkarılması için gereken cerrahi işlemler, artan maliyet ve kullanılan ankraj sistemine göre değişen komplikasyon riski göz önünde bulundurulmalıdır; örneğin miniplak destekli Forsus uygulamasında miniplakların %13,3'ünde mobilite bildirilmiştir (Elkordy et al., 2019; Rutili et al., 2026).

Temporomandibular Eklem Üzerine Etkiler

Sabit fonksiyonel apareylerin temporomandibular eklem üzerine etkilerini inceleyen çalışmalar üç başlıkta gruplandırılabilir (Tablo 4). Kondil ve glenoid fossaya ilişkin görüntüleme çalışmaları, tedavi sırasında kondilin öne konumlandığını ve glenoid fossada yeniden şekillenme (remodeling) ile adaptif değişiklikler meydana geldiğini göstermektedir (Agrawal & Shashikala Kumari, 2023; Gandhi et al., 2023; Halapanavar et al., 2024). Bu bulgular konum ve biçimdeki değişiklikleri gösterir; klinik temporomandibular bozukluk (TMD) gelişip gelişmediğini tek başına söylemez. Eklem diskine yönelik MR çalışmalarında tedavi sonunda disk-kondil ilişkisinde olumsuz bir değişim bildirilmemiştir (Gandhi et al., 2023; Kinzinger et al., 2006; Pancherz et al., 1999). Bu çalışmaların örneklemleri küçüktür ve hiçbirinde tedavisiz kontrol grubu yoktur. TMD belirti ve bulgularını değerlendiren uzun dönem çalışma ile meta-analiz yalnızca Herbst apareyini kapsar. İkisinde de Herbst tedavisinin TMD sıklığını artırmadığı bildirilmiştir; meta-analizin yazarları kanıtın zayıf olduğunu da belirtmiştir (Minervini et al., 2024; Ruf & Bock, 2019). Buna karşın Arici et al. (2008), Forsus Nitinol Flat Spring ile tedavi edilen hastalarda kondilin glenoid fossada tedavisiz kontrollere göre daha posteriorda konumlandığını

bildirmiştir. Mevcut kanıtlar, incelenen apareyler ve takip süreleri için eklemde belirgin bir olumsuz etki göstermemektedir. Diğer apareyler ve daha uzun takip süreleri için kontrollü çalışmalar gereklidir.

Tablo 4. Sabit fonksiyonel apareylerin temporomandibular eklem üzerine etkilerini inceleyen çalışmalar

Çalışma	**Aparey**	**Yöntem / örneklem**	**Temel bulgu**
Pancherz et al. (1999)	Herbst	MR; 15 hasta (12–17 yaş), kontrol yok; tedavi öncesinden aparey çıkarılana kadar (7 ay) 5 zaman noktası	Kondil konumu ortalamada değişmemiş; tedavi başında geriye konumlanan disk tedavi sonunda neredeyse başlangıç konumuna dönmüş; olumsuz disk değişikliği görülmemiş.
Kinzinger et al. (2006)	FMA	Manuel yapısal analiz (MSA) ve MR; 15 hasta (30 eklem), kontrol yok; tedavi öncesi ve FMA tedavisi sonu	Hiçbir eklemde disk-kondil ilişkisi bozulmamış; başlangıçta diski önde olan beş eklemde ilişki iyileşmiş.
Arici et al. (2008)	Forsus Nitinol Flat Spring	BT; 30 hasta ve 30 tedavisiz kontrol; tedavi başı ve sonu (7 ay)	Kondil ve fossa hacmindeki artış kontrollerden anlamlı farklı değil; kondil glenoid fossada kontrollere göre daha posteriorda konumlanmış.

Çalışma	Aparey	Yöntem / örneklem	Temel bulgu
Ruf & Bock (2019)	Herbst ve sabit ortodontik tedavi	RDC/TMD, DC/TMD ve Helkimo indeksi; 72 hasta, 33'ünde tam veri; kontrol yok; tedavi öncesi, sonrası ve ≥15 yıl sonra	TMD sıklığı sırasıyla %21, %9 ve %15; farklar anlamlı değil; TMD riski artmamış, azalmamış.
Agrawal & Shashikala Kumari (2023)	Powerscope	CBCT; 11 hasta (11–15 yaş), kontrol yok; tedavi öncesi ve 6–8 aylık fonksiyonel faz sonu	Kondil 1,08 mm öne konumlanmış, kondil uzunluğu ve yüksekliği artmış, glenoid fossa açısı azalmış.
Gandhi et al. (2023)	Miniplak destekli (bimaksiller) Forsus FRD	MR; 15 hasta, 14'ü analiz edilmiş, kontrol yok; tedavi öncesi ve fonksiyonel faz sonu (ortalama 8,5 ay)	Kondil fossada öne konumlanmış; disk sagital düzlemde kondile göre geriye hareket etmiş, koronal düzlemde değişmemiş.

Çalışma	Aparey	Yöntem / örneklem	Temel bulgu
Halapanavar et al. (2024)	Twin Block ve Powerscope	Pilot randomize çalışma; CBCT; 20 hasta randomize edilmiş, 16'sı analiz edilmiş (11–14 yaş); tedavisiz kontrol yok; tedavi öncesi ve 7–9 ay sonra	Her iki grupta kondil boyutları artmış; değişiklikler Twin Block grubunda daha belirgin.
Minervini et al. (2024)	Herbst	Meta-analiz; 4 boylamsal çalışma, 186 hasta; takip tedavi sonundan 19 yıla kadar	TMD sıklığında anlamlı fark yok (OR 0,74; %95 GA 0,33–1,68); yazarlar kanıtın zayıf olduğunu belirtmiş.

Not. BT = bilgisayarlı tomografi; CBCT = konik ışınlı bilgisayarlı tomografi; DC/TMD = Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders; FMA = fonksiyonel mandibular ilerletici; FRD = Fatigue Resistant Device; GA = güven aralığı; MR = manyetik rezonans görüntüleme; MSA = manuel yapısal analiz; OR = odds oranı; RDC/TMD = Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders; TMD = temporomandibular bozukluk.

Kaynak: Tabloda belirtilen çalışmalardan derlenmiştir.

Sonuç

Sabit fonksiyonel apareyler, ağız içinde sürekli bulundukları için takıp çıkarma uyumuna bağımlılığı azaltmaları ve ergenlik sonrası dönemde de kullanılabilmeleri nedeniyle mandibular retrüzyona bağlı Sınıf II maloklüzyonun tedavisinde hareketli fonksiyonel apareylere önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Yine de ağız hijyeni, düzenli kontroller ve kırılmaların önlenmesi için hasta iş birliği gerekir. Rijit, fleksibl ve hibrit olarak sınıflandırılan bu

apareylerle elde edilen Sınıf II düzeltimi iskeletsel ve dentoalveolar değişikliklerin bir bileşimidir; ancak düzeltimin önemli bir kısmı dentoalveolar düzeyde, özellikle alt keser proklinasyonu yoluyla gerçekleşmektedir. İskeletsel etkinin en belirgin olduğu dönem pubertal atılımın zirvesi ya da hemen sonrasıdır; bu nedenle doğru tedavi zamanlaması tedavinin başarısında belirleyicidir.

Mevcut çalışmalar, sabit fonksiyonel apareylerin kondil ve glenoid fossada adaptif değişikliklere yol açtığını ve temporomandibular eklem üzerinde belirgin bir olumsuz etkisi olmadığını düşündürmektedir. Bu sonuç incelenen apareyler ve takip süreleriyle sınırlıdır; uzun dönem klinik veriler de büyük ölçüde Herbst apareyine aittir. Miniplak ve minivida gibi iskeletsel ankraj araçlarıyla birlikte kullanım alt keser proklinasyonunu azaltmaktadır. Ancak kesinliği düşük olan kanıtlar belirgin bir ek iskeletsel yarar göstermemektedir ve komplikasyonlar özellikle minivida destekli uygulamalarda daha sık bildirilmiştir. Aparey seçimi hastanın büyüme dönemi, alt keser eğimi, periodontal durumu ve beklentileri birlikte değerlendirilerek yapılmalıdır. Sabit fonksiyonel apareylerin uzun dönem etkilerinin netleştirilmesi için iyi tasarlanmış randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynakça

3M Oral Care. (2016). *Forsus™ Fatigue Resistant Device EZ2 module* [Broşür]. https://multimedia.3m.com/mws/media/546540O/forsus-fred-ez2module-flyer-70-2021-3964-1.pdf

Agrawal, K., & Shashikala Kumari, V. (2023). Evaluation of skeletal changes in glenoid fossa, condylar head and articular space following fixed functional appliance therapy using cone beam computed tomography—A clinical prospective study. *Journal of Contemporary Orthodontics, 7*(2), 107–115. https://doi.org/10.18231/j.jco.2023.019

Akan, B., & Veli, İ. (2020). Evaluation of soft-tissue changes in young adults treated with the Forsus fatigue-resistant device. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 157*(4), 481–489.e2. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.05.014

Alhammadi, M. S., Halboub, E., Fayed, M. S., Labib, A., & El-Saaidi, C. (2018). Global distribution of malocclusion traits: A systematic review. *Dental Press Journal of Orthodontics, 23*(6), 40.e1–40.e10. https://doi.org/10.1590/2177-6709.23.6.40.e1-10.onl

Angle, E. H. (1899). Classification of malocclusion. *Dental Cosmos, 41*(3), 248–264.

Angle, E. H. (1907). *Treatment of malocclusion of the teeth: Angle's system* (7th ed.). S. S. White Dental Manufacturing Company. https://obrasraras.sibi.usp.br/xmlui/handle/123456789/302

Arici, S., Akan, H., Yakubov, K., & Arici, N. (2008). Effects of fixed functional appliance treatment on the

temporomandibular joint. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 133*(6), 809–814. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.07.035

Arvind TR, P., & Jain, R. K. (2021). Skeletally anchored Forsus fatigue resistant device for correction of Class II malocclusions—A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research, 24*(1), 52–61. https://doi.org/10.1111/ocr.12414

Baccetti, T., Franchi, L., & McNamara, J. A., Jr. (2005). The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Seminars in Orthodontics, 11*(3), 119–129. https://doi.org/10.1053/j.sodo.2005.04.005

Baccetti, T., Franchi, L., Toth, L. R., & McNamara, J. A., Jr. (2000). Treatment timing for Twin-block therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 118*(2), 159–170. https://doi.org/10.1067/mod.2000.105571

Başçiftçi, F. A., Demir, A., Sarı, Z., & Uysal, T. (2002). Konya yöresi okul çocuklarında ortodontik maloklüzyonların prevelansının araştırılması: Epidemiyolojik çalışma. *Türk Ortodonti Dergisi, 15*(2), 92–98. https://doi.org/10.13076/1300-3550-15-2-92

Başçiftçi, F. A., Uysal, T., Büyükerkmen, A., & Sarı, Z. (2003). The effects of activator treatment on the craniofacial structures of Class II division 1 patients. *European Journal of Orthodontics, 25*(1), 87–93. https://doi.org/10.1093/ejo/25.1.87

Baysal, A., & Uysal, T. (2013). Soft tissue effects of Twin Block and Herbst appliances in patients with Class II division 1

mandibular retrognathy. *European Journal of Orthodontics, 35*(1), 71–81. https://doi.org/10.1093/ejo/cjq187

Bishara, S. E. (2006). Class II malocclusions: Diagnostic and clinical considerations with and without treatment. *Seminars in Orthodontics, 12*(1), 11–24. https://doi.org/10.1053/j.sodo.2005.10.005

Bock, N. C., Jungbauer, R., Rudzki, I., Proff, P., & Ruf, S. (2024). Long-term (≥ 15 years) outcome quality after Class II:1 bionator or Herbst multibracket appliance treatment: A comparison. *Journal of Orofacial Orthopedics, 85*(4), 260–269. https://doi.org/10.1007/s00056-023-00457-3

Bock, N. C., Killat, S., & Ruf, S. (2020). Class II:2 malocclusion—Prevalence and progression of labial gingival recessions during Herbst-multibracket appliance treatment. *Clinical Oral Investigations, 24*(10), 3653–3660. https://doi.org/10.1007/s00784-020-03243-2

Bock, N. C., Ruehl, J., & Ruf, S. (2019). Prevalence, magnitude, and incidence of labial gingival recession with Herbst-multibracket appliance treatment: A retrospective cohort study. *The Angle Orthodontist, 89*(4), 535–543. https://doi.org/10.2319/032918-239.1

Bock, N. C., von Bremen, J., & Ruf, S. (2016). Stability of Class II fixed functional appliance therapy—A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics, 38*(2), 129–139. https://doi.org/10.1093/ejo/cjv009

Celikoglu, M., Buyuk, S. K., Ekizer, A., & Unal, T. (2016). Treatment effects of skeletally anchored Forsus FRD EZ and Herbst appliances: A retrospective clinical study. *The Angle Orthodontist, 86*(2), 306–314. https://doi.org/10.2319/040315-225.1

Chen, J. Y., Will, L. A., & Niederman, R. (2002). Analysis of efficacy of functional appliances on mandibular growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 122*(5), 470–476. https://doi.org/10.1067/mod.2002.126730

Coelho Filho, C. M. (1995). Mandibular protraction appliances for Class II treatment. *Journal of Clinical Orthodontics, 29*(5), 319–336.

Coelho Filho, C. M. (1997). Clinical applications of the mandibular protraction appliance. *Journal of Clinical Orthodontics, 31*(2), 92–102.

DeVincenzo, J. P. (2006). The Eureka Spring™: A compact, versatile, and cost-effective Class II corrector. In M. A. Papadopoulos (Ed.), *Orthodontic treatment of the Class II noncompliant patient: Current principles and techniques* (pp. 163–180). Mosby Elsevier.

Elkordy, S. A., Abouelezz, A. M., Fayed, M. M. S., Aboulfotouh, M. H., & Mostafa, Y. A. (2019). Evaluation of the miniplate-anchored Forsus Fatigue Resistant Device in skeletal Class II growing subjects: A randomized controlled trial. *The Angle Orthodontist, 89*(3), 391–403. https://doi.org/10.2319/062018-468.1

Elkordy, S. A., Fayed, M. M. S., Attia, K. H., & Abouelezz, A. M. (2020). Complications encountered during Forsus Fatigue Resistant Device therapy. *Dental Press Journal of Orthodontics, 25*(3), 65–72. https://doi.org/10.1590/2177-6709.25.3.065-072.oar

Fränkel, R. (1969). The treatment of Class II, Division 1 malocclusion with functional correctors. *American Journal*

of Orthodontics, 55(3), 265–275. https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90106-7

Furquim, B. D., Janson, G., Cope, L. C. C., Freitas, K. M. S., & Henriques, J. F. C. (2018). Comparative effects of the Mandibular Protraction Appliance in adolescents and adults. *Dental Press Journal of Orthodontics, 23*(3), 63–72. https://doi.org/10.1590/2177-6709.23.3.063-072.oar

Gandhi, A., Rai, P., Tripathi, T., & Kanase, A. (2023). Evaluation of effects of bimaxillary anchored fixed functional appliance on temporomandibular joint and maxillomandibular complex in late adolescents: An MRI study. *Journal of Indian Orthodontic Society, 57*(4), 273–285. https://doi.org/10.1177/03015742231187698

Ghislanzoni, L. T. H., Toll, D. E., Defraia, E., Baccetti, T., & Franchi, L. (2011). Treatment and posttreatment outcomes induced by the Mandibular Advancement Repositioning Appliance: A controlled clinical study. *The Angle Orthodontist, 81*(4), 684–691. https://doi.org/10.2319/111010-656.1

Giuntini, V., Vangelisti, A., Masucci, C., Defraia, E., McNamara, J. A., Jr., & Franchi, L. (2015). Treatment effects produced by the Twin-block appliance vs the Forsus Fatigue Resistant Device in growing Class II patients. *The Angle Orthodontist, 85*(5), 784–789. https://doi.org/10.2319/090514-624.1

Graber, T. M. (2017). Functional appliances. In L. W. Graber, R. L. Vanarsdall, K. W. L. Vig, & G. J. Huang (Eds.), *Orthodontics: Current principles and techniques* (6th ed., pp. 997.e50–997.e95). Elsevier. (Original work published 2005)

Halapanavar, B., Padmini, M. N., Deshmukh, S., Tirupathi, S., Waremani, A. S., & Kasodekar, A. (2024). Comparison of skeletal changes in the temporomandibular joint between the Twin Block appliance and fixed functional appliance: A longitudinal follow-up study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry, 17*(1), 7–14. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2727

Heinig, N., & Göz, G. (2001). Clinical application and effects of the Forsus™ spring: A study of a new Herbst hybrid. *Journal of Orofacial Orthopedics, 62*(6), 436–450. https://doi.org/10.1007/s00056-001-0053-6

Hezenci, Y., & Bulut, M. (2024). Batı Karadeniz toplumunda 18 yaş altı bireylerde maloklüzyon prevalansı. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 14*(2), 411–417. https://doi.org/10.31020/mutftd.1411958

Jasper, J. J. (1987). *The Jasper Jumper—A fixed functional appliance*. American Orthodontics.

Jasper, J. J., & McNamara, J. A., Jr. (1995). The correction of interarch malocclusions using a fixed force module. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 108*(6), 641–650. https://doi.org/10.1016/S0889-5406(95)70010-2

Jones, G., Buschang, P. H., Kim, K. B., & Oliver, D. R. (2008). Class II non-extraction patients treated with the Forsus Fatigue Resistant Device versus intermaxillary elastics. *The Angle Orthodontist, 78*(2), 332–338. https://doi.org/10.2319/030607-115.1

Karaçay, Ş., Akın, E., Ölmez, H., Gürton, A. Ü., & Sağdıç, D. (2006). Forsus Nitinol Flat Spring and Jasper Jumper

corrections of Class II division 1 malocclusions. *The Angle Orthodontist, 76*(4), 666–672. https://doi.org/10.1043/0003-3219(2006)076[0666:FNFSAJ]2.0.CO;2

Kaur, G. J., Gandhi, G., Khanna, M., Loomba, A., & Sharma, A. (2022). A cephalometric evaluation and comparison of skeletal, dentoalveolar, and soft tissue changes brought about by the Forsus Fatigue Resistant Device and PowerScope fixed functional appliance. *Journal of Indian Orthodontic Society, 56*(3), 227–236. https://doi.org/10.1177/03015742211004435

Kaur, R., Puri, G., Bhardwaj, I., Kaur, G., & Singh, M. (2024). Powerscope efficiency for Class II malocclusion correction: Case reports. *Indian Journal of Dental Sciences, 16*(3), 130–135. https://doi.org/10.4103/ijds.ijds_23_24

Kinzinger, G., Gülden, N., Roth, A., & Diedrich, P. (2006). Disc-condyle relationships during Class II treatment with the functional mandibular advancer (FMA). *Journal of Orofacial Orthopedics, 67*(5), 356–375. https://doi.org/10.1007/s00056-006-0626-5

Kinzinger, G., Ostheimer, J., Förster, F., Kwandt, P. B., Reul, H., & Diedrich, P. (2002). Development of a new fixed functional appliance for treatment of skeletal Class II malocclusion: First report. *Journal of Orofacial Orthopedics, 63*(5), 384–399. https://doi.org/10.1007/s00056-002-0118-1

Li, H., Ren, X., Hu, Y., & Tan, L. (2020). Effects of the Forsus fatigue-resistant device on skeletal Class II malocclusion correction. *The Journal of Contemporary Dental Practice, 21*(1), 105–112. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2748

Mariscal, J. F., Ravelli, D. B., dos Santos Pinto, A., Dominguez, G. C., de Arruda Aidar, L. A., & Jacob, H. B. (2024). Comparisons of soft tissue changes after Herbst appliance treatment in three different growth phases. *Journal of the World Federation of Orthodontists, 13*(2), 78–85. https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2023.11.002

McNamara, J. A., Jr. (1981). Components of Class II malocclusion in children 8–10 years of age. *The Angle Orthodontist, 51*(3), 177–202. https://doi.org/10.1043/0003-3219(1981)051<0177:COCIMI>2.0.CO;2

McNamara, J. A., Jr., & Brudon, W. L. (1993). *Orthodontic and orthopedic treatment in the mixed dentition*. Needham Press.

Miles, P. (2016). Flexible fixed functional appliances. In P. S. Fleming & R. T. Lee (Eds.), *Orthodontic functional appliances: Theory and practice* (pp. 93–101). Wiley.

Minervini, G., Di Blasio, M., Franco, R., Marrapodi, M. M., Vaienti, B., Cicciù, M., & Ronsivalle, V. (2024). Prevalence of temporomandibular disorders diagnosis in patients treated with Herbst appliance: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health, 24*(1), Article 137. https://doi.org/10.1186/s12903-023-03738-w

Moro, A., Mattos, C. F. P., Borges, S. W., Flores-Mir, C., & Topolski, F. (2020). Stability of Class II corrections with removable and fixed functional appliances: A literature review. *Journal of the World Federation of Orthodontists, 9*(2), 56–67. https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2020.04.003

Moss, M. L. (1968). A theoretical analysis of the functional matrix. *Acta Biotheoretica, 18*(1), 195–202. https://doi.org/10.1007/BF01556727

Moss, M. L. (1997). The functional matrix hypothesis revisited. 1. The role of mechanotransduction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 112*(1), 8–11. https://doi.org/10.1016/S0889-5406(97)70267-1

Nakasima, A., Ichinose, M., Nakata, S., & Takahama, Y. (1982). Hereditary factors in the craniofacial morphology of Angle's Class II and Class III malocclusions. *American Journal of Orthodontics, 82*(2), 150–156. https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90493-6

Pancherz, H. (1985). The Herbst appliance—Its biologic effects and clinical use. *American Journal of Orthodontics, 87*(1), 1–20. https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90169-1

Pancherz, H. (1997). The effects, limitations, and long-term dentofacial adaptations to treatment with the Herbst appliance. *Seminars in Orthodontics, 3*(4), 232–243. https://doi.org/10.1016/S1073-8746(97)80056-4

Pancherz, H., Ruf, S., & Thomalske-Faubert, C. (1999). Mandibular articular disk position changes during Herbst treatment: A prospective longitudinal MRI study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 116*(2), 207–214. https://doi.org/10.1016/S0889-5406(99)70219-2

Papadopoulos, M. A. (2006a). Classification of the noncompliance appliances used for Class II correction. In M. A. Papadopoulos (Ed.), *Orthodontic treatment of the Class II noncompliant patient: Current principles and techniques* (pp. 9–20). Mosby Elsevier.

Papadopoulos, M. A. (2006b). Overview of the intermaxillary noncompliance appliances. In M. A. Papadopoulos (Ed.), *Orthodontic treatment of the Class II noncompliant patient:*

Current principles and techniques (pp. 21–34). Mosby Elsevier.

Peck, S., Peck, L., & Kataja, M. (1998). Class II division 2 malocclusion: A heritable pattern of small teeth in well-developed jaws. *The Angle Orthodontist, 68*(1), 9–20. https://doi.org/10.1043/0003-3219(1998)068<0009:CIDMAH>2.3.CO;2

Pontes, L. F., Maia, F. A., Almeida, M. R., Flores-Mir, C., & Normando, D. (2017). Mandibular protraction appliance effects in Class II malocclusion in children, adolescents and young adults. *Brazilian Dental Journal, 28*(2), 225–233. https://doi.org/10.1590/0103-6440201701032

Prateek, S., & Sandhya, J. (2017). Fixed functional appliances—An overview. *International Journal of Current Research, 9*(3), 47407–47414.

Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B. E., & Sarver, D. M. (2020). *Güncel ortodonti* (N. Darendeliler, Çev. Ed.; 6. baskı). Neyir. (Orijinal eser 2019'da yayımlandı)

Ritto, A. K. (1999). Fixed functional appliances—Trends for the next century. *The Functional Orthodontist, 16*(2), 22–39.

Rothenberg, J., Campbell, E. S., & Nanda, R. (2004). Class II correction with the Twin Force Bite Corrector. *Journal of Clinical Orthodontics, 38*(4), 232–240.

Ruf, S., & Bock, N. C. (2019). Long-term (≥15 years) effects of Class II treatment: A longitudinal and cross-sectional study on signs and symptoms of temporomandibular disorders. *European Journal of Orthodontics, 41*(2), 172–179. https://doi.org/10.1093/ejo/cjy040

Rutili, V., Nieri, M., Giuntini, V., Vaccari, E., & Franchi, L. (2026). Effects produced by fixed functional appliances with and without skeletal anchorage for the treatment of Class II malocclusion in the growing patient: A review of systematic reviews. *Orthodontics & Craniofacial Research.* Advance online publication. https://doi.org/10.1111/ocr.70099

Sabbagh, A. (2006). The Sabbagh Universal Spring (SUS). In M. A. Papadopoulos (Ed.), *Orthodontic treatment of the Class II noncompliant patient: Current principles and techniques* (pp. 203–218). Mosby Elsevier.

Sarı, Z., Uysal, T., Karaman, A. İ., Başçiftçi, F. A., Üşümez, S., & Demir, A. (2003). Ortodontik maloklüzyonlar ve tedavi seçeneklerinin değerlendirilmesi: Epidemiyolojik çalışma. *Türk Ortodonti Dergisi, 16*(2), 119–126. https://doi.org/10.13076/1300-3550-16-2-119

Sassouni, V. (1970). The Class II syndrome: Differential diagnosis and treatment. *The Angle Orthodontist, 40*(4), 334–341. https://doi.org/10.1043/0003-3219(1970)040<0334:TCISDD>2.0.CO;2

Şar, Ç., & Acar, A. (2022). Fonksiyonel ortopedik tedavi. N. Erverdi (Ed.), *Çağdaş ortodonti* (2. baskı, s. 209–219) içinde. Quintessence Yayıncılık.

Uribe, F., Rothenberg, J., & Nanda, R. (2006). The Twin Force Bite Corrector in the correction of Class II malocclusion in adolescent patients. In M. A. Papadopoulos (Ed.), *Orthodontic treatment of the Class II noncompliant patient: Current principles and techniques* (pp. 181–202). Mosby Elsevier.

Ülgen, M. (2005). *Ortodontik tedavi prensipleri* (8. baskı). Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları.

Vogt, W. (2003). A new fixed interarch device for Class II correction. *Journal of Clinical Orthodontics, 37*(1), 36–41.

Vogt, W. (2006). The Forsus fatigue resistant device. *Journal of Clinical Orthodontics, 40*(6), 368–377.

Weber, J. H., Botha, P., & Dawjee, S. H. (2019). The Mandibular Anterior Repositioning Appliance (MARA)—A report of three cases. *South African Dental Journal, 74*(10), 561–570. https://doi.org/10.17159/2519-0105/2019/v74no10a7

Winsauer, H., & Muchitsch, A. P. (2006). The Flex Developer. In M. A. Papadopoulos (Ed.), *Orthodontic treatment of the Class II noncompliant patient: Current principles and techniques* (pp. 145–162). Mosby Elsevier.

Zitouni, M., & Acar, Y. B. (2021). Treatment outcome and long-term stability of Class II correction with Forsus fatigue resistant device in non-growing patients. *Orthodontics & Craniofacial Research, 24*(1), 130–136. https://doi.org/10.1111/ocr.12416

Zymperdikas, V. F., Koretsi, V., Papageorgiou, S. N., & Papadopoulos, M. A. (2016). Treatment effects of fixed functional appliances in patients with Class II malocclusion: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics, 38*(2), 113–126. https://doi.org/10.1093/ejo/cjv034


BİDGE