

ORTODONTİ ALANINDA AKADEMİK TARTIŞMALAR

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Ferdi ALLAF

yaz
yayınları

Ortodonti Alanında Akademik Tartışmalar

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Ferdi ALLAF

yaz
yayınları

2026

**Ortodonti Alanında Akademik
Tartışmalar**

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Ferdi ALLAF

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8996-91-3

Haziran 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

- Erişkin Maksiller Ekspansiyonda Dijital Yaklaşımlar:
MARPE ve SARPE’de Planlamadan Kılavuza1**
Mustafa ÖZCAN
- Dijital Ortodontide Görüntüleme Ekosistemi: CBCT,
İntraoral Tarayıcılar ve 3D Model Doğruluğu.....25**
Ferdi ALLAF
- Ortodontik Tedavide Güncel Retansiyon Protokolleri...46**
Kübra ARSLAN ÇARPAR, Tuğba YILMAZ
- Postür ve Solunumun Maloklüzyon Etiyolojisindeki
Rolü70**
Sinem UZUNER
- Ortodontide Yapay Zekâ: Güncel Uygulamalar ve
Gelecek Perspektifleri.....88**
Saniye Merve CENGİZ, Barış SORĞUÇ, Sevde Nihal YONGACI
- Retention in Orthodontics108**
Dilara AKYÜZ

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

ERİŞKİN MAKSİLLER EKSPANSİYONDA DİJİTAL YAKLAŞIMLAR: MARPE VE SARPE'DE PLANLAMADAN KILAVUZA

Mustafa ÖZCAN¹

1. GİRİŞ

Dar üst çene, ortodontide en sık rastlanan iskeletsel uyumsuzluklardan biridir. Posterior çapraz kapanış, sıkışık bir damak kemeri, diş çapraşıklığı ve kimi zaman daralmış bir burun hava yolu, hepsi aynı temel soruna işaret eder: maksilla transvers yönde yetersizdir. Çocukluk ve erken ergenlikte bu sorunun çözümü görece kolaydır, çünkü orta hattaki damak suturu (midpalatal sutur) henüz açıktır ve hızlı üst çene genişletmesi (rapid maxillary expansion, RME) suturu nispeten az dirençle ayırarak gerçek bir iskeletsel genişleme sağlar.

Sorun, hasta büyüdükçe ortaya çıkar. İskeletsel olgunlaşmayla birlikte suturun ara kenetlenmesi (interdigitasyon) artar; sutur ve çevresindeki destek bölgeleri genişletme kuvvetine giderek daha fazla direnç gösterir. Böyle bir damağa klasik diş destekli bir genişletici yerleştirildiğinde, kuvvetin büyük bölümü iskelet yerine dişlere ve alveoler kemiğe aktarılır. Sonuç çoğu zaman istenmeyen yöndedir: dişlerde bukkal devrilme, kök rezorpsiyonu ve periodontal destekte incelmeye. Nitekim büyüyen hastaları konu alan bir meta-analizde, klasik RME'nin mini vida destekli yöntemle kıyasla daha belirgin diş devrilmesine ve daha

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0008-8331-9493.

fazla bukkal kemik kaybına yol açtığı gösterilmiştir (Pasqua ve diğerleri, 2025).

Erişkinde transvers sorunu çözenin tarihsel olarak iki yolu gelişmiştir. İlki, lateral direnç bölgelerini bir cerrahın serbestleştirdiği ve ardından genişletme yapılan cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesidir (surgically assisted rapid palatal expansion, SARPE). İkincisi, kuvveti doğrudan palatal kemiğe yerleştirilen mini vidalar üzerinden ileten ve cerrahi gerektirmeyen mini vida destekli hızlı üst çene genişletmesidir (miniscrew-assisted rapid palatal expansion, MARPE). MARPE'nin kavramsal temeli, geçici ankraj aygıtlarının (temporary anchorage devices, TAD) ortodontiye girişiyle atılmıştır; başlangıçta dişsel hareketlerde ankraj kaybını ortadan kaldırmak için tasarlanan bu mini vidalar, zamanla palatal genişleticilere entegre edilerek kuvvetin dişler yerine doğrudan iskelete aktarılmasını olanaklı kılmıştır (Park, 2020; Nanda ve diğerleri, 2019). Cerrahisiz mini vida destekli palatal genişletmenin erişkinde uygulanabilirliğini ilk gösteren çalışmalar büyük ölçüde Yonsei Üniversitesi (Seul) ekolünden gelmiştir; Lee ve arkadaşları (2010), suturun hâlâ açık olduğu erişkin bir olguda ortognatik cerrahi öncesinde bukkal segmentte minimal devrilmeye yeterli iskeletsel genişleme elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Buna paralel olarak Moon ve ekibi, dört mini vidanın palatal ve nazal korteksi bikortikal biçimde kavradığı kemik destekli maksiller iskeletsel genişleticiyi (Maxillary Skeletal Expander, MSE) geliştirmiş; bu tasarımın amacı, genişletme kuvvetini olabildiğince saf bir ortopedik harekete dönüştürmek olmuştur (Suzuki ve diğerleri, 2016). İki teknik de erişkinde dental yan etkileri sınırlayıp iskeletsel etkiyi öne çıkarmayı hedefler; ne var ki mekanik mantıkları, açılma biçimleri ve komplikasyon profilleri birbirinden ayrılır (Sicca ve diğerleri, 2025).

Her iki tekniğin kaderini belirleyen şey, büyük ölçüde hekimin çıplak gözle göremediği anatomik koşullardır: suturun olgunlaşma derecesi, palatal kemiğin kalınlığı ve yoğunluğu, mini vidaların hem palatal hem nazal kortekse tutunabilme olasılığı. İşte bu görünmeyeni görünür kılan, dijital teknolojilerdir. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (cone-beam computed tomography, CBCT) ile ağız içi tarama verilerinin birlikte kullanımı, bu koşulların tedavi öncesinde sayısal olarak ölçülmesine olanak tanır. Bu bölümün dayandığı temel düşünce de buradan doğar: *dijital yaklaşımların erişkin maksiller ekspansiyondaki asıl katkısı apareyi üretmek değil, başarısızlığı önceden öngörmek ve tedavi kararını bireysel anatomiye dayandırmaktır*. Başka bir deyişle dijital iş akışı, genişletmeyi deneme yanılmaya dayalı bir uygulama olmaktan çıkarır ve anatomi temelli bir öngörü pratiğine dönüştürür.

İzleyen bölümlerde önce bu iki paradigma karşılaştırılacak, ardından MARPE başarısını belirleyen anatomik etmenler ele alınacaktır. Sonrasında dijital tanı ve planlama süreci, görüntülerin doğruluğu, CBCT güdümlü kılavuzlar ile kişiye özel apareyler, tedavinin hava yolu üzerindeki yansımaları ve dijital izlem incelenecek; son olarak yöntemin sınırları, kanıt düzeyi ve yapay zekânın açtığı ufuk tartışılacaktır.

2. ERİŞKİN MAKSİLLER EKSPANSİYONDA İKİ PARADİGMA: SARPE VE MARPE

SARPE ve MARPE, aynı soruna verilmiş iki farklı yanıttır. Soru basittir ama çözmesi zordur: olgunlaşmış bir suturun ve dirençli komşu yapıların genişletmeye gösterdiği direnç nasıl aşılır? İki teknik bu noktada ayrışır ve bu ayrım, hangi hastaya hangi yöntemin uyacağı sorusunu doğurur. Dijital

değerlendirmenin klinik değeri de zaten büyük ölçüde bu seçimi nesnel bir zemine oturtmasından gelir.

2.1. Mekanik Mantık Farkı

SARPE özünde cerrahi bir işlemdir. Bir ağız, çene ve yüz cerrahı kortikotomi ile lateral direnç bölgelerini serbestleştirir; genişletme bundan sonra gerçekleşir. Yani direnç mekanik olarak değil, cerrahi olarak ortadan kaldırılır (Sicca ve diğerleri, 2025). MARPE ise farklı bir yol izler. Kortikotomi yapmadan, kuvveti palatal kemiğe yerleştirilen mini vidalar aracılığıyla doğrudan iskelete aktararak suturu açmaya çalışır. Bu nedenle MARPE, suturu henüz tam kemikleşmemiş erişkinlerde anlamlı bir seçenektir; SARPE ise suturun tamamen kapandığı ya da MARPE'nin başarısız olduğu durumlarda devreye girer. İki teknik birbirinin rakibi değildir; aynı karar ağacının iki ayrı dalıdır. Seçim, hangi yöntemin genel olarak üstün olduğuna değil, hangisinin belirli bir hastanın damağına uyduğuna bağlıdır (Specialty Appliances, 2026). Bu ikiliğin arasında konumlanan üçüncü bir yaklaşım da gelişmiştir: mini vida ankrajlı genişleticiyi sınırlı bir osteotomiyle birleştiren distraksiyon osteogenezli maksiller genişletme (DOME), tam cerrahi bir işlem olan SARPE ile tümüyle cerrahisiz MARPE arasında, öngörülebilirliği artırmayı amaçlayan hibrit bir orta yol sunar (Liu ve diğerleri, 2017).

2.2. Açılma Paterni ve İskeletsel Etki

İki teknik suturu farklı biçimde açar. CBCT temelli karşılaştırmalı çalışmalar, MARPE'nin hem koronal hem aksiyel düzlemde daha paralel bir açılma sağladığını; SARPE'nin ise tabanı damakta, tepesi burun boşluğuna doğru daralan üçgen, yani V biçiminde bir açılmaya yol açtığını ortaya koymuştur (Brunetto ve diğerleri, 2021). Aynı çalışma, MARPE'nin orta yüzde ve özellikle posterior maksiller tabanda SARPE'ye kıyasla daha belirgin iskeletsel genişleme oluşturabildiğini; buna karşılık

alveoler proses düzeyinde iki teknik arasında anlamlı bir fark bulunmadığını göstermiştir. Bu paralel açılma paterni, büyük ölçüde Moon ve ekibinin geliştirdiği kemik destekli maksiller iskeletsel genişletici (Maxillary Skeletal Expander, MSE) tasarımının ürünüdür; kuvvetin maksillanın direnç merkezine daha yakın bir noktadan uygulanması, genişlemenin dental düzeyde değil iskeletsel düzeyde yoğunlaşmasını sağlar. Nitekim MacGinnis ve arkadaşları (2014), sonlu elemanlar yöntemiyle yaptıkları analizde, MARPE'nin klasik hyrax apareyine kıyasla zigomatikomaksiller, nazomaksiller ve pterigomaksiller dayanaklara daha az gerilim yaydığını ve gerilimi kuvvet uygulama noktalarına daha lokalize tuttuğunu göstermiştir. Mini vida destekli genişleticilerin etkisi yine de yalnızca damakla sınırlı kalmaz; zigomatikomaksiller kompleks dâhil çevre suturlara kadar uzanır (Cantarella ve diğerleri, 2017). Etkinin ne kadar derine indiği MSE'nin posterior konumlanmasıyla ilişkilidir; Colak ve arkadaşları (2020), aksiyel düzlemde MSE'nin yalnızca midpalatal suturu değil pterigopalatin suturu da disartiküle edebildiğini, yani etkisini maksillanın arka dayanaklarına taşıyabildiğini göstermiştir. Bu, MSE'nin neden daha posterior ve paralel bir açılma sağladığını anatomik düzeyde açıklar.

Bu etkinin ne ölçüde kalıcı olduğu ise ayrı bir sorudur. Yonsei ekolünden Choi ve arkadaşları (2016), genç erişkinlerde cerrahisiz MARPE'nin kabul edilebilir bir stabilite gösterdiğini bildiren ilk çalışmalardan birini sunmuştur. Daha geniş ölçekte, on iki çalışmayı bir araya getiren bir meta-analiz, MARPE'nin yüksek başarı oranına (ortalama %93,87) karşın zamanla belirli düzeyde iskeletsel ve dental nüks gösterdiğini bildirmiştir; aynı çalışmada toplam genişlemenin yaklaşık yarısının bazal kemik düzeyinde, kalanının ise alveoler ve dental düzeyde gerçekleştiği hesaplanmıştır (Zeng ve diğerleri, 2023). Bu bulgu, MARPE'nin

saf bir iskeletsel genişletme olmadığını, dental bileşenin de hatırı sayılır bir paya sahip olduğunu hatırlatır.

2.3. Yan Etki ve Periodontal Sonuçlar

Komplikasyon profilleri de iki teknikte farklıdır. İleriye dönük karşılaştırmalı bir çalışmada MARPE, SARPE'ye göre daha az dişeti çekilmesi ve bukkal alveoler kemiğin daha iyi korunmasıyla ilişkilendirilmiş; bu yönüyle biyolojik olarak daha nazik bir seçenek olarak değerlendirilmiştir (Alswairki ve diğerleri, 2025). Yine de MARPE risksiz değildir: mini vida gevşemesi, asimetrik açılma, aparey deformasyonu ve suturun hiç açılmaması gibi başarısızlık biçimleri tanımlanmıştır (Sicca ve diğerleri, 2025). Bu sorunların çoğunun ortak paydası, hasta seçiminin ve vida yerleşiminin anatomiye yeterince dayandırılmamasıdır; dijital planlamanın çözmeye çalıştığı temel mesele de budur.

2.4. Kanıt Düzeyindeki Asimetri

İki tekniği karşılaştırırken gözden kaçmaması gereken bir gerçek, kanıt tabanlarının eşit olmadığıdır. Erişkin maksiller genişletmenin yan etkilerini inceleyen bir kapsam derlemesinde, taranan 746 kayıttan ölçütleri karşılayan 26 çalışmanın 21'i SARPE'yi, yalnızca 4'ü MARPE'yi konu almıştır (Sicca ve diğerleri, 2025). SARPE tarafında randomize kontrollü çalışmalardan oluşan sistematik derlemeler bulunabilirken (Bortolotti ve diğerleri, 2020), MARPE literatürünün omurgası hâlâ retrospektif gözlemsel çalışmalardır. Üstelik MARPE etkinliğini değerlendiren meta-analizlerde kanıt kalitesi GRADE ölçütlerine göre çoğunlukla çok düşük bulunmuştur (Kapetanović ve diğerleri, 2021). Konuyu daha üst düzeyde sentezleyen bir şemsiye derleme (umbrella review) de benzer biçimde, MARPE'nin etkili görünmekle birlikte kanıt tabanının metodolojik açıdan kırılğan olduğunu vurgulamıştır (Maspero ve diğerleri, 2022). Dolayısıyla MARPE çevresinde gelişen dijital

uygulamalar değerlendirilirken, mevcut bilginin önemli bölümünün küçük örneklemler ve yanlışlık riski yüksek çalışmalara dayandığı akılda tutulmalıdır.

3. MARPE'DE BAŞARININ ANATOMİK BELİRLEYİCİLERİ

MARPE'nin neden bu denli dijital planlamaya muhtaç olduğunu kavramak için, başarısını belirleyen anatomik etmenleri açık biçimde ortaya koymak gerekir. Bunları üç başlıkta toplamak mümkündür: suturun olgunlaşması, palatal kemiğin kalınlığı ile yoğunluğu, ve mini vidaların bikortikal tutunma olasılığı. Bu üç etmen, dijital değerlendirmenin ölçmeye çalıştığı parametrelerin de listesidir.

3.1. Midpalatal Suturun Olgunlaşması

Tekniğin seçiminde belirleyici etmenlerin başında suturun olgunlaşma derecesi gelir. Burada sık yapılan bir hatayı baştan ayıklamak gerekir: kronolojik yaş, suturun gerçek gelişimsel durumunu güvenilir biçimde yansıtmaz; aynı yaştaki iki birey tümüyle farklı olgunlaşma evrelerinde olabilir (Angelieri ve diğerleri, 2013). Bu gerçekten yola çıkan Angelieri ve arkadaşları (2013), CBCT'nin aksiyel kesitinde suturun görünümüne göre beş evreli bir sınıflama önermiştir. Buna göre A, B ve C evrelerinde sutur açıktır; D evresinde palatal bölgede kısmi füzyon başlamış, E evresinde füzyon tüm damak boyunca tamamlanmıştır. A ve B evrelerinde direnç düşüktür ve cerrahisiz genişletme için ideal pencere buradadır; C evresi geçiş niteliği taşır, D ve E evrelerindeki hastalar ise çoğunlukla cerrahi destekli yaklaşıma yönlendirilir.

Sınıflama yaygın kabul görmüştür, ancak zayıf noktası da bilinir. Evrelemenin yalnızca tek bir aksiyel kesite dayanması, özellikle ara evrelerde (C ve D) yorum farklarına açık kapı

bırakır. Gözlemciler arası uyumun yer yer düşük kaldığı, kappa değerlerinin 0,3 ile 0,8 arasında değişebildiği bildirilmiştir (Lin ve diğerleri, 2022). Bu öznelik, dijital ve özellikle yapay zekâ temelli otomatik evreleme yöntemlerine duyulan ilginin başlıca gerekçesidir; bu konuya yedinci bölümde dönecektir.

3.2. Başarının Çok Değişkenli Doğası ve Öngörü Modelleri

Suturun olgunlaşma evresi tek başına başarıyı belirlemez. Yonsei ekolünden Shin ve arkadaşları (2019), genç erişkinlerde midpalatal suturun açılma oranını öngörebilecek değişkenleri araştırdıkları çalışmalarında; kronolojik yaşın yanı sıra damak uzunluğu ve derinliğini, dikey iskeletsel paterni, sutur olgunlaşma evresini ve midpalatal sutur yoğunluğu oranını birlikte değerlendirmiştir. Bulguları, başarının tek bir parametreye değil, birbiriyle etkileşen birden çok anatomik değişkene bağlı olduğunu göstermiştir. Benzer biçimde Park ve arkadaşları (2017), genç erişkinlerde MARPE sonrası iskeletsel ve dentoalveoler değişimleri CBCT ile değerlendirerek suturun ayrıldığını ve maksillanın istatistiksel olarak anlamlı bir transvers genişleme gösterdiğini doğrulamıştır. Bu çok değişkenli yapı, başarı öngörüsünün neden tek bir ölçüme indirgenemeyeceğini ve neden bütüncül bir dijital değerlendirme gerektirdiğini ortaya koyar.

3.3. Palatal Kemik Kalınlığı ve Yoğunluğu

Mini vidanın stabilitesi, yerleştirildiği kemiğin kalınlığına ve yoğunluğuna sıkı sıkıya bağlıdır. CBCT temelli çalışmalar, anterior palatal bölgenin vida yerleşimi için en elverişli alan olduğunu tekrar tekrar göstermiştir; burada hem kemik kalınlığı hem de yoğunluğu görece yüksektir. Orta palatal bölgeye gelindiğinde tablo değişir: kemik kalınlığı sıklıkla 4 mm'nin altına iner ve bu da stabilizeyi sağlamak için bikortikal tutunmayı neredeyse zorunlu kılar (Al-Worafi ve diğerleri, 2025). Kemik

yoğunluğu da kritik bir eşik oluşturur. 1000 Hounsfield biriminin altındaki palatal kemik yoğunluğu, yüksek mini vida başarısızlığı olasılığıyla ilişkilendirilmiştir; yetersiz yoğunluğun MARPE başarısızlığına yol açtığı olgular bildirilmiştir (Al-Worafi ve diğerleri, 2025).

3.4. Bikortikal Tutunmanın Biyomekanik Önemi

MARPE’de mini vidanın yalnızca palatal kortekse değil, hem palatal hem nazal kortikal tabakaya tutunması, yani bikortikal yerleşim, ortopedik kuvvetler altında stabilite için kritiktir. Tek kortekse tutunan (monokortikal) bir vida, dirençli ya da kalın sutura sahip bireylerde genişletme vidası etkinleştirildiğinde apareyde bükülmeye ve deformasyona yol açabilir (Suzuki ve diğerleri, 2018). Bikortikal tutunmanın iskeletsel kuvvet aktarımındaki üstünlüğü sonlu elemanlar analizleriyle de desteklenmiştir; mini vidaların hem palatal hem nazal kortekse tutunduğu modellerde kuvvet maksiller tabana daha etkin aktarılır (MacGinnis ve diğerleri, 2014). Bu nedenle vidanın uzunluğu ve yerleşim açısı, kemik kalınlığının ve suturun yüksekliğinin CBCT üzerinden ölçülmesiyle belirlenmelidir. Ancak burada da bir denge sorunu vardır: daha uzun vidalar nazal taban mukozasını zedeleyebilir ya da rahatsızlık yaratabilir ve uzun vida tek başına suturun açılma başarısını güvence altına almaz (Al-Worafi ve diğerleri, 2025). Apareyin tasarımı da bu dengeyi etkiler; ankraj değişikliklerini inceleyen bir meta-analiz, vida sayısı, çapı ve konumu gibi değişkenlerin iskeletsel etkinliğe yansıdığını göstermiştir (Suhail ve diğerleri, 2024). Bütün bu değişkenlerin bir arada hesaplanması gerekliliği, vida seçiminin neden bireysel ve dijital bir planlama gerektirdiğini açıklar.

4. DİJİTAL TANI VE PLANLAMA

Erişkin maksiller ekspansiyonda dijital iş akışı, birbirini tamamlayan iki veri kaynağıyla başlar. Biri, kemiğin hacimsel

bilgisini veren CBCT; diğeri, dış yüzeylerinin yüksek çözünürlüklü dijital kopyasını sunan ağız içi taramadır. Bu iki kümenin tek bir sanal model üzerinde birleştirilmesi, hekimin kemik yapısı ile oklüzal ilişkileri aynı ortamda görmesini sağlar.

4.1. CBCT ve Ağız İçi Tarama Verilerinin Bütünleştirilmesi

İlk adım, DICOM biçimindeki CBCT verisinden üretilen üç boyutlu kemik modeli ile ağız içi taramadan elde edilen yüzey modelinin (STL dosyası) karşılaştırılmasıdır. Bu iki kaynak birbirini tamamlar, çünkü her birinin zayıf noktası diğerinin güçlü yanındır. CBCT, metalik restorasyonların yarattığı artefaktlar nedeniyle dış yüzeylerini her zaman yeterince doğru yansıtamaz; ağız içi tarama ise kemik hakkında hiçbir bilgi vermez. Karşılaştırma, en iyi uyum (best-fit) algoritmalarıyla gerçekleştirilir ve ortaya çıkan birleşik model, hem vida yerleşiminin hem de aparey tasarımının üzerinde planlanacağı zemini oluşturur (Lo Giudice ve diğerleri, 2020).

4.2. Dijital Modellerin Doğruluğu ve Güvenilirliği

Bu noktada haklı bir soru belirir: planlamanın dayandığı dijital model, alçı modelin yerini tutacak kadar doğru mudur? Literatür büyük ölçüde olumlu yanıt verir. Otuz beş çalışmayı değerlendiren bir sistematik derleme, dijital modeller üzerindeki ölçümlerin alçı modellerden elde edilenlerle çoğu parametrede anlamlı fark göstermediğini ve dijital modellerin yeni altın standart kabul edilebileceğini bildirmiştir (Rossini ve diğerleri, 2016). Dijital ve alçı model ölçümlerini karşılaştıran bir başka sistematik derleme de dijital modellerin geçerli ve güvenilir bir alternatif olduğu sonucuna varmıştır (Aragón ve diğerleri, 2016). Yine de güvenilirlik koşulsuz değildir; ölçüm hatalarının en sık kaynağı, anatomik noktaların işaretlenmesindeki tutarsızlık ile interproksimal yüzeylerin görece düşük doğrulukla yakalanmasıdır (Rossini ve diğerleri, 2016).

4.3. Sanal Vida Yerleşimi ve Kemik Haritalama

Birleşik model üzerinde hekim, mini vidaların yerleşim noktalarını, açılarını, uzunluklarını ve girme derinliklerini sanal ortamda planlayabilir. Bu aşamada palatal kemiğin kalınlığı ve yoğunluğu bölge bölge haritalanır; böylece vidalar yeterli kemik desteği olan alanlara yönlendirilir ve bikortikal tutunma önceden öngörülür. Cantarella ve arkadaşları (2020), iskeletsel genişleticinin yerleşimini hastanın anatomisine göre planlamaya olanak veren ve vida yerleşiminin öngörülebirlirliğini artıran bir dijital metodoloji tanımlamıştır. Böylece nazal taban perforasyonu, komşu diş köklerine temas ya da kesici kanalın zedelenmesi gibi riskler, hasta koltuğa oturmadan değerlendirilebilir hâle gelir.

4.4. Tedavi Kararının Nesnelleştirilmesi

Dijital planlamanın en değerli katkısı belki de burada ortaya çıkar. SARPE ile MARPE arasındaki seçim, dijital değerlendirmeyle öznel bir yargı olmaktan çıkıp ölçülebilir parametrelere dayanan bir karara dönüşür. Suturaun olgunlaşma evresi, palatal kemiğin kalınlığı ve yoğunluğu ile bikortikal tutunma olasılığı birlikte değerlendirildiğinde, hekim ilgili hastada cerrahisiz genişletmenin gerçekçi bir başarı şansı taşıyıp taşımadığını ameliyathaneye girmeden kestirebilir. Bu da iki yönlü bir kazanç sağlar: hem gereksiz cerrahi girişimlerden hem de baştan başarısızlığa mahkûm MARPE denemelerinden kaçınılır (Angelier ve diğerleri, 2013). Bölümün başında öne sürülen düşünce burada somutlaşır; teknolojinin asıl değeri üretimde değil, karar vermededir.

5. CBCT GÜDÜMLÜ CERRAHİ KILAVUZLAR VE KİŞİYE ÖZEL APAREYLER

Sanal planlamada alınan kararların klinik ortama doğru aktarılması, dijital iş akışının üretim ayağını oluşturur. Bu aktarım her iki teknikte de fiziksel kılavuzlarla yapılır; ancak kılavuzun görevi tekniğe göre değişir. Dijital MARPE uygulamalarının klinik sonuçlarını derleyen bir kapsam derlemesi, bu alandaki ürünlerin giderek çeşitlendiğini ortaya koymaktadır (Viet ve diğerleri, 2024).

5.1. MARPE’de Vida Yerleşim Kılavuzları ve Kişiyeye Özel Apareyler

MARPE tarafında dijital üretimin iki temel çıktısı vardır. İlki, sanal olarak planlanan vida konumlarını ağıza taşıyan yerleştirme kılavuzudur; bu kılavuz, planlanan açı ve derinliğin klinikte tekrarlanabilir biçimde uygulanmasını sağlar (Maino ve diğerleri, 2018). İkincisi ise hastanın damak anatomisine birebir uyacak biçimde tasarlanıp üç boyutlu yazıcıyla üretilen kişiyeye özel apareylerdir. Erişkinde mini vida destekli genişletmenin klinik olarak başarıyla uygulanabileceği, transvers yetersizliği bulunan erişkin olgularda ayrıntılı biçimde gösterilmiştir (Carlson ve diğerleri, 2016). Prefabrik MARPE tasarımları, özellikle yüksek damak kemerine sahip olgularda damağa uyum ve vida oturması bakımından sorun çıkarabilir. CBCT yardımıyla üretilen kişiyeye özel apareylerin daha yüksek rijitlik, daha güçlü ankraj ve daha öngörülebilir bir iskeletsel genişleme sunabileceği bildirilmiştir (Graf ve diğerleri, 2018). İskeletsel olgunluğu tamamlanmış hastalarda TAD destekli genişletmenin ilkeleri ve aparey tasarımı, alanın başvuru kitaplarında da kapsamlı biçimde ele alınmaktadır (Park, 2020). Bununla birlikte prefabrik ile kişiyeye özel tasarımların üstünlük tartışması henüz kapanmış değildir; bu, gelecekteki karşılaştırmalı çalışmaların yanıtlaması gereken açık bir sorudur.

5.2. SARPE’de Sanal Cerrahi Planlama ve Osteotomi Kılavuzları

SARPE özünde bir maksiller osteotomi içerdiğinden, ortognatik cerrahide olgunlaşmış sanal cerrahi planlama (virtual surgical planning) mantığı buraya doğrudan uygulanabilir. CBCT ile tam ark dijital tarama verileri planlama yazılımında birleştirilir; ortodontist ve cerrah ortak bir bilgisayar destekli simülasyon yürütür ve bu simülasyona dayanarak Le Fort I osteotomisi için üç boyutlu basılmış kesim kılavuzları ile CAD/CAM temelli splintler üretilebilir (Gander ve diğerleri, 2022). Bu kılavuzlar, planlanan kesim hatlarının ameliyatta doğru aktarılmasını sağlar; hatta hastaya özel osteosentez yaklaşımının splint kullanımını ortadan kaldırarak doğruluğu artırabileceği randomize bir çalışmada gösterilmiştir (Kraeima ve diğerleri, 2022). Böylece her iki teknikte de aynı dijital veri kaynağından doğan iş akışı, birinde vidayı, diğerinde osteotomi hattını doğru konuma taşıyan farklı kılavuzlara dallanır. Bu simetri, bölümün dayandığı anatomi temelli öngörü felsefesinin iki tekniğe de ortak biçimde uygulandığını gösterir.

6. HAVA YOLU ETKİLERİNİN DİJİTAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Maksiller genişletmenin etkisi dişler ve damakla sınırlı değildir; üst hava yoluna da uzanır. Bu etkinin nesnel ölçümü doğrudan dijital görüntülemenin sağladığı bir olanaktır, çünkü iki boyutlu radyografiler burun boşluğu ve farinks gibi hacimsel yapıları örtüşme olmaksızın değerlendiremez. CBCT ise bu yapıların üç boyutlu ve segmentlere ayrılabilir bir haritasını sunar.

Birikmiş kanıt, genişletmenin özellikle burun boşluğu ve nazofarinks düzeyinde anlamlı hacim artışı sağladığı yönündedir. Erişkin hastaları konu alan bir kapsam derlemesi, MARPE

sonrası burun boşluğu hacmindeki artışın çalışmadan çalışmaya yaklaşık %10 ile %31 arasında değiştiğini bildirmiştir (Stuani ve diğerleri, 2024). Büyümeyen hastaları değerlendiren bir meta-analiz ise burun boşluğu, nazofarinks ve orofarinks hacimlerinde anlamlı artış saptarken hipofarinks düzeyinde belirgin bir değişiklik bulmamış; ayrıca burun tabanı ve alar genişlikte ölçülebilir bir artış göstermiştir (Zheng ve diğerleri, 2023). Bu bulgular MARPE'nin paralel açılma paterniyle uyumludur, çünkü daha paralel bir açılma kuvvetin posterior ve nazal düzeye daha eşit dağılmasına işaret eder (Brunetto ve diğerleri, 2021).

Yine de bu sonuçların temkinle yorumlanması gerekir. Çalışmaların çoğu erken döneme odaklanır; kazanımların uzun vadede korunup korunmadığına dair veri sınırlıdır (Stuani ve diğerleri, 2024). Daha önemlisi, hacimdeki artışın solunum işlevine birebir yansıyor yansımadağı ayrı bir sorudur. Kim ve arkadaşları (2018), cerrahisiz MARPE sonrası burun boşluğunda ölçülebilir bir genişleme saptamış; bu yapısal değişimin işlevsel karşılığını sınamak için Hur ve arkadaşları (2017), obstrüktif uyku apneli erişkin bir olguda hesaplamalı akışkan-yapı etkileşimi analiziyle hava akımı dinamiğindeki değişimi modellemiştir. Bu çizginin en olgun örneği, Stanford ekolünden Liu ve arkadaşlarının geliştirdiği distraksiyon osteogenezli maksiller genişletmedir (distraktion osteogenesis maxillary expansion, DOME): mini vida ankrajlı genişleticiyi minimal invaziv osteotomiyle birleştiren bu hibrit protokol, dar maksilla ve yüksek damak kemerine sahip erişkin uyku apnesi hastalarında nazal taban ve damak kubbesini öngörülebilir biçimde genişletmek için tasarlanmıştır (Liu ve diğerleri, 2017). Iwasaki ve arkadaşları (2019), rinomanometriyle desteklenmiş hesaplamalı akışkanlar dinamiği modellemesi kullanarak DOME'un apne-hipopne indeksini düşürmesinin ardındaki mekanizmayı, yani üst hava yolundaki faringeal çökmenin nasıl azaldığını ortaya koymuştur. DOME, bölümün başında çizilen

SARPE–MARPE ikiliğine üçüncü bir yol ekler ve dijital planlamanın yalnızca iskeleti değil, solunum işlevini de modelleyebildiği en ileri uygulamalardan birini temsil eder. Bununla birlikte bu kanıtların önemli bölümü hâlâ seçilmiş kohortlara ve görece küçük örneklemelere dayanmaktadır; dolayısıyla MARPE ve türevlerinin solunum üzerindeki etkisi umut verici ama henüz kesinleşmemiş bir alandır.

7. DİJİTAL İZLEM, SONUÇ DEĞERLENDİRMESİ VE YAPAY ZEKÂ

Dijital iş akışı tedavi öncesi planlamayla bitmez; sonrasını da nicel hâle getirir. Tedavi öncesi ve sonrası CBCT kayıtlarının üç boyutlu süperempozisyonu, suturun açılma paternini, iskeletsel genişlemenin miktarını ve çevre yapılarıdaki değişimi ölçülebilir kılar (Cantarella ve diğerleri, 2017). Bu izlem iki açıdan değerlidir. Bir yandan planlanan ile gerçekleşen genişlemenin karşılaştırılmasına, yani öngörülebilirliğin ölçülmesine olanak tanır. Öte yandan başarısız olgularda nedenin geriye dönük çözümlenmesini sağlar; örneğin asimetrik bir açılmanın vida yerleşimindeki bir kusurdan mı yoksa bölgesel kemik direncinden mi kaynaklandığı, süperempozisyon verisi üzerinden incelenebilir. Böylece her olgu, sonraki planlamaları besleyen bir geri bildirim kaynağına dönüşür.

Geleceğe yönelik en hareketli alan ise yapay zekâdır. Suturun olgunlaşma evresini sınıflandırmak, üçüncü bölümde belirtildiği gibi, gözlemciye bağlı ve öznel bir iştir. Derin öğrenme yöntemleri bu öznelliği azaltmayı vaat eder. Aksiyel CBCT kesitlerinden suturu otomatik sınıflandıran hafif bir evrişimli sinir ağı modeli geliştiren bir çalışma, kategorileri açık, geçiş ve füzyon evreleri biçiminde grupladığında klinik olarak kullanışlı bir doğruluk düzeyine ulaşmıştır (Nik Ravesh ve diğerleri, 2025). Beş evreyi doğrudan sınıflandırmayı hedefleyen

uçtan uca bir derin öğrenme çerçevesi ise 618 görüntülük bir veri kümesinde en yüksek %79 dolayında bir doğruluk bildirmiştir (Alhazmi ve diğerleri, 2025). Bu sayılar, yapay zekânın insan gözlemcinin yerini aldığı değil, ona tutarlılık kazandıran bir yardımcı hâline gelmekte olduğunu düşündürür.

Bu yöntemlerin klinik değeri koşulsuz değildir; performans, eğitim veri kümesinin niteliğine, farklı popülasyonlara genellenebilirliğe ve bağımsız doğrulamaya bağlıdır. Üstelik otomatik sınıflandırma, temel aldığı Angelieri sınıflamasının sınırlarını da miras alır. Yine de yön bellidir: dijital ortodontinin maksiller ekspansiyondaki rolü, ölçme ve üretmeden öteye geçerek karar destek sistemlerine doğru genişlemektedir.

8. SINIRLAR, TARTIŞMA VE GELECEK

Dijital yaklaşımların sunduğu olanaklar dikkat çekicidir; ancak dürüst bir değerlendirme sınırları da görünür kılmalıdır. İlk sınır, ışınlama-yarar dengesidir. CBCT, sutur ve palatal kemik değerlendirmesinde üç boyutlu ve örtüşmesiz bilgi verir ama iyonlaştırıcı ışınlama içerir; bu nedenle her hastada rutin kullanımı sorgulanmalı, endikasyon bireysel olarak gerekçelendirilmeli ve mümkün olan en küçük görüntüleme alanı tercih edilmelidir.

İkinci sınır, kanıt düzeyidir. Dijital MARPE uygulamalarına ilişkin literatürün önemli bölümü olgu sunumları ve küçük örneklemlilerden oluşur; randomize kontrollü çalışmalar ve uzun dönem izlem verisi kısıtlıdır (Sicca ve diğerleri, 2025). Etkinlik meta-analizlerinde kanıt kalitesinin GRADE ölçütlerine göre çoğunlukla çok düşük çıkması da bu tabloyu doğrular (Kapetanović ve diğerleri, 2021; Zeng ve diğerleri, 2023). Dolayısıyla dijital iş akışlarının doğruluk ve öngörülebilirlik vaatleri ölçülü yorumlanmalıdır.

Üçüncü sınır, ölçüm ile karar arasındaki açıklıktır. Suturaun evrenlenmesindeki öznellik, dijital görüntülemenin tek başına nesnellik güvencesi olmadığını hatırlatır (Lin ve diğerleri, 2022). Geleceğin gelişme alanı da burada belirir. Yapay zekâ ve derin öğrenme, suturaun evrenlenmesinde, kemik haritalamasında ve vida yerleşiminin otomatik planlanmasında giderek daha büyük bir rol üstlenmektedir (Nik Ravesh ve diğerleri, 2025; Alhazmi ve diğerleri, 2025). Bu araçların değeri, sonuçta hekimin yargısını ortadan kaldırmalarında değil, onu daha tutarlı ve tekrarlanabilir kılmalarında yatacaktır.

9. SONUÇ

Erişkin maksiller ekspansiyonda dijital yaklaşımların değeri, çoğu zaman vurgulandığı gibi aparey üretiminde değil, asıl olarak tedavi kararının bireysel anatomiye dayandırılmasında ve başarısızlığın önceden öngörülmesinde toplanır. CBCT ile ağız içi tarama verilerinin birleştirilmesi, suturaun olgunlaşmasını, palatal kemiğin kalınlık ve yoğunluğunu ve bikortikal tutunma olasılığını tedavi öncesinde sayısallaştırarak SARPE ile MARPE arasındaki seçimi nesnel bir zemine taşır. Aynı veri kaynağı, MARPE’de vida yerleşim kılavuzlarına ve kişiye özel apareylere, SARPE’de osteotomi kılavuzlarına dönüşerek planlamayı kliniğe aktarır; tedavinin hava yolu üzerindeki etkileri de yine dijital görüntülemeyle nicelendirilebilir. Bununla birlikte ışınlama yükü, kanıt düzeyinin görece düşüklüğü ve ölçümdeki öznellik, bu yaklaşımların temkinli ve eleştirel biçimde değerlendirilmesini gerektirir. Yapay zekâ destekli karar destek araçlarının olgunlaşmasıyla birlikte, dijital ortodontinin bu alandaki rolünün öngörü ve karar bilimi yönünde güçlenmesi beklenir.

KAYNAKÇA

- Al-Worafi, N. A., Al-Iryani, G., Madhi, S., Al-Warafi, L. A., Al-Rokhami, R. K., Alkadasi, B., Liu, Y., & Zheng, L. (2025). Evaluation of palatal bone thickness and palatal depth angle for optimal mini-implant placement in MARPE: A CBCT study. *Journal of Orthodontic Science*, 14, 38.
- Alhazmi, A., Vakalopoulou, M., Pujades-Tàrraga, L., & Elnagar, M. H. (2025). Automated classification of midpalatal suture maturation stages from CBCTs using an end-to-end deep learning framework. *Scientific Reports*, 15, 18783.
- Alswairki, H. J., Marya, A., & Alam, M. K. (2025). Periodontal health outcomes following mini-screw–assisted rapid palatal expansion versus surgically assisted rapid palatal expansion: A comparative analysis. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 26(8), 745–752.
- Angelieri, F., Cevidanes, L. H. S., Franchi, L., Gonçalves, J. R., Benavides, E., & McNamara, J. A., Jr. (2013). Midpalatal suture maturation: Classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(5), 759–769.
- Aragón, M. L. C., Pontes, L. F., Bichara, L. M., Flores-Mir, C., & Normando, D. (2016). Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: A systematic review. *European Journal of Orthodontics*, 38(4), 429–434.
- Bortolotti, F., Solidoro, L., Bartolucci, M. L., Incerti Parenti, S., Paganelli, C., & Alessandri-Bonetti, G. (2020). Skeletal and dental effects of surgically assisted rapid palatal

expansion: A systematic review of randomized controlled trials. *European Journal of Orthodontics*, 42(4), 434–440.

- Brunetto, D. P., Sant'Anna, E. F., Machado, A. W., & Moon, W. (2021). Microimplant-assisted rapid palatal expansion vs surgically assisted rapid palatal expansion for maxillary transverse discrepancy treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 160(3), 433–444.
- Carlson, C., Sung, J., McComb, R. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2016). Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149(5), 716–728.
- Cantarella, D., Dominguez-Mompell, R., Mallya, S. M., Moschik, C., Pan, H. C., Miller, J., & Moon, W. (2017). Changes in the midpalatal and pterygopalatine sutures induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with a novel 3D method based on CBCT imaging. *Progress in Orthodontics*, 18(1), 34.
- Cantarella, D., Savio, G., Grigolato, L., Zanata, P., Berveglieri, C., Lo Giudice, A., Isola, G., Del Fabbro, M., & Moon, W. (2020). A new methodology for the digital planning of micro-implant-supported maxillary skeletal expansion. *Medical Devices: Evidence and Research*, 13, 93–106.
- Choi, S. H., Shi, K. K., Cha, J. Y., Park, Y. C., & Lee, K. J. (2016). Nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion results in acceptable stability in young adults. *Angle Orthodontist*, 86(5), 713–720.
- Colak, O., Paredes, N. A., Elkenawy, I., Torres, M., Bui, J., Jahangiri, S., & Moon, W. (2020). Tomographic assessment of palatal suture opening pattern and

pterygopalatine suture disarticulation in the axial plane after midfacial skeletal expansion. *Progress in Orthodontics*, 21(1), 21.

Gander, T., Bredell, M., Eliades, T., Rucker, M., & Essig, H. (2022). Comprehensive virtual orthognathic planning concept in surgery-first patients. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(7), e1052–e1057.

Graf, S., Cornelis, M. A., Hauber Gameiro, G., & Cattaneo, P. M. (2018). Computer-aided design and manufacture of hyrax devices: Can we really go digital? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 154(4), 599–603.

Hur, J. S., Kim, H. H., Choi, J. Y., Suh, S. H., & Baek, S. H. (2017). Investigation of the effects of miniscrew-assisted rapid palatal expansion on airflow in the upper airway of an adult patient with obstructive sleep apnea syndrome using computational fluid-structure interaction analysis. *Korean Journal of Orthodontics*, 47(6), 353–364.

Iwasaki, T., Yoon, A., Guilleminault, C., Yamasaki, Y., & Liu, S. Y. (2019). How does distraction osteogenesis maxillary expansion (DOME) reduce severity of obstructive sleep apnea? *Sleep and Breathing*, 24(1), 287–296.

Kraeima, J., Schepers, R. H., Spijkervet, F. K. L., Maal, T. J. J., Baan, F., Witjes, M. J. H., & Jansma, J. (2022). Splintless surgery using patient-specific osteosynthesis in Le Fort I osteotomies: A randomized controlled multicentre trial. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 51(10), 1351–1358.

Kapetanović, A., Theodorou, C. I., Bergé, S. J., Schols, J. G. J. H., & Xi, T. (2021). Efficacy of miniscrew-assisted rapid palatal expansion (MARPE) in late adolescents and

adults: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*, 43(3), 313–323.

- Kim, S. Y., Park, Y. C., Lee, K. J., Lintermann, A., Han, S. S., Yu, H. S., & Choi, Y. J. (2018). Assessment of changes in the nasal airway after nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion in young adults. *Angle Orthodontist*, 88(4), 435–441.
- Lee, K. J., Park, Y. C., Park, J. Y., & Hwang, W. S. (2010). Miniscrew-assisted nonsurgical palatal expansion before orthognathic surgery for a patient with severe mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(6), 830–839.
- Liu, S. Y., Guilleminault, C., Huon, L. K., & Yoon, A. (2017). Distraction osteogenesis maxillary expansion (DOME) for adult obstructive sleep apnea patients with high arched palate. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 157(2), 345–348.
- Lin, L., Kang, N., Kim, Y., Wang, X., & Zhang, J. (2022). Midpalatal suture maturation method for the assessment of maturation before maxillary expansion: A systematic review. *Diagnostics*, 12(11), 2774.
- Lo Giudice, A., Ronsivalle, V., Grippaudo, C., Lucchese, A., Muraglie, S., Lagravère, M. O., & Isola, G. (2020). One step before 3D printing—Evaluation of imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the mandible: A comparative study using a surface-to-surface matching technique. *Materials*, 13(12), 2798.
- MacGinnis, M., Chu, H., Youssef, G., Wu, K. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2014). The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the

- nasomaxillary complex—A finite element method (FEM) analysis. *Progress in Orthodontics*, 15(1), 52.
- Maino, G., Paoletto, E., Lombardo, L., & Siciliani, G. (2018). From planning to delivery of a bone-borne rapid maxillary expander in one visit. *Journal of Clinical Orthodontics*, 52(4), 198–207.
- Maspero, C., Cavagnetto, D., Fama, A., Giannini, L., Galbiati, G., & Farronato, M. (2022). Miniscrew-assisted rapid palatal expansion (MARPE): An umbrella review. *Applied Sciences*, 12(4), 1880.
- Nanda, R., Uribe, F. A., & Yadav, S. (Ed.). (2019). *Temporary anchorage devices in orthodontics* (2. baskı). Elsevier.
- Nik Ravesh, M., Ameli, N., Lagravère Vich, M., & Lai, H. (2025). Automated classification of midpalatal suture maturation using 2D convolutional neural networks on CBCT scans. *Frontiers in Dental Medicine*, 6, 1583455.
- Park, J. H. (Ed.). (2020). *Temporary anchorage devices in clinical orthodontics*. Wiley-Blackwell.
- Park, J. J., Park, Y. C., Lee, K. J., Cha, J. Y., Tahk, J. H., & Choi, Y. J. (2017). Skeletal and dentoalveolar changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion in young adults: A cone-beam computed tomography study. *Korean Journal of Orthodontics*, 47(2), 77–86.
- Pasqua, B. P. M., Gribel, B. F., Vasconcelos, F. H. P., & Janson, G. (2025). Comparison of dentoalveolar changes with miniscrew-assisted versus conventional rapid palatal expansion in growing patients: A systematic review and meta-analysis. *Applied Sciences*, 15(15), 8326.
- 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.

Shin, H., Hwang, C. J., Lee, K. J., Choi, Y. J., Han, S. S., & Yu, H. S. (2019). Predictors of midpalatal suture expansion by miniscrew-assisted rapid palatal expansion in young adults: A preliminary study. *Korean Journal of Orthodontics*, 49(6), 360–371.

Sicca, N., Benedetti, G., Nieri, A., Vitale, S., Lopponi, G., Mura, S., Verdecchia, A., & Spinass, E. (2025). Comparison of side effects between miniscrew-assisted rapid palatal expansion (MARPE) and surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE) in adult patients: A scoping review. *Dentistry Journal*, 13(2), 47.

Specialty Appliances. (2026). *MARPE vs SARPE in adults: Decision framework*.
<https://specialtyappliances.com/marpe-vs-sarpe/>

Stuani, V. T., Ferreira, R., Manfredi, G. G. P., Cardoso, M. V., & Sant'Ana, A. C. P. (2024). Does miniscrew-assisted rapid palatal expansion influence upper airway in adult patients? A scoping review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(6), 1640.

Suhail, S., Sfeatherstone, M., Khan, M., & Ghoneima, A. (2024). Effect of anchorage modifications on the efficacy of miniscrew-assisted rapid palatal expansion: A systematic review and meta-analysis. *Cureus*, 16(9), e69968.

Suzuki, H., Moon, W., Previdente, L. H., Suzuki, S. S., Garcez, A. S., & Consolaro, A. (2016). Miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE): The quest for pure orthopedic movement. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 21(4), 17–23.

- Suzuki, S. S., Braga, L. F. S., Fujii, D. N., Moon, W., & Suzuki, H. (2018). Mini-implant selection protocol applied to MARPE. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 23(5), 105–115.
- Tonello, D. L., Ladewig, V. M., Guedes, F. P., Ferreira Conti, A. C. C., Almeida-Pedrin, R. R., & Capelozza-Filho, L. (2017). Midpalatal suture maturation in 11- to 15-year-olds: A cone-beam computed tomographic study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(1), 42–48.
- Viet, H., Marya, A., d'Apuzzo, F., & Nucci, L. (2024). The clinical applications and outcomes of digital MARPE in orthodontics: A scoping review. *Seminars in Orthodontics*, 31(3), 299–309.
- Zeng, W., Yan, S., Yi, Y., Chen, H., Sun, T., Zhang, Y., & Zhang, J. (2023). Long-term efficacy and stability of miniscrew-assisted rapid palatal expansion in mid to late adolescents and adults: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23(1), 829.
- Zheng, Z., Liu, H., Xu, Q., Wu, W., Du, L., Chen, H., Zhang, Y., & Liu, D. (2023). The short- and long-term changes of upper airway and alar in nongrowing patients treated with mini-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE): A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23(1), 795.

DİJİTAL ORTODONTİDE GÖRÜNTÜLEME EKOSİSTEMİ: CBCT, İNTRAORAL TARAYICILAR VE 3D MODEL DOĞRULUĞU

Ferdi ALLAF¹

1. GİRİŞ

Ortodonti, kraniyofasiyal morfolojiyi anlama çabasında uzun süre statik ve iki boyutlu (2D) verilere bağımlı kalmıştır. Geleneksel tanı, üç boyutlu biyolojik bir gerçekliği iki boyutlu gölgeler (panoramik ve sefalometrik radyografiler) ile iç yapıyı görünür kılmayan alçı modeller üzerinden yorumlama çabasıydı; klinisyenin bilişsel yükü, teknolojik yetersizliği telafi eden asıl araçtı (Halazonetis, 2005). Günümüzde bu süreç veriye dayalı nesnel bir simülasyona dönüşmüştür: kron yüzeyleri intraoral tarayıcılarla mikron düzeyinde, kök ve iskeletsel anatomi CBCT ile milimetrik hassasiyette yakalanır; bu verilerin entegrasyonu tanıyı statik bir "anlık kayıt" olmaktan çıkarıp sonuçların öngörülebildiği bir "dijital ikiz" modeline taşır (Plooij ve diğerleri, 2011).

Bu dönüşümün asıl derinliği teknolojik katalogta değil, metodolojik kavramda yatar. Mühendislik ve metroloji disiplinlerinde köklü bir kavram olan "hata yayılımı" (error propagation) ilkesini ortodontik dijital iş akışına uyarlayarak bu bölümde "Doğruluk Zinciri" (Accuracy Chain) olarak adlandırdığımız yapı; edinim, entegrasyon ve üretim doğruluğu olmak üzere üç halkadan oluşur. Herhangi bir halkadaki metrolojik zayıflık kümülatif hata birikimine yol açarak tüm

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0005-3767-7415.

zincirin klinik değerini tehlikeye atar. Modern ortodontik başarının anahtarı tekil cihaz performansı değil, bu zincirin bütünsel yönetimidir.

Maksillofasiyal görüntülemenin evrimi birbirini besleyen sıçramalarla ilerlemiştir: 1895'te X-ışını keşfi 2D projeksiyon çağını başlattı; 1970'lerde tıbbi CT kesitsel anatomiye getirdi; 1998'de Mozzo ve diğerlerinin (1998) prototipi maksillofasiyal bölgeye özgü hacimsel görüntülemeyi başlattı; 2000'lerde intraoral optik tarayıcılar fiziksel ölçü konseptine meydan okudu; 2010 sonrasında DICOM + STL füzyonu, bulut CAD/CAM ve yapay zekâ "Sanal Hasta" kavramını klinik pratiğin merkezine taşıdı. Bu bölümün temel savı şudur: klinik başarı, tek bir cihazın teknik üstünlüğüyle değil; edininim, entegrasyon ve üretim aşamalarındaki hata birikimini yönetme kalitesiyle belirlenir.

2. DİJİTAL ORTODONTİK GÖRÜNTÜLEME EKOSİSTEMİ

Ekosistem, kraniyofasiyal yapıların farklı gerçeklik katmanlarını temsil eden veri kaynaklarının sinerjisine dayanır. Modalitelerin birbirinin alternatifi olarak yarıştırılması yerine, doğru endikasyonda ve doğru entegrasyon protokolleriyle birleştirilmesi modern pratiğin temel ilkesidir. IOS, kron yüzeyleri ve oklüzal temas geometrisini mikron düzeyinde yakalar ancak kök konumu ve iskeletsel bazal kemik hakkında veri üretemez. CBCT derin sert dokuların hacimsel anatomisini sunar fakat metal artefaktı ve oklüzal çözünürlük açısından tek başına IOS'a yaklaşamaz. 3D yazıcı ise hem önceki halkaların doğruluk mirasını taşır hem de kendi polimer kaynaklı distorsiyonlarını ekler.

Tablo 2.1. Dijital ortodontik ekosistemde modalitelerin karşılaştırması

Modalite	Veri katmanı / üstünlük	Sınırlılık	Kritik klinik rol
CBCT	Volumetrik iskelet, kök, alveoler kemik, hava yolu, TME; $\leq 0,076$ mm izotropik voksel	İyonizan radyasyon; metal artefaktı; endikasyon şart	Gömülü diş, asimetri, cerrahi, MARPE
IOS	Kron, oklüzal temas, ark formu; 12–35 μ m trueness; radyasyonsuz	Tam ark drift; subgingival alan; tükürük/hareket	Aligner CAD, bonding jig, izleme
Hibrit (CBCT+IOS)	Kron–kök–kemik bütünlüğü; 40–80 μ m ko-registrasyon	ICP hizalama hatası; artefakt; interoperabilite	Sanal hasta; biyomekanik planlama
3D basılı model	SLA/DLP/LCD fiziksel replika; 40–80 μ m	Reçine büzülmesi (%1–3); baskı yönü; post-kürleme	Retainer, aligner modeli, indirekt bonding

3. EDİNİM DOĞRULUĞU I: KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (CBCT)

3.1. Teknik Prensipler ve İzotropik Voksel

CBCT, konik biçimli bir X-ışını demetinin düz panel dedektörle senkronize rotasyonuna dayanan volumetrik bir görüntüleme teknolojisidir (Scarfe ve Farman, 2008; De Vos, Casselman ve Swennen, 2009). Fan-beam CT'den farkı, sahanın tek bir dönüşte taranmasıdır; bu, çekim süresini kısaltarak hareket artefaktını azaltır ve efektif dozu medikal CT'ye oranla düşürür. Yüzlerce 2D projeksiyon, modifiye Feldkamp (FDK) filtreli geriye projeksiyon algoritmasıyla voksel kümesine dönüştürülür. Algoritmanın kritik çıktısı, üç eksen de eşit boyutlu "izotropik voksel"dir; izotropi, magnifikasyonsuz ve kesit yönünden bağımsız gerçek metrik ölçümün fiziksel garantisidir.

3.2. Voksel–Çözünürlük Dengesi: "Optimal Voksel"

En sık metodolojik tuzak, "en küçük vokselin daima en iyi tanıyı üreteceği" varsayımdır. Oysa voksel boyutu ile Sinyal-

Gürültü Oranı (SNR) arasında ters bir ilişki vardır (Maret ve diğerleri, 2012; Patcas, Müller, Ullrich ve Peltomäki, 2012): voksel küçüldükçe foton sayısı azalır, gürültü artar ve bunu kompanse etmek için doz (mA) yükseltilir; bu ise ALARA'yı ihlal eder. Periodonsiyum, mini-vida komşuluğu veya fenestrasyon için 0,1 mm altı vokseller gerekçelendirilebilirken, makro-iskeletsel analiz ve 3D sefalometri için 0,3–0,4 mm vokseller tanısal kaliteden ödün vermeden doz tasarrufu sağlar. Burada literatürdeki veriyi olduğu gibi aktarmak gerekir: tek başına voksel büyütme dozu sınırlı etkiler; asıl belirleyici görüntüleme alanının (FOV) daraltılmasıdır. FOV optimizasyonu gömülü maksiller kaninlerde efektif dozu yaklaşık %33, mandibular üçüncü molarlarda yaklaşık %45 azaltabilir (Pauwels ve diğerleri, 2012); iteratif rekonstrüksiyon ve gürültü azaltma algoritmaları ise tanısal kaliteyi koruyarak ortalama %45–50 ek azalma sağlar. Dolayısıyla hedef "en küçük voksel" değil, klinik soruya uygun en az radyatif yanıtı veren "optimal voksel ve FOV" bileşimidir.

Tablo 3.1. CBCT parametrelerinin klinik ve radyobiyojik dengesi

Parametre	Düşük – Yüksek	Klinik karar
Voksel	0,076–0,125 mm / 0,300–0,400 mm	Periodonsiyum, dehisens → düşük; makro-iskeletsel → yüksek. Asıl doz tasarrufu FOV ve iteratif rekonstrüksiyondan gelir.
FOV	4×4 cm / 17×23 cm	Tek gömülü diş → dar; asimetri, MARPE, cerrahi, TME → geniş
kVp / mA	60–80 / 100–120 kVp	Kontrast–SNR dengesi; pediatrik hastada mA mutlaka düşürülür
Çekim süresi	<5 sn / ~20 sn	Süre uzadıkça hareket artefaktı riski artar
Efektif doz	~5–20 / ~100–500 µSv	Lateral sefalogramın 15–26 katı; ALARA/ALADA zorunlu

3.3. Radyobioloji ve ALARA/ALADA

Her ortodontik hastadan rutin amaçla CBCT istenmesi uluslararası kılavuzlarca reddedilir (European Academy of Dentomaxillofacial Radiology [EADMFR], 2009; American Association of Orthodontists [AAO], 2022). Standart geniş FOV çekim, panoramiğe kıyasla 3–6 kat, lateral sefalograma kıyasla 15–26 kat daha yüksek efektif doz üretebilir (Pauwels ve diğerleri, 2012; Signorelli, Patcas, Peltomäki ve Schätzle, 2016). Pediatrik bireylerin iyonizan radyasyona yüksek duyarlılığı göz önüne alındığında, her CBCT kararı hastaya özgü net bir gerekçeye dayanmalıdır (Farman ve Scarfe, 2006). ALADA prensibi, klinisyenin önce "bu çekim zorunlu mu?", ardından "minimumda nasıl tutarım?" sorularını sormasını gerektirir. Kanıta dayalı endikasyonlar arasında gömülü/ektopik diş lokalizasyonu ve kök rezorpsiyonu, kraniyofasiyal asimetri, ortognatik cerrahi, midpalatal sutura maturasyonu (MARPE/RPE), TME morfolojisi, iskelet sınırı alveoler analiz ve hava yolu değerlendirmesi yer alır (Kapila ve Nervina, 2015; Merrett, Drage ve Durning, 2009).

3.4. 3D Sefalometri ve Kemik Bütünlüğü

CBCT, 2D sefalometrinin projeksiyon, magnifikasyon ve süperpozisyon hatalarını ortadan kaldırır (Swennen, Schutyser ve Hausamen, 2006). Orbitale veya Kondilyon gibi noktalar, zihinde rekonstrükte edilen hayali bir anatomi yerine gerçek XYZ koordinatlarında doğrudan tanımlanır. 3D sefalometride gözlemci içi/arası güvenilirlik 2D'ye kıyasla anlamlı biçimde daha yüksektir (ICC > 0,90) (Gribel, Gribel, Frazão, McNamara ve Manzi, 2011; Van Vlijmen ve diğerleri, 2009; Lagravère, Carey, Toogood ve Major, 2008), ancak landmark tanımı ve yazılım re-orientation farklılıkları standardizasyon açığını sürdürür (Baumrind, Miller ve Molthen, 1971); AI tabanlı

otomatik tespit umut verir, fakat klinisyen validasyonu zorunludur.

Ortodontik diş hareketi temelde alveoler kemiğin yeniden şekillenmesidir; dişlerin kortikal sınır dışına zorlanması fenestrasyon veya dehisens gibi iyatrojenik defektlere yol açar. CBCT, 2D'nin göremediği bukkal/lingual kortikal kalınlığı görüntüler (Leung, Palomo, Griffith ve Hans, 2010; Rios, Borgnakke ve Benavides, 2017). Ancak "Kısmi Hacim Etkisi" (PVE) kritik bir tuzaktır: bir voksel birden fazla yoğunlukta doku içeriyorsa yazılım ağırlıklı ortalama olarak ince kemiği yokmuş gibi gösterebilir; sonuç, var olan korteksin "dehisens" sanılması, yani yanlış pozitif tanıdır. Bu nedenle ince kemik analizlerinde voksel $< 0,2$ mm seçilmeli ve bulgular klinik sondalama ile korele edilmelidir.

4. EDİNİM DOĞRULUĞU II: İNTRAORAL TARAYICILAR (IOS)

4.1. Optik Prensipler ve Veri Akışı

IOS, ağız içi dokuların fiziksel kalıp olmaksızın ışık dalgalarıyla dijital replikasını üretir (Van der Meer, Andriessen, Wismeijer ve Ren, 2012). Üç temel prensip kullanılır: yapılandırılmış ışık (ızgara örüntülü ışığın yüzeyde deformasyonu analiz edilir; iTero Element, Primescan), konfokal mikroskopi (pinhole diyaframla yalnızca odaktaki pikseller kaydedilir, odak saniyede binlerce kez değişir; 3Shape TRIOS) ve aktif triangülasyon (ışık-nesne-dedektör üçgeni; Carestream). Tarayıcı saniyede milyonlarca koordinat (nokta bulutu) üretir, bunları üçgen kafes ağına (mesh) dönüştürür ve STL/PLY/OBJ olarak dışa aktarır; PLY/OBJ renk-doku verisi de taşıyarak gingival inflamasyon izlemine kapı açar.

4.2. Metroloji: Trueness, Precision ve Tam Ark Tutarsızlığı

ISO 5725-1 uyarınca trueness (gerçeklik) dijital geometrinin fiziksel gerçeğe yakınlığı, precision (kesinlik) ise tekrarlanabilirliktir (Ender ve Mehl, 2013). Yüksek precision sistematik hatayı gizleyebilir: ark genişliğini tutarlı biçimde 0,3 mm küçük ölçen bir tarayıcı mükemmel precision sergiler ama yetersiz trueness nedeniyle kararları sistematik saptırır; bu yüzden ikisi birlikte değerlendirilmelidir. Kısa segmentlerde (1–3 diş) üst segment IOS'lar 12–35 µm aralığında üstün trueness gösterir (Ender ve Mehl, 2011; Nedelcu, Olsson, Nyström, Rydén ve Thor, 2018). Tam ark taramalarında ise literatürdeki tutarsızlık dikkat çekicidir: in vitro koşullarda bazı çalışmalar 5–23 µm bildirirken sistematik derlemeler genel aralığı 20–600 µm gibi geniş bir bantta raporlar (Flügge, Schlager, Nelson, Nahles ve Metzger, 2013). Temel neden, in vivo koşullarda güvenilir bir "altın standart" referans elde etmenin güçlüğüdür; binlerce IOS çalışması içinde hastalarda tam ark taraması yapan in vivo çalışma sayısının çok az olması (Kwon ve diğerleri, 2021), in vitro verilerin klinik gerçekliğe doğrudan genellenmesini sınırlar. Bu farklılığın başlıca mekanizması "Drift"tir.

4.3. Drift ve Dental Crowding

Drift, tam ark taramada tarayıcı ark boyunca ilerledikçe ardışık görüntülerin birleştirilmesindeki (stitching) mikro yuvarlama hatalarının birikerek makro bir bükülme/kaymaya dönüşmesidir (Gan, Xiong ve Jiao, 2016). Etkileyen faktörler: tarama stratejisi, GPU ve stitching algoritması, operatör hızı, nem kontrolü ve interproksimal erişilebilirlik. Tarama stratejisinin standardizasyonu doğruluğu anlamlı iyileştirir; üreticinin önerdiği stratejinin alternatiflere üstünlüğü ($p < 0,05$) ve gereksiz hareketlerin stitching hatasını artırdığı gösterilmiştir (Gavounelis, Gogola ve Halazonetis, 2022): önerilen strateji ile ~26 µm

trueness, önerilmeyenle ~51 µm; yani yalnızca tarama yolu doğruluğu yaklaşık iki kat etkiler. Şiddetli çapraşıklık ise doğruluğu anlamlı biçimde bozar (Martínez-Rodríguez, Junco-Plana, Ortega-Aranegui ve Iglesias-Linares, 2025): dar interproksimal alanlarda ışık dik açıyla ulaşamaz (shadowing), veri kaybı oluşur ve yazılımın bunu interpolasyonla doldurması (hole-filling) geometrik sadakat kaybıdır; trueness 200 µm üzerine çıkabilir.

Tablo 4.1. Seçilmiş IOS sistemlerinin metrolojik karşılaştırması (in vitro)

Sistem	Optik prensip	Trueness / Precision (µm)	Karakteristik
Primescan	Yapılandırılmış ışık	12–25 / 10–20	En yüksek segment çözünürlüğü; nem hassasiyeti
TRIOS 4	Konfokal mikroskopi	18–35 / 15–25	Yüksek hız; renkli doku; yazılım maliyeti
iTero Element 5D	Yapılandırılmış ışık	25–45 / 20–35	Aligner entegrasyonu; NIRI
Medit i700	Triangülasyon	40–70 / 30–50	Ekonomik; PC bağımlı
Carestream CS 3700	Aktif triangülasyon	60–150 / 40–80	Geniş renk; tam ark drift riski yüksek

Not. In vivo performans sistematik olarak daha değişkendir. Kaynaklar: Ender ve Mehl (2011, 2013); Nedelcu ve diğerleri (2018); Mangano ve diğerleri (2019).

4.4. Klinik Uygulama ve Sınırlılıklar

IOS'un katma değeri tanısal analizler (STL üzerinde Bolton/Korkhaus, ark uzunluğu diskrepansı operatör bağımsız), şeffaf plak CAD iş akışı (drift hatası doğrudan plak misfit'ine dönüşür), boylamsal izleme (rugae-tabanlı süperpozisyon), indirekt bonding/retainer üretimi ve uzaktan taktır (Rossini, Parrini, Castroflorio, Deregibus ve Castroflorio, 2016; Grünheid, McCarthy ve Larson, 2014). Sınırlılıklar: subgingival marjinler ve kök yüzeyleri taranamaz; şiddetli crowding'de shadowing/hole-filling güvenilirliği düşürür; tükürük, kanama ve ortam ışığı optik gürültü yaratır; tescilli formatlar interoperabilite sorunu sürdürür (Grünheid ve diğerleri, 2014; Wiranto, Engelbrecht, Tutein Nolthenius, van der Meer ve Ren, 2013).

5. ENTEGRASYON DOĞRULUĞU: VERİ FÜZYONU VE SANAL HASTA

5.1. DICOM–STL Ko-Registrasyonu ve ICP

Ekosistemin kalbi, CBCT'nin hacimsel DICOM verisi ile IOS'un yüzey STL/PLY verisinin tek koordinat sisteminde birleştirildiği füzyondur; temel araç Iterative Closest Point (ICP) algoritmasıdır (Plooij ve diğerleri, 2011; Lee, Hwang ve Lee, 2022). Algoritma, ortak anatomik yüzeyleri (genellikle kron yüzeyleri) referans olarak modeller arası Öklid mesafesini minimize eden dönüşüm matrislerini iteratif hesaplar. İki ön koşul kritiktir: yeterli örtüşme (overlap) alanı ve minimum metal gürültüsü. ICP'nin yapısal sınırlılığı, zayıf başlangıç hizalamasında küresel optimum yerine yerel minimuma yakınsamasıdır; bu durumda algoritma "yakınsamış" görünse de anatomik olarak hatalı hizalama üretebilir. Ko-registrasyon hatasının 0,1 mm üzerine çıkması, kök pozisyonlarının kemik sınırı içinde yanlış algılanmasına ve iyatrojenik fenestrasyon riskine yol açar; bu nedenle füzyon, yazılımın yakınsama metriğine değil klinisyenin anatomik validasyonuna göre kabul edilmelidir.

5.2. Sanal Hasta ve Hata Birikimi

"Sanal Hasta", CBCT'nin iskeletsel derinliği ile IOS'un oklüzal keskinliğini birleştiren bütünleşik modeldir; klinisyen dişe tork/intrüzyon uyguladığında kökün korteks içindeki yolculuğunu, komşu köklerle yakınlığını ve mandibular kanal/sinüs ilişkisini gerçek zamanlı izleyebilir, fenestrasyon riskini önceden tahmin edebilir. Yüz tarayıcı verisi eklenince estetik de planlamaya katılır. Farklı formatların ve tescilli platformların birlikte çalışabilirliği hâlâ bir sürtünme noktasıdır.

Doğruluk zincirinin en kritik boyutu, bireysel hataların kümülatif klinik sapmaya dönüşmesidir. İllüstratif bir senaryoyla: CBCT'nin ~0,1 mm voksel sapması, IOS'un ~0,15 mm drift hatası

ve ~0,05 mm ko-registrasyon sapması en kötü olasılıkta doğrusal toplandığında fiziksel modele ulaşmadan ~0,3 mm kümülatif hata oluşabilir. Bu rakamlar tekil bir çalışmadan değil, halka hatalarının büyüklük mertebesini göstermek için kurulmuş açıklayıcı bir hesaptır; gerçek yayılım, hataların yönüne göre kısmen birbirini götürebilir veya en kötü senaryoda birikir. Üretimdeki reçine büzülmesi eklendiğinde plak oturması (fit) ve kuvvet aktarımı (tracking) klinik kabul eşiğine dayanabilir. Bu kümülatif etkileşimi klinik çıktılarla (tracking kaybı, relaps) sistematik ilişkilendiren prospektif çalışmalar halen sınırlıdır; mevcut değerlerin çoğu izole in vitro ölçümlerden türemiştir. Görsel olarak mükemmel modeller fiziksel sadakatin garantisi değildir; her aşamada validasyon ve en zayıf halkanın yönetimi metrolojik bir zorunluluktur.

6. ÜRETİM DOĞRULUĞU: 3D YAZICILAR VE GEOMETRİK SADAKAT

Dijital iş akışının son halkasını 3D yazıcılar oluşturur; ortodontide kullanılanlar "Vat Photopolymerization" ailesindedir: sıvı fotopolimer reçine UV altında tabaka tabaka kürlenir (Harikrishnan ve Subramanian, 2023). SLA (noktasal lazer; en pürüzsüz yüzey, en yavaş), DLP (projektör; her katman tek ışık patlamasıyla, endüstriyel aligner tercihi) ve LCD/MSLA (4K/8K LCD panel; ekonomik klinik-içi üretim) öne çıkar.

Baskı parametreleri geometrik sadakati doğrudan etkiler. Oryantasyon: yatay (0°) baskı Z-eksenindeki katman sayısını azaltarak kümülatif hatayı düşürür ve boyutsal kararlılıkta dikey (90°) baskıya üstündür (Alghauli, Almuzaini, Aljohani ve Alqutaibi, 2024); dikey baskı verimi artırır ama stair-stepping ve destek deformasyonunu yükseltir. Katman kalınlığı: ortodontik modeller için 50–100 µm önerilir; daha ince (25–50 µm) detayı artırır ama süreyi ve over-curing riskini yükseltir. Büzülme:

monomerler polimerleşirken hacimce %1–3 büzülür, bu transversal ark genişliğinde sistematik daralmaya yol açabilir; yazılımlar reçine katsayısına göre modeli mikro düzeyde büyütür (compensation) kompanse eder. Post-kürleme: "yeşil model" IPA ile yıkanıp UV/ısı kabiniinde tam polimerize edilmeli; yetersiz kürleme warpage, aşırı kürleme kırılabilirlik üretir. Kalite kontrol: her seride en az bir referans model basılmalı, kritik ark genişliği dijital kaliper veya yeniden tarama ile doğrulanmalı; klinik kabul toleransı $\leq 0,3$ mm boyutsal sapmadır.

7. KLİNİK ENTEGRASYON VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

7.1. Görüntüleme Karar Algoritması

Tablo 7.1. Ortodontik görüntüleme karar algoritması (kanıta dayalı)

Klinik durum	Önerilen modalite	Gereke
Rutin Sınıf I / hafif-orta	Pano + Sefalometri + IOS	CBCT endike değil; IOS yüksek katma değer
Gömülü kanin / ektopik diş	CBCT (dar FOV) + IOS	Kök ilişkisi ve 360° yol için CBCT şart
Kök rezorpsiyonu	CBCT (dar FOV, yüksek çöz.)	Bukkal/lingual rezorpsiyon ve volüm
Çapraz kapanış + asimetri	CBCT (geniş FOV) + IOS	Kondil morfometrisi, sutura, kanal ilişkisi
MARPE / RPE	CBCT (sutura odaklı)	Sutura ossifikasyonu, iskeletsel yaş
Şeffaf plak tedavisi	IOS (primer); gerekirse CBCT	STL CAD temeli; drift kontrolü kritik
Ortognatik cerrahi	CBCT + IOS + yüz tarayıcı	Sanal cerrahi ve splint CAD/CAM
TME patolojisi	CBCT (geniş FOV, yüksek çöz.)	Kondil morfolojisi, fossa ilişkisi
Periyodik izlem	IOS (her kontrol)	Süperpozisyon renk haritası; minimal doz

7.2. Yeşil Ortodonti ve Kitle Özelleştirme Paradoksu

Dijital iş akışları çevresel sürdürülebilirlik açısından da paradigma değiştirir. Geleneksel alçı model üretimi geri dönüştürülemez ölçü maddeleri, alçı atığı ve fiziksel

depolama/kargo enerjisi nedeniyle ciddi yük oluşturur; IOS bu fiziksel atık zincirini neredeyse tamamen ortadan kaldırır ve STL transferi kargo karbonunu sıfırlar. Ancak "Kitle Özelleştirme Paradoksu" mevcuttur: her hasta için üretilen tek kullanımlık fotopolimer reçine modeli ve plak ciddi bir polimer atık akışı yaratır. Pozitif boyutta alçı atığının ve fiziksel lojistiğin eliminasyonu, negatif boyutta tek kullanımlık reçine atığı, yazıcı enerji tüketimi ve elektronik atık öne çıkar. Geleceğin gündemi biyo-bozunur reçineler, yeniden kullanılabilir model sistemleri ve karbon-nötr altyapıdır. Dijital geçiş çevresel sorunu ortadan kaldırmamış, yalnızca yeniden yapılandırmıştır.

8. GELECEK YÖNELİMLERİ

Derin öğrenme algoritmaları CBCT'de dişleri, kökleri, korteksi ve mandibular kanalı saniyeler içinde otomatik segmente edebilmekte, 3D landmarkları insan hatasından bağımsız yerleştirebilmektedir (Lee ve diğerleri, 2022). Ancak "Algoritmik Okuryazarlık" kritiktir: AI bir asistandır, nihai karar ve etik sorumluluk ortodontistindir. Sıklıkla göz ardı edilen metodolojik sorun, otomatik segmentasyonun doğrulandığı "ground-truth" verisinin de çoğunlukla insan uzmanların manuel segmentasyonuna dayanmasıdır; yani algoritma, gözlemciler arası değişkenlik içeren bir referansa karşı test edilir ve "doğruluk" metriği mutlak gerçeği değil uzman fikir birliğini yansıtır. Eğitim verisindeki popülasyon yanlılıkları, klinik geçerlilik çalışmalarının sınırlılığı ve regülatif boşluklar eleştirel kullanımı zorunlu kılar.

İleri vizyon, statik 3D modelin ötesinde zaman boyutunun (4D) entegre edildiği "Dijital İkiz"dir: çiğneme döngüleri, mandibuler kinematik ve yumuşak doku yanıtları gerçek zamanlı simüle edilerek oklüzyon statik bir "kapanış"tan dinamik bir "çiğneme mühendisliği" problemine dönüşür; ilk klinik 4D

prototipler araştırma aşamasındadır. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) entegrasyonu ile şeffaf plak ve tellerin dış, periodonsiyum ve kemik üzerindeki stres dağılımı tedavi öncesi hesaplanabilecek, iyatrojenik rezorpsiyon riski matematiksel olarak öngörülebilir; bu, ortodontiyi deneme-yanılmadan "Hassas Tıp"a taşır. Son olarak iteratif rekonstrüksiyon ve AI gürültü azaltmayla ultra-düşük doz CBCT protokolleri gerçeğe yaklaşmakta; difüzyon ağırlıklı MR ve ultrason tabanlı kemik görüntüleme ise iyonizasyonsuz hacimsel edinimin araştırma gündemini oluşturmaktadır.

9. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde sunulan kanıtlar üç argümanı destekler. Birincisi, ekosistemin klinik değeri tekil modalitelerin izole performansından değil, zincirin bütünsel metrolojik yönetiminden doğar: en yüksek çözünürlüklü CBCT dahi, zayıf bir IOS tarama stratejisinin drift hatasıyla birleştiğinde sınırlı değerlerde bir hibrit model üretir. İkincisi, teknolojik ilerleme klinisyenin biyolojik yargı ve etik denetim rolünü ikame etmez, aksine kritikleştirir: otomatik segmentasyon, görsel olarak kusursuz hibrit modeller ve saniyelik sefalometri, algoritmik çıktıları eleştirel değerlendirme sorumluluğunu artırır; görsel üstünlük geometrik hata yokluğunun garantisi değildir. Üçüncüsü, dijitalleşme çevresel yükü ortadan kaldırmaz yalnızca yeniden yapılandırır; fotopolimer reçine atığının yönetimi geleceğin öncelikli sürdürülebilirlik gündemidir. Metodolojik açıdan en önemli araştırma boşluğu, hata birikiminin klinik çıktılarla (tracking kaybı, relaps) sistematik ilişkilendirildiği prospektif çalışmaların sınırlılığıdır.

Sonuç olarak dijital ortodontide temel mesele en pahalı cihaza sahip olmak değil; edinim, entegrasyon ve üretim süreçlerindeki hata birikimini yönetebilen bütüncül bir ekosistem

mimarisi kurmaktır. Klinisyen CBCT'yi seçici endikasyon ve ALARA/ALADA ile sınırlar, IOS yüzey sadakatini standardize tarama stratejileriyle maksimize eder ve 3D yazıcı parametrelerini metrolojik kurallara uygun kurarsa, en düşük biyolojik ve finansal maliyetle en yüksek klinik karar değerini üretir. Her teknoloji birbirini tamamlayan ancak hiçbiri diğerinin yerini tutamayan bir bileşendir. Dijital ortodonti cihazların rekabeti değil; verinin doğru yönetimi, entegrasyonu ve etik kullanımı disiplindir.

KAYNAKÇA

- Alghauli, M. A., Almuzaini, S. A., Aljohani, R. ve Alqutaibi, A. Y. (2024). Impact of 3D printing orientation on accuracy, properties, cost, and time efficiency of additively manufactured dental models: A systematic review. *BMC Oral Health*, 24, 1—15.
- American Association of Orthodontists. (2022). *Clinical practice guidelines for orthodontics and dentofacial orthopedics*. St. Louis, MO: AAO.
- Baumrind, S., Miller, D. ve Molthen, R. (1971). The reliability of head film measurements: 1. Landmark identification. *American Journal of Orthodontics*, 60(2), 111—127.
- Brown, A. A., Scarfe, W. C., Scheetz, J. P., Silveira, A. M. ve Farman, A. G. (2009). Linear accuracy of cone beam computed tomography-derived 3D images. *Angle Orthodontist*, 79(1), 150—157.
- Cattaneo, P. M., Bloch, C. B., Calmar, D., Hjortshøj, M. ve Melsen, B. (2008). Comparison between conventional and cone-beam computed tomography-generated cephalograms. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(6), 798—802.
- Colceriu-Şimon, I. M., Băciuţ, M., Ştiufluic, R. I., Aghiorghiesei, A., Țărmure, V., Lenghel, M., ... Băciuţ, G. (2019). Clinical indications and radiation doses of cone beam computed tomography in orthodontics. *Medicine and Pharmacy Reports*, 92(4), 346—351.
- Damstra, J., Fourie, Z., Huddleston Slater, J. J. ve Ren, Y. (2010). Accuracy of linear measurements from cone-beam computed tomography-derived surface models of the mandible. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(2), 179.e1—179.e10.

- De Vos, W., Casselman, J. ve Swennen, G. R. J. (2009). Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 38(6), 609—625.
- Ender, A. ve Mehl, A. (2011). Full arch scans: Conventional versus digital impressions—An in-vitro study. *International Journal of Computerized Dentistry*, 14(1), 11—21.
- Ender, A. ve Mehl, A. (2013). Accuracy of complete-arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 109(2), 121—128.
- European Academy of Dentomaxillofacial Radiology. (2009). Basic principles for use of dental cone beam computed tomography: Consensus guidelines. *Dentomaxillofacial Radiology*, 38(4), 187—195.
- Farman, A. G. ve Scarfe, W. C. (2006). Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 130(2), 257—265.
- Farronato, G., Giannini, L., Galbiati, G. ve Maspero, C. (2012). RME: Dental and skeletal effects using CBCT. *Progress in Orthodontics*, 13(1), 59—70.
- Flügge, T. V., Schlager, S., Nelson, K., Nahles, S. ve Metzger, M. C. (2013). Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(3), 471—478.

- Gavounelis, N. A., Gogola, C.-M. C. ve Halazonetis, D. J. (2022). The effect of scanning strategy on intraoral scanner's accuracy. *Dentistry Journal*, 10(7), 123.
- Gan, N., Xiong, Y. ve Jiao, T. (2016). Accuracy of intraoral digital impressions for whole upper jaws, including full dentitions and palatal soft tissues. *PLoS One*, 11(7), e0158800.
- Gribel, B. F., Gribel, M. N., Frazão, B., McNamara, J. A., Jr. ve Manzi, F. R. (2011). Accuracy and reliability of craniometric measurements on cone-beam computed tomography. *Angle Orthodontist*, 81(1), 26—35.
- Grünheid, T., McCarthy, S. D. ve Larson, B. E. (2014). Clinical use of a direct chairside oral scanner: An assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(5), 673—682.
- Grünheid, T., Patel, N., De Felippe, N. L., Witmans, M., Casey, J. R. ve Larson, B. E. (2014). Accuracy, reproducibility, and validity of a digital model obtained from an intraoral digital scan. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 145(4), 503—513.
- Halazonetis, D. J. (2005). From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 127(5), 627—637.
- Harikrishnan, S. ve Subramanian, A. K. (2023). 3D printing in orthodontics: A narrative review. *Journal of International Oral Health*, 15(1), 15—27.
- Kapila, S. D. ve Nervina, J. M. (2015). CBCT in orthodontics: Assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofacial Radiology*, 44(1), 20140282.

- Kwon, M., Cho, Y., Kim, D. W., Kim, M. S., Kim, Y. J. ve Chang, M. (2021). Full-arch accuracy of five intraoral scanners: In vivo analysis of trueness and precision. *Korean Journal of Orthodontics*, 51(2), 95—104.
- Lagravère, M. O., Carey, J., Toogood, R. W. ve Major, P. W. (2008). Three-dimensional accuracy of measurements made with software on cone-beam computed tomography images. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(1), 112—116.
- Lee, S. C., Hwang, H. S. ve Lee, K. C. (2022). Accuracy of deep learning-based integrated tooth models by merging intraoral scans and CBCT scans for 3D evaluation of root position during orthodontic treatment. *Progress in Orthodontics*, 23, 15.
- Leung, C. C., Palomo, L., Griffith, R. ve Hans, M. G. (2010). Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(4 Suppl.), S109—S119.
- Ludlow, J. B. ve Walker, C. (2013). Assessment of phantom dosimetry and image quality of i-CAT FLX cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(6), 802—817.
- Mangano, F. G., Hauschild, U., Veronesi, G., Imburgia, M., Mangano, C. ve Admakin, O. (2019). Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: A comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 19(1), 101.
- Maret, D., Telmon, N., Peters, O. A., Lepage, B., Treil, J., Inglessè, J. M., ... Sixou, M. (2012). Effect of voxel size on the

accuracy of 3D reconstructions with cone beam CT. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41(8), 649—655.

- Martínez-Rodríguez, C., Junco-Plana, P., Ortega-Aranegui, R. ve Iglesias-Linares, A. (2025). Impact of dental crowding on the trueness and precision of intraoral scanners: Comparison across different devices and techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. Çevrimiçi ön yayın. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2025.08.004>
- Merrett, S. J., Drage, N. A. ve Durning, P. (2009). Cone beam computed tomography: A useful tool in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Journal of Orthodontics*, 36(3), 202—210.
- Mozzo, P., Procacci, C., Tacconi, A., Martini, P. T. ve 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.
- Nedelcu, R., Olsson, P., Nyström, I., Rydén, J. ve Thor, A. (2018). Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *Journal of Dentistry*, 69, 110—118.
- Patcas, R., Müller, L., Ullrich, O. ve Peltomäki, T. (2012). Accuracy of cone-beam computed tomography at different resolutions assessed on the bony surface. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 73(2), 108—116.
- Pauwels, R., Beinsberger, J., Collaert, B., Theodorakou, C., Rogers, J., Walker, A., ... Jacobs, R. (2012). Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *European Journal of Radiology*, 81(2), 267—271.

- Plooij, J. M., Maal, T. J., Haers, P., Borstlap, W. A., Kuijpers-Jagtman, A. M. ve Bergé, S. J. (2011). Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery: A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 40(4), 341—352.
- Rios, H. F., Borgnakke, W. S. ve Benavides, E. (2017). The use of CBCT in management of patients requiring dental implants: An AAP best evidence review. *Journal of Periodontology*, 88(10), 946—959.
- Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A. ve Castroflorio, C. (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.
- Scarfe, W. C. ve Farman, A. G. (2008). What is cone-beam CT and how does it work? *Dental Clinics of North America*, 52(4), 707—730.
- Signorelli, L., Patcas, R., Peltomäki, T. ve Schätzle, M. (2016). Radiation dose of cone-beam computed tomography compared to conventional radiographs in orthodontics. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 77(1), 9—15.
- Swennen, G. R. J., Schutyser, F. ve Hausamen, J. E. (2006). *Three-dimensional cephalometry: A color atlas and manual*. Berlin: Springer.
- Van der Meer, W. J., Andriessen, F. S., Wismeijer, D. ve Ren, Y. (2012). Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One*, 7(8), e43312.

- Van Vlijmen, O. J., Bergé, S. J., Swennen, G. R., Bronkhorst, E. M., Katsaros, C. ve Kuijpers-Jagtman, A. M. (2009). Comparison of cephalometric landmarks on conventional and cone-beam computed tomography-derived cephalograms. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(1), e1—e9.
- Wiranto, M. G., Engelbrecht, W. P., Tutein Nolthenius, H. E., van der Meer, W. J. ve Ren, Y. (2013). Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models from intraoral and CBCT scans. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 143(1), 140—147.

ORTODONTİK TEDAVİ SONRASI GÜNCEL RETANSİYON PROTOKOLLERİ

Kübra ARSLAN ÇARPAR¹

Tuğba YILMAZ²

1. GİRİŞ

Ortodontik tedavinin başarısı yalnızca aktif tedavi sonucunda elde edilen estetik ve fonksiyonel düzelmelerle değil, bu sonuçların uzun dönem stabilitesinin korunmasıyla da değerlendirilmektedir. Bu nedenle retansiyon, aktif ortodontik tedavi sonrasında elde edilen sonuçların korunması ve relapsın önlenmesi amacıyla uygulanan tedavi sürecinin vazgeçilmez bir aşamasını oluşturmaktadır. Tedavi sonrasında dişlerin başlangıç konumlarına dönme eğilimi “relaps” olarak tanımlanmakta olup, ortodontik tedavi sonuçlarının sürdürülebilirliğini tehdit eden önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017).

Günümüzde ortodontik retansiyon, yalnızca tedavi sonrası kısa süreli bir uygulama olarak değil, uzun dönem stabilitenin sağlanmasında temel rol oynayan bir süreç olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler ve klinik çalışmalar, sabit ve hareketli retainerlar arasında belirgin bir üstünlük bulunmadığını; ancak hasta uyumu, maloklüzyon tipi, periodontal durum ve uygulanan tedavi planı gibi faktörlere bağlı olarak bireyselleştirilmiş retansiyon

¹ Doktor Öğretim Üyesi, Mersin Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-5123-8276.

² Araştırma Görevlisi, Mersin Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0008-0963-5498.

protokollerinin tercih edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Papageorgiou et al., 2023; Al-Moghrabi, Pandis, & Fleming, 2024).

Ortodontik retansiyonun planlanması ve uygulanması, klinik pratiğin en tartışmalı konularından biri olmaya devam etmektedir. Bunun temel nedeni, relapsın multifaktöriyel bir etiyojiye sahip olması ve bireyler arası biyolojik farklılıkların önemli düzeyde değişkenlik göstermesidir. Mevcut literatür, farklı retansiyon protokollerinin etkinliğini karşılaştıran çalışmaların sınırlı sayıda ve heterojen yapıda olduğunu göstermekte; bu nedenle evrensel olarak kabul edilmiş standart bir retansiyon protokolünün bulunmadığı bildirilmektedir (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Papageorgiou et al., 2023). Bu durum, klinisyenlerin retansiyon planlamasında hasta bazlı kararlar almasını ve retansiyon stratejilerini bireyselleştirmesini gerekli kılmaktadır.

Son yıllarda ortodontik literatürde “ömür boyu retansiyon” kavramı giderek daha fazla kabul görmekte; özellikle mandibular anterior bölgede uzun süreli hatta kalıcı retainer kullanımının gerekli olabileceği bildirilmektedir (Papageorgiou et al., 2023). Bu bağlamda retansiyon, ortodontik tedavinin pasif bir aşaması olarak değil, uzun dönem tedavi başarısının aktif bir belirleyicisi olarak değerlendirilmelidir.

Bu bölümde ortodontik tedavide güncel retansiyon protokolleri; kullanılan apareyler, kanıta dayalı karşılaştırmalar ve yeni teknolojik yaklaşımlar çerçevesinde kapsamlı olarak ele alınacaktır.

1.1. Retansiyonun Gerekliği

Ortodontik tedavi sonrasında elde edilen dişsel ve iskeletsel düzenlemelerin korunabilmesi için retansiyon uygulaması gereklidir. Retansiyon gereksinimi; periodontal ve gingival dokuların reorganizasyon süreci, çevre yumuşak

dokuların etkisi ve büyüme-gelişim sürecinin devam etmesi gibi çeşitli biyolojik faktörlerle ilişkilidir (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Reitan, 1959).

Ortodontik diş hareketi sırasında periodontal ligament, alveolar kemik ve suprakrestal gingival liflerde önemli yapısal değişiklikler meydana gelmektedir. Aktif tedavi sonrasında apareylerin uzaklaştırılmasıyla birlikte bu dokuların yeniden organize olması belirli bir zaman gerektirmekte, özellikle periodontal ve gingival liflerdeki reorganizasyon süreci relaps açısından kritik önem taşımaktadır (Reitan, 1959; Edwards, 1968).

Tedavi sonunda dişlerin biyolojik olarak stabil olmayan bir pozisyonda bulunması durumunda; dudak, yanak ve dil gibi çevre yumuşak dokuların oluşturduğu kuvvetler dişlerin eski konumlarına dönmesine neden olabilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019). Özellikle başlangıçtaki maloklüzyonun etiyolojik faktörlerinin tamamen ortadan kaldırılamadığı olgularda relaps riski artmaktadır.

Bunun yanı sıra kraniofasiyal büyüme ve gelişimin tedavi sonrasında da devam etmesi, ortodontik tedavi sonuçlarının uzun dönem stabilitesini etkileyebilmektedir. Özellikle mandibular büyümenin erişkin dönemde dahi devam edebilmesi, anterior çapraşıklık gelişiminde önemli rol oynayabilmektedir (Little, 1999).

1.2. Retansiyonu Etkileyen Faktörler

Ortodontik tedavi sonrası stabilizeyi etkileyen faktörler; periodontal ve gingival dokuların reorganizasyonu, büyüme ve gelişim süreci, fizyolojik yaşlanma değişiklikleri, üçüncü molarların etkisi ve uygulanan tedavi tipi gibi çok sayıda biyolojik ve mekanik değişkeni içermektedir (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Proffit, Fields, Larson, & Sarver,

2019). Relapsın multifaktöriyel yapısı nedeniyle retansiyon planlaması bireysel risk faktörleri dikkate alınarak yapılmalıdır.

1.2.1. Periodontal ve Gingival Dokuların Reorganizasyonu

Ortodontik diş hareketi sonrasında periodontal ligament (PDL), alveolar kemik ve gingival liflerde meydana gelen yeniden yapılanma süreci stabilitenin sağlanmasında kritik öneme sahiptir. Periodontal ligament, diş pozisyonunun korunmasında önemli rol oynadığından reorganizasyonunun tamamlanması retansiyon açısından gereklidir. PDL'nin reorganizasyon süresinin yaklaşık 3–4 ay olduğu bildirilmektedir (Reitan, 1959; Edwards, 1968).

Gingival lifler ise alveolar kemiğe doğrudan bağlı olmamaları nedeniyle periodontal ligamentten daha yavaş reorganize olmaktadır. Gingival kollajen fibrillerin reorganizasyonu yaklaşık 4–6 ay içerisinde tamamlanırken, suprakrestal elastik fibrillerin reorganizasyonu daha uzun sürmektedir (Reitan, 1959). Özellikle rotasyon düzeltilen dişlerde suprakrestal liflerin oluşturduğu geri çekici kuvvetler nedeniyle tedavi sonlandıktan sonra dahi relaps görülebilmektedir. Tedavi bitiminden 1 yıl sonra bile bu liflerin diş pozisyonunu etkileyebilecek kuvvetler oluşturabileceği bildirilmiştir (Reitan, 1959; Edwards, 1968).

1.2.2. Büyüme ile İlgili Oklüzal Değişiklikler

Büyüme ve gelişimin devam etmesi, ortodontik tedavi sonrası stabiliteyi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Özellikle iskeletsel kökenli maloklüzyonlar, büyüme devam ettiği sürece tekrar oluşma eğilimi göstermektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

Kraniofasiyal büyümenin tamamlanma sırası genel olarak transversal, sagittal ve vertikal büyüme şeklindedir. Vertikal

büyümenin daha uzun süre devam etmesi nedeniyle özellikle açık kapanış ve derin kapanış gibi vertikal yöndeki anomalilerde uzun dönem retansiyon gereksinimi artmaktadır (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Nanda & Burstone, 1993).

1.2.3. Geç Dönem Alt Keser Çapraşıklığı

Geç dönem mandibular anterior çapraşıklık, ortodontik tedavi görmüş veya görmemiş bireylerde ortaya çıkabilen fizyolojik bir değişim olarak kabul edilmektedir. Etiyolojisi multifaktöriyel olup büyüme, oklüzal kuvvetler, periodontal değişiklikler ve yaşlanmaya bağlı adaptasyon süreçleriyle ilişkilendirilmektedir (Little, 1999; Richardson, 1982).

Geç dönem alt keser çapraşıklığının etiyolojisinde çeşitli biyolojik ve çevresel faktörlerin rol oynadığı düşünülmektedir. Geç mandibular büyüme sonucunda mandibulanın anterior yönde büyümeye devam etmesi, dental arklar arasındaki ilişkinin değişmesine ve mandibular anterior bölgede yer darlığının artmasına neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, dişlerin yaşam boyu devam eden fizyolojik mezial migrasyonu ark uzunluğunda azalmaya ve kontakt noktalarının yeniden şekillenmesine yol açmaktadır. Mezializasyon sonucunda ortaya çıkan bu değişiklikler, anterior segmentte düzensizlik gelişimi için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Dudak ve dil kuvvetleri arasındaki dengenin değişmesi de diş pozisyonlarının korunmasını etkileyebilen faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca yaşlanma ile periodontal destek dokularında meydana gelen yapısal değişikliklerin dental ark stabilitesini azaltabileceği bildirilmektedir. Üçüncü molar dişlerin oluşturduğu potansiyel anterior kuvvetlerin etkisi uzun yıllardır tartışılmakla birlikte, güncel kanıtlar bu dişlerin geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın ortaya çıkmasında belirleyici bir faktörden ziyade yardımcı bir etken olabileceğini

göstermektedir (Little, 1999; Harradine, 1999; Richardson, 1982).

Periodontal membranın dişlerin stabilizasyonunda önemli rol oynadığı bilinmekle birlikte, periodontal kuvvetlerin tek başına çapraşıklık oluşturduğu kesin olarak gösterilememiştir. Ancak diğer biyolojik faktörlerle birlikte değerlendirildiğinde çapraşıklık sürecine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Richardson, 1982).

1.2.4. Üçüncü Molarların Etkisi

Üçüncü molar dişlerin mandibular anterior çapraşıklık üzerindeki etkisi uzun yıllardır tartışılmaktadır. Güncel literatürde, üçüncü molarların çapraşıklık oluşumunda belirleyici bir faktör olmadığı; ancak sınırlı düzeyde katkı sağlayabileceği genel olarak kabul edilmektedir (Harradine, 1999). Bu nedenle yalnızca relapsı önlemek amacıyla profilaktik üçüncü molar çekimi önerilmemektedir.

1.2.5. Tedavi Tipi

Ortodontik tedavide uygulanan mekanikler ve tedavi yaklaşımı, uzun dönem stabilite üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Büyüme Yönüne Göre Elde Edilen Tedavi Sonuçları

a. Transversal Yön

Yavaş ve sürekli kuvvetlerle gerçekleştirilen transversal ekspansiyonun daha stabil sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Özellikle hızlı üst çene genişletmesine (RPE) kıyasla kontrollü ekspansiyonun histolojik açıdan distraksiyon osteogenezine benzer biyolojik adaptasyon oluşturduğu düşünülmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

b. Sagital Yön

Sınıf II Maloklüzyonlar

Sınıf II maloklüzyonların fonksiyonel apareylerle ve ortopedik düzeltilmesi sonrasında, büyüme tamamlanıncaya kadar gece fonksiyonel aparey kullanımı önerilmektedir. Gündüz saatlerinde ise hareketli veya sabit retainerlar kullanılabilir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

Sınıf III Maloklüzyonlar

Maksiller retrüzyona bağlı Sınıf III maloklüzyonlarda yüz maskesi tedavisi sonrasında büyüme tamamlanıncaya kadar gece kullanımı önerilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Baccetti, Franchi, & McNamara, 2000).

Hafif şiddetli Sınıf III olgularda retansiyon amacıyla fonksiyonel apareyler, chin-cup, positioner apareyleri kullanılabilir. Chin-cup kullanımının mandibulada aşağı ve geri rotasyona neden olabileceği; özellikle vertikal büyüme paterni bulunan bireylerde alt yüz yüksekliğini artırabileceği bildirilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Baccetti, Franchi, & McNamara, 2000). Bununla birlikte, uzun dönem iskeletsel etkilerinin sınırlı olması ve relaps riskinin bulunması nedeniyle günümüzde kullanım sıklığı azalmıştır (Graber, Vanarsdall, Vig, & Huang, 2023). Ayrıca temporomandibular eklem üzerine olası olumsuz etkileri nedeniyle rutin kullanımının önerilmediği belirtilmektedir (Graber, Vanarsdall, Vig, & Huang, 2023; Sugawara, Asano, Endo, & Mitani, 1990).

c. Vertikal Yön

Vertikal büyümenin geç yaşlara kadar devam etmesi nedeniyle vertikal yöndeki anomalilerde uzun süreli retansiyon gereklidir.

Derin Kapanış

Derin kapanış olgularında uzun dönem retansiyon önerilmekte ve tedavi sırasında overcorrection yapılmasının stabiliteyi artırabileceği bildirilmektedir. Ön diş intrüzyonu ile düzeltilen olgularda anterior bite-block içeren retansiyon apareyleri kullanılabilir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

Açık Kapanış

Açık kapanış, relapsın en sık görüldüğü maloklüzyonlardan biridir. Relaps; molar ekstrüzyonu, keser intrüzyonu veya her iki mekanizmanın kombinasyonu sonucu gelişebilmektedir. Üst molar ekstrüzyonunun kontrolü retansiyon açısından kritik öneme sahiptir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Nanda & Burstone, 1993).

Retansiyon amacıyla positioner apareyleri, posterior bite-block içeren retainerlar, high-pull headgear destekli hareketli retainerlar veya gündüz konvansiyonel retainer ile gece open-bite bionatör kombinasyonu kullanılabilir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Nanda & Burstone, 1993).

Çekimli ve Çekimsiz Tedaviler

Bazı çalışmalar, çekimsiz tedavilerde relaps oranlarının çekimli tedavilere göre daha düşük olabileceğini bildirmiştir. Özellikle rapid palatal ekspansiyon (RPE) ile desteklenen çekimsiz tedavilerin transversal stabilite açısından avantaj sağlayabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte uzun dönem stabilitenin yalnızca çekim kararına değil; tedavi sonundaki oklüzal denge, periodontal adaptasyon ve hasta uyumuna da bağlı olduğu vurgulanmaktadır (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Papageorgiou et al., 2023; Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

2. RETANSİYON APAREYLERİ

2.1. Hareketli Retainerlar

2.1.1. Hawley Retaineri

Hawley retaineri, ortodontide en uzun süredir kullanılan hareketli retainer tiplerinden biridir ve günümüzde halen yaygın olarak tercih edilmektedir (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019). Klasik tasarımında üst birinci molar dişlerde Adams kroşeleri, kaninler arasında uzanan vestibüler ark ve palatinal akrilik plak bulunmaktadır. Vestibüler ark genellikle 0.028 inç (0.7 mm) veya 0.032 inç (0.8 mm) çapında paslanmaz çelik telden hazırlanır. Çekimli vakalarda, çekim boşluklarının yeniden açılma riskini azaltmak amacıyla vestibüler arkın Adams kroşelerine lehimlendiği modifiye Hawley retainer tasarımları kullanılabilir (Nanda & Burstone, 1993).

Hawley retainerinin başlıca avantajları; dayanıklı olması, kolay tamir edilebilmesi, gerektiğinde küçük dental hareketlerin yapılmasına izin vermesi ve alt çenede dil için yeterli alan sağlamasıdır (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019,9). Ayrıca oklüzal yüzeyleri tamamen örtmemesi nedeniyle posterior settling'e izin vermesi önemli bir avantaj olarak kabul edilmektedir (Rowland et al., 2007).

Bununla birlikte metalik görünümü nedeniyle estetik açıdan dezavantajlı olması, konuşmayı geçici olarak etkileyebilmesi, akrilik kaideye adaptasyon gerektirmesi ve anterior dişlerin insizal kenarlarını kısmen örtmesi başlıca dezavantajlarıdır.

Günümüzde Hawley retaineri özellikle aktif tedavi sonrası settling döneminde, küçük düzeltmelerin gerekebileceği olgularda ve brüksizm gibi parafonksiyonel alışkanlıkları

bulunan bireylerde koruyucu etkisi nedeniyle tercih edilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

2.1.2. Wrap-Around Retainer

Wrap-around retainer, Hawley retainerinin modifiye edilmiş bir formudur. Bu tasarımda geleneksel vestibüler ark ve Adams kroşeleri yerine, kanin distalinden başlayarak dişlerin bukkal yüzeyleri boyunca uzanan ve en distal molar diş seviyesinden palatine dönen sürekli bir labial ark kullanılmaktadır. Bu tasarımda oklüzal yüzeyleri geçen tel uzantılarının bulunmaması, özellikle çekim boşluklarının yeniden açılmasını azaltan önemli bir avantaj sağlamaktadır (Nanda & Burstone, 1993).

Full-arch wrap-around retainerler, özellikle periodontal desteği zayıf dişlerin splintlenmesinin gerektiği olgularda endikedir. Alt anterior bölgede kullanılan kanin-kanin wrap-around apeareleri ise aktif retansiyon amacıyla küçük çapraşıklıkların yeniden düzeltilmesinde kullanılabilir. (Nanda & Burstone, 1993).

2.1.3. Positioner

Positioner apeareleri, üst ve alt dental arkı birlikte kapsayan, silikon veya elastomerik materyalden üretilmiş hareketli apearelerdir. Dişlerin bukkal ve oklüzal yüzeylerini tamamen örterek tedavi sonrası oklüzal ilişkilerin düzenlenmesine yardımcı olurlar (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

Bununla birlikte büyük hacimli olmaları nedeniyle hasta konforunu azaltmaları, konuşma, beslenme ve solunum gibi temel fonksiyonları zorlaştırmaları kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Ayrıca düzeltilmiş keser pozisyonlarının ve rotasyonların korunmasında yeterince etkili olmadıkları bildirilmektedir (Nanda & Burstone, 1993).

Positioner apareyleri özellikle açık kapanış olgularında yararlı olabilmektedir. Hastanın apareye uyguladığı sürekli çiğneme kuvveti; molar intrüzyonunu ve keser ekstrüzyonunu teşvik ederek vertikal kontrol sağlayabilmektedir. Buna karşın overbite'ı artırıcı etkileri nedeniyle derin kapanış eğilimli bireylerde dikkatli kullanılmalıdır.

2.1.4. Vacuum Formed Retainerlar (Şeffaf Plaklar)

Vacuum formed retainerlar (VFR) veya termoplastik retainerlar, günümüzde en yaygın kullanılan hareketli retainer tipleri arasında yer almaktadır (Papageorgiou et al., 2023; Al-Moghrabi, Pandis, & Fleming, 2024). Bu apareyler şeffaf termoplastik materyallerden üretilmekte olup en sık kullanılan materyal polietilen tereftalat glikol (PETG)'dür. Bunun yanı sıra poliüretan ve polivinil klorür esaslı materyaller de kullanılabilirlerdir.

VFR'ler genellikle 0.75 mm veya 1.0 mm kalınlığında üretilmektedir. Daha ince materyaller settling amacıyla tercih edilirken, daha kalın plaklar brüksizm gibi parafonksiyonel alışkanlığı olan hastalarda kullanılabilirlerdir. Essix retainer olarak da adlandırılan bu apareyler, diş kronlarını tamamen saracak şekilde hazırlanarak yüksek adaptasyon sağlamaktadır.

VFR'lerin başlıca avantajları; üstün estetik özellik göstermeleri, hasta konforunun yüksek olması, kolay ve hızlı üretilebilmeleri, maliyet etkin olmaları, tüm ark boyunca dişleri çevreledikleri için rotasyon relapsını etkili şekilde önleyebilmeleridir (Papageorgiou et al., 2023; Rowland et al., 2007). Bununla birlikte bazı dezavantajları; posterior settling ve doğal interdijitasyonu sınırlayabilmeleri, aşınma ve kırılmaya yatkın olmaları, ısı ile deforme olabilmeleri, düzenli yenilenme gerektirmeleri, oral hijyen için çıkarılmalarının gerekli olması, tamamen hasta uyumuna bağımlı olmalarıdır.

Son yıllarda yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, VFR'lerin Hawley retainerlere kıyasla daha yüksek hasta memnuniyeti ve estetik avantaj sağladığını göstermektedir. Ancak uzun dönem dayanıklılık açısından Hawley retainerlerin halen üstün olabileceği bildirilmektedir (Papageorgiou et al., 2023; Al-Moghrabi, Pandis, & Fleming, 2024; Rowland et al., 2007).

2.1.5. Modifiye Retainerlar

Klinik ihtiyaçlara göre tasarlanmış çeşitli modifiye retainer tipleri de bulunmaktadır. Derin kapanış olgularında posterior bite-plane içeren retainerler; açık kapanış olgularında ise anterior bite-plane içeren apareyler kullanılabilir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Nanda & Burstone, 1993).

Spring retainerler küçük anterior rotasyonların düzeltilmesinde kullanılabilirken, intermaksiller elastik kullanımının gerektiği durumlarda hook içeren retainer tasarımları tercih edilebilmektedir. Bu modifikasyonlar, retansiyon döneminde hem stabilitenin korunmasını hem de küçük düzeltmelerin yapılabilmesini sağlamaktadır.

2.2. Sabit Retainerler

Sabit retainerler, dişlerin lingual veya palatinal yüzeylerine yapıştırılan tel ya da fiber destekli sistemlerden oluşmaktadır. Özellikle mandibular anterior bölgede yaygın olarak kullanılmakla birlikte, maksiller anterior bölgede de sıklıkla tercih edilmektedir (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Papageorgiou et al., 2023). Hasta uyumuna bağlı olmamaları nedeniyle uzun dönem retansiyonda önemli avantaj sağlamaktadırlar.

2.2.1. Tasarım Özellikleri

Geleneksel sabit retainerler genellikle 0.0175 inç (0.45 mm) veya 0.0195 inç (0.50 mm) çapında çok sarmallı

(multistranded) veya koaksiyal paslanmaz çelik tellerden üretilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Nanda & Burstone, 1993). Klasik tasarımda retainer teli, kaninlerden kaninlere uzanacak şekilde altı anterior dişe bondlanmaktadır.

Bununla birlikte güncel çalışmalar, yalnızca kanin dişlere bondlanan retainerlerin periodontal sağlık ve oral hijyen açısından avantaj sağlayabileceğini, buna karşın klinik başarı oranlarının çok dişli sistemlerle benzer olabileceğini bildirmektedir (Zachrisson, 1977). Ancak alt keserlerde rotasyon veya belirgin çapraşıklık öyküsü bulunan olgularda tüm anterior dişlerin splintlenmesi daha güvenli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Retansiyon amacıyla kullanılan tellerin yapısal özellikleri zaman içerisinde önemli ölçüde gelişmiştir. Geleneksel çok sarmallı paslanmaz çelik tellerin yanı sıra, farklı kesit ve örgü yapılarına sahip retainer telleri de kullanılmaktadır. Penta-One®, Respond® ve benzeri çok telli sistemler, esneklikleri ve diş yüzeylerine daha kolay adapte edilebilmeleri nedeniyle klinik kullanımda tercih edilmektedir (Graber, Vanarsdall, Vig, & Huang, 2023; Zachrisson, 2017).

Son yıllarda fiber ile güçlendirilmiş kompozit retainerler (fiber reinforced composite – FRC) de klinik kullanımda popülerlik kazanmıştır. Bu sistemler; cam fiber veya polietilen fiber içeren kompozit materyallerden oluşmaktadır. FRC retainerler estetik açıdan metal tellerden üstün olmakla birlikte, uzun dönem dayanıklılıkları ve başarısı konusunda halen daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Scribante, Gandini, & Sfondrini, 2011).

Alternatif olarak beta-titanyum alaşımlarından üretilen retainer telleri de kullanılabilir. Bu teller biyouyumluluklarının yüksek olması ve manyetik rezonans görüntüleme sırasında paslanmaz çelik tellere kıyasla daha az

artefakt oluşturmaları nedeniyle bazı klinik durumlarda avantaj sağlayabilmektedir (Graber, Vanarsdall, Vig, & Huang, 2023; Sfondrini, Gandini, & Scribante, 2011).

2.2.2. Uygulama Protokolü

Sabit retainer uygulamasında başarının sağlanabilmesi için bazı biyomekanik ve klinik prensiplere dikkat edilmesi gerekmektedir. Retainer telinin diş yüzeyine tamamen pasif olarak adapte edilmesi ve herhangi bir aktif kuvvet oluşturmaması temel prensiptir. Aktif kuvvet oluşturan retainerler zaman içerisinde istenmeyen diş hareketlerine neden olabilmektedir (Katsaros, Livas, & Renkema, 2007).

Tel adaptasyonu hazır prefabrike formlar kullanılarak yapılabileceği gibi, hastaya özgü olarak manuel şekilde de bükülebilmektedir. Sabit retainerlerin uygulanmasında direkt ve indirekt bondeleme teknikleri kullanılabilir. Direkt bondeleme yönteminde retainer teli ağız içerisinde doğrudan diş yüzeylerine adapte edilerek yapıştırılırken, indirekt bondeleme tekniğinde retainer önceden çalışma modeli veya dijital model üzerinde hazırlanmakta ve transfer plağı yardımıyla tek aşamada ağız içerisine aktarılmaktadır. İndirekt bondeleme yöntemi, retainerin pasif yerleşiminin daha hassas sağlanabilmesi ve klinik uygulama süresinin azaltılması açısından avantaj sağlayabilmektedir (Bovali, Kiliaridis, & Cornelis, 2014).

Bondeleme sırasında asit pürüzlendirme ve adeziv uygulamasını takiben akışkan kompozit materyal kullanılması önerilmektedir. Retainer telinin kesici kenarlarla temas etmeyecek şekilde konumlandırılması hasta konforu açısından önem taşımaktadır. Polimerizasyon sonrasında fazla kompozitin uzaklaştırılması ve yüzeylerin düzgün hale getirilmesi plak retansiyonunu azaltarak periodontal sağlığın korunmasına katkı sağlamaktadır.

2.2.3. Avantaj ve Dezavantajları

Sabit retainerlerin en önemli avantajı hasta uyumuna bağımlı olmamalarıdır. Sürekli etki göstermeleri, estetik açıdan görünür olmamaları ve özellikle mandibular anterior bölgede uzun dönem stabilite sağlamaları önemli avantajları arasında yer almaktadır (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Papageorgiou et al., 2023). Bununla birlikte bazı dezavantajları ise oral hijyenin sağlanmasının zorlaşması, plak ve diş taşı birikiminde artış riski, bondeleme başarısızlığı veya retainer kırılması, periodontal inflamasyon gelişme riski, zaman içerisinde tel deformasyonu veya aktivasyonu sonucu istenmeyen diş hareketleri oluşabilmesidir (Katsaros, Livas, & Renkema, 2007; Renkema, Sips, Bronkhorst, & Kuijpers-Jagtman, 2009).

Son yıllarda yayımlanan çalışmalar, sabit retainerlerin özellikle mandibular anterior bölgede uzun dönem stabilitenin korunmasında etkili olduğunu göstermektedir (Papageorgiou et al., 2023; Zachrisson, 1977). Ancak başarı açısından düzenli klinik kontrollerin sürdürülmesi ve hastanın oral hijyen motivasyonunun yüksek olması kritik öneme sahiptir.

2.3. Dijital retansiyon sistemleri

Dijital ortodontide son yıllarda yaşanan gelişmeler, retansiyon apareylerinin tasarım ve üretim süreçlerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Geleneksel yöntemlerde sabit retainer telleri klinisyen tarafından manuel olarak şekillendirilirken, günümüzde bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) teknolojileri kullanılarak kişiye özel retainer sistemleri üretilebilmektedir (Pellan & Naoumova, 2023; Sifakakis, Pandis, Eliades, & Bourauel, 2024).

Bu sistemlerde hastanın ağız içi taramaları veya dijital modelleri kullanılarak retainer bilgisayar ortamında tasarlanmakta, ardından robotik tel büküm sistemleri veya bilgisayar kontrollü üretim yöntemleri ile üretilmektedir. Bu

sayede retainerin diş yüzeylerine daha hassas uyum göstermesi, pasif yerleşimin daha öngörülebilir olması ve klinik uygulama süresinin kısaltılması mümkün olmaktadır (Pellan & Naoumova, 2023).

CAD/CAM retainerlerin bir diğer avantajı üretim sürecinin standardize edilebilmesidir. Geleneksel yöntemlerde tel bükümü ve adaptasyonu klinisyenin deneyimine bağlı olarak değişiklik gösterebilirken, dijital üretim teknikleri daha tekrarlanabilir sonuçlar sağlayabilmektedir. Ayrıca dijital kayıtların saklanabilmesi, retainerin kırılması veya kaybı durumunda yeniden üretilmesini kolaylaştırmaktadır (Sifakakis, Pandis, Eliades, & Bourauel, 2024).

Son yıllarda bilgisayar destekli olarak üretilen kişiye özel retainer sistemlerinin klinik başarısını değerlendiren çalışmaların sayısı artmakla birlikte, bu sistemlerin geleneksel çok sarmallı paslanmaz çelik retainerlere üstünlüğünü ortaya koyan uzun dönem klinik kanıtlar halen sınırlıdır. Bununla birlikte, yüksek üretim hassasiyeti, uygulama kolaylığı ve hasta konforu gibi avantajları nedeniyle dijital retainerlerin gelecekte daha yaygın kullanım alanı bulacağı öngörülmektedir (Pellan & Naoumova, 2023; Sifakakis, Pandis, Eliades, & Bourauel, 2024).

2.4. Aktif Retainerlar

Aktif retainerlar, yalnızca mevcut ortodontik tedavi sonucunun korunmasını değer, aynı zamanda retansiyon döneminde ortaya çıkan küçük çaplı relapsların düzeltilmesini amaçlayan apareylerdir. Bu apareyler özellikle hafif dental düzensizliklerin yeniden hizalanması veya oklüzal uyumun geliştirilmesi amacıyla kullanılabilir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Nanda & Burstone, 1993).

2.4.1. Alt Kesici Çapraşıklığının Düzeltilmesi

Retansiyon döneminde görülen hafif mandibular anterior çapraşıklıkların düzeltilmesinde aktif retainerlardan yararlanılabilmektedir. Bu amaçla öncelikle interproksimal mine aşındırması (stripping veya interproximal reduction – IPR) uygulanarak gerekli alan elde edilir. Ardından clip-on retainer veya aktif spring içeren hareketli apareyler kullanılarak dişlerin yeniden hizalanması sağlanabilir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

Bu yaklaşım özellikle hafif relaps olgularında yeniden tam ortodontik tedavi ihtiyacını azaltabilmektedir. Ancak uygulanacak kuvvetlerin kontrollü olması ve periodontal sağlığın dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.4.2. Oklüzal Uyumsuzlukların Düzeltilmesi İçin Modifiye Fonksiyonel Apareyler

Retansiyon döneminde ortaya çıkabilen oklüzal uyumsuzlukların düzeltilmesinde modifiye fonksiyonel apareyler kullanılabilir. Özellikle büyümesi devam eden ve iskeletsel problemi bulunan bireylerde Sınıf II veya Sınıf III fonksiyonel apareyler retansiyon amacıyla uygulanabilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Baccetti, Franchi, & McNamara, 2000).

Fonksiyonel apareylerin kullanım amacı yalnızca dental stabiliteyi korumak değil, aynı zamanda büyümenin yönlendirilmesine katkı sağlamaktır. Bu nedenle özellikle büyüme-gelişim dönemindeki hastalarda uzun dönem stabilitenin desteklenmesinde önemli rol oynayabilmektedirler.

3. YARDIMCI RETANSİYON ÖNLEMLERİ

Ortodontik tedavi sonrası stabilitenin artırılması amacıyla retansiyon apareyelerine ek olarak çeşitli yardımcı retansiyon

yöntemleri uygulanabilmektedir. Bu yöntemler özellikle relaps riskinin yüksek olduğu olgularda periodontal ve oklüzal stabiliteyi desteklemek amacıyla kullanılmaktadır (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

3.1. İnterproksimal Stripping

İnterproksimal stripping [interproximal reduction (IPR)], özellikle keser protrüzyonunun istenmediği hafif ve orta dereceli çapraşıklık vakalarında yer kazanmak amacıyla uygulanan konservatif bir yöntemdir. Genellikle 4–8 mm arası ark boyu yetersizliği bulunan olgularda tercih edilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Sheridan, 1985).

Bu yöntemde mine yüzeylerinden kontrollü miktarda aşındırma yapılarak dişler arasında ek alan oluşturulmaktadır. Ayrıca stripping işlemi sonrasında dişler arasında daha düz kontakt alanları elde edilmekte ve bu düz yüzeylerin ark stabilitesini artırabileceği bildirilmektedir (Sheridan, 1985). Özellikle mandibular anterior bölgede uygulanan stripping işleminin geç dönem çapraşıklık riskini azaltabileceği düşünülmektedir.

İnterproksimal stripping uygulanırken mine dokusunun aşırı uzaklaştırılmaması, yüzeylerin düzgün şekilde polisajının yapılması ve flor uygulaması ile remineralizasyonun desteklenmesi önerilmektedir.

3.2. Sirkumferansiyel Fiberotomi

Sirkumferansiyel suprakrestal fiberotomi (CSF), özellikle rotasyon düzeltilmiş dişlerde relapsın önlenmesi amacıyla geliştirilmiş cerrahi bir yardımcı retansiyon yöntemidir (Reitan, 1959; Edwards, 1971).

Bu işlem sırasında gingival sulkusa yerleştirilen bistüri yardımıyla suprakrestal gingival lifler diş çevresinde kesilerek

epitelyal ataşmandan ayrılmaktadır. Böylece rotasyon sonrası elastik suprakrestal fibrillerin oluşturduğu geri çekici kuvvetlerin azaltılması amaçlanmaktadır (Reitan, 1959).

Fiberotomi için en uygun zamanlamanın debonding sonrası dönem olduğu bildirilmektedir. Özellikle şiddetli rotasyon öyküsü bulunan olgularda retansiyon başarısını artırabildiği gösterilmiştir (Edwards, 1971). Bununla birlikte periodontal sağlığın dikkatle değerlendirilmesi ve uygun hasta seçimi yapılması önemlidir.

4. RETANSİYON İÇİN ALINACAK ÖNLEMLER

Ortodontik tedavi sonrası uzun dönem stabilitenin sağlanabilmesi için retansiyon planlamasının biyolojik ve mekanik prensiplere uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Relaps riskini azaltmaya yönelik alınabilecek başlıca önlemler aşağıda özetlenmiştir.

1. Stabil oklüzyon sağlanmalıdır.
2. Çekim boşlukları kapatıldıktan sonra kök paralelliği sağlanmalıdır.
3. Aşırı düzeltim (overcorrection) uygulanmalıdır.
4. Mandibular anterior bölgede sabit retansiyon uygulanmalıdır.
5. Üçüncü molar çekimleri retansiyon sonlandırılmadan tamamlanmalıdır.
6. Büyüme ve gelişim süreci takip edilmeli, büyüme tamamlanıncaya kadar aktif retansiyon sürdürülmelidir.

5. RETANSİYON SÜRESİ

Ortodontik tedavi sonrası retansiyon süresi; uygulanan tedavi tipi, maloklüzyonun şiddeti, büyüme-gelişim potansiyeli ve relaps riski gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde retansiyonun yalnızca kısa süreli bir uygulama olmadığı, özellikle mandibular anterior bölgede uzun dönem hatta ömür boyu retansiyon gerekebileceği kabul edilmektedir (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017; Papageorgiou et al., 2023). Retansiyon gereksinimi açısından farklı klinik durumlar Tablo 1’de sunulmuştur.

Sabit ortodontik tedavi sonrasında genellikle ilk 3–4 aylık dönemde tam zamanlı (full-time) retansiyon uygulanması önerilmektedir. Bu süreç, periodontal ligament ve gingival dokuların reorganizasyonu açısından kritik öneme sahiptir (Reitan, 1959; Edwards, 1968). Daha sonra retansiyon protokolü azaltılarak toplam retansiyon süresi çoğu vakada en az 1 yıl olacak şekilde planlanmaktadır.

İskeletsel anomalilerin tedavi edildiği olgularda ise büyüme ve gelişimin devam etmesi nedeniyle daha uzun süre retansiyon gereksinimi bulunmaktadır. Düzeltilen iskeletsel maloklüzyonların ardından genellikle minimum 12–24 aylık retansiyon önerilmektedir (Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019; Baccetti, Franchi, & McNamara, 2000).

Ortodontik tedavi süresi ile retansiyon gereksinimi arasında ters yönlü bir ilişki olduğu kabul edilmektedir. Tedavi süresi uzadıkça periodontal ligament, alveolar kemik ve çevre yumuşak dokuların yeni diş pozisyonlarına uyum sağlaması için daha fazla zaman oluşmakta, bu durum tedavi sonucunda elde edilen stabiliteyi artırabilmektedir. Buna karşılık, kısa sürede gerçekleştirilen ortodontik tedavilerde dokuların reorganizasyon ve adaptasyon süreci daha sınırlı kalabileceğinden, elde edilen sonucun korunabilmesi için daha uzun süreli retansiyon

uygulamalarına ihtiyaç duyulabilmektedir (Nanda & Burstone, 1993).

Tablo 1. Retansiyon Süresine Göre Klinik Durumların Sınıflandırılması

Retansiyon Süresi	Klinik Durumlar
Sınırlı süreli veya retansiyon gerektirmeyebilen durumlar	Anterior crossbite düzeltimi, seri çekim tedavileri, büyümenin tamamlandığı maksiller ortopedik tedaviler ve sürme zamanı geçmiş gömülü dişlerin ortodontik olarak erüpsiyonunun sağlanması
Orta süreli retansiyon gerektiren durumlar	Sınıf I çekimli veya çekimsiz vakalar, Sınıf II Division 1 ve Division 2 çekimli vakalar, derin kapanış olguları, kök gelişimi tamamlanmamış dişlerde yapılan rotasyon düzeltmeleri ve ektopik erüpsiyon tedavileri
Daimi veya uzun dönem retansiyon gerektiren durumlar	Polidiastema ve orta hat diasteması, rotasyon düzeltilmiş dişler, mandibular kanin sürmesinden sonra yapılan genişletmeler, etiyolojik alışkanlığın tamamen elimine edilemediği olgular ve dudak-damak yarıklı bireyler

Not: Sınıflandırma Proffit ve ark. (2019), Nanda ve Burstone (1993) ile Papageorgiou ve ark. (2023) temel alınarak oluşturulmuştur.

KAYNAKÇA

- Al-Moghrabi, D., Pandis, N., & Fleming, P. S. (2024). Orthodontic retention: Contemporary evidence and clinical considerations. *Seminars in Orthodontics*, 30(1), 45–58.
- Baccetti, T., Franchi, L., & McNamara, J. A., Jr. (2000). Treatment and posttreatment craniofacial changes after rapid maxillary expansion and facemask therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 118(4), 404–413.
- Bovali, E., Kiliaridis, S., & Cornelis, M. A. (2014). Indirect vs direct bonding of mandibular fixed retainers in orthodontic patients: A single-center randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 145(1), 60–66.
- Edwards, J. G. (1968). A study of the periodontium during orthodontic rotation and retention. *American Journal of Orthodontics*, 54(5), 328–350.
- Edwards, J. G. (1971). The prevention of relapse in extraction cases. *American Journal of Orthodontics*, 60(2), 128–144.
- Graber, L. W., Vanarsdall, R. L., Vig, K. W. L., & Huang, G. J. (2023). *Orthodontics: Current principles and techniques* (7th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Harradine, N. W. (1999). The history and evidence regarding third molars and orthodontic treatment. *Seminars in Orthodontics*, 5(1), 64–72.
- Katsaros, C., Livas, C., & Renkema, A. M. (2007). Unexpected complications of bonded mandibular lingual retainers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(6), 838–841.

- Little, R. M. (1999). Stability and relapse of mandibular anterior alignment: University of Washington studies. *Seminars in Orthodontics*, 5(3), 191–204.
- Littlewood, S. J., Kandasamy, S., & Huang, G. J. (2017). Retention and relapse in clinical practice. *Australian Dental Journal*, 62(Suppl. 1), 51–57.
- Nanda, R., & Burstone, C. J. (1993). *Retention and stability in orthodontics*. Philadelphia, PA: W.B. Saunders.
- Papageorgiou, S. N., Koletsi, D., Iliadi, A., et al. (2023). Orthodontic retention protocols and long-term stability: An updated review. *Progress in Orthodontics*, 24, 18.
- Pellan, P., & Naoumova, J. (2023). CAD/CAM fixed orthodontic retainers: A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 26(Suppl. 1), 52–61.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B., & Sarver, D. M. (2019). *Contemporary orthodontics* (6th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Reitan, K. (1959). Tissue rearrangement during retention of orthodontically rotated teeth. *Angle Orthodontist*, 29(2), 105–113.
- Renkema, A. M., Sips, E. T., Bronkhorst, E., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2009). A survey on orthodontic retention procedures in The Netherlands. *European Journal of Orthodontics*, 31(4), 432–437.
- Richardson, M. E. (1982). Late lower arch crowding in relation to primary crowding. *Angle Orthodontist*, 52(4), 300–312.
- Rowland, H., Hichens, L., Williams, A., et al. (2007). The effectiveness of Hawley and vacuum-formed retainers: A single-center randomized controlled trial. *American*

Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 132(6), 730–737.

- Scribante, A., Gandini, P., & Sfondrini, M. F. (2011). Fiber-reinforced composite retainers in orthodontics: A systematic review. *European Journal of Orthodontics*, 33(6), 682–689.
- Sheridan, J. J. (1985). Air-rotor stripping. *Journal of Clinical Orthodontics*, 19(1), 43–59.
- Sifakakis, I., Pandis, N., Eliades, T., & Bourauel, C. (2024). CAD/CAM fabricated fixed retainers: Current evidence and future perspectives. *Progress in Orthodontics*, 25, 12.
- Sfondrini, M. F., Gandini, P., & Scribante, A. (2011). Mechanical properties of orthodontic retainer wires: An in vitro study. *European Journal of Orthodontics*, 33(1), 1–6.
- Sugawara, J., Asano, T., Endo, N., & Mitani, H. (1990). Long-term effects of chin-cap therapy on skeletal profile in mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 98(2), 127–133.
- Zachrisson, B. U. (1977). Clinical experience with direct-bonded orthodontic retainers. *American Journal of Orthodontics*, 71(4), 440–448.
- Zachrisson, B. U. (2017). Bonded orthodontic retainers: Concepts and clinical applications. *Seminars in Orthodontics*, 23(2), 134–149.

POSTÜR VE SOLUNUMUN MALOKLÜZYON ETİYOLOJİSİNDEKİ ROLÜ

Sinem UZUNER¹

1. GİRİŞ

Kraniyofasiyal kompleksin büyüme ve gelişimi uzun yıllar boyunca büyük ölçüde kalıtsal bir süreç olarak ele alınmıştır. Bununla birlikte çağdaş ortodonti yazını, çenelerin ve dişlerin nihai konumunun yalnızca genetik şablonla değil, baş-boyun postürü, solunum biçimi, dil konumu ve yutkunma paterni gibi işlevsel etkenlerle de biçimlendiğini göstermektedir. Moss ve Salentijn tarafından ortaya konan fonksiyonel matriks kuramı, iskeletsel yapıların çevreleyen yumuşak doku ve işlevsel boşlukların gelişimine pasif biçimde uyum sağlayarak şekillendiğini öne sürmüştür ve bu görüş kraniyofasiyal büyümenin yorumlanmasında temel bir dayanak hâline gelmiştir (Moss & Salentijn, 1969). Bu kurama göre yüz iskeleti, orofaringeal işlevsel boşluğun hacimsel genişlemesine ikincil olarak yer değiştirir; dolayısıyla solunum ve postür gibi işlevler, iskeletsel formun belirleyicileri arasında yer alır.

Kraniyoservikal sistem ile kraniyomandibular sistem arasında karşılıklı bir etkileşim bulunduğu ve bir sistemdeki yapısal değişimlerin diğerini etkileyebileceği genel olarak kabul edilmektedir (Alexa vd., 2022). Başın uzaydaki konumu mandibulanın istirahat pozisyonunu, dil ve hyoid kemiğinin yerleşimini ve nihayetinde dişler üzerine etkiyen kuvvet dengesini doğrudan belirler. Solow ve Kreiborg tarafından öne sürülen yumuşak doku gerilimi hipotezi, postüral olarak

¹ Dr, Serbest Diş Hekimi, ORCID:0000-0001-6105-3307.

tetiklenen yüz yumuşak doku tabakası gerilimini, kraniyofasiyal morfolojiyi ve hava yolu yeterliliğini birbirine bağlayan bir döngü olarak kavramsallaştırmış; bu çerçevede baş postürü, hava yolu ve yüz iskeleti arasındaki ilişkiyi açıklayan kuramsal bir zemin sunmuştur (Solow & Kreiborg, 1977).

Solunum biçimi de bu işlevsel etkenlerin merkezinde konumlanır. Fizyolojik burun solunumunun bozulması ve ağız solunumuna geçiş, orofasiyal kasların kuvvet dengesini değiştirerek maksillofasiyal iskeletin büyüme yönünü saptırabilmektedir. Nasorespiratuvar işlev ile dentofasiyal gelişim arasındaki ilişki bir asırdan uzun süredir klinik ilgi ve tartışma konusu olmuştur; McNamara, üst hava yolu obstrüksiyonu ile kraniyofasiyal büyüme arasındaki etkileşimi gözden geçirerek ağız solunumunun dik mandibular düzlemle karakterize bir yüz tipiyle ilişkilendirildiğini bildirmiştir (McNamara, 1981). Dolayısıyla postür ve nefes, malokluzyonların yalnızca eşlik eden bulguları değil, etiyojilerine katkıda bulunabilecek olası belirleyiciler olarak değerlendirilmektedir.

Bu bölümde, baş-boyun postürü ile iskeletsel malokluzyonlar arasındaki ilişki, ağız solunumunun dentofasiyal gelişim üzerindeki etkileri, dil ve hyoid kemiği konumunun aracı rolü ve son olarak okluzyon ile genel vücut postürü arasındaki tartışmalı bağlantı güncel kanıtlar ışığında incelenmektedir. Konu, birliktelik ile nedensellik ayrımı gözetilerek ve kanıt düzeyi eleştirel biçimde değerlendirilerek ele alınmakta; amaç, klinisyene tanı ve tedavi planlamasında işlevsel boyutu bütüncül biçimde değerlendirebileceği bir çerçeve sunmaktır.

2. BAŞ-BOYUN POSTÜRÜ VE İSKELETSEL MALOKLÜZYONLAR

2.1. Kranioservikal Postürün Biyomekanik Temeli

Kranioservikal postür, servikal omurga ile kafa taşı arasındaki biyomekanik dengeyi tanımlar. İdeal postür arzu edilse de bireylerin önemli bir bölümünde optimal olmayan kranioservikal hizalanma görülür; sagittal düzlemde en sık karşılaşılan sorun ileri baş postürüdür (Kui vd., 2024). Başın fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri, kraniofasiyal kasların gerilim durumunu ve mandibulanın asılı konumunu etkileyerek dentoalveoler yapılara aktarılan kuvvetleri değiştirir. Bu nedenle kafa pozisyonundaki kronik değişiklikler, zaman içinde okluzal ilişkiler üzerinde kümülatif etki yaratabilmektedir.

Yumuşak doku gerilimi hipotezine göre, hava yolu yeterliliğindeki bir değişiklik nöromusküler geri bildirim yoluyla kranioservikal açılanmada değişikliklere yol açar; başın uzun süreli hiperekstansiyonu durumunda yumuşak dokular gerilir ve dişler ile iskelet üzerine dorsale ve kaudale yönelen bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet, maksilla ve mandibulanın öne doğru büyümesini kısıtlayarak büyümeyi daha kaudal bir yöne yönlendirebilir; bu örüntü hiperdivergan büyüme paternine sahip bireylerde gözlenir (Solow & Kreiborg, 1977). Erişkin bireylerde yapılan bir sefalometrik çalışmada büyük bir kranioservikal açının ortalama olarak küçük mandibular boyutlar, mandibular retrognati ve artmış mandibular eğimle birlikte görüldüğü bildirilmiştir (Solow vd., 1984).

Kranioservikal ve kraniyomandibular sistemler arasındaki bu bağlantı tek yönlü değildir. Mandibula konumundaki değişiklikler baş postürünü etkileyebildiği gibi, baş postüründeki değişiklikler de mandibulanın istirahat konumunu ve okluzal serbest aralığı değiştirebilir. Bu çift yönlü etkileşim, lateral sefalometrik radyografi gibi standardize görüntüleme

yöntemleriyle değerlendirilebilmekte ve ortodontik tanıya katkı sağlamaktadır. Bu ilişki, malokluzyonların gelişiminin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir (Alexa vd., 2022).

2.2. Sagittal İskeletsel Sınıflara Göre Postür Farklılıkları

Güncel sistematik derlemeler, sagittal iskeletsel malokluzyonlar ile kraniyoservikal postür arasında anlamlı korelasyonlar bulunduğunu, bu ilişkinin özellikle servikal eğrilik üzerinden belirginleştiğini ortaya koymaktadır. Sınıf II malokluzyon, artmış servikal eğrilik ve ileri baş postürü ile ilişkilendirilirken; Sınıf III malokluzyon daha düz bir servikal kolon ve daha posteriora yerleşmiş bir baş konumu ile bağlantılı bulunmuştur (Dipalma vd., 2025). Disiplinler arası kanıtları değerlendiren kapsamlı bir derlemede de, değişmiş kraniyoservikal postürün iskeletsel malokluzyonlu bireylerde daha sık görüldüğü ve ortodontik tedavi ile ortognatik cerrahinin kraniyoservikal postürü etkilediği, bunun da kraniyofasiyal yapı ile boyun hizalanması arasında çift yönlü bir ilişkiye işaret ettiği vurgulanmıştır (Kui vd., 2024).

Bu örüntü, nicel sentez çalışmalarıyla da kısmen desteklenmektedir. Bir sistematik derleme ve meta-analizde, Sınıf II grubunda OPT/CVT değerinin Sınıf I grubuna kıyasla anlamlı biçimde farklı olduğu; ancak çalışmalar arasındaki yüksek heterojenliğin sonuçların yorumlanmasını güçleştirdiği bildirilmiştir (Peng vd., 2022). Aynı meta-analizde kraniyoservikal açıları inceleyen çalışma sayısının sınırlı olması, kesin bir çıkarımın önünde önemli bir engel olarak değerlendirilmiştir.

Büyüme dönemleri dikkate alındığında ilişkinin dinamik bir nitelik taşıdığı görülmektedir. Geniş örneklemlilerde, kraniyofasiyal morfoloji ile kraniyoservikal postür değişkenleri arasındaki korelasyonun pubertal büyüme döneminde ve

sonrasında daha güçlü olduğu; Sınıf II iskeletsel ilişkide daha ekstansiyonda, Sınıf III iskeletsel ilişkide ise daha fleksiyonda bir baş konumu sergilendiği bildirilmiştir (Peng vd., 2024). Aynı çalışmada maksiller bileşenlerin kraniyoservikal postürü belirlemedeki etkisinin mandibular bileşenlere kıyasla daha sınırlı olduğu öne sürülmüştür.

Bununla birlikte bu bulguların yorumlanmasında dikkatli olunmalıdır. Çalışmalar arasında örneklem özellikleri, ölçüm teknikleri ve sınıflandırma ölçütleri bakımından önemli heterojenlik bulunmaktadır; bu durum, gözlenen ilişkilerin gücü konusunda kesin bir yargıya varmayı güçleştirmektedir (Dipalma vd., 2025). Mevcut kanıtların büyük bölümü kesitsel tasarımlara dayandığından, postür ile malokluzyon arasında neden-sonuç ilişkisi kurmak yerine birliktelik düzeyinde bir yorum yapılması daha uygundur.

3. NEFES BİÇİMİ VE DENTOFASİYAL GELİŞİM

3.1. Burun Solunumundan Ağız Solunumuna Geçiş

Fizyolojik koşullarda solunum burun yoluyla gerçekleşir ve bu süreç orofasiyal kasların dengeli işlevi için belirleyicidir. Üst hava yolunun çeşitli nedenlerle tıkanması durumunda hava tümüyle veya kısmen ağız yoluyla alınmaya başlar. Çocuklarda ağız solunumunun en sık nedenleri arasında alerjik rinit, kronik rinosinüzit ve özellikle adenoid ve/veya tonsil dokusunun patolojik hipertrofisi yer almaktadır (Lin vd., 2022). Ağız solunumu çocuklarda yaygın görülen bir bozukluktur ve prevalansının yaklaşık yüzde 11 ila 56 arasında değiştiği tahmin edilmektedir (Lin vd., 2022).

Kronik nazal obstrüksiyon nedeniyle ağız solunumuna geçiş, orofasiyal kasların kuvvet dengesini bozar, normal dil konumunu ve işlevini değiştirir ve maksillofasiyal iskeletin

büyüme yörüngesini etkiler. Yerel inflamatuvar yanıtlar ve mekanik uyaranlarla birleşen bu süreç, zamanla karakteristik yüz değişikliklerinin ortaya çıkmasına katkıda bulunur (Ding vd., 2025). Ağız solunumunun dentofasiyal etkileri, büyük ölçüde solunum biçiminin geçişten itibaren ne kadar uzun süre devam ettiğine bağlıdır; bu nedenle erken tanı ve müdahale klinik açıdan önem taşımaktadır.

Ağız solunumu ile malokluzyon arasındaki ilişki, büyük örneklemli epidemiyolojik çalışmalarla da gösterilmiştir. Üç bin on yedi çocuk üzerinde ROMA indeksi kullanılarak yürütülen kesitsel bir çalışmada, kötü alışkanlıklar ve ağız solunumunun daha şiddetli malokluzyonlarla ilişkili olduğu; ağız solunumunun artmış overjet, açık kapanış, ön veya arka çapraz kapanış ve temas noktası kaymalarıyla yakından bağlantılı olduğu bildirilmiştir (Grippaudo vd., 2016). Bu bulgular, ağız solunumunu malokluzyonun erken dönemde müdahale gerektiren bir risk etkeni olarak konumlandırmaktadır.

3.2. Ağız Solunumunun Sefalometrik İzleri

Ağız solunumunun kraniyofasiyal morfoloji üzerindeki etkileri sefalometrik nicel sentezlerle belgelenmiştir. On dokuz çalışmayı kapsayan bir sistematik derleme ve meta-analizde, ağız solunumu yapan çocuk ve ergenlerin burun solunumu yapanlara kıyasla daha retrognatik bir maksilla ve mandibulaya, artmış mandibular düzlem açısına ve aşağı-geriye doğru rotasyona uğramış bir mandibulaya sahip olma eğiliminde olduğu bildirilmiştir (Zheng vd., 2020). Bu örüntü, ağız solunumunun dik yön büyümeyi artırma yönündeki etkisini desteklemektedir.

Benzer biçimde, on çalışmanın dâhil edildiği başka bir meta-analizde sayısal farklar daha ayrıntılı biçimde ortaya konmuştur. Sagittal yönde ağız solunumu yapan çocuklarda SNA ve SNB açıları burun solunumu yapanlara göre daha düşük; ANB açısı ile üst kesici eğimi ise daha yüksek bulunmuştur. Dik yönde

SN-PP, SN-OP, PP-MP ve SNGoGn değerlerinin ağız solunumu yapan bireylerde daha yüksek; hava yolu boyutlarının ise daha düşük olduğu saptanmıştır (Zhao vd., 2021). Bu sayısal örüntü, ağız solunumunun hem sagittal hem de vertikal düzlemde dentoiskeletsel yapıyı sistematik biçimde etkilediğini göstermektedir.

3.3. Adenoid Yüz ve Kısır Döngü Modeli

Uzun süreli ağız solunumuna bağlı gelişen yüz değişiklikleri yazında adenoid yüz olarak adlandırılır. Bu tabloda adenoid hipertrofisi, ağız solunumu ve atipik kraniyofasiyal gelişim birbirini karşılıklı olarak besleyen bir kısır döngü oluşturur; perioral kas işlev bozukluğu, dental ve iskeletsel malokluzyonlar ile üst hava yolu obstrüksiyonu birbirine bağımlı ve birbirini ağırlaştıran sorunlar olarak ortaya çıkar (Zhang vd., 2024). Adenoid hipertrofisi pediatrik popülasyonda üst hava yolu obstrüksiyonunun en sık nedeni olup yaklaşık yüzde 49,7 prevalansla bildirilmektedir (Zhang vd., 2024).

Ağız solunumunun maksilla üzerindeki en belirgin etkisi damak kubbesinin yükselmesidir. Adenoid kaynaklı nazal obstrüksiyona bağlı ağız solunumu yapan bireylerde kanin, premolar ve molar düzeylerinde daha yüksek ve sivri bir damak kemeri gözlenir; üç boyutlu analizler ağız solunumunun damağın toplam yüzey alanını ve hacmini belirgin biçimde azalttığını göstermiştir. Üç yıl süreyle izlenen gözlemsel bir çalışmada ağız solunumu yapan çocuklarda maksiller büyümenin daha yavaş seyrettiği bildirilmiştir (Zhang vd., 2024). Kronik rinit ve buna bağlı kalıcı nazal obstrüksiyon, orta yüz hipoplazisi, artmış alt ön yüz yüksekliği, maksiller daralma ve yüksek damak gibi bulgularla seyreden rinit yüzü tablosunun da temel belirleyicileri arasındadır (Ding vd., 2025).

3.4. Solunum Paterni ve Malokluzyon Tipi İlişkisi

Ağız solunumunun yol açtığı malokluzyon tipi, büyük ölçüde altta yatan tıkanıklığın anatomik düzeyine bağlıdır. Posterior nazofaringeal obstrüksiyona neden olan patolojik adenoid hipertrofisi, ağız solunumu sırasında mandibulanın saat yönünde rotasyonuna yol açabilir ve sıklıkla artmış overjet ile birlikte Sınıf II malokluzyon tablosuyla kendini gösterir (Lin vd., 2022). Buna karşılık tonsillerin patolojik hipertrofisi üst hava yolunun alt bölümünü daraltarak çocuğun orofaringeal hava yolunu genişletmek amacıyla mandibulasını öne almasına neden olabilir; bu durum sıklıkla ön çapraz kapanışla sonuçlanır (Lin vd., 2022).

Bu mekanizma, üst hava yolu etkenlerini farklı sınıflarda karşılaştıran çalışmalarla da desteklenmektedir. Sınıf II ve Sınıf III çocukları inceleyen bir araştırmada, nazal direncin Sınıf II grubunda Sınıf III grubuna kıyasla anlamlı biçimde yüksek olduğu; Sınıf II grubunda nazal direncin alt konumlu dil postürü ile pozitif, intermolar genişlikle negatif korelasyon gösterdiği bulunmuştur. Sınıf III grubunda ise tonsil boyutunun öne konumlu dil postürü ve mandibular kesici öne konumu ile anlamlı biçimde ilişkili olduğu; öne konumlu dil postürünün mandibular protrüzyonla bağlantılı olduğu saptanmıştır (Iwasaki vd., 2017).

Üst hava yolu obstrüksiyonunun malokluzyonla ilişkisi, otorinolaringolojik değerlendirmeyi de içeren çalışmalarla pekiştirilmiştir. Üç yüz elli altı ağız solunumlu çocuğu kapsayan bir araştırmada, hastaların yüzde 81,4'ünde malokluzyon saptanmış; tonsil derecesi ile malokluzyon, Sınıf II ilişki ve artmış sagittal basamak arasında anlamlı bir bağlantı bulunmuştur (Festa vd., 2021). Bu noktada yazındaki tutarsızlıkların da belirtilmesi gerekir; bazı sistematik derlemeler, rinit ilişkili ağız solunumu ile malokluzyon arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların yüksek yanlılık riski taşıdığını ve anlamlı bir ilişkiyi

her zaman desteklemediğini vurgulamaktadır (Lin vd., 2022). Dolayısıyla solunum paterni ile malokluzyon arasındaki ilişki güçlü bir biyolojik gerekçeye dayanmakla birlikte kanıt düzeyi henüz kesin değildir.

4. DİL POZİSYONU, YUTKUNMA VE HYOID KEMİĞİ

4.1. Dil Konumunun Etiyolojideki Rolü

Dil, orofaringeal sistemin en aktif kas yapısıdır ve dentoiskeletsel çevredeki her değişiklikten doğrudan etkilenir (Afzal & Fida, 2019). İstirahat halindeki dil konumu, dişler üzerine sürekli ve düşük şiddetli bir kuvvet uygulayarak diş kavislerinin biçimlenmesinde belirleyici rol oynar. Fonksiyonel matriks kuramı çerçevesinde değerlendirildiğinde, dilin uyguladığı bu kuvvetler kapsüller matrisin bir parçası olarak iskeletsel formun şekillenmesine katkıda bulunur (Moss & Salentijn, 1969).

İskeletsel düzeltme sonrası dilin uyum sağladığı ve değişen diş kavisi konumuna yerleştiği bilinmektedir; bu uyum, tedavi sonrası stabiliteyi etkileyen önemli bir etkidir (Afzal & Fida, 2019). Konik ışınli bilgisayarlı tomografi temelli çalışmalar, iskeletsel Sınıf II malokluzyona sahip bireylerin Sınıf I bireylere kıyasla daha düşük dil konumuna, görece daha küçük dil gövdesine ve daha sıklıkla posteroinferior yerleşimli hyoid kemiğine sahip olduğunu göstermiştir (Chen vd., 2021). Bu bulgular, dil konumunun sagittal iskeletsel örüntüyle yakından ilişkili olduğunu ve nöromüsküler dengenin maksiller-mandibular büyüme sürecinde önemli bir rol üstlendiğini desteklemektedir.

4.2. Yutkunma Paterni ve Gelişimsel Değişim

Yutkunma paterni de dil konumuyla yakından ilişkilidir ve gelişim sürecinde değişim gösterir. Süt dişlenmesinden karma dişlenmeye geçiş döneminde dil postürü ve yutkunma paternini ultrasonografi ile inceleyen boylamsal bir çalışmada, süt dişlenmesi ve ara karma dişlenme dönemlerinde yutkunma paterni ile dil postürü arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Ovsenik vd., 2023). Aynı çalışmada visseral yutkunma paterninin çocukların yaşıyla ters orantılı olduğu; ağız tabanına yerleşmiş dil postürünün ise visseral yutkunma paterniyle pozitif biçimde ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Yutkunmanın malokluzyon etiolojisindeki rolü tartışmalıdır. Bazı yazarlar, yutkunmanın kısa süreli doğası nedeniyle visseral yutkunma paterninin tek başına malokluzyon etiolojisinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu; dolayısıyla dil postürünün yutkunma paterninden daha belirleyici olduğunu öne sürmektedir (Ovsenik vd., 2023).

4.3. Dikey Büyüme Paterni ve Hava Yolu Boyutları

Dil ve hyoid konumu yalnızca sagittal değil, dikey büyüme paterniyle de ilişkilidir. Farklı büyüme paternlerine sahip bireyleri inceleyen çalışmalarda, vertikal büyüme paternine sahip bireylerde dil dorsumunun daha yüksekte konumlandığı, horizontal büyüme paternine sahip bireylerde ise hyoid kemiğinin daha inferior ve posteriorda yerleştiği bildirilmiştir (Tarkar vd., 2016). Üç boyutlu görüntüleme temelli bir çalışmada, daha düşük dil ucu konumu ve posterior dil pozisyonunun hiperdivergan vertikal örüntülerle anlamlı biçimde ilişkili olduğu; transvers boyutta ise dil hacminin diş kavisi genişlikleriyle bağlantılı olduğu saptanmıştır (Kang vd., 2025).

Bu ilişkiler, dil ve hyoid konumunun faringeal hava yolu boyutlarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ağız solunumu yapan ve tipik olarak vertikal

büyüme paterni ile dar diş kavislerine sahip bireylerde gözlenen örüntü, adenoid yüz tablosuyla örtüşmekte ve solunum-postür-okluzyon üçgeninin birbirinden bağımsız değerlendirilemeyeceğini ortaya koymaktadır (Kang vd., 2025).

5. OKLÜZYON VE GENEL VÜCUT POSTÜRÜ

5.1. Vücut Postürü, Ayak Tabanı ve Yürüyüş Parametreleri

Okluzyon ile genel vücut postürü arasındaki ilişki, temporomandibular sistem ile spinal kolon arasındaki nörofizyolojik bağlantılara dayandırılmaktadır. Geniş kapsamlı bir sistematik derlemede, çocuklarda malokluzyon ile vücut postürü, denge, ayak tabanı sistemi ve yürüyüş parametreleri arasında anlamlı bir ilişki bulunduğu bildirilmiştir; bu derlemede vücut postürü ve ayak tabanı sistemi için kanıt düzeyi güçlü, baş postürü ve yürüyüş parametreleri için orta düzeyde değerlendirilmiştir (Róžańska-Perlińska vd., 2024). Aynı derlemede doğru dental okluzyonun her iki ayak üzerinde homojen ağırlık dağılımına ve podal desteğe olumlu katkı sağladığı vurgulanmıştır.

Çok merkezli kesitsel bir çalışmada, Angle Sınıf II malokluzyona sahip çocuklarda ağırlık merkezinin anteriora kaydığı (hem molar hem kanin sınıfı için $p \leq 0,001$) saptanmıştır (Pérez-Belloso vd., 2020). Genel olarak retrognatik bozukluğu olan bireylerin baş ve omuzlarını öne doğru konumlandığı, prognatik bireylerde ise bu eğilimin tersine döndüğü öne sürülmektedir (Róžańska-Perlińska vd., 2024).

5.2. Nedensellik Sorunu ve Kanıtın Sınırları

Bu ilişkilerin klinik anlamı dikkatle yorumlanmalıdır. Mevcut kanıtların büyük bölümü kesitsel tasarımlara dayanmakta olup birliktelik ile nedenselliğin birbirinden ayrılmasına olanak

vermemektedir. Posturografiye tanısal bir araç olarak değerlendiren çok değişkenli bir çalışmada, malokluzal özellikler ile vücut postürü arasında yalnızca sınırlı sayıda ve zayıf anlamlı korelasyon gözlenmiş; bulgular, temporomandibular bozukluğu bulunmayan genç bireylerde malokluzal özellikler ile vücut postürü arasında klinik açıdan anlamlı bir ilişkiyi desteklememiştir (Perinetti vd., 2010). Bu çalışmanın yazarları, temporomandibular bozukluğu bulunmayan genç bireylerde ortodontik tedavinin endikasyonları arasında postüral dengesizliklerin önlenmesi veya tedavisinin dâhil edilmemesi gerektiği sonucuna varmıştır.

Tedavi boyutunda da kanıtlar tartışmalıdır. Sınıf II malokluzyonlu çocuklarda fonksiyonel ortodontik tedavinin etkisini değerlendiren bir çalışmada, belirgin iskeletsel iyileşmelere rağmen (SNB artışı ve ANB azalması) postüral kontrol ve üst gövde postüründe klinik açıdan anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir; başlangıçta postüral parametrelerin zaten fizyolojik sınırlar içinde olduğu durumlarda ortodontik girişimlerin belirgin postüral değişiklik oluşturmasının olası olmadığı belirtilmiştir (Sommer vd., 2025). Bu çelişkili sonuçlar, okluzyon ile genel postür arasındaki ilişkinin var olduğu ancak etkisinin sınırlı ve duruma bağlı olduğu yönünde temkinli bir yorumu gerekli kılmaktadır.

6. SONUÇ

Postür ve nefes, kraniyofasiyal gelişimin işlevsel boyutunu temsil eden ve malokluzyonların ortaya çıkışında olası rol oynayan iki temel etkidir. Fonksiyonel matris kuramı ve yumuşak doku gerilimi hipotezi, bu işlevsel etkenlerin iskeletsel formu nasıl biçimlendirebileceğine ilişkin kuramsal bir çerçeve sunmaktadır. Mevcut kanıtlar, baş-boyun postürü ile sagittal iskeletsel sınıflar arasında tutarlı bir birliktelik bulunduğunu;

Sınıf II malokluzyonun ileri baş postürü ve artmış servikal eğrilikle, Sınıf III malokluzyonun ise daha fleksiyonda bir baş konumuyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Benzer biçimde kronik nazal obstrüksiyona bağlı ağız solunumu, dil konumunu ve orofasiyal kas dengesini değiştirerek dar maksiller kavisi, yüksek damak ve vertikal büyüme paterniyle karakterize adenoid yüz tablosuna katkıda bulunmaktadır.

Bununla birlikte bu ilişkilerin büyük bölümü kesitsel kanıtlara dayandığından, klinisyenin birliktelik ile nedenselliği özenle ayırması gerekir. Dil ve hyoid kemiği konumu, postür ile okluzyon arasındaki ilişkide olası bir aracı mekanizma olarak öne çıkmakta; genel vücut postürü ile okluzyon arasındaki bağlantı ise var olmakla birlikte sınırlı ve tartışmalı kalmaktadır. Klinik açıdan en uygun yaklaşım, postür ve solunumu ortodontik tanı sürecinin bütünleşik bir parçası olarak değerlendirmek, erken dönemde ağız solunumu ve ilişkili kötü alışkanlıkları belirleyip yönlendirmek, ancak postüral düzeltmeyi tek başına bir tedavi hedefi olarak konumlandırmaktan kaçınmaktır. Solunum, postür ve okluzyon arasındaki nedensel ilişkilerin netleştirilmesi için kontrollü değişkenlere sahip, geniş örneklemlili boylamsal çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Afzal, E., & Fida, M. (2019). Evaluation of the change in the tongue posture and in the hyoid bone position after Twin Block appliance therapy in skeletal class II subjects. *Dental and Medical Problems*, 56(4), 379-384. <https://doi.org/10.17219/dmp/111976>
- Alexa, V. T., Fratila, A. D., Szuhaneck, C., Jumanca, D., Lalescu, D., & Galuscan, A. (2022). Cephalometric assessment regarding craniocervical posture in orthodontic patients. *Scientific Reports*, 12, 21897. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26243-6>
- Chen, W., Mou, H., Qian, Y., & Qian, L. (2021). Evaluation of the position and morphology of tongue and hyoid bone in skeletal Class II malocclusion based on cone beam computed tomography. *BMC Oral Health*, 21(1), 475. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01839-y>
- Ding, Y., Xu, Y., Han, S., Gao, M., Wang, L., Xu, S., Guo, T., & Bai, H. (2025). Clinical features, pathophysiological mechanisms, and multidisciplinary management strategies for rhinitis-induced adenoid facies in children and adolescents: A review. *Frontiers in Allergy*, 6, 1650119. <https://doi.org/10.3389/falgy.2025.1650119>
- Dipalma, G., Inchingolo, A. D., Pezzolla, C., Sardano, R., Trilli, I., Di Venere, D., Corsalini, M., Inchingolo, F., Severino, M., Palermo, A., & Inchingolo, A. M. (2025). Head and cervical posture in sagittal skeletal malocclusions: Insights from a systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 14(8), 2626. <https://doi.org/10.3390/jcm14082626>
- Festa, P., Mansi, N., Varricchio, A. M., Savoia, F., Cali, C., Marraudino, C., De Vincentiis, G. C., & Galeotti, A.

- (2021). Association between upper airway obstruction and malocclusion in mouth-breathing children. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 41(5), 436-442. <https://doi.org/10.14639/0392-100X-N1225>
- Grippaudo, C., Paolantonio, E. G., Antonini, G., Saulle, R., La Torre, G., & Deli, R. (2016). Association between oral habits, mouth breathing and malocclusion. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 36(5), 386-394. <https://doi.org/10.14639/0392-100X-770>
- Iwasaki, T., Sato, H., Suga, H., Takemoto, Y., Inada, E., Saitoh, I., Kakuno, E., Kanomi, R., & Yamasaki, Y. (2017). Relationships among nasal resistance, adenoids, tonsils, and tongue posture and maxillofacial form in Class II and Class III children. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 151(5), 929-940. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.10.027>
- Kang, J. H., Kim, J.-Y., Jha, N., Jung, S.-K., Lee, Y.-S., & Kim, Y.-J. (2025). Associations of tongue and hyoid position, tongue volume, and pharyngeal airway dimensions with various dentoskeletal growth patterns. *PLOS ONE*, 20(6), e0326092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0326092>
- Kui, A., Bereanu, A., Condor, A.-M., Pop, D., Buduru, S., Labunet, A., Şoicu, S., Buduru, R., & Chisnoiu, A. (2024). Craniocervical posture and malocclusion: A comprehensive literature review of interdisciplinary insights and implications. *Medicina*, 60(12), 2106. <https://doi.org/10.3390/medicina60122106>
- Lin, L., Zhao, T., Qin, D., Hua, F., & He, H. (2022). The impact of mouth breathing on dentofacial development: A concise review. *Frontiers in Public Health*, 10, 929165. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.929165>

- McNamara, J. A. (1981). Influence of respiratory pattern on craniofacial growth. *The Angle Orthodontist*, 51(4), 269-300. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1981\)051<0269:IORPOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1981)051<0269:IORPOC>2.0.CO;2)
- Moss, M. L., & Salentijn, L. (1969). The primary role of functional matrices in facial growth. *American Journal of Orthodontics*, 55(6), 566-577. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(69\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90034-7)
- Ovsenik, R., Marolt Mušič, M., & Primožič, J. (2023). Changes in the swallowing pattern and tongue posture during the transition from deciduous to mixed dentition: A longitudinal ultrasonography study. *European Journal of Orthodontics*, 46(1), cjad066. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjad066>
- Peng, H., Liu, W., Yang, L., Zhong, W., Yin, Y., Gao, X., & Song, J. (2022). Does head and cervical posture correlate to malocclusion? A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 17(10), e0276156. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276156>
- Peng, H., Liu, W., Yang, L., Yan, P., Zhong, W., Gao, X., & Song, J. (2024). Craniocervical posture in patients with skeletal malocclusion and its correlation with craniofacial morphology during different growth periods. *Scientific Reports*, 14(1), 5280. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55840-w>
- Perinetti, G., Contardo, L., Silvestrini-Biavati, A., Perdoni, L., & Castaldo, A. (2010). Dental malocclusion and body posture in young subjects: A multiple regression study. *Clinics*, 65(7), 689-695. <https://doi.org/10.1590/S1807-59322010000700007>

- Pérez-Belloso, A. J., Coheña-Jiménez, M., Cabrera-Domínguez, M. E., Galan-González, A. F., Domínguez-Reyes, A., & Pabón-Carrasco, M. (2020). Influence of dental malocclusion on body posture and foot posture in children: A cross-sectional study. *Healthcare*, 8(4), 485. <https://doi.org/10.3390/healthcare8040485>
- Róžańska-Perlińska, D., Potocka-Mitan, M., Rydzik, Ł., Lipińska, P., Perliński, J., Javdaneh, N., & Jaszczur-Nowicki, J. (2024). The correlation between malocclusion and body posture and cervical vertebral, podal system, and gait parameters in children: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(12), 3463. <https://doi.org/10.3390/jcm13123463>
- Solow, B., & Kreiborg, S. (1977). Soft-tissue stretching: A possible control factor in craniofacial morphogenesis. *Scandinavian Journal of Dental Research*, 85(6), 505-507. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1977.tb00587.x>
- 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](https://doi.org/10.1016/0002-9416(84)90373-7)
- Sommer, C., Holzgreve, F., Groneberg, D. A., Erbe, C., & Ohlendorf, D. (2025). Influence of functional orthodontic therapy on body posture and postural control in children and adolescents with Class II malocclusion. *BMC Oral Health*, 25, 1574. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07574-y>
- Tarkar, J. S., Parashar, S., Gupta, G., Bhardwaj, P., Maurya, R. K., Singh, A., & Singh, P. (2016). An evaluation of upper and lower pharyngeal airway width, tongue posture and hyoid bone position in subjects with different growth patterns. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*,

10(1), ZC79-ZC83.
<https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/16746.7158>

Zhang, J., Fu, Y., Wang, L., & Wu, G. (2024). Adenoid facies: A long-term vicious cycle of mouth breathing, adenoid hypertrophy, and atypical craniofacial development. *Frontiers in Public Health*, 12, 1494517. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1494517>

Zhao, Z., Zheng, L., Huang, X., Li, C., Liu, J., & Hu, Y. (2021). Effects of mouth breathing on facial skeletal development in children: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 21, 108. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01458-7>

Zheng, W., Zhang, X., Dong, J., & He, J. (2020). Facial morphological characteristics of mouth breathers vs. nasal breathers: A systematic review and meta-analysis of lateral cephalometric data. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 19(6), 3738-3750. <https://doi.org/10.3892/etm.2020.8611>

ORTODONTİDE YAPAY ZEKÂ: GÜNCEL UYGULAMALAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Saniye Merve CENGİZ¹

Barış SORĞUÇ²

Sevde Nihal YONGACI³

1. GİRİŞ

Yapay zeka (YZ), teknolojik ilerlemelerle paralel olarak günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası hâline gelmiş ve birçok alanda yaygın kullanım bulmuştur. Veri analiz altyapılarındaki gelişmeler ve büyük veri sistemlerinin gelişmesi sayesinde YZ sistemleri daha ulaşılabilir ve etkili hale gelmiş; sağlık, eğitim, ekonomi ve endüstri gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Shan et al., 2021). YZ'nın temelleri 1950'li yıllarda atılmış olup, Alan Turing'in çalışmaları bu alandaki önemli dönüm noktalarından biri olarak değerlendirilmektedir. "Artificial Intelligence" kavramı ise 1956 yılında John McCarthy tarafından ortaya konmuştur (Miranda et al., 2023; Shan et al., 2021).

Genel olarak makine öğrenimi, derin öğrenme ve öğrenme aktarımı gibi alt başlıklardan oluşmaktadır. Makine öğrenimi, YZ'nın en geniş kullanım alanına sahip alt alanlarından biri olarak kabul edilir ve sistemlerin mevcut verilerden örüntüler

¹ Doktor Öğretim Üyesi, Mersin Üniversitesi, Dış Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0003-0803-8735.

² Araştırma Görevlisi, Mersin Üniversitesi, Dış Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0001-6996-8509.

³ Araştırma Görevlisi, Mersin Üniversitesi, Dış Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0003-5359-8157.

öğrenerek yeni veriler üzerinde tahminlerde bulunmasını sağlar. Derin öğrenme ise birden fazla katmandan oluşan yapay sinir ağlarından yararlanarak büyük veri kümelerinin değerlendirilmesini sağlayan gelişmiş bir makine öğrenimi yöntemidir (Liu et al., 2023). Sağlık alanında YZ uygulamalarının kullanımı özellikle son yıllarda belirgin şekilde artmıştır. Radyolojik görüntülerin değerlendirilmesi, tanısal analizler, hasta takibi ve tedavi planlaması gibi süreçlerde kullanılan YZ destekli sistemler, büyük miktardaki veriyi kısa sürede analiz ederek tanısal doğruluğun artırılmasına ve klinik süreçlerin daha etkin yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Yu et al., 2018). Makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarındaki gelişmeler de bu uygulamaların yaygınlaşmasını desteklemiştir (Liu et al., 2023).

Diş hekimliği, YZ'nın giderek daha fazla kullanıldığı sağlık disiplinleri arasında yer almaktadır. Radyografik görüntülerin değerlendirilmesi, çürük ve lezyonların tespiti, implant planlaması ve üç boyutlu (3B) görüntüleme sistemlerinin analizi gibi birçok işlem YZ destekli yazılımlar aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca protetik diş tedavisi, endodonti, periodontoloji ve ağız, diş ve çene cerrahisi gibi alanlarda da YZ'nın klinik süreçlere önemli katkılar sağladığı bildirilmektedir (Ding et al., 2023; Schwendicke et al., 2020; Shan et al., 2021).

Ortodonti ise yoğun görüntüleme ve analiz verisi içermesi nedeniyle YZ'nın diş hekimliğinde önemli uygulama alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Sefalometrik analizler, dijital dental modellerin değerlendirilmesi, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntülerinin incelenmesi, büyüme-gelişim analizleri, tedavi planlaması ve hasta takip sistemlerinde YZ destekli uygulamalardan yararlanılmaktadır. Özellikle derin öğrenme tabanlı görüntü işleme teknolojileri ortodontik teşhis süreçlerinin hızını ve doğruluğunu artırırken; şeffaf plak sistemleri, robotik tel büküm teknolojileri ve YZ

destekli 3B üretim sistemleri ortodontideki dijital dönüşümü hızlandırmaktadır (Kunz et al., 2023; Surdu et al., 2025).

2. DIŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

YZ teknolojileri diş hekimliğinde pek çok branşta tanı, tedavi planlaması ve klinik değerlendirme süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemler klinik verilerin daha kısa sürede değerlendirilmesine, hata oranlarının azaltılmasına ve tedavi süreçlerinin standartlaştırılmasına katkı sağlamaktadır (Khanagar et al., 2021; Shan et al., 2021). Ağız, diş ve çene radyolojisinde YZ; panoramik radyografiler ve CBCT görüntülerinin incelenmesinde, çürük, kist ve tümör gibi patolojilerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Otomatik segmentasyon uygulamaları sayesinde anatomik yapıların daha hızlı ve standardize şekilde değerlendirilmesi mümkün hale gelmiştir (Shan et al., 2021).

Protetik diş tedavisinde Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM) sistemleri ve dijital gülüş tasarımı, ağız, diş ve çene cerrahisinde implant planlaması ve cerrahi rehber hazırlama süreçleri YZ desteğiyle daha etkin yürütülebilmektedir. Endodontide kök kanal anatomisinin değerlendirilmesi, restoratif diş tedavisinde çürük tespiti, periodontolojide alveoler kemik kaybının incelenmesi ve pedodontide çürük risk analizleri de YZ'nın kullanım alanları arasında yer almaktadır (Ding et al., 2023; Khanagar et al., 2021).

3. ORTODONTİDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

Ortodonti, çok sayıda görüntüleme, ölçüm ve analiz verilerinin bir arada yorumlandığı bir alan olması nedeniyle YZ

uygulamalarının en yoğun kullanıldığı diş hekimliği alanlarından biridir. Geleneksel ortodontik değerlendirmelerde klinik deneyim, manuel ölçümler ve hekimin bireysel yorumu önemli yer tutmaktadır. Ancak son yıllarda YZ destekli sistemlerin gelişmesiyle birlikte daha hızlı, daha standart ve yüksek doğruluk oranına sahip analizler yapılabilmektedir (Miranda et al., 2023; Surdu et al., 2025).

Özellikle makine öğrenimi ve derin öğrenme tabanlı algoritmalarındaki gelişmeler; ortodontik teşhis, tedavi planlaması, hasta takibi ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi gibi pek çok uygulamanın dijital teknolojiler yardımıyla daha verimli hale gelmesine olanak sağlamıştır. Bu sistemler sayesinde büyük miktardaki klinik veri kısa sürede analiz edilebilmekte ve klinik karar süreçleri daha kontrollü hale getirilebilmektedir. Günümüzde YZ yalnızca klinik süreçlerin daha verimli yürütülmesini sağlayan bir teknoloji olarak değil, aynı zamanda bireye özgü tedavi planlarının oluşturulmasına katkı sunan önemli bir klinik destek aracı olarak kabul edilmektedir (Kunz et al., 2023).

3.1. Ortodontide Yapay Zeka Destekli Hasta İzleme Uygulamaları

Ortodontik tedavi sürecinin etkili bir biçimde sürdürülebilmesi için hasta kooperasyonu büyük önem taşımaktadır. Geleneksel takip yöntemlerinde hastanın tedavi süreci çoğunlukla yalnızca rutin klinik kontroller sırasında değerlendirilmekteydi. Ancak son yıllarda geliştirilen YZ destekli uzaktan takip sistemleri sayesinde hastaların tedavi süreçlerinin daha düzenli ve sürekli şekilde izlenmesi mümkün hale gelmiştir. Özellikle akıllı telefon tabanlı uygulamalar aracılığıyla hastaların ağız içi görüntüleri sisteme aktarılabilen, elde edilen bu görüntüler YZ algoritmaları tarafından analiz edilerek tedavi

ilerleyişi değerlendirilebilmektedir (Bor & Kotan, 2023; Hansa et al., 2018).

Günümüzde Dental Monitoring® gibi sistemler ortodontik hasta takibinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde plak uyumu, ataçman kayıpları, ağız hijyeni durumu ve diş hareketlerinin seyri değerlendirilebilmektedir. YZ destekli algoritmalar tedavi sürecinde normalden sapma gösteren durumları erken dönemde tespit ederek klinisyene bilgi verebilmekte, böylece olası problemlere daha kısa sürede müdahale edilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca uzaktan takip sistemlerinin gereksiz klinik kontrollerin azaltılmasına katkı sağladığı, bunun da hem hasta konforunu artırdığı hem de klinik iş yükünü azalttığı bildirilmektedir (Hansa et al., 2018; Miranda et al., 2023).

3.2. Ortodontide Diagnostik Analizde Yapay Zeka

Ortodontik teşhis süreci; sefalometrik analizler, panoramik radyografiler, CBCT görüntüleri, dijital dental modeller ve yüz fotoğrafları gibi çok sayıda verinin eş zamanlı olarak analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu kadar fazla verinin değerlendirilmesi hem zaman almakta hem de operatöre bağlı farklılıklar oluşturabilmektedir. YZ destekli sistemler ise bu verileri kısa süre içerisinde değerlendirerek klinisyene önemli ölçüde zaman kazandırmaktadır. Ayrıca manuel ölçümler sırasında oluşabilecek hataların azaltılmasına katkı sağlayarak daha standart ve tekrarlanabilir analizlerin yapılmasına yardımcı olmaktadır (Kazimierczak et al., 2024; Kunz et al., 2023; Liu et al., 2023).

3.2.1. Sefalometrik Analiz

Sefalometrik analiz, YZ uygulamalarının ortodontide en sık kullanıldığı alanlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel yöntemlerde anatomik landmark noktalarının manuel olarak belirlenmesi zaman gerektiren ve operatöre bağlı

değişkenlik gösterebilen bir işlemdir. YZ destekli yazılımlar sayesinde bu landmark noktaları otomatik olarak tespit edilebilmekte ve ölçümler kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle CNN (Convolutional Neural Network) ve YOLO (You Only Look Once) tabanlı algoritmaların yüksek doğruluk oranlarına ulaştığı bildirilmektedir. Yapılan çalışmalarda landmark belirleme sırasında oluşan hata paylarının klinik gereksinimleri karşılayabilecek doğruluk düzeyine ulaştığı gösterilmiştir (Kunz et al., 2023; Liu et al., 2023).

CephX, WebCeph, Dolphin Imaging ve FACAD gibi yazılımlar otomatik sefalometrik analiz yapabilen sistemlere örnek olarak gösterilmektedir. Bu sistemler analiz süresini azaltırken aynı zamanda ölçümlerin tekrarlanabilirliğine katkı sağlamaktadır. Ek olarak mevcut YZ uygulamalarının tamamen bağımsız şekilde kullanılmasından ziyade, klinisyen değerlendirmesi ile birlikte kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır (Hwang et al., 2020; Miranda et al., 2023)

3.2.2. Panoramik Radyografi ve CBCT Analizi

Panoramik radyografiler ve CBCT görüntüleri ortodontik teşhis açısından oldukça önemli bilgiler sunmaktadır. YZ destekli sistemler sayesinde bu görüntüler üzerinde dişlerin belirlenmesi, kök morfolojisinin değerlendirilmesi, gömülü dişlerin incelenmesi, alveoler kemik yapısının analiz edilmesi ve havayolu değerlendirmeleri gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle CBCT görüntülerinin manuel olarak incelenmesi zaman alıcı bir süreç olduğundan, otomatik analiz sistemleri klinik iş akışının daha hızlı ilerlemesine katkı sağlamaktadır (Hung et al., 2020; Miranda et al., 2023).

3.2.3. Dijital Dental Modeller ve Dental Analiz

Dijital dental modeller üzerinde YZ algoritmaları kullanılarak diş segmentasyonu, ark uzunluğu değerlendirmesi, Bolton analizi ve oklüzal analizler yapılabilmektedir. Dijital

modellerin klinik uygulamalarda yaygınlaşmasıyla birlikte YZ uygulamalarının kullanım alanı da genişlemiştir. Bu sistemler sayesinde ölçümlerin doğruluğu artmakta, aynı zamanda verilerin saklanması ve paylaşılması daha kolay hale gelmektedir (Grünheid et al., 2014; Kunz et al., 2023).

3.2.4. Fasiyal Analiz ve Yüz Fotoğrafları

Ortodontik tedavide estetik değerlendirme önem arz etmektedir. YZ destekli yüz analiz sistemleri; yüz simetrisi, profil yapısı, dudak ilişkileri ve yumuşak doku değerlendirmeleri gibi birçok parametreyi değerlendirebilmektedir. Özellikle 3B yüz taramaları ve dijital fotoğraf analizleri sayesinde estetik değerlendirmelerin daha objektif şekilde yapılabilmesi mümkün hale gelmiştir. Ayrıca YZ sistemlerinin tedavi sonrasında oluşabilecek yüz estetiğini öngörme konusunda da önemli bir potansiyeli olduğu bildirilmiştir (Liu et al., 2023; Patcas et al., 2019).

3.3. Kemik Yaşının Belirlenmesi ve Büyüme Gelişim Analizi

Ortodontik tedavinin zamanlaması açısından büyüme gelişim döneminin doğru belirlenmesi oldukça önemlidir. Geleneksel yöntemlerde el-bilek radyografileri ve servikal vertebra maturasyon analizi kullanılmaktadır. YZ destekli sistemler sayesinde bu analizler otomatik olarak uygulanabilmekte ve büyüme potansiyeli daha hızlı analiz edilebilmektedir. Özellikle servikal vertebra maturasyonu analizlerinde YZ sistemlerinin yüksek doğruluk oranlarına ulaştığı bildirilmektedir (Bor & Kotan, 2023).

Makine öğrenimi algoritmaları hastaların büyüme gelişim verilerini analiz ederek optimal tedavi zamanlamasının belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum özellikle büyüme modifikasyonu gerektiren Sınıf II ve Sınıf III vakalarda önemli avantajlar sunmaktadır (Liu et al., 2023; Makaremi et al., 2019).

3.4. Ortodontide CBCT ve 3B Taramaların Segmentasyonu

CBCT görüntüleri ve 3B taramaların segmentasyonu, ortodontik teşhis ve tedavi planlamasında kritik bir öneme sahiptir. Bununla birlikte manuel segmentasyon işlemleri hem zaman gerektirmekte hem de operatöre bağlı farklılıklar gösterebilmektedir. YZ destekli segmentasyon sistemlerindeki gelişmelerle birlikte anatomik yapıların otomatik olarak belirlenmesi mümkün olmuştur. Bu durum yüksek miktarda görüntü verisinin incelendiği vakalarda klinik iş akışını önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Miranda et al., 2023; Schwendicke et al., 2019).

YZ tabanlı segmentasyon sistemleri; dişler, alveoler kemik, maksilla, mandibula ve havayolu gibi anatomik yapıların kısa sürede analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle ortognatik cerrahi planlaması yapılan hastalarda ve gömülü diş vakalarında 3B değerlendirmelerin daha hassas şekilde yapılmasına katkı sağladığı bildirilmektedir. Bunun yanında otomatik segmentasyon uygulamaları, cerrahi simülasyonların hazırlanması ve dijital tedavi planlarının oluşturulması açısından da önemli avantajlar sağlamaktadır (Kunz et al., 2023; Wang et al., 2021).

3.5. Tedavi Planlamasında Yapay Zeka

YZ uygulamaları günümüzde ortodontik tedavi planlamasında klinisyene destek sağlayan önemli araçlar arasında yer almaya başlamıştır. Çekimli veya çekimsiz tedavi kararı, ortognatik cerrahi gereksiniminin değerlendirilmesi, ankraj planlaması ve uygun aparey seçimi gibi birçok aşamada YZ algoritmalarından yararlanılmaktadır. Bu sistemler daha önceki hasta verilerini analiz ederek benzer vakalara ait olası tedavi seçeneklerini değerlendirebilmekte ve klinik karar sürecine katkı sağlayabilmektedir (Kunz et al., 2023).

Bazı çalışmalarda YZ destekli sistemlerin çekim kararlarında deneyimli ortodontistlere yakın doğruluk oranlarına ulaştığı bildirilmiştir. Bunun yanı sıra ortognatik cerrahi gereksiniminin değerlendirilmesi ve tedavi sonuçlarının önceden simüle edilmesi gibi alanlarda da etkili sonuçlar elde edilebildiği belirtilmektedir. Ancak mevcut bilgiler doğrultusunda YZ'nın klinik karar mekanizmasının tamamen yerini alması beklenmemekte; daha çok klinisyene destek sağlayan yardımcı bir araç olarak kullanılması gerektiği düşünülmektedir (Liu et al., 2023; Monill-González et al., 2021).

3.6. Tedavi Sonuçlarını Tahmin Etmede Yapay Zekanın Rolü

Ortodontik tedavi sonuçlarının önceden tahmin edilebilmesi, tedavi planlamasının daha doğru yapılabilmesi açısından klinik olarak önemli bir avantaj sağlamaktadır. YZ destekli sistemler, geçmiş hasta verilerini analiz ederek tedavi süresi, tedavi başarısı ve relaps olasılığı gibi birçok konuda öngöründe bulunabilmektedir. Özellikle kapsamlı veri kümeleri kullanılarak geliştirilen makine öğrenimi modelleri sayesinde farklı tedavi senaryolarının olası sonuçları değerlendirilebilmektedir (Akdeniz & Tosun, 2021).

YZ tabanlı prognostik sistemler sayesinde hastalara tedavi süreci hakkında daha ayrıntılı bilgi verilebilmekte ve bu durum hasta motivasyonunun artırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bunun yanında relaps riskinin önceden tahmin edilmesi, retansiyon planlamasının daha kontrollü şekilde yapılmasına yardımcı olmakta ve klinisyene önemli avantajlar sunmaktadır (Liu et al., 2023; Thanathornwong, 2018).

3.7. Yenilikçi Teknolojiler: Şeffaf Plaklar ve Robotik Sistemler

Ortodontide dijital dönüşümde en dikkat çeken gelişmelerinden biri şeffaf plak sistemleri ve robotik

uygulamalardır. YZ destekli dijital iş akışları sayesinde diş hareketleri 3B ortamda simüle edilmekte ve tedavi süreçleri daha öngörülebilir hale getirilmektedir. Bunun yanında robotik sistemler aracılığıyla daha hassas aparey üretimi yapılabilen ve üretim süreçlerinde standartizasyon sağlanabilmektedir (Tekeli, 2023).

3.8. Şeffaf Plak Tedavisi

Şeffaf plak sistemleri günümüzde ortodontik tedavide giderek daha geniş ölçüde uygulanmaktadır. YZ destekli yazılımlar sayesinde dijital modeller üzerinde diş hareketleri planlanabilmekte ve aşamalı tedavi süreçleri oluşturulabilmektedir. Invisalign® gibi sistemlerde kullanılan YZ algoritmalarının, diş hareketlerinin öngörülebilirliğini artırmaya yardımcı olduğu bildirilmektedir (Kunz et al., 2023). Bu sistemler sayesinde hastaya özel tedavi planları oluşturulabilmekte ve tedavi süreci dijital platformlar üzerinden izlenebilmektedir. Ayrıca YZ destekli uygulamalar plak uyumunu, diş hareketlerinin ilerleyişini ve tedavi sürecindeki olası sapmaları analiz ederek gerektiğinde klinisyene uyarı verebilmektedir (Miranda et al., 2023; Rossini et al., 2015).

3.9. Robotik Ortodonti

YZ destekli robotik tel büküm teknolojileri sayesinde daha standart ve hassas ark telleri üretilebilmektedir. Bu durum hem klinik verimliliğin artmasına katkı sağlamakta hem de tedavi sonuçlarının daha öngörülebilir hale gelmesine yardımcı olmaktadır (Tekeli, 2023). Gelecekte robotik sistemlerin dijital ortodontik iş akışlarının temel bileşenlerden biri olacağı düşünülmektedir. Özellikle otomatik aparey üretimi ve kişiye özel mekanik sistem tasarımlarında robotik teknolojilerin önemli rol oynayacağı öngörülmektedir (George et al., 2024; Kunz et al., 2023).

3.10. Yapay Zeka Destekli 3B Dilimleme Yazılımı ile Baskı

YZ destekli 3B dilimleme yazılımları sayesinde dijital modeller otomatik olarak analiz edilmekte ve baskıya uygun hale getirilmektedir. Bu sistemler baskı parametrelerini optimize ederek daha hassas, daha hızlı ve daha kontrollü üretim yapılmasına olanak sağlamaktadır (Bor & Kotan, 2023). Bu teknolojiler sayesinde kişiye özel apareyler, şeffaf plak modelleri, cerrahi rehberler ve farklı ortodontik yardımcı ekipmanlar üretilebilmektedir. Bu uygulamalar üretim sürecini kolaylaştırırken aynı zamanda daha hassas apareylerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle gelecekte YZ ile entegre çalışan tam dijital üretim sistemlerinin ortodonti pratiğinde kritik bir rol oynayacağı düşünülmektedir (Bor & Kotan, 2023; Harikrishnan & Subramanian, 2023).

4. YAPAY ZEKA KULLANIMINDA YAŞANAN ZORLUKLAR VE LİMİTASYONLAR

YZ teknolojileri ortodonti alanında tanısal doğruluğun artırılması, tedavi planlamasının daha kontrollü yapılabilmesi ve klinik iş akışının hızlandırılması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla beraber söz konusu sistemlerin günlük klinik pratiğe tam olarak entegre edilmesi sürecinde çeşitli teknik, etik, hukuki ve eğitimsel sorunlarla karşılaşabilmektedir. YZ uygulamalarının güvenilirliği büyük ölçüde faydalanılan verilerin niteliğine, algoritmaların doğruluk oranına ve sistemlerin klinik açıdan yeterince doğrulanmış olmasına bağlıdır. Bu nedenle YZ sistemlerinin yalnızca teknolojik performans açısından değerlendirilmesi yeterli görülmemektedir. Veri güvenliği, hasta mahremiyeti, etik sorumluluk ve klinik güvenilirlik gibi birçok faktör YZ'nin sağlık alanındaki kullanımını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple YZ uygulamalarının ortodontide

güvenli ve etkili olarak kullanımında mevcut sınırlılıkların özenli bir şekilde incelenmesi gereklidir (Schwendicke et al., 2020; Tekeli, 2023).

4.1. Gelecek Perspektifleri

Dijital iş akışlarının gelişmesi, görüntü işleme sistemlerinin daha hassas hale gelmesi ve büyük veri altyapılarının güçlenmesiyle birlikte YZ destekli uygulamaların klinik süreçlerde daha fazla yer alması beklenmektedir. Bununla birlikte günümüzde kullanılan sistemlerin büyük çoğunluğu hâlen klinisyene yardımcı olan destek mekanizmaları şeklinde çalışmakta olup tamamen bağımsız klinik karar verebilecek düzeyde değildir (Liu et al., 2023). İlerleyen yıllarda daha geniş veri gruplarıyla eğitilmiş, farklı popülasyonlarda test edilmiş ve klinik açıdan doğrulanmış sistemlerdeki gelişmelerle birlikte YZ'nin ortodontide daha etkin kullanılabileceği öngörülmektedir. Özellikle kişiye özel tedavi planlamalarının iyileştirilmesi bakımından YZ'nin önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir. Hastalara ait büyüme-gelişim verileri, fasiyal analizler, dental ilişkiler ve biyolojik özelliklerin bütünsel analizi sayesinde daha kişiye özgü tedavi yaklaşımlarının oluşturulması mümkün olabilecektir (Kunz et al., 2023).

Bunun yanında robotik sistemler, otomatik tedavi planlama yazılımları ve YZ destekli 3B üretim teknolojilerindeki gelişmelerin ortodontik tedavi süreçlerini daha dijital hale getireceği düşünülmektedir. Ancak mevcut bilgiler doğrultusunda YZ'nin klinisyenin yerini tamamen alması beklenmemekte; daha çok klinik deneyim ile YZ teknolojilerinin birlikte kullanıldığı hibrit yaklaşımların ön plana çıkacağı öngörülmektedir (Kunz et al., 2023; Topol, 2019).

4.2. Teknik Zorluklar

YZ sistemlerinin karşılaştığı en önemli sorunlardan biri kullanılan veri setlerinin yeterliliği ve kalitesidir. Özellikle sağlık

alanında hasta verilerinin farklı merkezlerden elde edilmesi, görüntü kalitesindeki değişkenlikler ve bazı popülasyonlara ait veri eksiklikleri algoritmaların genellenebilirliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum bazı hasta gruplarında doğruluk oranlarının düşmesine ve hatalı sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Liu et al., 2023). Bir diğer önemli teknik problem ise “overfitting” olarak tanımlanan aşırı öğrenme durumudur. Bu durumda algoritma eğitim verilerine aşırı derecede uyum sağlamakta, ancak yeni veriler üzerinde aynı başarıyı gösterememektedir. Özellikle sınırlı veri setleri kullanılarak geliştirilen ortodontik YZ uygulamalarında bu durum önemli bir kısıtlılık oluşturmaktadır (Kunz et al., 2023).

YZ sistemlerinin karar mekanizmalarının her zaman açık şekilde açıklanamaması da dikkat çeken teknik sorunlardan biridir. “Black box” problemi olarak ifade edilen bu durum, algoritmanın hangi kriterleri kullanarak sonuca ulaştığının tam olarak ortaya konulamamasına neden olmaktadır. Klinik uygulamalarda bu durum güven problemi oluşturabilmekte ve YZ sistemlerinin tek başına kullanılmasını sınırlandırmaktadır (Kunz et al., 2023).

Bunun yanında radyolojik görüntülerde görülebilen artefaktlar, düşük çözünürlüklü kayıtlar ve anatomik varyasyonlar da sistem doğruluğunu etkileyebilmektedir. Özellikle CBCT segmentasyonu ve otomatik landmark belirleme uygulamalarında görüntü kalitesine bağlı hatalar oluşabilmektedir. Bu nedenle günümüzde YZ sistemlerinin tamamen bağımsız şekilde değil, klinisyen kontrolü ve deneyimi ile beraber incelenmesi gerektiği düşünülmektedir (Kelly et al., 2019; Miranda et al., 2023).

4.3. Etik ve Hukuki Zorluklar

YZ'nın sağlık alanındaki kullanımında en önemli konuların başında hasta bilgilerinin mahremiyeti ve güvenliği

gelmektedir. YZ sistemlerinde ilerleme kaydedilebilmesi için geniş veri gruplarına ihtiyaç duyulmakta, ancak bu verilerin saklanması, paylaşılması ve işlenmesi sırasında hasta mahremiyetinin korunması son derece önemlidir. Özellikle bulut tabanlı sistemlerde veri güvenliği ihlalleri ve yetkisiz erişim riskleri önemli etik sorunlar arasında değerlendirilmektedir (Tekeli, 2023). YZ destekli bir sistemin yanlış tanı koyması veya hatalı tedavi önerisinde bulunması durumunda sorumluluğun kimde olacağı konusu günümüzde hâlen netlik kazanmamıştır. Bu durum sağlık alanında YZ kullanımına yönelik hukuki tartışmaların devam etmesine neden olmaktadır (Liu et al., 2023).

Algoritmik yanlılık da YZ uygulamalarında etik açıdan üzerinde durulması gereken başlıca sorunlar arasında yer almaktadır. Bunun yanında YZ'nın gelecekte klinisyenlerin yerini tamamen alıp alamayacağı da etik açıdan tartışılan konular arasında yer almaktadır. Günümüzde YZ sistemlerinin klinik deneyim, hasta-hekim iletişimi ve biyolojik değerlendirme gibi insan faktörlerinin yerini tam anlamıyla dolduramadığı kabul görmektedir. Bu nedenle YZ'nın klinisyenin yerine geçen bir sistemden çok, klinik karar sürecini destekleyen yardımcı bir araç olarak kullanılması gerektiği düşünülmektedir (Kunz et al., 2023; Price & Cohen, 2019).

4.4. Düzenleyici Zorluklar

YZ tabanlı birçok uygulamanın klinik kullanıma sunulmadan önce yeterli düzeyde validasyon çalışmasına sahip olmaması önemli bir kısıtlılık olarak kabul edilmektedir. Özellikle farklı popülasyonlarda ve değişken klinik koşullarda yeterince test edilmeden kullanılan sistemler, güvenlik açısından çeşitli riskler oluşturabilmektedir (Liu et al., 2023).

YZ uygulamalarında standardizasyon eksikliği de dikkat çeken problemler arasında yer almaktadır. Bunun yanında sağlık alanında kullanılan YZ sistemlerinin yasal onay süreçlerinin

ülkeden ülkeye farklılık göstermesi, bu teknolojilerin uluslararası düzeyde ortak standartlara kavuşmasını zorlaştırmaktadır (Kunz et al., 2023).

Gelecekte YZ uygulamalarının daha güvenli kullanılabilmesi için uluslararası düzeyde ortak standartların oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca sağlık alanında kullanılan YZ sistemlerinin düzenli aralıklarla güncellenmesi ve performanslarının sürekli olarak denetlenmesi büyük önem taşımaktadır (Kelly et al., 2019; Tekeli, 2023).

4.5. Eğitim Zorlukları

YZ teknolojilerinin ortodontik pratiğe etkili olarak entegre edilebilmesi için klinisyenlerin dijital sistemler konusunda yeterli donanımda olması gereklidir. Ancak günümüzde birçok diş hekimliği eğitim programında YZ ve dijital teknolojilere yönelik eğitimlerin sınırlı olduğu bildirilmektedir. Bu durum, klinisyenlerin YZ destekli sistemleri günlük pratikte etkin şekilde kullanmasını zorlaştırabilmektedir (Tekeli, 2023).

YZ uygulamalarının doğru değerlendirilebilmesi için klinisyenlerin yalnızca sistemi kullanmayı öğrenmesi yeterli değildir. Aynı zamanda algoritmaların çalışma prensiplerinin, güçlü yönlerinin ve sınırlılıklarının da anlaşılması gerekmektedir. Aksi durumda YZ sistemlerine aşırı güven duyulması, yanlış klinik kararların verilmesine neden olabilmektedir (Liu et al., 2023).

Bu nedenle gelecekte ortodonti eğitim programlarında dijital ortodonti, YZ ve veri analitiği konularına daha fazla yer verilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca teknolojik gelişmelerin hızlı ilerlemesi nedeniyle klinisyenlerin sürekli eğitim programları aracılığıyla güncel sistemlere adapte olması önem taşımaktadır. YZ'nin klinik uygulamalara etkin olarak entegre edilebilmesinde yalnızca teknolojik altyapının değil,

kullanıcı eğitiminin de geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir (Char et al., 2018; Khanagar et al., 2021; Liu et al., 2023).

5. SONUÇ

YZ teknolojilerindeki gelişmeler, ortodontide teşhis, tedavi planlaması, hasta takibi ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi gibi birçok sürecin daha aktif, standart ve etkili bir şekilde yürütülmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle sefalometrik analizler, CBCT görüntülerinin değerlendirilmesi, dijital dental modellerin incelenmesi ve uzaktan hasta takip sistemleri gibi uygulamalar, YZ'nın ortodontik pratiğe önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Bununla beraber YZ, klinisyenin yerini alan bir teknoloji olmaktan ziyade, klinik karar verme süreçlerini destekleyen güçlü bir yardımcı unsur olarak düşünülmelidir.

Gelecekte daha büyük veri setleriyle eğitilmiş ve farklı popülasyonlarda doğrulanmış YZ sistemlerinin geliştirilmesiyle beraber ortodontide dijital iş akışlarının daha da yaygınlaşması beklenmektedir. Kişiyeye özel tedavi planlaması, otomatik analiz sistemleri ve dijital üretim teknolojilerindeki ilerlemeler, tedavi süreçlerinin doğruluğunu ve öngörülebilirliğini artıracaktır. Ancak klinik deneyim, biyolojik değerlendirme ve hasta-hekim iletişimi gibi insan faktörleri ortodontik tedavinin temel unsurları olmaya devam edecektir. Bu nedenle gelecekte ortodontik pratiğin, klinisyen deneyimi ile YZ teknolojilerinin birlikte kullanıldığı hibrit bir yaklaşım doğrultusunda şekilleneceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akdeniz, S., & Tosun, M. E. (2021). A review of the use of artificial intelligence in orthodontics. *Deneysel ve Klinik Tıp Dergisi*, 38(3s), 157–162.
- Bor, S., & Kotan, S. (2023). Ortodontide yapay zeka etkileri. *Journal of Dentistry Faculty of Uşak University*, 2(1), 14–19.
- Char, D. S., Shah, N. H., & Magnus, D. (2018). Implementing machine learning in health care—addressing ethical challenges. *The New England Journal of Medicine*, 378(11), 981.
- Ding, H., Wu, J., Zhao, W., Matinlinna, J. P., Burrow, M. F., & Tsoi, J. K. H. (2023). Artificial intelligence in dentistry—A review. *Frontiers in Dental Medicine*, 4, 1085251.
- George, B. M., Arya, S., Bharadwaj, K., NS, V., & GS, S. (2024). Robotic archwire bending in orthodontics: A review of the literature. *Cureus*, 16(3).
- Grünheid, T., McCarthy, S. D., & Larson, B. E. (2014). Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(5), 673–682.
- Hansa, I., Semaan, S. J., Vaid, N. R., & Ferguson, D. J. (2018). Remote monitoring and “Tele-orthodontics”: Concept, scope and applications. *Seminars in Orthodontics*, 24(4), 470–481.
- Harikrishnan, S., & Subramanian, A. K. (2023). 3D printing in orthodontics: A narrative review. *Journal of International Oral Health*, 15(1), 15–27.

- Hung, K., Montalvao, C., Tanaka, R., Kawai, T., & Bornstein, M. M. (2020). The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(1), 20190107.
- Hwang, H.-W., Park, J.-H., Moon, J.-H., Yu, Y., Kim, H., Her, S.-B., Srinivasan, G., Aljanabi, M. N. A., Donatelli, R. E., & Lee, S.-J. (2020). Automated identification of cephalometric landmarks: Part 2-Might it be better than human? *The Angle Orthodontist*, 90(1), 69–76.
- Kazimierczak, N., Kazimierczak, W., Serafin, Z., & et al. (2024). AI in orthodontics: Revolutionizing diagnostics and treatment planning—A comprehensive review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(2), 344.
- Kelly, C. J., Karthikesalingam, A., Suleyman, M., Corrado, G., & King, D. (2019). Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Medicine*, 17(1), 195.
- Khanagar, S. B., Al-Ehaideb, A., Maganur, P. C., Vishwanathaiah, S., Patil, S., Baeshen, H. A., Sarode, S. C., & Bhandi, S. (2021). Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry—A systematic review. *Journal of Dental Sciences*, 16(1), 508–522.
- Kunz, F., Stellzig-Eisenhauer, A., & Boldt, J. (2023). Applications of artificial intelligence in orthodontics—an overview and perspective based on the current state of the art. *Applied Sciences*, 13(6), 3850.
- Liu, J., Zhang, C., & Shan, Z. (2023). Application of artificial intelligence in orthodontics: current state and future perspectives. *Healthcare*, 11(20), 2760.

- Makaremi, M., Lacaule, C., & Mohammad-Djafari, A. (2019). Deep learning and artificial intelligence for the determination of the cervical vertebra maturation degree from lateral radiography. *Entropy*, 21(12), 1222.
- Miranda, F., Barone, S., Gillot, M., Baquero, B., Anchling, L., Hutin, N., Gurgel, M., Al Turkestani, N., Huang, Y., & Massaro, C. (2023). Artificial intelligence applications in orthodontics. *Journal of the California Dental Association*, 51(1), 2195585.
- Monill-González, A., Rovira-Calatayud, L., d'Oliveira, N. G., & Ustrell-Torrent, J. M. (2021). Artificial intelligence in orthodontics: Where are we now? A scoping review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 24, 6–15.
- Patcas, R., Bernini, D. A. J., Volokitin, A., Agustsson, E., Rothe, R., & Timofte, R. (2019). Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 48(1), 77–83.
- Price, W. N., & Cohen, I. G. (2019). Privacy in the age of medical big data. *Nature Medicine*, 25(1), 37–43.
- Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A., & Debernardi, C. L. (2015). Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *The Angle Orthodontist*, 85(5), 881–889.
- Schwendicke, F. al, Samek, W., & Krois, J. (2020). Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. *Journal of Dental Research*, 99(7), 769–774.
- Schwendicke, F., Golla, T., Dreher, M., & Krois, J. (2019). Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 91, 103226.

- Shan, T., Tay, F. R., & Gu, L. (2021). Application of artificial intelligence in dentistry. *Journal of Dental Research*, 100(3), 232–244.
- Surdu, A., Foia, C. I., Luchian, I., Trifan, D., Budala, D. G., Scutariu, M. M., Ciupilan, C., Puha, B., & Tatarciuc, D. (2025). Telemedicine and digital tools in dentistry: enhancing diagnosis and remote patient care. *Medicina*, 61(5), 826.
- Tekeli, A. (2023). Yapay Zekanın Ortodontik Tedavideki Rolü. *The Journal of Kırıkkale University Faculty of Medicine*, 25(2), 340–346.
- Thanathornwong, B. (2018). Bayesian-based decision support system for assessing the needs for orthodontic treatment. *Healthcare Informatics Research*, 24(1), 22–28.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56.
- Wang, H., Minnema, J., Batenburg, K. J., Forouzanfar, T., Hu, F. J., & Wu, G. (2021). Multiclass CBCT image segmentation for orthodontics with deep learning. *Journal of Dental Research*, 100(9), 943–949.
- Yu, K.-H., Beam, A. L., & Kohane, I. S. (2018). Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, 2(10), 719–731.

RETENTION IN ORTHODONTICS

Dilara AKYÜZ¹

1. INTRODUCTION

The primary objective of orthodontic treatment is to establish an optimal balance of the dentofacial structures in terms of both aesthetics and function and to maintain the treatment outcomes over the long term. However, the completion of active orthodontic treatment should not be regarded as the end of the treatment process; rather, it marks the beginning of the retention phase aimed at preserving the achieved results (Bearn, 1995). Therefore, retention is currently considered an integral component of orthodontic treatment and plays a fundamental role in maintaining long-term treatment success. The purpose and duration of retention, the importance of patient compliance, and the role of retention in maintaining treatment outcomes should be thoroughly explained to patients before treatment, emphasizing that this phase constitutes an indispensable part of treatment planning (Littlewood, Kandasamy, & Huang, 2017).

The long-term preservation of orthodontic treatment outcomes has been one of the oldest and most controversial topics in orthodontics. Oppenheim, one of the first researchers to emphasize the importance of retention, stated in 1934 that maintaining the stability achieved after treatment represented one of the most challenging aspects of the entire treatment process and described retention as one of the fundamental problems of

¹ Specialist Orthodontist, Private Practice; İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0001-7657-9088.

orthodontics (Oppenheim, 1934). Despite the decades that have passed since this observation, it remains highly relevant today.

Throughout history, several theories have been proposed to explain orthodontic retention. Kingsley argued that achieving ideal occlusal relationships constituted the primary determinant of long-term stability (Kingsley NW., 1880). Later theories suggested that positioning teeth—particularly the mandibular incisors—within the limits of the apical basal bone could reduce the risk of relapse (Grieve, 1944; Lundström, 1925; Tweed, 1944, 1952). Rogers, on the other hand, proposed that maintaining balanced orofacial muscle function played a critical role in preserving treatment outcomes (Rogers, 1922).

Long-term follow-up studies conducted by Riedel and Little at the University of Washington, involving more than 800 cases, demonstrated that relapse frequently occurs after orthodontic treatment. However, these studies also revealed that it is not possible to reliably predict which patients will experience relapse or determine its severity (Little, 1981; Little, Riedel, & Artun, 1988). Based on these findings, Little proposed that lifelong retention represented the most reliable strategy for preventing relapse (Little, 2009).

Although each of these theories has contributed to the understanding of orthodontic stability, relapse is now recognized as a complex and multifactorial process that cannot be explained by a single factor. Given the multifactorial nature of relapse, orthodontists should understand its etiology, critically evaluate the advantages and limitations of different retention modalities, and develop individualized retention protocols tailored to the needs and risk profiles of each patient (Melrose & Millett, 1998; Mummolo, Nota, Marchetti, Padricelli, & Marzo, 2016; V Quinzi et al., 2018).

2. BIOLOGICAL BASIS OF RETENTION AND RELAPSE

The alignment of teeth and occlusal relationships exist in a dynamic equilibrium that undergoes continuous changes throughout life under the influence of various biological and functional factors. Studies have shown that limited craniofacial growth may continue even during adulthood, intermaxillary relationships may change over time, and the forces exerted by the surrounding soft tissues may vary (Behrents, Harris, Vaden, Williams, & Kemp, 1989). Nevertheless, the limited alterations observed after orthodontic treatment are often considered part of physiological adaptation and do not necessarily represent true relapse (Saccomanno et al., 2021).

Post-treatment changes result from the interaction of four principal sources of force: periodontal and gingival tissues, occlusal factors, pressures exerted by the surrounding soft tissues, and factors related to the position of teeth within the alveolar bone boundaries (Blake & Bibby, 1998; Littlewood, Russell, & Spencer, 2009; Melrose & Millett, 1998). The establishment of long-term stability depends on maintaining a dynamic balance among these forces (Moss, 1980a, 1980b).

2.1. Periodontal and Gingival Factors

The reorganization of periodontal and gingival tissues is considered one of the most important biological causes of post-treatment relapse. During orthodontic tooth movement, substantial structural alterations occur within the periodontal ligament, gingival connective tissues, and alveolar bone (Oppenheim, 1934). These tissues require a period of healing and remodeling to adapt to the new tooth positions.

Following treatment, the forces generated by stretched periodontal fibers tend to move teeth back toward their original positions. Consequently, this process is regarded as one of the

principal mechanisms underlying relapse (Henneman, Von den Hoff, & Maltha, 2008; Maltha, Vandevska-Radunovic, & Kuijpers-Jagtman, 2015; Reitan, 1967; Tanne, Kazuo and Inoue, Yasuko and Sakuda, & Mamoru, 1995).

The application of orthodontic forces initiates remodeling within the extracellular matrix of the periodontal ligament and promotes an increase in immature collagen fibers, particularly in areas subjected to high levels of stress, such as the apical region, thereby altering tissue organization (Li et al., 2019).

The rates of reorganization differ among supporting tissues. While alveolar bone remodeling is reported to occur predominantly within the first month after treatment (Franzen, Monjo, Rubert, & Vandevska-Radunovic, 2014), reorganization of the principal collagen fibers of the periodontal ligament generally requires approximately 3–4 months (Reitan, 1959, 1967, 1969). Gingival collagen remodeling proceeds more slowly and may continue for 6–8 months (Meikle, 2005; Proffit, Fields, Larson, & Sarver, 2019).

Supracrestal and transseptal fibers are among the last structures to adapt, with their reorganization requiring up to 232 days. Consequently, residual tension within these fibers is considered an important contributor to relapse (Reitan, 1967). In addition to residual collagen tension, elastic fibers, proteoglycans, and glycosaminoglycans—components responsible for the elastic properties of connective tissues—have also been implicated in relapse etiology (Maltha, Kuijpers-Jagtman, Von den Hoff, & Ongkosuwito, 2017).

In particular, the increase in oxytalan fibers observed after rotational tooth movements has been reported to generate recoil forces within the periodontal tissues, thereby contributing to relapse (Redlich, Shoshan, & Palmon, 1999).

Clinical studies have demonstrated that relapse occurs more frequently in mandibular lateral incisors, canines, and second premolars (Reitan, 1969). Furthermore, teeth subjected to greater displacement during orthodontic treatment have been shown to possess a higher relapse potential (Van Leeuwen, Maltha, Kuijpers-Jagtman, & Van't Hof, 2003).

From a clinical perspective, the primary strategy for preventing periodontal and gingival relapse is to maintain retention until periodontal tissue reorganization is complete. Alternatively, surgical procedures such as circumferential supracrestal fiberotomy (CSF), also known as percision, may be performed to reduce the tension generated by supracrestal gingival fibers. This approach may be particularly beneficial in reducing relapse risk in cases involving correction of tooth rotations (J. G. Edwards, 1988a).

2.2. Occlusal Factors

The establishment of a functional, balanced, and harmonious occlusion has long been regarded as one of the principal determinants of long-term stability following orthodontic treatment (Angle, 1899; Melrose & Millett, 1998).

Early correction of crossbites generally yields successful and stable outcomes. In particular, studies have demonstrated that the correction of anterior crossbites during the mixed dentition period may remain stable even without retention, whereas approximately six months of retention following posterior crossbite correction may be sufficient to maintain stability (Costa, Galindo, Mattos, & Cury-Saramago, 2017; Petrén, Bjerklín, & Bondemark, 2011; Vasilakos, Koniaris, Wolf, Halazonetis, & Gkantidis, 2018; Wiedel & Bondemark, 2015).

Post-treatment stability in deep bite cases appears to be more complex and is influenced by numerous factors. The age at treatment initiation, the biomechanical techniques employed,

alignment of the mandibular anterior segment, and the achievement of an appropriate interincisal angle all play important roles in maintaining long-term correction (Canut, 1999; de Bernabé, Montiel-Company, Paredes-Gallardo, Gandía-Franco, & Bellot-Arcís, 2017), based on incisor intrusion using bioprogresive mechanics have been reported to provide more favorable and stable outcomes compared with mechanics relying primarily on molar extrusion (Diouf et al., 2019).

The quality of buccal interdigitation is another important occlusal factor influencing long-term stability. Well-established buccal interdigitation contributes to the balanced distribution of occlusal forces and supports the preservation of treatment outcomes (Dyer, Vaden, & Harris, 2012; Pancherz, 1991). Studies have shown that even when minor occlusal changes occur over time, the overall quality of occlusion remains largely preserved in cases with adequate interdigitation (Maia, Normando, Maia, Ferreira, & Alves, 2010).

Although achieving a Class I molar relationship has been associated with improved stability, it has also been emphasized that this factor alone cannot guarantee long-term success because of changes occurring during growth and development (Ferguson, 2010). Moreover, the magnitude of molar movement performed during treatment has been identified as an important factor that may increase the risk of post-treatment relapse (Janson, de Carvalho Caffer, Henriques, Freitas, & Neves, 2004).

Several factors have been implicated in overjet relapse following orthodontic treatment, including the initial overjet magnitude, the final overjet achieved at the end of treatment, alterations in incisor inclination, and the overbite and interincisal angle present at treatment completion (Drage & Hunt, 1990; Fidler, Årtun, Joondeph, & Little, 1995). In contrast, the amount of overjet correction achieved during active treatment itself has

been reported to show only a weak association with post-treatment relapse (Oliver, Pandis, & Fleming, 2020).

Although overjet relapse may occur simultaneously with changes in molar, premolar, and canine relationships, no significant association has been found between relapse and the quality of buccal segment relationships (Fidler et al., 1995; Oliver et al., 2020). Skeletal growth patterns also play an important role in overjet stability. Downward and forward mandibular growth, in particular, has been considered a favorable factor supporting the maintenance of incisor relationships and long-term stability (Elms, Buschang, & Alexander, 1996).

Studies investigating anterior open bite have demonstrated that the initial severity of the open bite is not, by itself, a reliable predictor of long-term stability (Lopez-Gavito, Wallen, Little, & Joondeph, 1985). Although various treatment approaches have been suggested to be more effective in growing individuals, the available scientific evidence remains limited (Koletsis, Makou, & Pandis, 2018; D Lentini-Oliveira et al., 2005; Pisani et al., 2016).

Comparative studies have suggested that extraction treatment may provide greater stability than non-extraction approaches in anterior open bite cases (Foosiri & Changsiripun, 2019). Furthermore, treatments supported by orthognathic surgery have been reported to produce superior outcomes in terms of both treatment success and long-term stability .

Pretreatment rotational patterns have been shown to exhibit a strong tendency to recur following treatment(Surbeck, Årtun, Hawkins, & Leroux, 1998). Long-term stability after diastema closure is generally favorable; however, the risk of reopening increases in individuals presenting with large initial diastemas and a familial predisposition. Midline relationships have been identified as one of the most stable characteristics

during long-term follow-up, although extraction therapy has been associated with reduced midline stability (de Bernabé et al., 2017).

Occlusal forces also influence post-treatment stability. The anterior component of occlusal force generated by the mesial inclination of teeth relative to the occlusal plane is transmitted through the contact points along the dental arch and has been reported to correlate positively with maximum bite force (Thomas E. Southard, Southard, & Stiles, 1990). Studies have further demonstrated a significant relationship between the tightness of posterior contact points, the magnitude of occlusal forces, and mandibular crowding, particularly in the posterior region of the mandibular arch (Thomas E. Southard, Behrents, & Tolley, 1990, 1989; Thomas E. Southard, Southard, & Tolley, 1992a)

Another factor affecting long-term stability is functional occlusion. Non-ideal occlusal contacts, such as canine interferences, have been implicated in relapse development (Shishkin, Arsenina, Shishkin, & Popova, 2016). Nevertheless, no consensus has been reached regarding the role of canine-protected occlusion in maintaining long-term stability (Rinchuse, Kandasamy, & Sciote, 2007).

Adaptive changes in occlusion occurring over time may positively influence both function and aesthetics, although such adaptations do not always occur predictably (Greco et al., 2010; Morton & Pancherz, 2009). Additionally, low pretreatment molar bite force and increased gonial angle have been proposed as factors that may predispose patients to relapse (Antonarakis, Kjellberg, & Kiliaridis, 2013).

2.3. Soft Tissue Forces

One of the principal objectives of orthodontic treatment is to position the teeth within the area known as the "neutral zone,"

where they maintain a balanced relationship with the surrounding soft tissues. The neutral zone is defined as the region in which the forces generated by the tongue are balanced by those exerted by the lips and cheeks (Proffit, 1978).

Excessive protrusion or retrusion of teeth beyond this equilibrium zone may increase the influence of surrounding soft tissues, thereby elevating the risk of post-treatment instability and relapse (Little, 1990). Consequently, positioning teeth within their biological and functional limits and respecting the boundaries of the neutral zone are considered essential for achieving long-term stability.

In order to promote long-term stability, preservation of the mandibular arch form has traditionally been considered a fundamental treatment principle. In particular, maintaining the original intercanine width and shaping the maxillary arch in harmony with the mandibular arch have been emphasized as important determinants of post-treatment stability (Fleming, Dibiase, & Lee, 2008).

However, in extraction cases, both the maxillary intermolar width and the changes occurring in this dimension during treatment have been reported to influence long-term stability (Perkovic, Alexander, Greer, Kamenar, & Anic-Milosevic, 2023). Likewise, preformed nickel-titanium archwires may produce unintended expansion of the mandibular arch, thereby increasing the risk of relapse (Little & Riedel, 1989).

Alterations in soft tissue pressures following rapid maxillary expansion, lip bumper therapy, or protrusion of the maxillary incisors are generally considered temporary and do not appear to persist over the long term (Küçükkeleş & Cenk Ceylanoğlu, 2003; Partal & Aksu, 2017). When an appropriate soft tissue balance is achieved and arch dimension changes are carefully controlled, successful and stable long-term outcomes

may be obtained (Perkovic et al., 2023). Furthermore, patients exhibiting a higher tongue posture following rapid maxillary expansion have been reported to demonstrate greater treatment stability (Ozbek, Memikoglu, Altug-Atac, & Lowe, 2009).

The equilibrium of soft tissue forces also contributes to overjet stability. In patients with Class II Division 1 malocclusion, lower lip coverage may support maintenance of the corrected incisor relationship. Nevertheless, maxillary incisor stability depends primarily on the absence of unbalanced forces, such as tongue thrusting, and lower lip coverage represents only one of several contributing factors (Bennett, Tulloch, Vig, & Webb, 1975; Haynes, 1975; Proffit, 1978).

Additionally, lip competence may improve over time as a result of continuing vertical and horizontal lip growth during adolescence. Upper lip length has been reported to reach adult dimensions relatively early in females, whereas growth may continue for a longer period in males (Ferrario, Sforza, Schmitz, Ciusa, & Colombo, 2000; Pecora, Baccetti, & McNamara, 2008).

Conversely, in the treatment of Class II Division 2 malocclusions, reduction of excessive lower lip coverage over the maxillary incisors is considered one of the principal objectives required to achieve long-term stability. In these cases, lower lip coverage exceeding approximately 3 mm should be avoided (Lapatki, Baustert, Schulte-Mönting, Frucht, & Jonas, 2006; Lapatki, Klatt, Mönting, Stein, & Jonas, 2004).

In the correction of anterior open bite, interventions designed to improve lip seal, tongue posture, tongue elevation, and tongue function have been reported to contribute positively to treatment outcomes (Fränkel & Fränkel, 1983; Van Dyck et al., 2016). These functional changes may be accompanied by posterior movement of the upper lip, anterior movement of the lower lip, reductions in soft tissue facial height and profile

convexity, and increases in lip length and thickness, all of which may contribute to maintaining the achieved correction (Cozza, Mucedero, Baccetti, & Franchi, 2007; Marzouk & Kassem, 2018).

Although orthodontic treatment may improve soft tissue balance, anterior open bite remains one of the malocclusions associated with the highest risk of relapse. Failure of the tongue to adapt adequately to the new tooth positions and structural characteristics of the masticatory muscles in individuals with vertical facial patterns have been proposed as possible explanations for this increased relapse tendency (Hunt, Shah, Sinanan, & Lewis, 2006; Rohit, 2018).

2.4. Craniofacial Growth

Although the majority of craniofacial growth is completed during adolescence, it is well established that growth continues at a slower rate throughout adulthood (Pecora et al., 2008). The direction and magnitude of post-treatment growth changes vary substantially among individuals, making precise prediction difficult in clinical practice (C. B. Edwards et al., 2007).

Transverse growth generally reaches adult dimensions during early adolescence and subsequently exhibits minimal change (Proffit, Fields, & Sarver, 2007). In contrast, anteroposterior and vertical growth patterns may continue in accordance with the individual's pretreatment skeletal pattern.

Accordingly, because the mandible tends to grow downward and backward in females and downward and forward in males, female patients with Class II malocclusion and male patients with Class III malocclusion have been suggested to be at a greater risk of relapse. Nevertheless, accompanying soft tissue changes and dentoalveolar adaptation mechanisms contribute to maintaining functional occlusal relationships despite ongoing growth (Behrents, 1985, 1986; Pecora et al., 2008).

2.4.1. Late Mandibular Incisor Crowding

Late mandibular incisor crowding is generally considered part of the physiological dentoalveolar changes occurring during adulthood. It has been proposed that this phenomenon develops, at least in part, as an adaptive response to the forces generated by the surrounding soft tissues secondary to continued mandibular growth (Sinclair & Little, 1983; Tsiopas, Nilner, Bondemark, & Bjerklin, 2013).

Although most changes occur during the third decade of life, they may continue into the fifth decade (Dyer et al., 2012; Richardson, 1998). Similar late changes have been observed in both untreated individuals and patients who previously underwent orthodontic treatment, suggesting that these alterations occur regardless of whether treatment involved extraction or non-extraction approaches (Freitas, Guirro, de Freitas, de Freitas, & Janson, 2017; Shah, 2003).

Furthermore, studies evaluating patients treated with extraction of four premolars have demonstrated that mandibular incisor crowding may continue to increase after retention, particularly during the first decade following treatment, although considerable interindividual variability exists (Little, 1999).

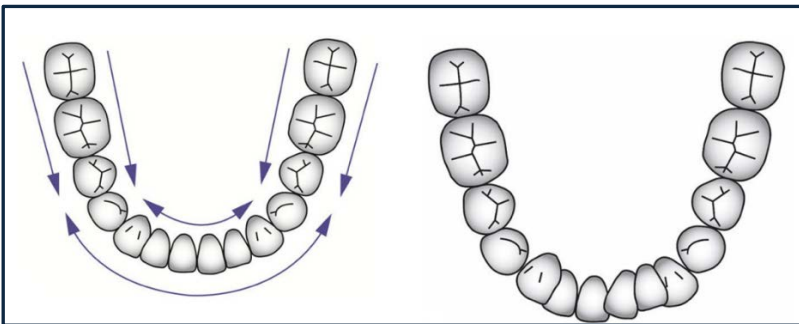


Figure 1. Compressive periodontal forces may contribute to late mandibular incisor crowding (Thomas E. Southard, Southard, & Tolley, 1992b).

Facial growth has been estimated to account for approximately one-quarter of post-retention mandibular incisor crowding (Abdulraheem, Schütz-Fransson, & Bjerklin, 2019). In addition, soft tissue characteristics, incisor dimensions, mesial drift, inadequate arch length, molar relationships, and other dentofacial variables may contribute to the development of late crowding. Factors such as vertical growth patterns in females, thin cortical bone, and treatment with clear aligners have also been associated with an increased risk of relapse (Ben Mohim, Bahije, Zaoui, Halimi, & Benyahia, 2018; Heiser, Richter, Niederwanger, Neunteufel, & Kulmer, 2008). Although bonded retainers assist in maintaining mandibular incisor alignment, they cannot completely prevent long-term changes (Schütz-Fransson, Lindsten, Bjerklin, & Bondemark, 2017).

The role of third molars in the development of late mandibular incisor crowding has been debated for decades. Current evidence indicates that extraction of third molars does not produce clinically significant changes in mandibular arch dimensions and has limited effectiveness in preventing late mandibular incisor crowding.

Therefore, prophylactic third molar extraction solely for the purpose of preventing anterior relapse is not routinely recommended (Ghaemina et al., 2016).

3. RETENTION STRATEGIES

Currently, retention planning is no longer regarded as a routine decision made only after the completion of active orthodontic treatment. Instead, it is considered a dynamic process that should be evaluated from the very beginning of treatment. This approach is based on the understanding that relapse results from the interaction of biological, mechanical, and behavioral factors and that the risk profile differs among individual patients.

According to the clinical practice guideline developed by Wouters and colleagues, the following factors should be considered when determining an appropriate retention strategy. Consequently, retention planning should be individualized according to patient-specific needs rather than based solely on standardized protocols (Wouters, Lamberts, Kuijpers-Jagtman, & Renkema, 2019a).

The following variables should be taken into consideration:

- Type and severity of the initial malocclusion,
- Presence of tooth rotations,
- Magnitude of transverse expansion performed during treatment,
- Presence and closure of diastema,
- Correction of anterior open bite or deep bite,
- Patient age,
- Periodontal status,
- Level of oral hygiene,
- Patient compliance,
- Esthetic expectations,
- Possibility of long-term follow-up.

3.1. Cases with a High Risk of Relapse

Certain clinical situations are associated with an increased risk of relapse. Current clinical guidelines and systematic reviews recommend prolonged or combined retention protocols in the following patient groups (Littlewood et al., 2017; Wouters, Lamberts, Kuijpers-Jagtman, & Renkema, 2019b).

- Severe pretreatment crowding,
- Correction of severe rotations,
- Closure of a median diastema,
- Transverse arch expansion,
- Treatment of anterior open bite,
- Treatment of deep bite,
- Orthognathic surgical treatment,
- Presence of periodontal attachment loss,
- Persistence of lip and tongue habits.

3.2. Fixed Retention

Fixed retainers have become one of the most widely used retention modalities because they provide continuous retention independent of patient compliance.

3.2.1. Types of Fixed Retainers

Fixed retainers differ according to the materials used and their manufacturing methods.

Multistranded Stainless Steel Retainers

Multistranded stainless steel retainers are the most commonly used type of fixed retainer. The following wire dimensions are frequently used:

- 0.0175-inch multistranded stainless steel wire,
- 0.0195-inch multistranded stainless steel wire,
- 0.0215-inch five- or six-strand spiral wire.

The advantages of these retainers include flexibility, allowance for physiologic tooth movement, and high clinical success rates (Renkema, Sips, Bronkhorst, & Kuijpers-Jagtman,

2009). Current guidelines recommend that the retainer wire should be completely passive and bonded from canine to canine on the lingual surfaces using composite resin (Wouters et al., 2019b). However, their disadvantages include the risk of debonding, wire deformation, plaque accumulation, and unwanted tooth movements (Inchingolo et al., 2023)

Fiber-Reinforced Retainers

Fiber-reinforced retainers consist of composite systems incorporating glass or polyethylene fibers. Despite their esthetic advantages, their routine use remains limited because of their brittleness and difficulties associated with repair.

Current evidence does not support superior long-term success of fiber-reinforced retainers compared with conventional multistranded retainers (Vincenzo Quinzi et al., 2023).



Figure 2. Glass fiber-reinforced fixed retainer (Tacken et al., 2010)

CAD/CAM-fabricated Fixed Retainers

With advances in digital orthodontics, customized retainers fabricated using CAD/CAM technologies have increasingly been introduced into clinical practice. In these systems, retainers are designed using digital models and fabricated through automated wire-bending processes.

Clinical studies indicate that CAD/CAM-fabricated fixed retainers do not demonstrate clinically significant differences from conventional fixed retainers regarding relapse rates or complication frequencies.

However, CAD/CAM retainers have been reported to shorten the manufacturing process and improve clinical workflow efficiency. Nevertheless, because the available evidence is based on relatively small sample sizes and short follow-up periods, studies involving larger populations and longer observation periods are required to establish their long-term effectiveness more reliably (Tabellion, Simgen, & Lisson, 2025).

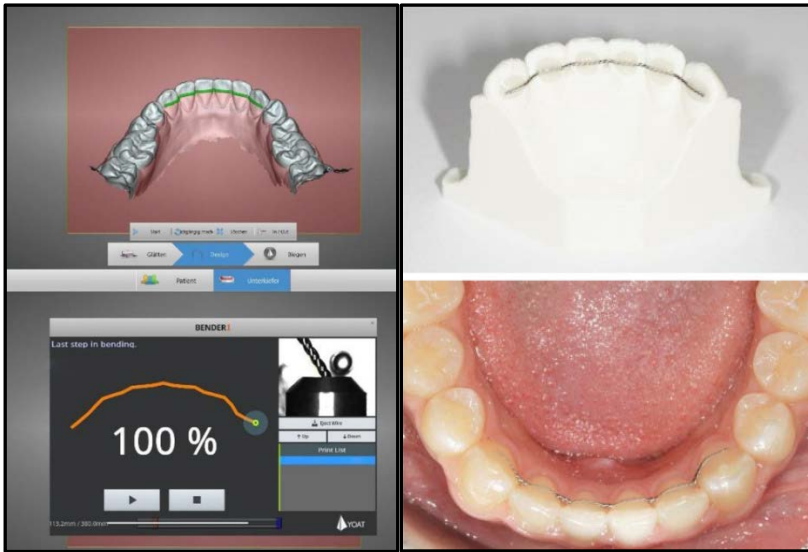


Figure 3. Production process of a CAD/CAM-bent retainer (Tabellion et al., 2025)

3.2.2. Duration of Retention

There is no universal consensus regarding the optimal duration of fixed retainer use. However, long-term follow-up studies and contemporary systematic reviews have demonstrated that relapse may occur even years after treatment completion (Steegmans & Meursinge Reynders, 2020). Consequently, the

concept of "lifelong retention" has gained increasing acceptance in recent years (Katsaros, Livas, & Renkema, 2007).

Particularly in the mandibular anterior region, many orthodontists advocate maintaining fixed retainers indefinitely, provided that the patient's oral hygiene remains adequate and no retainer-related complications develop.

3.2.3. Follow-up Protocol

Regular follow-up appointments are recommended for patients with fixed retainers. Current protocols generally suggest the following schedule (Inchingolo et al., 2023):

- First follow-up after debonding: 1–3 months,
- During the first year: every 6 months,
- After the second year: annually,
- More frequent visits in high-risk cases.

3.2.4. Complications

Although fixed retainers are considered effective in maintaining long-term stability, particularly in the mandibular anterior region, current evidence remains insufficient to demonstrate their definitive superiority over other retention methods (Martin et al., 2023).

The most commonly reported complications include:

- Debonding,
- Wire fracture,
- Composite failure,
- Plaque and calculus accumulation,
- Difficulties maintaining oral hygiene,
- Unwanted tooth movements.

One of the most important determinants of retainer success is the bonding technique employed. Passive adaptation of the wire and prevention of even minimal deformation during bonding are essential. Otherwise, unexpected torque changes and rotational movements may occur. For this reason, regular follow-up visits are strongly recommended. (Katsaros et al., 2007).

Furthermore, although the periodontal effects of fixed retainers have been debated for many years, contemporary studies indicate that they are not associated with severe periodontal destruction. When supported by adequate oral hygiene and regular maintenance, fixed retainers are considered periodontally acceptable treatment options (Petsos et al., 2024; Steegmans & Meursinge Reynders, 2020).

From a quality-of-life perspective, fixed retainers may exert a mild negative impact during the short term; however, patients generally adapt well over time. Reductions in quality of life appear to be associated more closely with complications such as retainer breakage or debonding than with the mere presence of the retainer itself (Medina, Santos Cibelle Cristina Oliveira dos, Lima, Ferreira, & Normando, 2024).

3.2.5. Clinical Recommendations

Based on the current evidence, the following principles should be considered when implementing fixed retention:

- The retainer should be placed passively.
- Detailed oral hygiene instructions should be provided.
- Regular follow-up appointments should be scheduled.
- Fixed retention should be considered the preferred option in patients at high risk of relapse.
- Patients should be carefully monitored for retainer deformation and debonding.

- Maintenance protocols should be individualized in patients with periodontal risk factors.

3.2.6. Patient Education

Enhancing patient education and motivation facilitates the early detection of complications and improves the overall success of retention. Patients should be thoroughly informed about:

- The purpose and importance of the retainer,
- Specific cleaning procedures,
- Proper flossing techniques,
- Potential risks associated with consuming hard foods,
- The need to seek professional care in the event of debonding,
- The importance of regular follow-up visits.

In summary, an effective fixed retention protocol represents a comprehensive process that integrates appropriate patient selection, proper wire selection, passive bonding techniques, regular follow-up, and effective patient education. The duration of retention and the frequency of follow-up should be individualized according to each patient's relapse risk and clinical characteristics (Wouters et al., 2019b).

3.3. Removable Retention

Removable retainers are appliances that can be inserted and removed by the patient. Consequently, unlike fixed retainers, their effectiveness depends largely on patient compliance. Nevertheless, owing to their esthetic advantages, ease of maintaining oral hygiene, and the possibility of repair or replacement, removable retainers continue to be widely incorporated into contemporary retention protocols.

Current clinical guidelines indicate that removable retention may be preferred in the maxillary arch, particularly in patients with a low risk of relapse. Hawley retainers may be considered in individuals with inadequate oral hygiene, whereas the choice between Hawley retainers and vacuum-formed retainers should take into account patient preferences and clinician experience.

In patients presenting with a high risk of relapse, combined use of removable and fixed retainers is recommended. It should also be recognized that the effectiveness of removable retainers may be compromised in individuals with poor motivation and inadequate compliance (Inchingolo et al., 2023; Wouters et al., 2019b).

3.3.1. Hawley Retainerlar

Hawley retainers are conventional appliances that have been used in orthodontic retention for many decades. They consist of an acrylic baseplate, Adams clasps, and a labial bow (Proffit et al., 2019). Their principal advantages include:

- Durability and long service life,
- Ease of repair in the laboratory,
- The possibility of minor activations when necessary,
- Resistance to occlusal forces.

Furthermore, allowing posterior occlusal settling is considered one of the major clinical advantages of Hawley retainers.

However, Hawley retainers also possess several disadvantages, including:

- Limited esthetics,
- Dependence on patient compliance,

- Initial discomfort related to the acrylic baseplate,
- Potential speech difficulties requiring an adaptation period (Pratt, Kluemper, Hartsfield, Fardo, & Nash, 2011).

3.3.2. Vacuum-Formed Retainers (Essix Retainers)

Essix retainers are vacuum-formed appliances fabricated from transparent thermoplastic materials. Their use has increased substantially in recent years, primarily because of their superior esthetic appearance. Due to their thin design, these retainers provide excellent patient comfort and are easy to wear. They are also relatively inexpensive to manufacture and can be readily reproduced using digital models. However, Essix retainers are susceptible to deformation over time and may exhibit wear, fracture, or cracking (Rowland et al., 2007).

The effectiveness of Hawley and vacuum-formed retainers has been investigated extensively. Current evidence suggests that neither appliance demonstrates a clinically significant advantage over the other with respect to long-term stability, maintenance of arch dimensions, or preservation of dental alignment (Inchingolo et al., 2023; Martin et al., 2023). Nevertheless, Hawley retainers may facilitate posterior occlusal settling because they permit natural occlusal contacts. In contrast, vacuum-formed retainers cover the occlusal surfaces and may restrict the establishment of occlusal contacts. Since the available evidence remains limited, these findings should be interpreted with caution when applied to clinical decision-making (Shoukat Ali, Zafar, Hoshang Sukhia, Fida, & Ahmed, 2023).

Usage Protocols

There is no consensus regarding the optimal duration of removable retainer wear (Martin et al., 2023). In contemporary clinical practice, commonly recommended protocols include:

- Full-time wear during the initial months,
- Transition to nighttime wear thereafter,
- Long-term nighttime retention in individuals at high risk of relapse

Use of vacuum-formed retainers for fewer than nine hours per day has been reported to increase the risk of relapse in the mandibular anterior region (İshakoğlu & Çokakoğlu, 2022). However, studies comparing part-time and full-time wear protocols have failed to demonstrate clear superiority of either approach (Martin et al., 2023). Therefore, the duration of removable retainer wear should be individualized according to the patient's relapse risk, compliance, and specific clinical characteristics (Wouters et al., 2019b).

3.3.3. Digital Removable Retainers

Advances in digital orthodontics have facilitated the widespread use of intraoral scanners and CAD/CAM technologies in the fabrication of removable retainers. The ability to archive digital models enables rapid reproduction of lost or damaged retainers. This approach not only reduces costs but also supports continuity of retention. In the future, three-dimensional printing technologies are expected to enable the routine clinical use of directly printed clear retainers (Hurt, 2012; Tsoukala, Lyros, Tsolakis, Maroulakos, & Tsolakis, 2023).

Clinical Recommendations

Based on current evidence, the following principles are recommended for removable retention:

- Retainer selection should be based on the patient's relapse risk and level of compliance.
- Essix retainers may be preferred in patients with high esthetic demands.

- Hawley retainers may be advantageous when posterior occlusal settling is a treatment priority.
- Patients should receive detailed instructions regarding wear schedules and cleaning procedures.
- Compliance and appliance integrity should be assessed through regular follow-up visits.
- The option of long-term nighttime retention should be discussed with patients to promote long-term stability.

4. ADJUNCTIVE APPROACHES TO REDUCE RELAPSE AND POST-TREATMENT CHANGES

4.1. Circumferential Supracrestal Fiberotomy (CSF/Pericision)

Circumferential supracrestal fiberotomy (CSF), also referred to as pericision, is a surgical procedure recommended primarily to reduce the risk of relapse following the correction of rotated teeth. The technique involves severing the dentogingival and interdental fibers located above the level of the alveolar crest (Proffit et al., 2007). The rationale behind this procedure is to decrease the residual tension within the supracrestal fibers, which tends to return teeth to their original positions. CSF may be performed immediately before bracket removal or simultaneously with the debonding procedure. Although CSF does not completely eliminate relapse, studies have demonstrated that it can reduce rotational relapse by approximately 30% (J. G. Edwards, 1988b; Taner, Haydar, Kavuklu, & Korkmaz, 2000). Furthermore, the protective effect of CSF cannot be entirely replaced by the use of bonded retainers alone. Similar reductions in relapse have been reported in both maxillary and mandibular incisors regardless of whether the procedure is performed using

conventional surgical techniques or laser-assisted approaches (Al-Jasser, Al-Jewair, & Al-Rasheed, 2020; Miresmæili et al., 2019).

4.2. Interproximal Reduction (IPR)

Interproximal reduction (IPR) is a procedure performed to correct unfavorable tooth morphology and increase resistance to unwanted tooth movement by enlarging the contact areas between adjacent teeth (Pindoria, Fleming, & Sharma, 2016).

More favorable outcomes have been reported when IPR is used:

- In combination with CSF,
- As an adjunctive procedure during the retention phase,
- Together with overcorrection of rotational discrepancies (Aasen & Espeland, 2005).

In addition, several studies have demonstrated that IPR alone may preserve treatment outcomes as effectively as bonded retainers (G. Edman Tynelius, Bondemark, & Lilja-Karlander, 2010; G. Edman Tynelius, Bondemark, & Lilja-Karlander, 2013; Gudrun Edman Tynelius, Petrén, Bondemark, & Lilja-Karlander, 2015).

4.3. Pharmacological Approaches in Retention

Experimental animal studies have suggested that various pharmacological agents may reduce orthodontic relapse. However, there is currently insufficient evidence to support the direct translation of these findings into routine clinical practice (McGorray, Dolce, Kramer, Stewart, & Wheeler, 2012). It has been proposed that controlling fibroblast proliferation during the remodeling of transseptal fibers could potentially shorten the duration of retention (Tenshin et al., 1995). Nevertheless, the widespread distribution of proteoglycan components within the extracellular matrix of the periodontal ligament complicates the

development of targeted pharmacological interventions. Moreover, the potential systemic effects of such agents on cellular functions represent an important limitation, particularly in growing individuals and adolescents (Kouskoura, Katsaros, & von Gunten, 2017).

5. CONCLUSION

In conclusion, Hawley retainers, Essix retainers, and fixed retainers demonstrate comparable effectiveness in maintaining long-term orthodontic stability. Nevertheless, fixed retainers may offer advantages in preserving mandibular anterior alignment, whereas Hawley retainers are distinguished by their durability and their ability to facilitate occlusal settling. Vacuum-formed retainers (VFRs), on the other hand, are frequently preferred because of their superior esthetics and high levels of patient satisfaction. Therefore, the selection of an appropriate retention appliance should be individualized, taking into consideration not only the current evidence but also the patient's risk of relapse, level of compliance, oral hygiene status, and esthetic expectations.

REFERENCES

- Aasen, T. O., & Espeland, L. (2005). An approach to maintain orthodontic alignment of lower incisors without the use of retainers. *European Journal of Orthodontics*, 27(3), 209–214. <https://doi.org/10.1093/ejo/cji012>
- Abdulraheem, S., Schütz-Fransson, U., & Bjerklin, K. (2019). Teeth movement 12 years after orthodontic treatment with and without retainer: relapse or usual changes? *European Journal of Orthodontics*. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjz020>
- Al-Jasser, R., Al-Jewair, T., & Al-Rasheed, A. (2020). One-year rotational relapse frequency following conventional circumferential supracrestal fiberotomy. *World Journal of Clinical Cases*, 8(2), 284–293. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v8.i2.284>
- Angle, E. H. (1899). Classification of malocclusion. *Dental Cosmos*.
- Antonarakis, G. S., Kjellberg, H., & Kiliaridis, S. (2013). Bite force and its association with stability following Class II/1 functional appliance treatment. *The European Journal of Orthodontics*, 35(4), 434–441. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjs038>
- Behrents, R. G. (1985). *Growth in the aging craniofacial skeleton*.
- Behrents, R. G. (1986). JCO/interviews Dr. Rolf Behrents on adult craniofacial growth. *Journal of Clinical Orthodontics: JCO*, 20(12), 842–847.
- Behrents, R. G., Harris, E. F., Vaden, J. L., Williams, R. A., & Kemp, D. H. (1989). Relapse of orthodontic treatment results: growth as an etiologic factor. *Journal of the Charles H. Tweed International Foundation*, 17, 65–80.

- Ben Mohimd, H., Bahije, L., Zaoui, F., Halimi, A., & Benyahia, H. (2018). Is systematic mandibular retention mandatory? A systematic review. *International Orthodontics*, 16(1), 114–132. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2018.01.013>
- Bennett, T. G., Tulloch, J. F. C., Vig, K. W. L., & Webb, W. G. (1975). Overjet Stability after Treatment of Class II Division 1 Malocclusions. *British Journal of Orthodontics*, 2(4), 239–246. <https://doi.org/10.1179/bjo.2.4.239>
- Blake, M., & Bibby, K. (1998). Retention and stability: A review of the literature. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 114(3), 299–306. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70212-4](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70212-4)
- Canut, J. (1999). A long-term evaluation of treated Class II division 2 malocclusions: a retrospective study model analysis. *The European Journal of Orthodontics*, 21(4), 377–386. <https://doi.org/10.1093/ejo/21.4.377>
- Costa, J. G., Galindo, T. M., Mattos, C. T., & Cury-Saramago, A. de A. (2017). Retention period after treatment of posterior crossbite with maxillary expansion: a systematic review. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 22(2), 35–44. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.22.2.035-044.oar>
- Cozza, P., Mucedero, M., Baccetti, T., & Franchi, L. (2007). Treatment and Posttreatment Effects of Quad-Helix/Crib Therapy of Dentoskeletal Open Bite. *The Angle Orthodontist*, 77(4), 640–645. <https://doi.org/10.2319/062106-252>
- de Bernabé, P. G.-G., Montiel-Company, J. M., Paredes-Gallardo, V., Gandía-Franco, J. L., & Bellot-Arcís, C. (2017). Orthodontic treatment stability predictors: A retrospective longitudinal study. *The Angle Orthodontist*, 87(2), 223–229. <https://doi.org/10.2319/053116-435.1>

- Diouf, J. S., Beugre-Kouassi, A. M. L., Diop-Ba, K., Badiane, A., Ngom, P. I., Ouedraogo, Y., & Diagne, F. (2019). Stabilité et récidence à long terme des traitements de la supraclusion : une revue systématique. *L'Orthodontie Française*, 90(2), 169–187. <https://doi.org/10.1051/orthodfr/2019016>
- Drage, K. J., & Hunt, N. P. (1990). Overjet Relapse following Functional Appliance Therapy. *British Journal of Orthodontics*, 17(3), 205–213. <https://doi.org/10.1179/bjo.17.3.205>
- Dyer, K. C., Vaden, J. L., & Harris, E. F. (2012). Relapse revisited—again. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(2), 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.03.030>
- Edman Tynelius, G., Bondemark, L., & Lilja-Karlander, E. (2010). Evaluation of orthodontic treatment after 1 year of retention--a randomized controlled trial. *The European Journal of Orthodontics*, 32(5), 542–547. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp145>
- Edman Tynelius, G., Bondemark, L., & Lilja-Karlander, E. (2013). A randomized controlled trial of three orthodontic retention methods in four premolar extraction cases – stability after 2 years in retention. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 16(2), 105–115. <https://doi.org/10.1111/ocr.12011>
- Edman Tynelius, Gudrun, Petré, S., Bondemark, L., & Lilja-Karlander, E. (2015). Five-year postretention outcomes of three retention methods—a randomized controlled trial. *The European Journal of Orthodontics*, 37(4), 345–353. <https://doi.org/10.1093/ejo/cju063>
- Edwards, C. B., Marshall, S. D., Qian, F., Southard, K. A., Franciscus, R. G., & Southard, T. E. (2007). Longitudinal

study of facial skeletal growth completion in 3 dimensions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(6), 762–768. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.01.038>

Edwards, J. G. (1988a). A long-term prospective evaluation of the circumferential supracrestal fiberotomy in alleviating orthodontic relapse. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 93(5), 380–387. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(88\)90096-0](https://doi.org/10.1016/0889-5406(88)90096-0)

Edwards, J. G. (1988b). A long-term prospective evaluation of the circumferential supracrestal fiberotomy in alleviating orthodontic relapse. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 93(5), 380–387. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(88\)90096-0](https://doi.org/10.1016/0889-5406(88)90096-0)

Elms, T. N., Buschang, P. H., & Alexander, R. G. (1996). Long-term stability of Class II, Division 1, nonextraction cervical face-bow therapy: I. Model analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 109(3), 271–276. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(96\)70150-6](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(96)70150-6)

Ferguson, J. W. (2010). Changes in sagittal molar relationship during and after fixed appliance extraction treatment. *Journal of Orthodontics*, 37(1), 16–28. <https://doi.org/10.1179/14653121042840>

Ferrario, V. F., Sforza, C., Schmitz, J. H., Ciusa, V., & Colombo, A. (2000). Normal growth and development of the lips: a 3-dimensional study from 6 years to adulthood using a geometric model. *Journal of Anatomy*, 196(3), 415–423. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2000.19630415.x>

Fidler, B. C., Årtun, J., Joondeph, D. R., & Little, R. M. (1995). Long-term stability of Angle Class II, Division 1 malocclusions with successful occlusal results at end of

- active treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 107(3), 276–285. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(95\)70143-5](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(95)70143-5)
- Fleming, P. S., Dibiase, A. T., & Lee, R. T. (2008). Arch form and dimensional changes in orthodontics. *Progress in Orthodontics*, 9(2), 66–73.
- Foosiri, P., & Changsiripun, C. (2019). Stability of anterior open bite in permanent dentition treated using extraction or non-extraction methods: A systematic review and meta-analysis of each method. *Orthodontic Waves*, 78(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.odw.2018.10.003>
- Fränkel, R., & Fränkel, C. (1983). A functional approach to treatment of skeletal open bite. *American Journal of Orthodontics*, 84(1), 54–68. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(83\)90148-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(83)90148-3)
- Freitas, K. M. S., Guirro, W. J. G., de Freitas, D. S., de Freitas, M. R., & Janson, G. (2017). Relapse of anterior crowding 3 and 33 years postretention. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(6), 798–810. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.05.022>
- Ghaemina, H., Perry, J., Nienhuijs, M. EL, Toedtling, V., Tummers, M., Hoppenreijts, T. J., ... Mettes, T. G. (2016). Surgical removal versus retention for the management of asymptomatic disease-free impacted wisdom teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003879.pub4>
- Greco, P. M., English, J. D., Briss, B. S., Jamieson, S. A., Kastrop, M. C., Castelein, P. T., ... Chung, C.-H. (2010). Posttreatment tooth movement: For better or for worse. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial*

- Orthopedics*, 138(5), 552–558.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.06.002>
- Grieve, G. W. (1944). The stability of the treated denture. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 30(4), 171–195. [https://doi.org/10.1016/S0096-6347\(44\)90226-7](https://doi.org/10.1016/S0096-6347(44)90226-7)
- Haynes, S. (1975). The Lower Lip Position and Incisor Overjet. *British Journal of Orthodontics*, 2(4), 201–205. <https://doi.org/10.1179/bjo.2.4.201>
- Heiser, W., Richter, M., Niederwanger, A., Neunteufel, N., & Kulmer, S. (2008). Association of the canine guidance angle with maxillary and mandibular intercanine widths and anterior alignment relapse: Extraction vs nonextraction treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(5), 669–680. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.04.044>
- Henneman, S., Von den Hoff, J. W., & Maltha, J. C. (2008). Mechanobiology of tooth movement. *The European Journal of Orthodontics*, 30(3), 299–306. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjn020>
- Hunt, N., Shah, R., Sinanan, A., & Lewis, M. (2006). Northcroft Memorial Lecture 2005. *Journal of Orthodontics*, 33(3), 187–197. <https://doi.org/10.1179/146531205225021660>
- Hurt, A. J. (2012). Digital technology in the orthodontic laboratory. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 141(2), 245–247. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.06.045>
- İshakoğlu, S., & Çokakoğlu, S. (2022). Evaluation of relapse with thermoplastic retainers equipped with microsensors. *The Angle Orthodontist*, 92(3), 340–346. <https://doi.org/10.2319/072221-578.1>

- Inchingolo, F., Inchingolo, A. M., Ceci, S., Carpentiere, V., Garibaldi, M., Riccaldo, L., ... Dipalma, G. (2023). Orthodontic Relapse after Fixed or Removable Retention Devices: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 13(20), 11442. <https://doi.org/10.3390/app132011442>
- Janson, G., de Carvalho Caffer, D., Henriques, J. F. C., Freitas, M. R., & Neves, L. S. (2004). Stability of Class II, division 1 treatment with the headgear-activator combination followed by the edgewise appliance. *The Angle Orthodontist*, 74, 594–604.
- Katsaros, C., Livas, C., & Renkema, A.-M. (2007). Unexpected complications of bonded mandibular lingual retainers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(6), 838–841. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.07.011>
- Kingsley NW. (1880). A Treatise on Oral Deformities as a Branch of Mechanical Surgery. . . *D.Appleton* .
- Koletsis, D., Makou, M., & Pandis, N. (2018). Effect of orthodontic management and orofacial muscle training protocols on the correction of myofunctional and myoskeletal problems in developing dentition. A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 21(4), 202–215. <https://doi.org/10.1111/ocr.12240>
- Kouskoura, T., Katsaros, C., & von Gunten, S. (2017). The Potential Use of Pharmacological Agents to Modulate Orthodontic Tooth Movement (OTM). *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00067>
- Küçükkeleş, N., & Cenk Ceylanoğlu. (2003). Changes in lip, cheek, and tongue pressures after rapid maxillary

expansion using a diaphragm pressure transducer. *The Angle Orthodontist*, 73(6), 662–668.

Lapatki, B. G., Baustert, D., Schulte-Mönting, J., Frucht, S., & Jonas, I. E. (2006). Lip-to-incisor Relationship and Postorthodontic Long-term Stability of Cover-bite Treatment. *The Angle Orthodontist*, 76(6), 942–949. <https://doi.org/10.2319/090205-309>

Lapatki, B. G., Klatt, A., Mönting, J. S., Stein, S., & Jonas, I. E. (2004). A Retrospective Cephalometric Study for the Quantitative Assessment of Relapse Factors in Cover-Bite Treatment. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte Der Kieferorthopädie*, 65(6), 475–488. <https://doi.org/10.1007/s00056-004-0412-1>

Lentini-Oliveira, D., Carvalho, F., Junjie, L., Machado, M., Prado, G., Prado LB, F., & Qingsong, Y. (2005). Orthodontic and orthopaedic treatment for anterior open bite in children. In Débora Lentini-Oliveira (Ed.), *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005515>

Li, Z., Yu, M., Jin, S., Wang, Y., Luo, R., Huo, B., ... Liu, Y. (2019). Stress Distribution and Collagen Remodeling of Periodontal Ligament During Orthodontic Tooth Movement. *Frontiers in Pharmacology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01263>

Little, R. M. (1981). Stability and relapse of mandibular anterior alignment-first premolar extraction cases treated by traditional edgewise orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 80, 349–365.

- Little, R. M. (1990). Stability and Relapse of Dental Arch Alignment. *British Journal of Orthodontics*, 17(3), 235–241. <https://doi.org/10.1179/bjo.17.3.235>
- Little, R. M. (1999). Stability and relapse of mandibular anterior alignment: University of Washington Studies. *Seminars in Orthodontics*, 5(3), 191–204. [https://doi.org/10.1016/S1073-8746\(99\)80010-3](https://doi.org/10.1016/S1073-8746(99)80010-3)
- Little, R. M. (2009). Clinical implications of the University of Washington post-retention studies. *Journal of Clinical Orthodontics*, 43(10), 645–651.
- Little, R. M., & Riedel, R. A. (1989). Postretention evaluation of stability and relapse—Mandibular arches with generalized spacing. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 95(1), 37–41. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(89\)90133-9](https://doi.org/10.1016/0889-5406(89)90133-9)
- Little, R. M., Riedel, R. A., & Artun, J. (1988). An evaluation of changes in mandibular anterior alignment from 10 to 20 years postretention. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 93(5), 423–428. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(88\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0889-5406(88)90102-3)
- Littlewood, S. J., Kandasamy, S., & Huang, G. (2017). Retention and relapse in clinical practice. *Australian Dental Journal*, 62(S1), 51–57. <https://doi.org/10.1111/adj.12475>
- Littlewood, S. J., Russell, J. S., & Spencer, R. J. (2009). Why do orthodontic cases relapse? *Orthodontic Update*, 2(2), 38–44. <https://doi.org/10.12968/ortu.2009.2.2.38>
- Lopez-Gavito, G., Wallen, T. R., Little, R. M., & Joondeph, D. R. (1985). Anterior open-bite malocclusion: A longitudinal 10-year postretention evaluation of orthodontically treated patients. *American Journal of Orthodontics*, 87(3), 175–186. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(85\)90038-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90038-7)

- Lundström, A. F. (1925). Malocclusion of the teeth regarded as a problem in connection with the apical base. *International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography*, 11(12), 1109–1133. [https://doi.org/10.1016/S0099-6963\(25\)80052-8](https://doi.org/10.1016/S0099-6963(25)80052-8)
- Maia, N. G., Normando, A. D. C., Maia, F. A., Ferreira, M. A. F., & Alves, M. S. C. F. (2010). Factors associated with orthodontic stability: a retrospective study of 209 patients. *World Journal of Orthodontics*, 11(1).
- Maltha, J. C., Kuijpers-Jagtman, A. M., Von den Hoff, J. W., & Ongkosuwito, E. M. (2017). Relapse revisited—Animal studies and its translational application to the orthodontic office. *Seminars in Orthodontics*, 23(4), 390–398. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2017.07.009>
- Maltha, J. C., Vandevska-Radunovic, V., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2015). The biological background of relapse of orthodontic tooth movement. In *Biological mechanisms of tooth movement* (pp. 248–259). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118916148.ch17>
- Martin, C., Littlewood, S. J., Millett, D. T., Doubleday, B., Bearn, D., Worthington, H. V., & Limones, A. (2023). Retention procedures for stabilising tooth position after treatment with orthodontic braces. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5(5), CD002283. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002283.pub5>
- Marzouk, E. S., & Kassem, H. E. (2018). Long-term stability of soft tissue changes in anterior open bite adults treated with zygomatic miniplate-anchored maxillary posterior intrusion. *The Angle Orthodontist*, 88(2), 163–170. <https://doi.org/10.2319/072317-490.1>

- McGorray, S. P., Dolce, C., Kramer, S., Stewart, D., & Wheeler, T. T. (2012). A randomized, placebo-controlled clinical trial on the effects of recombinant human relaxin on tooth movement and short-term stability. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *141*(2), 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.07.024>
- Medina, M. C. G., Santos Cibelle Cristina Oliveira dos, Lima, B. O., Ferreira, M. B., & Normando, D. (2024). Impact of fixed orthodontic retainers on oral health-related quality of life: a longitudinal prospective study. *Dental Press Journal of Orthodontics*, *29*(1). <https://doi.org/10.1590/2177-6709.29.1.e242317.oar>
- Meikle, M. C. (2005). The tissue, cellular, and molecular regulation of orthodontic tooth movement: 100 years after Carl Sandstedt. *The European Journal of Orthodontics*, *28*(3), 221–240. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjl001>
- Melrose, C., & Millett, D. T. (1998). Toward a perspective on orthodontic retention? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *113*(5), 507–514. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70261-6](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70261-6)
- Miresmæili, A. F., Mollabashi, V., Gholami, L., Farhadian, M., Rezaei-Soufi, L., Javanshir, B., & Malekshoar, M. (2019). Comparison of conventional and laser-aided fiberotomy in relapse tendency of rotated tooth: A randomized controlled clinical trial. *International Orthodontics*, *17*(1), 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2019.01.018>
- Morton, S., & Pancherz, H. (2009). Changes in functional occlusion during the postorthodontic retention period: A prospective longitudinal clinical study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *135*(3), 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.04.041>

- Moss, J. P. (1980a). The Soft Tissue Environment of Teeth and Jaws. An Experimental and Clinical Study: Part 1. *British Journal of Orthodontics*, 7(3), 127–137. <https://doi.org/10.1179/bjo.7.3.127>
- Moss, J. P. (1980b). The Soft Tissue Environment of Teeth and Jaws. Experimental Malocclusion: Parts 2 and 3. *British Journal of Orthodontics*, 7(4), 205–216. <https://doi.org/10.1179/bjo.7.4.205>
- Mummolo, S., Nota, A., Marchetti, E., Padricelli, G., & Marzo, G. (2016). The 3D Tele Motion Tracking for the Orthodontic Facial Analysis. *BioMed Research International*, 2016, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2016/4932136>
- Oliver, G. R., Pandis, N., & Fleming, P. S. (2020). A prospective evaluation of factors affecting occlusal stability of Class II correction with Twin-block followed by fixed appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 157(1), 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.01.024>
- Oppenheim, A. (1934). The crisis in orthodontia Part I 2. Tissue changes during retention. Skogsborg's septotomy. *International Journal of Orthodontia and Dentistry for Children*, 20(8), 759–769. [https://doi.org/10.1016/S0097-0522\(34\)90022-8](https://doi.org/10.1016/S0097-0522(34)90022-8)
- Ozbek, M. M., Memikoglu, U. T. T., Altug-Atac, A. T., & Lowe, A. A. (2009). Stability of Maxillary Expansion and Tongue Posture. *The Angle Orthodontist*, 79(2), 214–220. <https://doi.org/10.2319/010908-12.1>
- Pancherz, H. (1991). The nature of class II relapse after herbst appliance treatment: A cephalometric long-term investigation. *American Journal of Orthodontics and*

Dentofacial Orthopedics, 100(3), 220–233.
[https://doi.org/10.1016/0889-5406\(91\)70059-6](https://doi.org/10.1016/0889-5406(91)70059-6)

- Partal, I., & Aksu, M. (2017). Changes in lips, cheeks and tongue pressures after upper incisor protrusion in Class II division 2 malocclusion: a prospective study. *Progress in Orthodontics*, 18(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s40510-017-0182-0>
- Pecora, N. G., Baccetti, T., & McNamara, J. A. (2008). The aging craniofacial complex: A longitudinal cephalometric study from late adolescence to late adulthood. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(4), 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.11.022>
- Perkovic, V., Alexander, M., Greer, P., Kamenar, E., & Anic-Milosevic, S. (2023). Association between arch width changes and long-term stability 20 years after orthodontic treatment with and without extractions. *The Angle Orthodontist*, 93(3), 261–268. <https://doi.org/10.2319/080822-557.1>
- Petrén, S., Bjerklin, K., & Bondemark, L. (2011). Stability of unilateral posterior crossbite correction in the mixed dentition: A randomized clinical trial with a 3-year follow-up. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(1), e73–e81. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.06.018>
- Petsos, H., Usherenko, R., Dahmer, I., Eickholz, P., Kopp, S., & Sayahpour, B. (2024). Influence of fixed orthodontic steel retainers on gingival health and recessions of mandibular anterior teeth in an intact periodontium - a randomized, clinical controlled trial. *BMC Oral Health*, 24(1), 236. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03998-0>

- Pisani, L., Bonaccorso, L., Fastuca, R., Spena, R., Lombardo, L., & Caprioglio, A. (2016). Systematic review for orthodontic and orthopedic treatments for anterior open bite in the mixed dentition. *Progress in Orthodontics*, 17(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s40510-016-0142-0>
- Pratt, M. C., Kluemper, G. T., Hartsfield, J. K., Fardo, D., & Nash, D. A. (2011). Evaluation of retention protocols among members of the American Association of Orthodontists in the United States. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(4), 520–526. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.10.023>
- Proffit, W. R. (1978). Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *The Angle Orthodontist*, 48(3), 175–186.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B. E., & Sarver, D. M. (2019). *Contemporary Orthodontics, 6e: South Asia Edition-E-Book* (6e: South Asia). Elsevier Health Sciences.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., & Sarver, D. M. (2007). Later stages of development. *Contemporary Orthodontics*. Mosby Elsevier, 63–94.
- Quinzi, V, Scibetta, E. T., Marchetti, E., Mummolo, S., Gianni, A. B., Romano, M., ... Marzo, G. (2018). Analyze my face. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 32(2 Suppl. 1), 149–158.
- Quinzi, Vincenzo, Carli, E., Mummolo, A., De Benedictis, F., Salvati, S. E., & Mampieri, G. (2023). Fixed and removable orthodontic retainers, effects on periodontal health compared: A systematic review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 13(2), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2023.02.015>

- Reitan, K. (1959). Tissue rearrangement during retention of orthodontically rotated teeth. *The Angle Orthodontist*, 29(2), 105–113.
- Reitan, K. (1967). Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics*, 53(10), 721–745. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(67\)90118-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(67)90118-2)
- Reitan, K. (1969). Principles of retention and avoidance of posttreatment relapse. *American Journal of Orthodontics*, 55(6), 776–790. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(69\)90050-5](https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90050-5)
- Renkema, A. M., Sips, E. T. H., Bronkhorst, E., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2009). A survey on orthodontic retention procedures in The Netherlands. *European Journal of Orthodontics*, 31(4), 432–437. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjn131>
- Richardson, M. (1998). Lower arch crowding in the third decade. *The European Journal of Orthodontics*, 20(5), 597–607. <https://doi.org/10.1093/ejo/20.5.597>
- Rinchuse, D. J., Kandasamy, S., & Sciote, J. (2007). A contemporary and evidence-based view of canine protected occlusion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(1), 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.04.026>
- Rogers, A. P. (1922). Making facial muscles our allies in treatment and retention}. *Philadelphia.: SS White Dental Manufacturing Company*.
- Rohit, K. (2018). Open bite malocclusion: An overview. *Journal of Oral Health and Craniofacial Science*, 011–020. <https://doi.org/10.29328/journal.johcs.1001022>

- Rowland, H., Hichens, L., Williams, A., Hills, D., Killingback, N., Ewings, P., ... Sandy, J. R. (2007). The effectiveness of Hawley and vacuum-formed retainers: A single-center randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(6), 730–737. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.06.019>
- Sacomanno, S., Quinzi, V., D’Andrea, N., Albani, A., Coceani Paskay, L., & Marzo, G. (2021). Traumatic Events and Eagle Syndrome: Is There Any Correlation? A Systematic Review. *Healthcare*, 9(7), 825. <https://doi.org/10.3390/healthcare9070825>
- Schütz-Fransson, U., Lindsten, R., Bjerklin, K., & Bondemark, L. (2017). Twelve-year follow-up of mandibular incisor stability: Comparison between two bonded lingual orthodontic retainers. *The Angle Orthodontist*, 87(2), 200–208. <https://doi.org/10.2319/031716-227.1>
- Shah, A. A. (2003). Postretention changes in mandibular crowding: a review of the literature. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(3), 298–308. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00447-5](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00447-5)
- Shishkin, K. M., Arsenina, O. I., Shishkin, M. K., & Popova, N. V. (2016). Stability of orthodontic correction: preconditions of relapses caused by occlusal forces. *Stomatologiya*, 95(5), 47. <https://doi.org/10.17116/stomat201695547-50>
- Shoukat Ali, U., Zafar, K., Hoshang Sukhia, R., Fida, M., & Ahmed, A. (2023). Effect of bonded and removable retainers on occlusal settling after orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Dental and Medical Problems*, 60(2), 327–334. <https://doi.org/10.17219/dmp/146194>

- Sinclair, P. M., & Little, R. M. (1983). Maturation of untreated normal occlusions. *American Journal of Orthodontics*, 83(2), 114–123. [https://doi.org/10.1016/S0002-9416\(83\)90296-8](https://doi.org/10.1016/S0002-9416(83)90296-8)
- Southard, Thomas E., Southard, K. A., & Stiles, R. N. (1990). Factors influencing the anterior component of occlusal force. *Journal of Biomechanics*, 23(12), 1199–1207. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(90\)90377-F](https://doi.org/10.1016/0021-9290(90)90377-F)
- Southard, Thomas E., Behrents, R. G., & Tolley, E. A. (1989). The anterior component of occlusal force Part 1. Measurement and distribution. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 96(6), 493–500. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(89\)90116-9](https://doi.org/10.1016/0889-5406(89)90116-9)
- Southard, Thomas E., Behrents, R. G., & Tolley, E. A. (1990). The anterior component of occlusal force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 97(1), 41–44. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(05\)81707-X](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(05)81707-X)
- Southard, Thomas E., Southard, K. A., & Tolley, E. A. (1992a). Periodontal force: A potential cause of relapse. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 101(3), 221–227. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(92\)70090-W](https://doi.org/10.1016/0889-5406(92)70090-W)
- Southard, Thomas E., Southard, K. A., & Tolley, E. A. (1992b). Periodontal force: A potential cause of relapse. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 101(3), 221–227. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(92\)70090-W](https://doi.org/10.1016/0889-5406(92)70090-W)
- Steegmans, P. A. J., & Meursing Reynders, R. A. (2020). Fixed orthodontic retainers and periodontal health. *Evidence-Based Dentistry*, 21(4), 146–149. <https://doi.org/10.1038/s41432-020-0144-0>

- Surbeck, B. T., Årtun, J., Hawkins, N. R., & Leroux, B. (1998). Associations between initial, posttreatment, and postretention alignment of maxillary anterior teeth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 113(2), 186–195. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70291-4](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70291-4)
- Tabellion, M., Simgen, J., & Lisson, J. A. (2025). Post-treatment stability after insertion of CAD/CAM fabricated or Conventional fixed orthodontic retainers: a two-year follow-up. *Clinical Oral Investigations*, 29(6), 294. <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06368-4>
- Tacken, M. P. E., Cosyn, J., De Wilde, P., Aerts, J., Govaerts, E., & Vannet, B. V. (2010). Glass fibre reinforced versus multistranded bonded orthodontic retainers: a 2 year prospective multi-centre study. *The European Journal of Orthodontics*, 32(2), 117–123. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp100>
- Taner, T. (Uğur), Haydar, B., Kavuklu, I., & Korkmaz, A. (2000). Short-term effects of fiberotomy on relapse of anterior crowding. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 118(6), 617–623. <https://doi.org/10.1067/mod.2000.110637>
- Tanne, Kazuo and Inoue, Yasuko and Sakuda, & Mamoru. (1995). Biomechanical behavior of the periodontium before and after orthodontic tooth movement. *The Angle Orthodontist*, 65(2), 123–128.
- Tenshin, S. a, Tuchihashi, M., Sou, K., Lew, H., Hayashi, H., Tanimura, I., & Kawata, T. (1995). Remodeling mechanisms of transseptal fibers during and after tooth movement. *The Angle Orthodontist*, 65(2), 141–150.

- Tsiopas, N., Nilner, M., Bondemark, L., & Bjerklın, K. (2013). A 40 years follow-up of dental arch dimensions and incisor irregularity in adults. *The European Journal of Orthodontics*, 35(2), 230–235. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjr121>
- Tsoukala, E., Lyros, I., Tsolakis, A. I., Maroulakos, M. P., & Tsolakis, I. A. (2023). Direct 3D-Printed Orthodontic Retainers. A Systematic Review. *Children*, 10(4), 676. <https://doi.org/10.3390/children10040676>
- Tweed, C. H. (1944). Indications for the extraction of teeth in orthodontic procedure. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 30(8), 405–428. [https://doi.org/10.1016/S0096-6347\(44\)90038-4](https://doi.org/10.1016/S0096-6347(44)90038-4)
- Tweed, C. H. (1952). Why I extract teeth in the treatment of certain types of malocclusion. . *Alpha Omegan*, 46, 93–104.
- Van Dyck, C., Dekeyser, A., Vantricht, E., Manders, E., Goeleven, A., Fieuws, S., & Willems, G. (2016). The effect of orofacial myofunctional treatment in children with anterior open bite and tongue dysfunction: a pilot study. *The European Journal of Orthodontics*, 38(3), 227–234. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjv044>
- Van Leeuwen, E. J., Maltha, J. C., Kuijpers-Jagtman, A. M., & Van't Hof, M. A. (2003). The effect of retention on orthodontic relapse after the use of small continuous or discontinuous forces. An experimental study in beagle dogs. *European Journal of Oral Sciences*, 111(2), 111–116. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0722.2003.00024.x>
- Vasilakos, G., Koniaris, A., Wolf, M., Halazonetis, D., & Gkantidis, N. (2018). Early anterior crossbite correction through posterior bite opening: a 3D superimposition

prospective cohort study. *European Journal of Orthodontics*, 40(4), 364–371.
<https://doi.org/10.1093/ejo/cjx074>

Wiedel, A.-P., & Bondemark, L. (2015). Stability of anterior crossbite correction: A randomized controlled trial with a 2-year follow-up. *The Angle Orthodontist*, 85(2), 189–195.
<https://doi.org/10.2319/041114-266.1>

Wouters, C., Lamberts, T. A., Kuijpers-Jagtman, A. M., & Renkema, A. M. (2019a). Development of a clinical practice guideline for orthodontic retention. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 22(2), 69–80.
<https://doi.org/10.1111/ocr.12302>

Wouters, C., Lamberts, T. A., Kuijpers-Jagtman, A. M., & Renkema, A. M. (2019b). Development of a clinical practice guideline for orthodontic retention. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 22(2), 69–80.
<https://doi.org/10.1111/ocr.12302>

ORTODONTİ ALANINDA
AKADEMİK TARTIŞMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com