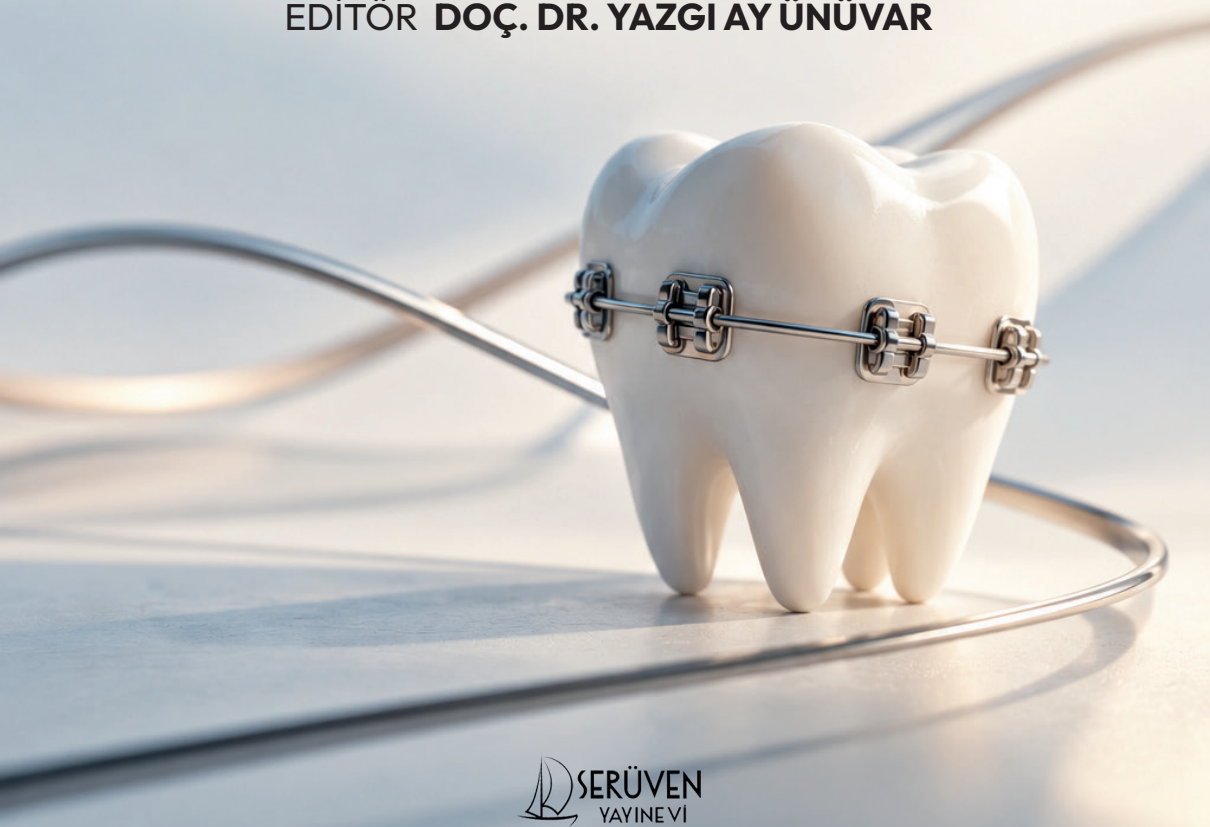
EKİM 2026

Ortodonti Alanında

Uluslararası Teori, Araştırma ve Derlemeler

EDİTÖR **DOÇ. DR. YAZGI AY ÜNÜVAR**



SERÜVEN YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2026

ISBN • 978-625-5054-04-3

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing
Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
Telefon / Phone: 05437675765
web: www.seruvenyayinevi.com
e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume
Sertifika / Certificate No: 47083

ORTODONTİ ALANINDA ULUSLARARASI TEORİ, ARAŞTIRMA VE DERLEMELER

EKİM 2026

EDİTÖR **DOÇ. DR. YAZGI AY ÜNÜVAR**

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

DOĞRUDAN ÜÇ BOYUTLU BASILI ŞEFFAF PLAKLAR: ÜRETİM, MATERYAL ÖZELLİKLERİ VE KLİNİK UYGULAMALAR 1

Saniye Merve CENGİZ

Sevde Nihal YONGACI

BÖLÜM 2

OBSTRÜKTİF UYKU APNESİNDE KRANİYOFASİYAL FENOTİPLER VE ORTODONTİK YAKLAŞIMLAR 25

Hande UZUNÇIBUK

BÖLÜM 3

ŞEFFAF PLAK TEDAVİLERİNDE DİŞ HAREKETLERİNİN BİYOMEKANİK VE KLİNİK PLANLANMASI.....51

Güray GÜRLER

BÖLÜM 4

MANDİBULAR ÜÇÜNCÜ MOLARLARIN ALT ANTERİOR ÇAPRAŞIKLIK VE ORTODONTİK STABİLİTE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....77

Seda SAĞOĞLU

Bölüm 1

DOĞRUDAN ÜÇ BOYUTLU BASILI ŞEFFAF PLAKLAR: ÜRETİM, MATERYAL ÖZELLİKLERİ VE KLİNİK UYGULAMALAR

Saniye Merve Cengiz[1]
Sevde Nihal Yongacı[2]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye. ORCID: 0000-0003-0803-8735
2 Arş. Gör. , Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye. ORCID: 0009-0003-5359-8157

1. Giriş

Şeffaf plak tedavisi, son yirmi yılda ortodontinin en hızlı dönüşen alanlarından biri hâline gelmiştir. Kesling'in (1945) sıralı diş konumlandırma aygıtıyla başlayan ve Ponitz'in (1971) "görünmez retansiyon apareyi" kavramıyla süren bu gelişim çizgisi, Sheridan, LeDoux ve McMinn'in (1993) Essix retansiyon apareyleriyle rutin klinik pratiğe girmiş; 1990'ların sonunda bilgisayar destekli tasarım ve üretimin (CAD/CAM) benimsenmesiyle çok sayıda plağın ardışık olarak planlanıp üretilebildiği günümüz anlayışına ulaşmıştır. Estetik ve konfor beklentisinin artması, dijital iş akışlarının yaygınlaşması ve hasta profilindeki değişimler, şeffaf plakları sabit aygıtlara karşı giderek daha sık tercih edilen bir alternatif konumuna taşımıştır.

Buna karşılık, şeffaf plak tedavisinin öngörülebilirliği uzun süre tartışma konusu olmuştur. Kravitz, Kusnoto, BeGole, Obrez ve Agran (2009) planlanan diş hareketlerinin ortalama %41'inin klinik olarak gerçekleştiğini bildirmiş; on yıl sonra yapılan izlem çalışması bu oranın yalnızca %50 düzeyine çıktığını göstermiştir (Haouili, Kravitz, Vaid, Ferguson ve Makki, 2020). Bu sınırlı öngörülebilirliğin önemli bir bileşeni, plakların geleneksel üretim yöntemi olan termoform (ısıyla şekillendirme) sürecinden kaynaklanmaktadır. Termoplastik bir levhanın ısıtılarak fiziksel model üzerine vakumla şekillendirilmesi, materyalde belirgin incelme, boyutsal sapma ve mekanik özelliklerde bozulmaya yol açmakta; bunun sonucunda kuvvet iletimi tutarsızlaşmakta ve başlangıç kuvvetleri fizyolojik sınırları aşabilmektedir (Dalaie, Fatemi ve Ghaffari, 2021; Ryu, Kwon, Jiang, Cha ve Kim, 2018).

Bu sorunlara yanıt olarak 2019 yılında, plağın ara basamak olmaksızın doğrudan fotopolimerize rezinden eklemeli üretimle (additive manufacturing) basıldığı doğrudan üç boyutlu (3B) basılı şeffaf plak kavramı klinik kullanıma sunulmuştur (Y. J. Kim, Miranda ve Kim, 2026; Tartaglia ve ark., 2021). Bu yaklaşım, fiziksel model üretimini ve termoform aşamasını ortadan kaldırmakla kalmamakta; şekil hafızalı polimer (shape memory polymer) tabanlı yeni rezinler, bölgesel kalınlık değişimi, lokalize basınç uygulama ve kuvvetten arındırma alanları ile plak gövdesine entegre yardımcı elemanlar gibi termoformla elde edilmesi mümkün olmayan tasarım serbestlikleri sunmaktadır.

Bu bölümde, doğrudan 3B basılı şeffaf plakların geleneksel üretimden farklılaşan üretim süreci, kullanılan materyallerin yapısı ve özellikleri, mekanik ve biyomekanik davranışı, termoform plaklarla karşılaştırmalı performansı, klinik uygulama alanları ve tedavi etkinliğine ilişkin güncel kanıtlar ele alınmakta; avantaj ve sınırlılıkları ile biyouyumluluk konuları tartışılarak gelecek perspektifleri değerlendirilmektedir. Mevcut literatürün büyük bölümünün in vitro çalışmalardan ve kısa izlem süreli klinik serilerden oluştuğu, uzun dönem randomize kontrollü verilerin henüz sınırlı olduğu göz önünde bulundurularak, bulgular kanıt düzeyleriyle birlikte sunulmuştur.

2. Şeffaf Plaklarda Geleneksel Üretimden Doğrudan 3B Baskıya Geçiş

Şeffaf plakların üretim tarihi, elle şekillendirilen kauçuk aygıtlardan tam dijital eklemeli üretime uzanan bir dönüşümü yansıtmaktadır. Kesling (1945) tarafından tanımlanan diş konumlandırma aygıtı, hedef oklüzyonun mum düzenekte oluşturulup kauçukla kopyalanmasına dayanıyordu; yoğun el işçiliği gerektiren bu yöntem, 1960'larda Nahoum'un şeffaf termoplastik levhaları vakumla şekillendirme tekniğiyle birleştirmesiyle pratikleşmiş (Y. J. Kim ve ark., 2026), Ponitz (1971) ve McNamara, Kramer ve Juenker (1985) "görünmez retansiyon apareyi" kavramını geliştirmiş, Sheridan ve ark. (1993) ise Essix retansiyon apareyleriyle ofis içi üretim protokolünü standartlaştırmıştır. Bu dönemde plaklar ağırlıklı olarak retansiyon ve küçük diş hareketleri için kullanılmıştır. 1990'ların sonunda CAD/CAM teknolojisinin ortodontiye girişi, tedavinin tamamının sanal ortamda aşamalandırılmasını ve her aşama için ayrı bir plak üretilmesini mümkün kılarak şeffaf plak tedavisini kapsamlı bir tedavi modeline dönüştürmüştür (Maspero ve Tartaglia, 2020; Tartaglia ve ark., 2021).

Geleneksel dijital iş akışında 3B baskı dolaylı bir rol üstlenmektedir: Sanal kurgu (set-up) ile oluşturulan her aşamanın modeli stereolitografi (SLA) veya dijital ışık işleme (DLP) yazıcılarla basılmakta, ardından polietilen tereftalat glikol (PETG), termoplastik poliüretan (TPU) veya çok katmanlı levhalar bu modeller üzerinde ısı ve vakum ya da basınçla şekillendirilmekte; son olarak plak kesilmekte ve kenarları düzeltilmektedir. Bu zincirde model baskısına, levhanın ısıtılmasına, şekillendirme sırasında gerilmeye ve manuel kesime bağlı hatalar birikmektedir (Koenig ve ark., 2022). Dahası, tek kullanımlık modeller ve levha artıkları önemli miktarda polimer atığı oluşturmaktadır (Macrì, D'Albis, Marciani, Nardella ve Festa, 2024).

Termoform sürecinin materyal üzerindeki etkileri in vitro çalışmalarla ayrıntılı biçimde belgelenmiştir. Ryu ve ark. (2018) termoform sonrasında levha kalınlığının ve saydamlığın azaldığını, su emiliminin ise arttığını göstermiş; Dalaie ve ark. (2021) dinamik mekanik analizde PETG'nin eğilme modülünün yalnızca termoform işlemine bağlı olarak yaklaşık %80 oranında düştüğünü bildirmiştir. Levha kalınlığındaki azalmanın %45 düzeyine ulaşabildiği gösterilmiştir (Lee ve ark., 2022; Ryokawa, Miyazaki, Fujishima, Miyazaki ve Maki, 2006). Kalınlık, plağın rijitliğini ve ilettiği kuvveti doğrudan belirlediğinden (Elshazly ve ark., 2024), bu değişkenlik aynı reçeteyle üretilen plaklar arasında tutarsız kuvvet düzeylerine yol açmaktadır. Termoplastik materyallerin sabit deformasyon altında gösterdiği belirgin stres gevşemesi de klinik kuvvetin ilk saatlerde hızla azalmasına neden olmaktadır (Albertini ve ark., 2022; Lombardo ve ark., 2017). Jindal, Juneja, Siena, Bajaj ve Breedon (2019), termoform plaklarla karşılaştırıldığında 3B basılı plakların daha yüksek sertlik ve daha iyi geometrik doğruluk sergilediğini erken dönemde göstererek doğrudan üretimin potansiyeline işaret etmiştir.

Bu birikim, plağın ara basamak olmaksızın doğrudan basılması fikrini gündeme getirmiştir. 2019 yılında Graphy Inc. (Seul, Kore) tarafından geliştirilen şekil hafızalı fotopolimer rezin (Tera Harz TC-85) ile ilk doğrudan basılı şeffaf plaklar klinik kullanıma sunulmuştur (Y. J. Kim ve ark., 2026; Lee ve ark., 2022). Doğrudan baskıda fiziksel model ve termoform aşamaları ortadan kalkmakta; sanal tedavi planlaması temel alınarak oluşturulan plak geometrisi, önceden belirlenen kalınlık ve morfolojik özelliklere uygun olarak doğrudan üretilmektedir. Böylece 3B baskı, dolaylı bir model üretim aracı olmaktan çıkıp aygıtın kendisini üreten teknolojiye dönüşmüştür (Narongdej, Hassanpour, Alterman, Rawlins-Buchanan ve Barjasteh, 2024). İzleyen yıllarda farklı üreticilerin rezinleri Avrupa'da CE (Sınıf IIa) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde FDA 510(k) (Sınıf II) onayları alarak pazara girmiştir (Zhang ve Wu, 2026).

Bununla birlikte geçişin kanıt temeli henüz olgunlaşmamıştır. Abela, Castroflorio ve Migliorati (2026) tarafından yayımlanan kapsam derlemesinde doğrudan baskıyla termoform üretimi karşılaştıran 22 kaynağın yalnızca üçünün hasta düzeyinde klinik çalışma, ikisinin in vivo yaşlanma çalışması olduğu; literatürün %59 oranında laboratuvar çalışmalarından oluştuğu ve en uzun karşılaştırmalı izlem süresinin altı ay olduğu saptanmıştır. Yazarlar doğrudan baskıyı "uygulanabilir ancak henüz tam olarak doğrulanmamış" bir üretim yolu olarak nitelendirmekte; mevcut kanıtların klinik üstünlükten çok teknik uygulanabilirliği ve kısa dönem eşdeğerliği desteklediğini vurgulamaktadır. Benzer biçimde Jorge ve ark. (2026) tarafından yapılan sistematik derleme ve meta-analiz, iki üretim yönteminin farklı fiziksel ve mekanik davranışlar sergilediğini ancak kanıtların tamamen in vitro çalışmalara dayandığını ve klinik çıkarımların ihtiyatla yapılması gerektiğini belirtmiştir.

3. Doğrudan 3B Basılı Şeffaf Plakların Üretim Süreci

Doğrudan baskı iş akışının ilk aşamaları termoform üretimle ortaktır: Ağız içi tarayıcıyla elde edilen dijital modeller üzerinde diş hareketleri sanal olarak planlanmakta ve her tedavi aşaması için bir STL (standart tessellation language) dosyası oluşturulmaktadır. Ayrışma bu noktadan sonra başlamaktadır. Termoform yönteminde bu dosyalar fiziksel model baskısına gönderilirken, doğrudan baskı yönteminde ise her tedavi aşamasına ait dijital model üzerinden, plağın 3B yapısını temsil eden sanal bir aparey geometrisi oluşturulmaktadır. Dijital plak tasarım yazılımları, materyal kalınlığının bölgesel olarak düzenlenmesine, plak kenar sınırlarının (trimline) diş ve anatomik bölgeye özgü olarak değiştirilmesine, iç yüzeyde lokalize basınç uygulama ve hareket boşluğu bölgelerinin oluşturulmasına ve buton, kanca veya ısırma bloğu gibi yardımcı elemanların doğrudan plak yapısına entegre edilmesine olanak sağlamaktadır (Y. J. Kim ve ark., 2026; Narongdej ve ark., 2024). Bu tasarım serbestliği, kuvvet sisteminin her maloklüzyonun biyomekanik gereksinimine göre özelleştirilmesini sağlayan temel farktır.

Tasarlanan plak, DLP veya sıvı kristal ekran (LCD) tabanlı fotopolimerizasyon yazıcılarda, üreticinin belirlediği katman kalınlığı, pozlama süresi ve baskı açısıyla (build angle) basılmaktadır. Baskı açısı ve destek yerleşimi boyutsal doğruluğu ve yüzey kalitesini etkileyen kritik değişkenlerdir (Avolese ve ark., 2026; Y. J. Kim ve ark., 2026). Açık sistem (open-system) üretim yaklaşımı, fotopolimer rezinlerin belirli bir üreticiye ait cihazlarla sınırlandırılmaksızın, teknik açıdan uyumlu farklı 3B yazıcılar ve son polimerizasyon üniteleriyle kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, üretim sürecinde cihaz seçimi açısından esneklik ve potansiyel maliyet avantajı sağlamakla birlikte, baskı parametrelerinin ve son polimerizasyon koşullarının yeterli düzeyde doğrulanmaması durumunda boyutsal doğruluk, mekanik özellikler ve klinik uyum üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle açık sistemlerde kullanılan üretim protokollerinin materyale özgü olarak doğrulanması önem taşımaktadır. Eklemeli üretimde termoformun aksine materyal incelmesi değil, nominal kalınlığa göre yaklaşık %12 düzeyinde bir fazla yapılanma (overbuild) gözlenmektedir (Lee ve ark., 2022); bu nedenle kalınlık hedefleri tasarım aşamasında buna göre belirlenmelidir. Katmanlı polimerizasyon sırasında biriken büzülme ise özellikle servikal bölgede plak–diş aralığının artmasına neden olabilmektedir (Park ve ark., 2023).

Baskı sonrası işlemler, plağın doğrudan ağız içinde kullanılacak nihai ürün olması nedeniyle hem mekanik bütünlük hem de hasta güvenliği açısından belirleyicidir. Baskı sonrası protokol materyale özgüdür; temizleme yöntemi, kürleme atmosferi, ışık dalga boyu ve kürleme süresi üreticiden üreticiye değişmekte olup her rezin için üreticinin doğruladığı protokol izlenmelidir (Goracci ve ark., 2025; Zhang ve Wu, 2026). Graphy TC-85 için tanımlanan ve literatürde en sık atıf yapılan protokol şu basamaklardan oluşmaktadır (Y. J. Kim ve ark., 2026; Šimunović ve ark., 2024):

1. Plakların yapı platformundan ayrılması.

2. Yüzeydeki polimerize olmamış rezinin santrifüj (spinner) ile uzaklaştırılması; oklüzal yüzey dışa bakacak şekilde yerleştirilen plaklar için tek bir altı dakikalık döngü önerilmektedir. Model temizliğinde yaygın olarak kullanılan izopropil alkol (IPA), mekanik özellikleri ve yüzey mikro yapısını bozduğu için doğrudan basılı plaklarda kontrendikedir.

3. Desteklerin manuel olarak uzaklaştırılması.

4. Azot atmosferinde son kürleme. Oksijen serbest radikal polimerizasyonunu inhibe ederek yüzeyde polimerize olmamış bir tabaka bırakmakta; oksijenden arındırılmış ortamda kürleme çapraz bağ yoğunluğunu arttırmakta ve rezidüel monomer içeriğini azaltmaktadır. Doğru kürlenen plak sarımsı görünümden cam benzeri saydamlığa geçmektedir.

5. 80 °C distile suda bir dakika ultrasonik temizlik.

6. Kalite kontrolü: Plağın 100 °C kaynar suda bir dakika bekletilmesi. Yeterli çapraz bağlanma sağlanmışsa optik berraklık korunmakta; bulanıklaşma yetersiz polimerizasyonun göstergesidir ve plak klinik kullanımdan çıkarılmaktadır.

Baskı sonrası işlemlerin etkisi deneysel olarak da gösterilmiştir. Šimunović ve ark. (2024), TC-85 örneklerinde farklı temizleme yöntemleri (santrifüj, etanol, IPA, IPA + su) ile hava veya azot ortamında kürlemeyi karşılaştırmış; dönüşüm derecesinin tüm gruplarda %96,5–%98,4 aralığında yüksek kalmakla birlikte polimerizasyon ortamının varyansın %24'ünü açıkladığını saptamıştır. Daha çarpıcı fark mekanik özelliklerde ortaya çıkmış, standart protokol (santrifüj + azot) ile 1881 MPa olan eğilme modülü IPA + hava grubunda 805 MPa'ya gerilemiştir. Yazarlar oksijenin polimerizasyon üzerindeki olumsuz etkisini vurgulamış ve etanol ile temizlemeyi izleyen azotta kürlemeyi geçerli bir alternatif olarak tanımlamıştır. Zhang ve Wu (2026) da santrifüjle temizlemenin IPA'ya kıyasla optik berraklığı ve mekanik bütünlüğü daha iyi koruduğunu, nihai biyouyumluluğun ve renk stabilitesinin büyük ölçüde bu basamaklara bağlı olduğunu belirtmektedir. Yetersiz kürleme veya uygunsuz temizlik, rezidüel monomer salımı üzerinden sitotoksisite riskini artırdığından (Goracci ve ark., 2025), üretici protokolüne tam uyum doğrudan baskının klinik güvenliğinin ön koşulu olarak kabul edilmelidir.

Fiziksel model ve termoform aşamalarının kaldırılması, iş akışını kısaltmanın yanı sıra aynı gün plak teslimini olanaklı kılabilecek bir üretim hızı ve model atığının ortadan kalkmasıyla çevresel yük azalması vaat etmektedir (Macrì ve ark., 2024; Zhang ve Wu, 2026). Buna karşılık azot kürleme ünitesi, santrifüj ve uyumlu yazıcı gereksinimi başlangıç yatırımını artırmakta; sürecin başarısı her basamağın standardize edilmesine bağlı kalmaktadır.

4. Doğrudan 3B Basılı Şeffaf Plak Materyalleri

Termoform plaklarda kullanılan PETG, TPU ve çok katmanlı termoplastikler (Bichu ve ark., 2023) doğrudan baskıya uygun değildir; eklemeli üretim, ışıkla polimerize olan sıvı rezinler gerektirmektedir. Doğrudan basılı plak rezinleri ağırlıklı olarak üretan metakrilat/akrilat kimyasına dayanmaktadır. Alifatik üretan metakrilatlar, ultraviyole stabiliteleri, toklukları ve mekanik performansları nedeniyle bu alanda referans kimya olarak kabul edilmekte; ticari formülasyonların çoğu tek bir monomer ağı yerine hibrit poliüretan–metakrilat sistemlerinden oluşmaktadır (Zhang ve Wu, 2026). En yaygın incelenen rezin olan Tera Harz TC-85 (Graphy Inc., Seul, Kore) vinil ester–üretan yapısında tanımlanmış (Can ve ark., 2022) ve ekstraktlarında başlıca monomer olarak üretan dimetakrilat (UDMA) saptanmıştır (Willi ve ark., 2023).

Bu rezinleri termoplastiklerden ayıran temel özellik şekil hafızasıdır. Şekil hafızalı polimerler, yapısal stabilite sağlayan sert segmentler ile esneklik

sağlayan yumuşak segmentlerden oluşan çapraz bağlı ağlardır. Cam geçiş sıcaklığının üzerine ısıtıldığında yumuşak segmentler geçici ve geri dönüşümlü deformasyona izin vermekte; ağız içi sıcaklıkta ise sert segmentler programlanmış geometriyi geri kazandırmaktadır (Lee ve ark., 2022). Elshazly ve ark. (2021) tipodont modelinde şekil hafızalı plakların ısıtıldıktan sonra programlanmış formlarını geri kazandığını göstermiş; TC-85'in geometrik deformasyonun yaklaşık %96'sını 60 dakika içinde geri kazandığı bildirilmiştir (Zhang ve Wu, 2026). Bu özellik sayesinde klinik uygulamada plak, yerleştirilmeden önce sıcak suda ısıtılarak yumuşatılabilmekte, derin andırkatlara veya çok sayıda ataşmana sahip dişlere kolayca adapte edilebilmekte ve ağızda vücut sıcaklığıyla programlanmış şekline dönerek kuvvet potansiyelini geri kazanmaktadır (Y. J. Kim ve ark., 2026). Her yeniden yerleştirmede termal aktivasyonun yinelenmesi, sabit deformasyon testlerinin yakalayamadığı dinamik bir kuvvet yenilenmesi mekanizması olarak öne sürülmektedir.

Materyalin fizikokimyasal karakterizasyonu da büyük ölçüde TC-85 üzerinden yapılmıştır. Lee ve ark. (2022) rezinin termo-mekanik davranışını, sıcaklığa bağlı modül değişimini ve şekil geri kazanımını tanımlamış; Atta ve ark. (2024) dönüşüm derecesi, su emilimi ve mekanik özellikleri kapsayan ayrıntılı bir karakterizasyon sunmuştur. Sabit ısıl işlem sonrası dönüşüm derecesi, kullanılan yönteme göre %83 (Willi ve ark., 2023) ile %96–%98 (Šimunović ve ark., 2024) arasında bildirilmiştir. Oda sıcaklığında ölçülen indentasyon modülü yaklaşık 2600 MPa (Can ve ark., 2022), eğilme modülü ise standart protokolle yaklaşık 1900 MPa düzeyindedir (Šimunović ve ark., 2024). Vücut sıcaklığında modül belirgin biçimde düşmekte; bu düşüş, şekil hafızalı davranışın ve düşük kuvvet iletiminin fiziksel temelini oluşturmaktadır. TC-85'in elastik aralığının (%4,65) PETG'ninkinden (%3,92) geniş olması, daha büyük aktivasyonların kalıcı deformasyon olmadan karşılanabileceği anlamına gelmektedir (Y. J. Kim ve ark., 2026). Öte yandan su emilimi ve plastikleşme, geometrik geri kazanımın ağız içinde sürdürülebilir kuvvete dönüşmesini sınırlayabilir (Zhang ve Wu, 2026).

Aynı üreticinin ikinci rezini TA-28, farklı bir mekanik profil sunmaktadır. Oyonarte ve ark. (2026) 37 °C suda 14 gün bekletme sonrasında TA-28'in Young modülünü 311,10 MPa, TC-85'inkini 289,58 MPa; nihai çekme dayanımını ise sırasıyla 21,52–35,06 MPa ve 14,38–24,29 MPa olarak bildirmiştir. Daha rijit olan TA-28, yüksek kuvvet ifadesi, tork kontrolü veya ankraj gerektiren durumlar için; daha esnek TC-85 ise düşük ve sürekli kuvvet hedeflenen hareketler için önerilmektedir. Bu nedenle rezin seçiminin planlanan biyomekaniğe, aktivasyon büyüklüğüne ve beklenen kuvvet sönüm profiline göre yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Y. J. Kim ve ark., 2026). Sıcaklığa duyarlı yeni nesil fotopolimer rezinlerin viskoelastik özellikleri de karakterize edilmeye başlanmıştır (Choi ve ark., 2025).

Ticari çeşitlilik hızla artmaktadır. Kasım 2025 itibarıyla doğrudan basılı

plak endikasyonuyla FDA 510(k) Sınıf II onayı almış altı ürün bulunmaktadır: LuxCreo'nun ışıkla kürlenen poliüretan rezini (2022; ilk onay), Graphy Tera Harz Clear (Mart 2024), modifiye LuxCreo rezini (2025), ODS Clear Miracle (2025), Aidite akrilat rezini (2025) ve Dreve Primeprint (2025). Senertek Clear-A ise Avrupa'da CE Sınıf IIa sertifikasına sahiptir (Zhang ve Wu, 2026). Ancak karşılaştırmalı literatür neredeyse tamamen TC-85 üzerine kuruludur; diğer rezinlerin mekanik, biyolojik ve klinik performansına ilişkin bağımsız veri azdır. Bir rezin için elde edilen bulguların sınıfın tümüne genellenemeyeceği, bu alandaki çalışmaların yorumlanmasında göz önünde bulundurulmalıdır.

5. Mekanik ve Biyomekanik Özellikler

Ortodontik diş hareketi için hafif ve sürekli kuvvetler idealdir; sistematik derleme verileri optimum kuvvet aralığını yaklaşık 50–250 g olarak tanımlamaktadır (Ren, Maltha ve Kuijpers-Jagtman, 2003). Termoform plakların bu aralığı sıklıkla aştığı gösterilmiştir. Elkholy, Panchaphongsaphak, Kilic, Schmidt ve Lapatki (2015) 0,5 mm kalınlığındaki PETG plakların 0,25 mm aktivasyonla üst santral kesici dişe 301–531 g kuvvet uyguladığını; Gao ve Wichelhaus (2017) palatinal devrilme ve intrüzyon simülasyonlarında kuvvetlerin 810 g'a ulaştığını bildirmiştir. Doğrudan basılı plaklarda ise tablo farklıdır. Hertan, McCray, Bankhead ve Kim (2022) 0,1–0,3 mm yer değiştirmelerde termoform plakların 15,04 N'a varan kuvvetler ürettiğini, aynı koşullarda TC-85 plakların 0,76–1,57 N aralığında kaldığını göstermiştir. Literatürün bütününde doğrudan basılı plaklar için 0,73–1,69 N, termoform plaklar için 4,60–15,30 N aralığında başlangıç kuvvetleri bildirilmektedir (Zhang ve Wu, 2026). Düşük elastik modül ve şekil hafızalı davranış, bu farkın temel nedenleridir.

Kuvvetin zaman içindeki seyri en çok tartışılan konudur. Termoplastik materyallerde sabit deformasyon altında belirgin stres gevşemesi oluşmakta; gerilme ilk saatlerde başlangıç değerinin %39,2'sine gerileyebilmekte (Albertini ve ark., 2022; Lombardo ve ark., 2017) ve iki haftalık kullanım süresinde kuvvet kaybı %84'e ulaşabilmektedir (Baik ve ark., 2024). Doğrudan basılı rezinler için bulgular ise test koşuluna göre çelişkilidir. Cremonini, Brucculeri, Pepe, Palone ve Lombardo (2024) 37 °C'de sabit 0,5 mm defleksiyon altındaki materyal örneklerinde TC-85'in %90–100 stres gevşemesi gösterdiğini bildirmiş ve kuvvet sürdürülebilirliği konusunda endişe dile getirmiştir. Buna karşılık plağın gerçek geometrisiyle yapılan ölçümlerde TC-85 plaklar 14 gün boyunca termoform plaklardan daha düşük ve daha tutarlı kuvvet iletmiş, stres gevşemesi ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır (Y. J. Kim ve ark., 2026; Remley, Miranda, Bankhead, McCray ve Kim, 2023). Bu farklılık, plağın 3B geometrik bütünlüğünün standart materyal testleriyle tam olarak değerlendirilemeyen biyomekanik özellikler sergileyebileceği ve her yeniden yerleştirmede termal aktivasyonla kuvvet potansiyelinin yenilendiği şeklinde yorumlanmaktadır.

In vivo yaşlanma verileri de bütünüyle tutarlı değildir. Can ve ark. (2022) bir haftalık ağız içi kullanım sonrasında TC-85 plakların Martens sertliği, indentasyon modülü, elastik indeksi ve indentasyon gevşeme indeksinde anlamlı değişiklik saptamamıştır. Sayahpour ve ark. (2024) ise aynı süreli prospektif in vivo çalışmada doğrudan basılı plakların elastik indeksinin %20,8'den %24,8'e yükseldiğini, indentasyon gevşeme indeksinin %78,5'ten %65,3'e düştüğünü; gevşeme indeksinin Invisalign (SmartTrack) plaklarının yaklaşık 2,5 katı, ofis içi termoform PETG plakların ise 4 katı olduğunu bildirmiştir. Yazarlar bu bulguyu daha yüksek kuvvet sönümü potansiyeli olarak yorumlamış ve termoform plakların bir haftalık kullanımda mekanik değişiklik göstermediğini vurgulamıştır. Üretici grupların dışından gelen bu veriler, doğrudan basılı plakların kuvvet sürekliliğine ilişkin iyimser yorumların ihtiyatla karşılanması gerektiğini göstermektedir.

Kuvvetin düşük ve elastik aralığın geniş olması, aşama başına aktivasyon miktarını doğrudan etkilemektedir. Termoform plaklar genellikle aşama başına yaklaşık 0,25 mm lineer hareket ve yaklaşık 1,5° rotasyonla sınırlıyken, doğrudan basılı plaklarda 0,4 mm'yi aşan lineer aktivasyonlar ve 5°'ye varan rotasyonların kalıcı deformasyon olmaksızın uygulanabildiği bildirilmektedir (Y. J. Kim ve ark., 2026). Sharif ve ark. (2024) şekil hafızalı polimerden basılan plakların kuvvet sistemini in vitro olarak tanımlamış ve iletilen kuvvetlerin fizyolojik sınırlar içinde kaldığını göstermiştir. Daha büyük aktivasyon, toplam plak sayısını ve dolayısıyla tedavi süresini azaltma potansiyeli taşımakla birlikte, bunun periodontal dokular üzerindeki etkileri klinik olarak henüz yeterince incelenmemiştir.

Doğrudan baskının asıl biyomekanik katkısı, geometrinin kuvvet sistemi için bir tasarım değişkeni hâline gelmesidir. Grant ve ark. (2023) üst santral kesicinin lingual hareketinde labial ve lingual kalınlığın artırılmasının daha güçlü karşı momentler oluşturarak tork kontrolünü iyileştirdiğini ve komşu dişlere iletilen istenmeyen kuvvetleri azalttığını göstermiştir. Kesim hattı tasarımını inceleyen sistematik derlemede uzatılmış kenarların özellikle tork gibi zorlu hareketlerde daha iyi kontrol sağladığı sonucuna varılmıştır (Nakornnoi, Srirodjanakul, Chintavalakorn, Santiwong ve Sipiyaruk, 2024); farklı kesim hatlarına sahip doğrudan basılı ve termoform plakların kuvvet profilleri, kuvvet azalması ve rotasyon hareketlerindeki kuvvet sistemleri de yakın dönemde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (von Waldthausen ve ark., 2026; Wiechens ve ark., 2026). Plak iç yüzeyinde oluşturulan lokalize basınç bölgeleri ve hareket boşluğu sağlayan geometrik düzenlemeler, rotasyon hareketi için gerekli momentlerin oluşturulmasına katkıda bulunmakta (Jahng ve ark., 2025); servikal üçlüye yerleştirilen basınç alanları ise ataşman olmaksızın ekstrüzyon kuvveti oluşturabilmektedir. McKay ve ark. (2023) bu tasarımın doğrudan basılı plaklarda etkili olduğunu, aynı geometriye sahip termoform plakların ise istenen kuvvet vektörünü üretemediğini göstermiştir.

Baik ve ark. (2024) alt premolar ekstrüzyonuna yönelik farklı plak geometrilerini kuvvet ve moment ölçümleri ile dijital görüntü korelasyonu yöntemini kullanarak karşılaştırmış ve tasarımın kuvvet dağılımını belirgin biçimde değiştirdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, termoform plaklarda ataşman ve aşırı düzeltmeyle telafi edilmeye çalışılan biyomekanik yetersizliklerin doğrudan baskıda tasarım düzeyinde ele alınabileceğini göstermektedir.

6. Doğrudan 3B Basılı ve Termoform Şeffaf Plakların Karşılaştırılması

Boyutsal doğruluk açısından kanıtlar doğrudan baskı lehinedir. Koenig ve ark. (2022) doğrudan basılı plakların genel gerçeklik (trueness) değerinin (ortalama karekök sapması 0,140 mm) termoform plaklardan (0,188–0,209 mm) daha iyi, kesinliğinin (precision) ise daha yüksek olduğunu; farkın özellikle molar gingival kenarda belirginleştiğini bildirmiştir. Yazarlar bunu, termoform zincirindeki birikimli hataların dijital iş akışında ortadan kalkmasıyla açıklamıştır. Yapay tükürük maruziyeti sonrasında ve tersine mühendislik analizleriyle yapılan daha güncel çalışmalar da doğrudan basılı plakların genel boyutsal doğruluğunun üstün olduğunu desteklemektedir (Avolese ve ark., 2026; Dantagnan, Salem, Charavet, Bosco ve Nguyen, 2026). Bununla birlikte mikro-bilgisayarlı tomografi analizleri daha karmaşık bir tablo çizmektedir: Park ve ark. (2023) doğrudan basılı plaklarda servikal bölgede plak–diş aralığının daha geniş olduğunu saptamış ve bunu polimerizasyon büzülmesine bağlamıştır. Lim ve ark. (2026) ise pasif durumda daha geniş başlangıç aralığına karşın doğrudan basılı plakların 0,3 ve 0,5 mm labial aktivasyonlarda boyutsal stabilitesini koruduğunu, termoform plaklarda ise aktivasyon arttıkça aralığın büyüdüğünü ve uyumun bozulduğunu göstermiştir. Dolayısıyla doğrudan basılı plakların avantajı pasif uyumdan çok yük altındaki uyum kararlılığında ortaya çıkmaktadır.

Materyal düzeyindeki karşılaştırmalar ise önceki bölümlerde ele alınan farkları özetlemektedir. Termoform sürecinde %45'e varan incelmeye karşılık eklemeli üretimde yaklaşık %12 fazla yapılanma gözlenmekte; termoplastiklerin elastik modülü şekil hafızalı rezinlerinkinden daha yüksek olmakta ve termoform plakların başlangıç kuvvetleri fizyolojik sınırları aşarken doğrudan basılı plaklarınki bu sınırlar içinde kalmaktadır (Hertan ve ark., 2022; Lee ve ark., 2022). Jorge ve ark. (2026) tarafından 23 çalışmanın dahil edildiği sistematik derlemede yüzey pürüzlülüğünün de farklılaştığı, 3B basılı plaklarda ortalama yüzey genliğinin, termoform plaklarda ise vadi derinliğinin daha yüksek olduğu bildirilmiş; ancak kalınlık değişimine ilişkin dört çalışmalı meta-analizde yüksek heterojenlik nedeniyle istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Biyolojik açıdan termoform plaklarda bisfenol A salımı bildirilmişken (Y. J. Kim ve ark., 2026), doğrudan basılı şekil hafızalı rezinlerde saptanabilir düzeyde bisfenol A bulunmamıştır (Pratsinis ve ark., 2022; Willi ve ark., 2023). İki üretim yöntemi arasındaki bu farklar, temel özellikler üzerinden Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1

Termoform ve Doğrudan 3B Basılı Şeffaf Plakların Karşılaştırılması

Özellik	Termoform plaklar	Doğrudan 3B basılı plaklar	Kaynak
Materyal	Termoplastik (PETG, TPU, çok katmanlı)	Şekil hafızalı fotopolimer (üretan metakrilat)	Bichu ve ark., 2023; Zhang ve Wu, 2026
Üretim	Fiziksel model + ısı/ vakum şekillendirme + kesim	Eklemeli üretim (DLP/ LCD) + azot kürleme	Y. J. Kim ve ark., 2026
Kalınlık değişimi	%45'e varan incelme	≈%12 fazla yapılanma; bölgesel kontrol mümkün	Lee ve ark., 2022; Ryokawa ve ark., 2006
Boyutsal gerçeklik (RMS)	0,188–0,209 mm	0,140 mm	Koenig ve ark., 2022
Yük altında uyum	Aktivasyonla bozulur	0,3–0,5 mm aktivasyonda kararlı	Lim ve ark., 2026
Elastik modül	Yüksek	Düşük; vücut sıcaklığında daha da azalır	Dalaie ve ark., 2021; Lee ve ark., 2022
Başlangıç kuvveti (in vitro)	4,60–15,30 N	0,73–1,69 N	Hertan ve ark., 2022; Zhang ve Wu, 2026
14 günlük kuvvet sönümü	%84'e varan (plak formu)	Plak formunda minimal; materyal testinde %90–100	Baik ve ark., 2024; Cremonini ve ark., 2024
Aşama başına aktivasyon	≈ 0,25 mm / 1,5°	> 0,4 mm / 5°'ye kadar	Y. J. Kim ve ark., 2026
Yardımcı elemanlar	Yapıştırılan ataşman/ buton	Plak yapısına entegre üretilebilir	Y. J. Kim ve ark., 2026
Bisfenol A salımı	Bildirilmiş	Saptanmamış	Pratsinis ve ark., 2022; Willi ve ark., 2023
Model atığı	Her aşama için model	Model gerektirmez	Macrì ve ark., 2024

Not. 3B = üç boyutlu; PETG = polietilen tereftalat glikol; TPU = termoplastik poliüretan; DLP = dijital ışık işleme; LCD = sıvı kristal ekran; RMS = ortalama karekök sapması.

Tablo, farkların büyük bölümünün in vitro verilere dayandığını gözden kaçırmamayı gerektirmektedir. Karşılaştırmalı klinik çalışma sayısı azdır ve en uzun izlem altı ayla sınırlıdır (Abela ve ark., 2026); laboratuvar üstünlüğünün klinik üstünlüğe dönüşüp dönüşmediği henüz yanıtlanmamış bir sorudur.

7. Klinik Uygulamalar ve Tedavi Etkinliği

Doğrudan basılı plaklarla elde edilen diş hareketi doğruluğuna ilişkin ilk

prospektif veri Migliorati ve ark. (2024) tarafından sunulmuştur. Ofis içinde TC-85DAC rezin ve masaüstü bir LCD yazıcıyla üretilen plaklarla tedavi edilen 17 hastada (ortalama yaş 27,7) planlanan ve gerçekleşen diş konumları çakıştırılmış; doğruluk tork için %67,6, tipping için %64,2, rotasyon için %72,0 ve transvers boyut için %99,6 olarak bulunmuştur. Yazarlar hafif çapraşıklık olgularında doğruluğun diğer plak sistemleriyle karşılaştırılabilir düzeyde olduğu sonucuna varmıştır. Bu değerler, termoform sistemler için bildirilen %41–%50'lik genel doğruluk (Haouili ve ark., 2020; Kravitz ve ark., 2009) ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi ile saptanan yaklaşık %47'lik üst kesici tork etkinliğiyle (Hong ve ark., 2023) kıyaslandığında umut vericidir; ancak örneklem küçüklüğü, kontrol grubunun bulunmayışı ve olgu seçimi doğrudan karşılaştırmayı sınırlamaktadır.

Tedavi sonuçlarına ilişkin en geniş klinik seri Knode ve ark. (2025) tarafından yayımlanmıştır. Doğrudan basılı plaklarla tedavi edilen 54 hastanın 12 aylık retrospektif değerlendirmesinde başlangıç planındaki ortalama plak sayısı üst çenede 7,1 ± 2,9, alt çenede 5,1 ± 4,3 olmuş; hastaların %40,8'inde (n = 20) ek plak dizisi (refinement) gerekmiştir. Tedavi öncesi 17,01 ± 7,93 olan PAR skoru 2,25 ± 1,15'e gerileyerek %86,6 iyileşme göstermiş, üç hastada minor komplikasyon kaydedilmiştir. Yazarlar doğrudan basılı plakların hafif–orta şiddetteki maloklüzyonların tedavisinde kullanılabileceğini, ancak alternatiflerle karşılaştırma için prospektif çalışmalara gereksinim olduğunu belirtmiştir. Düşük plak sayısı, aşama başına daha büyük aktivasyon ilkesinin klinik yansıması olarak yorumlanabilir; %40'ı aşan ek dizi oranı ise öngörülebilirliğin henüz tam olmadığını göstermektedir.

Klinik uygulama alanları, büyük ölçüde olgu sunumları ve in vitro kuvvet çalışmalarına dayanan tasarım stratejileri üzerinden tanımlanmıştır (K. B. Kim ve Graf, 2023; Y. J. Kim ve ark., 2026). Bu stratejiler beş başlıkta toplanabilir:

• **Ataşman bağımlılığının azaltılması.** Rotasyon, tork ve ekstrüzyon gibi hareketlerde termoform sistemlerin gereksinim duyduğu yapıştırılmış ataşmanların yerini iç yüzey geometrisi almaktadır. Y. J. Kim ve ark. (2026) 9,1° rotasyon ve 8,1° lingual kök torku gerektiren bir üst lateral kesici olgusunun plak iç yüzeyinde oluşturulan lokalize basınç bölgesi ve lingual hareket boşluğu tasarımı kullanılarak, ataşman uygulanmaksızın ve aşırı düzeltme planlanmaksızın tedavi edildiğini bildirmiştir.

• **Bölgesel kalınlık, güçlendirme ve uzatılmış kesim hattı.** Tork kontrolünde hedef diş çevresinde kesim hattının 2 mm uzatılması, servikal konumlu 1 mm'lik iç basınç alanı ve dış yüzeyin 0,5 mm'den 0,8 mm'ye kalınlaştırılması birlikte kullanılmakta; sabit tedavi sonrası kökü alveol kemiği dışına yer

değiştirmiş bir alt kesicinin 10°'lik lingual kök torkunun 5° aktivasyonlu iki plakla düzeltildiği bildirilmiştir (Y. J. Kim ve ark., 2026). Bu yaklaşım Grant ve ark. (2023) ile Nakornnoi ve ark. (2024) tarafından ortaya konan biyomekanik bulgulara dayanmaktadır.

• **Entegre yardımcı elemanlar.** Ortodontik butonlar, elastik kancaları, anterior ve posterior ısırma blokları, transpalatal destek elemanları, dil alışkanlığını kontrol etmeye yönelik çıkıntılar (spurlar) ve mandibular ilerletme kanatları, üretim aşamasında doğrudan plak yapısına entegre edilebilmektedir. Mine yapıştırmasının kontrendike olduğu amelogenezis imperfektalı bir Sınıf II subdivizyon olgusunda Sınıf II elastikleri için basılı butonlar; dil itimi alışkanlığına bağlı ön açık kapanışta entegre spurlar; üst çene genişletmesinde ankrajı güçlendiren transpalatal barlar bu kullanımın örnekleridir (Y. J. Kim ve ark., 2026). Bu tasarımlar, termoform sistemlerle Sınıf II düzeltmesinde planlanan anteroposterior düzeltmenin yalnızca %6,8'inin (Patterson ve ark., 2021) ve ön açık kapanış kapatılmasının %66'sının (Blundell, Weir ve Byrne, 2023) gerçekleştiğini gösteren verilere yanıt niteliğindedir.

• **Basınç alanları.** İç yüzeye yerleştirilen basınç alanları rotasyon momentini artırmakta (Jahng ve ark., 2025), sütun biçimli servikal basınç alanları ataşmansız ekstrüzyon kuvveti oluşturmakta (McKay ve ark., 2023) ve molar distalizasyonunda distal kuvvet bileşenini artırırken rotasyon ve intrüzyon yan etkilerini azaltmaktadır (Y. J. Kim ve ark., 2026). Bununla birlikte anterior ekstrüzyon olgusunda elde edilen hareketin saf ekstrüzyondan çok kuronun lingual yer değiştirmesine bağlı göreceli ekstrüzyon olduğu yazarlarca kabul edilmiş; lokalize basınç bölgelerinin ve diş hareketine olanak sağlayan iç yüzey geometrisinin henüz biyomekanik açıdan optimal hâle getirilmediği belirtilmiştir.

• **Fonksiyonel tedavi.** Mandibular ilerletme mekanizmasının üst ve alt plaklara entegre edilmesi, Twin Block benzeri fonksiyonel düzeltmenin tek bir estetik aygıtla sağlanmasını olanaklı kılmaktadır (Y. J. Kim ve ark., 2026).

Klinik protokol açısından plakların yerleştirilmeden önce ısıtılması, günde 22 saatin üzerinde kullanılması ve kürleme protokolüne tam uyulması önerilmektedir (K. B. Kim ve Graf, 2023). Bu uygulamaların çoğunun kanıt düzeyi olgu sunumu ve in vitro çalışma düzeyinde kaldığı, klinik verilerin önemli bölümünün rezin üreticisiyle bağlantılı araştırma gruplarından geldiği ve aşırı düzeltme gereksinimi gibi temel protokol sorularının henüz yanıtlanmadığı göz önünde bulundurulmalıdır (Abela ve ark., 2026; Erbe, Ludwig ve Bleilöb, 2025). Termoform ve doğrudan basılı plakları hareket tipine göre karşılaştıran randomize çalışmaların sonuçları, klinik üstünlük iddialarının sınanması için belirleyici olacaktır.

8. Avantajlar, Sınırlılıklar ve Biyouyumluluk

Doğrudan baskının başlıca avantajları arasında ara basamakların kaldırılmasıyla artan geometrik doğruluk, fizyolojik aralıkta kalan ve plak formunda görece korunan kuvvetler ile kalınlık, kesim hattı, basınç alanı ve entegre yardımcı eleman düzeyinde tasarım serbestliği yer almaktadır. Bu özellikler daha az ataşman ve daha az plakla tedavi olanağı sunmakta, şekil hafızası ısıtılarak kolay yerleştirmeyi mümkün kılmakta; fiziksel model atığının ortadan kalkması ve üretim süresinin kısalması ise iş akışına ilişkin kazanımları oluşturmaktadır (Y. J. Kim ve ark., 2026; Macrì ve ark., 2024; Zhang ve Wu, 2026). Bu avantajların büyük bölümü teknik düzeyde kanıtlanmış, klinik düzeyde ise henüz sınırlı ölçüde doğrulanmıştır (Abela ve ark., 2026).

Sınırlılıkların başında sürecin baskı sonrası işlemlere olan mutlak bağımlılığı gelmektedir. Oksijen ortamında kürleme veya IPA ile temizlik eğilme modülünü yarıdan fazla düşürebilmekte (Šimunović ve ark., 2024), baskı açısındaki hatalar boyutsal doğruluğu bozabilmekte ve polimerizasyon büzülmesi servikal aralığı artırabilmektedir (Park ve ark., 2023). Kuvvet sürekliliğine ilişkin çelişkili veriler (Cremonini ve ark., 2024; Sayahpour ve ark., 2024) ve ticari rezinlerin çoğu için bağımsız verinin bulunmayışı ikinci önemli sınırlılıktır. Azot kürleme ünitesi, santrifüj ve uyumlu yazıcı gereksinimi başlangıç maliyetini artırmakta; ofis içi üretimde hekim, aygıtın üreticisi konumuna geçerek kalite kontrol ve mevzuat sorumluluğunu üstlenmektedir (Goracci ve ark., 2025). Yüzey pürüzlülüğü, renk stabilitesi ve aşınma gibi estetik ve uzun dönem performans parametrelerine ilişkin veriler de henüz yetersizdir (Jorge ve ark., 2026; Zhang ve Wu, 2026).

Biyouyumluluk, plağın fotopolimerize bir rezinden doğrudan üretilip uzun süre ağızda taşınması nedeniyle en kritik konudur. Pratsinis ve ark. (2022), azot altında kürlenen TC-85 plakların insan gingival fibroblastlarında sitotoksisite göstermediğini ve östrojenik aktivite taşımadığını bildirmiştir. Willi ve ark. (2023) 37 °C distile suda bir hafta bekletilen örneklerde sıvı kromatografisi/kütle spektrometrisi ile bisfenol A saptamamış (saptama sınırı 0,25 µg/L); ancak tüm örneklerde 29–96 µg/L aralığında UDMA salımı ölçmüş ve bu değişkenliğin tekrarlayan ağız içi maruziyette sağlık açısından endişe yaratabileceğini vurgulamıştır. Rezidüel monomer salımı, yetersiz polimerizasyonun en önemli sonucudur ve mukozal irritasyon, geçici yanma hissi, kontakt stomatit ve duyarlı bireylerde hipersensitivite reaksiyonlarıyla ilişkilendirilmektedir (Goracci ve ark., 2025). Bu nedenle tedavi öncesinde dental rezinlere, metakrilatlara veya poliüretan esaslı materyallere karşı önceki reaksiyonları kapsayan ayrıntılı bir alerji öyküsü alınması önerilmektedir (Y. J. Kim ve ark., 2026).

Materyal–konak etkileşimi statik değildir. Andrew Choi ve ark. (2026), klinik kullanım sonrasında doğrudan basılı plakların yüzey topografisi, yü-

zey sertliği ve sitouyumluluğunda ölçülebilir değişiklikler saptamış; ağız ortamının ve mekanik yüklenmenin yüzey özelliklerini değiştirdiğini ve biyolojik yanıtın hücre durumuna göre farklılaşabileceğini göstermiştir. Bu bulgu, intraoral yaşlanmanın kırılma direnci, yüzey aşınması ve olası mikroplastik oluşumu üzerindeki etkilerinin uzunlamasına çalışmalarla izlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Erbe ve ark., 2025). Mikroplastik oluşumu, doğrudan baskının model atığını ortadan kaldırmasıyla elde edilen çevresel kazanımın karşısında henüz nicelenmemiş bir maliyet olarak durmaktadır; kapsamlı yaşam döngüsü analizleri yapılmadan iki üretim yönteminin çevresel ayak izi karşılaştırılamaz (Macrì ve ark., 2024; Zhang ve Wu, 2026).

Mevcut kanıtların eleştirel bir okuması, doğrudan basılı plak rezinlerinin üretici protokolüne tam uyulması koşuluyla kısa dönemde güvenli göründüğünü, ancak biyouyumluluk literatürünün ağırlıkla in vitro çalışmalardan oluştuğunu, tek bir rezin üzerine yoğunlaştığını ve standardize test protokollerinden yoksun olduğunu göstermektedir (Goracci ve ark., 2025). Bildirilen advers olay sayısı azdır; ancak uzun süreli maruziyet ve materyalin dinamik degradasyonu nedeniyle klinik uyanıklık sürdürülmelidir.

9. Gelecek Perspektifleri

Doğrudan basılı plak teknolojisinin gelişimi üç eksende ilerlemektedir: materyal kimyası, tasarım zekâsı ve kanıt üretimi. Materyal cephesinde mevcut üretan metakrilat sistemlerinin sınırlılıklarını aşmaya yönelik izosiyanat içermeyen poliüretanlar, yüksek viskoziteli sıcak litografi rezinleri ve oksijene duyarsız katyonik polimerizasyon sistemleri üzerinde çalışılmaktadır; bu yaklaşımların azot kürleme gereksinimini azaltması ve dönüşüm derecesini artırması beklenmektedir (Zhang ve Wu, 2026). Fonksiyonel rezinler ikinci bir araştırma hattıdır: Kitosan ve çinko oksit nanopartikülleri ya da kuaterner amonyum monomerleriyle antibakteriyel etki, nano-amorf kalsiyum fosfat ve biyoaktif cam dolgularla pH'ye duyarlı remineralizasyon ve kontrollü ilaç salımı kavram kanıtı düzeyinde gösterilmiş olup klinik uygulamaya henüz geçmemiştir (Zhang ve Wu, 2026). Sıcaklığa duyarlı yeni fotopolimerlerin viskoelastik karakterizasyonu (Choi ve ark., 2025), kuvvet sürekliliği sorununa materyal düzeyinde çözüm arayışının bir parçasıdır.

Çoklu materyal ve 4B baskı, tek bir plağın farklı bölgelerinde farklı rijitlik veya zamana bağlı, uyarana yanıt veren kuvvet sistemleri üretmeyi hedeflemektedir (Y. J. Kim ve ark., 2026). Şekil hafızalı polimerlerin doğası gereği bu alanın ilk örnekleri olması, plak tasarımının geçici bir geometriden programlanmış bir kuvvet programına dönüşmesine zemin hazırlamaktadır. Tasarım cephesinde ise sonlu elemanlar analizi (Jindal ve ark., 2020) ve büyük klinik veri kümeleri üzerinde eğitilen yapay zekâ modellerinin kalınlık dağılımı, basınç alanı konumu, aktivasyon miktarı ve hareket sıralamasını hasta özelinde optimize etmesi öngörülmektedir (Y. J. Kim ve ark., 2026).

Polimer matrisine entegre sensörlerle kullanım süresinin izlenmesi de gündemdedir (Zhang ve Wu, 2026).

Ancak teknolojinin olgunlaşması için en acil gereksinim kanıttır. Literatürün üçte ikisinin laboratuvar çalışması olduğu, en uzun karşılaştırmalı izlemin altı ayla sınırlı kaldığı ve hasta bildirimli sonuçların neredeyse hiç ölçülmediği göz önüne alındığında (Abela ve ark., 2026), öncelikli gereksinimler açıktır. İlk sırada hareket tipine göre tabakalandırılmış randomize kontrollü çalışmalar ile üretici bağımsız ve çok rezinli karşılaştırmalar gelmektedir. Bunları standardize baskı sonrası işlem ve raporlama protokolleri ile intraoral yaşlanma, kök rezorpsiyonu ve periodontal yanıtı kapsayan uzun dönem izlem çalışmaları izlemelidir. Ayrıca sitouyumluluk ve mikroplastik oluşumunun in vivo olarak karakterize edilmesi ve iki üretim yöntemini karşılaştıran yaşam döngüsü analizlerinin yapılması gerekmektedir (Goracci ve ark., 2025; Jorge ve ark., 2026; Zhang ve Wu, 2026). Bu boşluklar dolduruldukça doğrudan baskının hangi endikasyonlarda termoform üretime gerçek bir üstünlük sağladığı netleşecektir.

10. Sonuç

Doğrudan 3B basılı şeffaf plaklar, plak üretimini fiziksel modele bağımlı bir şekillendirme işleminden tam dijital bir eklemeli üretim sürecine taşıyarak şeffaf plak tedavisinde yeni bir aşamayı temsil etmektedir. Şekil hafızalı fotopolimer rezinler, termoform termoplastiklerin aksine düşük ve fizyolojik aralıkta kuvvetler iletmekte; eklemeli üretim kalınlık, kesim hattı, basınç alanı ve entegre yardımcı eleman düzeyinde daha önce mümkün olmayan bir tasarım serbestliği sunmaktadır. In vitro çalışmalar boyutsal doğruluk, yük altında uyum kararlılığı ve plak formunda kuvvet sürekliliği açısından doğrudan baskı lehine tutarlı bulgular ortaya koymakta; sınırlı klinik veriler ise hafif–orta maloklüzyonlarda termoform sistemlerle karşılaştırılabilir ya da daha iyi hareket doğruluğu ve belirgin PAR skoru iyileşmesi göstermektedir.

Bununla birlikte kanıt tabanı henüz olgunlaşmamıştır. Literatür tek bir rezin üzerine yoğunlaşmış, büyük ölçüde laboratuvar çalışmalarından oluşmuş ve klinik verilerin önemli bölümü üreticiyle bağlantılı gruplardan gelmiştir. Materyal düzeyinde gözlenen yüksek stres gevşemesi ve in vivo yaşlanmaya ilişkin çelişkili bulgular, kuvvet sürekliliği konusundaki iyimser yorumların ihtiyatla karşılanmasını gerektirmektedir. Biyouyumluluk, üretici protokolüne tam uyum koşuluyla kısa dönemde güvence altında görünmekle birlikte, rezidüel monomer salımı, kullanım sırasında değişen yüzey özellikleri ve mikroplastik oluşumu uzun dönem izlem gerektiren konulardır.

Klinisyen açısından doğrudan basılı plaklar, özellikle tork, rotasyon, ekstrüzyon ve ankraj kontrolü gibi termoform sistemlerin zorlandığı

hareketlerde ve yapıştırılmış yardımcı elemanların kontrendike olduğu durumlarda geçerli bir seçenek sunmaktadır. Bu potansiyelin gerçekleşmesi ise standardize üretim protokollerine titizlikle uyulmasına, rezin seçiminin biyomekanik hedefe göre yapılmasına ve teknolojinin sınırlılıklarının hasta düzeyinde kanıtlarla tanımlanmasına bağlıdır. Randomize kontrollü çalışmalar, üretici bağımsız çok rezinli karşılaştırmalar ve uzun dönem izlem verileri biriktiğinde, doğrudan baskının çağdaş ortodontideki yeri daha kesin biçimde belirlenebilecektir.

KAYNAKÇA

Abela, S., Castroflorio, T., & Migliorati, M. (2026). Direct 3D printing versus thermoforming for clear aligners and retainers: A scoping review and evidence map. *Digital and Aligner Orthodontics, 1*(1), 9. https://doi.org/10.1007/s44525-026-00009-1

Albertini, P., Mazzanti, V., Mollica, F., Pellitteri, F., Palone, M., & Lombardo, L. (2022). Stress relaxation properties of five orthodontic aligner materials: A 14-day in-vitro study. *Bioengineering, 9*(8), 349. https://doi.org/10.3390/bioengineering9080349

Andrew Choi, E.-H., Mangal, U., Ryu, J.-H., Kim, J.-H., Hwang, G., Kim, H., ... Choi, S.-H. (2026). Changes in the cytocompatibility, surface hardness, and surface topography of 3-dimensional-printed clear aligners after clinical use. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 169*(3), 370–378. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2025.10.012

Atta, I., Bourauel, C., Alkabani, Y., Mohamed, N., Kim, H., Alhotan, A., ... Elshazly, T. M. (2024). Physiochemical and mechanical characterisation of orthodontic 3D printed aligner material made of shape memory polymers (4D aligner material). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 150*, 106337. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106337

Avolese, S., Sanna, F., Parrini, S., Chiarello, G., Lava, D., Sedran, A., ... Scotti, N. (2026). Evaluation of the dimensional accuracy of 3D-printed aligners: An in vitro study using reverse engineering analysis. *Journal of Functional Biomaterials, 17*(1), 22. https://doi.org/10.3390/jfb17010022

Baik, J.-C., Choi, Y.-K., Cho, Y., Baek, Y., Kim, S.-H., Kim, S.-S., ... Kim, Y.-I. (2024). Evaluation of different designs of 3D printed clear aligners on mandibular premolar extrusion using force/moment measurement devices and digital image correlation method. *Korean Journal of Orthodontics, 54*(6), 359–373. https://doi.org/10.4041/kjod24.016

Bichu, Y. M., Alwafi, A., Liu, X., Andrews, J., Ludwig, B., Bichu, A. Y., & Zou, B. (2023). Advances in orthodontic clear aligner materials. *Bioactive Materials, 22*, 384–403. https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.10.006

Blundell, H. L., Weir, T., & Byrne, G. (2023). Predictability of anterior open bite treatment with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 164*(5), 674–681. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.04.017

Can, E., Panayi, N., Polychronis, G., Papageorgiou, S. N., Zinelis, S., Eliades, G., & Eliades, T. (2022). In-house 3D-printed aligners: Effect of in vivo ageing on mechanical properties. *European Journal of Orthodontics, 44*(1), 51–55. https://doi.org/10.1093/ejo/cjab022

Choi, J. Y., Kim, H., Kim, S. H., Kim, S. J., Cha, J.-Y., Lee, S. Y., ... Kim, K. B. (2025). Mechanical and viscoelastic properties of a temperature-responsive photocurable resin for 3D printed orthodontic clear aligners. *Scientific Reports, 15*, 23530.

https://doi.org/10.1038/s41598-025-93026-0

Cremonini, F., Bruccoleri, L., Pepe, F., Palone, M., & Lombardo, L. (2024). Comparison of stress relaxation properties between 3-dimensional printed and thermoformed orthodontic aligners: A pilot study of in vitro simulation of two consecutive 8-hours force application. *APOS Trends in Orthodontics, 14*(4), 225–234. https://doi.org/10.25259/APOS_201_2023

Dalaie, K., Fatemi, S. M., & Ghaffari, S. (2021). Dynamic mechanical and thermal properties of clear aligners after thermoforming and aging. *Progress in Orthodontics, 22*(1), 15. https://doi.org/10.1186/s40510-021-00362-8

Dantagnan, C.-A., Salem, C., Charavet, C., Bosco, J., & Nguyen, J.-F. (2026). Trueness and precision of direct-printed and thermoformed clear aligners after artificial saliva exposure: A comparative in vitro study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 169*(5), 640–653. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2025.11.021

Elkholy, F., Panchaphongsaphak, T., Kilic, F., Schmidt, F., & Lapatki, B. G. (2015). Forces and moments delivered by PET-G aligners to an upper central incisor for labial and palatal translation. *Journal of Orofacial Orthopedics, 76*(6), 460–475. https://doi.org/10.1007/s00056-015-0307-3

Elshazly, T. M., Bourauel, C., Ismail, A., Ghoraba, O., Aldesoki, M., Salvatori, D., ... Alkabani, Y. (2024). Effect of material composition and thickness of orthodontic aligners on the transmission and distribution of forces: An in vitro study. *Clinical Oral Investigations, 28*(5), 258. https://doi.org/10.1007/s00784-024-05662-x

Elshazly, T. M., Keilig, L., Alkabani, Y., Ghoneima, A., Abuzayda, M., Talaat, S., & Bourauel, C. P. (2021). Primary evaluation of shape recovery of orthodontic aligners fabricated from shape memory polymer (a typodont study). *Dentistry Journal, 9*(3), 31. https://doi.org/10.3390/dj9030031

Erbe, C., Ludwig, B., & Bleilöb, M. (2025). Unlocking the biological insights of 3D printed aligners: A look at current findings. *Seminars in Orthodontics, 31*(1), 139–143. https://doi.org/10.1053/j.sodo.2024.10.001

Gao, L., & Wichelhaus, A. (2017). Forces and moments delivered by the PET-G aligner to a maxillary central incisor for palatal tipping and intrusion. *The Angle Orthodontist, 87*(4), 534–541. https://doi.org/10.2319/090216-666.1

Goracci, C., Mangal, U., Čokić, S. M., Mazzoni, A., Vichi, A., & Josic, U. (2025). Biocompatibility and safety of 3D printing resins for orthodontic aligners: A critical review of current evidence. *Polymers, 17*(22), 3060. https://doi.org/10.3390/polym17223060

Grant, J., Foley, P., Bankhead, B., Miranda, G., Adel, S. M., & Kim, K. B. (2023). Forces and moments generated by 3D direct printed clear aligners of varying labial and lingual thicknesses during lingual movement of maxillary central incisor: An in vitro study. *Progress in Orthodontics, 24*(1), 23. https://doi.org/10.1186/s40510-023-00475-2

Haouili, N., Kravitz, N. D., Vaid, N. R., Ferguson, D. J., & Makki, L. (2020). Has Invi-

salign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 158*(3), 420–425. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.12.015

Hertan, E., McCray, J., Bankhead, B., & Kim, K. B. (2022). Force profile assessment of direct-printed aligners versus thermoformed aligners and the effects of non-engaged surface patterns. *Progress in Orthodontics, 23*(1), 49. https://doi.org/10.1186/s40510-022-00443-2

Hong, Y.-Y., Zhou, M.-Q., Cai, C.-Y., Han, J., Ning, N., Kang, T., & Chen, X.-P. (2023). Efficacy of upper-incisor torque control with clear aligners: A retrospective study using cone-beam computed tomography. *Clinical Oral Investigations, 27*(7), 3863–3873. https://doi.org/10.1007/s00784-023-05006-1

Jahng, K. J., Lee, M. M., McCray, J. F., Adel, S. M., Miranda, G., & Kim, K. B. (2025). Forces and moments on a maxillary lateral incisor using 3D-printed aligners with pressure points: An in vitro study. *European Journal of Orthodontics, 47*(4), cjaf061. https://doi.org/10.1093/ejo/cjaf061

Jindal, P., Juneja, M., Siena, F. L., Bajaj, D., & Breedon, P. (2019). Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 156*(5), 694–701. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.05.012

Jindal, P., Worcester, F., Siena, F. L., Forbes, C., Juneja, M., & Breedon, P. (2020). Mechanical behaviour of 3D printed vs thermoformed clear dental aligner materials under non-linear compressive loading using FEM. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 112*, 104045. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104045

Jorge, J. O., Bergo, B. R., Montalvany-Antonucci, C. C., Figueiredo, N. C., Andrade, I., Jr., Abreu, L. G., & Macari, S. (2026). Physical, mechanical properties and accuracy of thermoformed vs 3D-printed aligners: Systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics, 48*(3), cjag036. https://doi.org/10.1093/ejo/cjag036

Kesling, H. D. (1945). The philosophy of the tooth positioning appliance. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery, 31*(6), 297–304. https://doi.org/10.1016/0096-6347(45)90101-3

Kim, K. B., & Graf, S. (2023). Direct printing of clear aligners. *Journal of Clinical Orthodontics, 57*(8), 450–458.

Kim, Y. J., Miranda, G., & Kim, K. B. (2026). Direct-printed aligners in orthodontics: Integrating digital design, materials science, and clinical biomechanics. *Korean Journal of Orthodontics, 56*(4), 257–276. https://doi.org/10.4041/kjod25.368

Knode, V., Ludwig, B., Retrouvey, J.-M., Pandis, N., Schmid, J. Q., Erbe, C., & Fleming, P. S. (2025). Directly printed aligner therapy: A 12-month evaluation of application and effectiveness. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 167*(1), 73–79. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.08.013

Koenig, N., Choi, J.-Y., McCray, J., Hayes, A., Schneider, P., & Kim, K. B. (2022). Comparison of dimensional accuracy between direct-printed and thermoformed aligners. *Korean Journal of Orthodontics, 52*(4), 249–257. https://doi.org/10.4041/kjod21.269

Kravitz, N. D., Kusnoto, B., BeGole, E., Obrez, A., & Agran, B. (2009). How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 135*(1), 27–35. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.05.018

Lee, S. Y., Kim, H., Kim, H.-J., Chung, C. J., Choi, Y. J., Kim, S.-J., & Cha, J.-Y. (2022). Thermo-mechanical properties of 3D printed photocurable shape memory resin for clear aligners. *Scientific Reports, 12*(1), 6246. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09831-4

Lim, S. Y., Choi, S.-H., Yu, H.-S., Park, S.-H., Kwon, J.-S., Kim, S.-J., ... Cha, J.-Y. (2026). Fit analysis of 3D-printed versus thermoformed clear aligners for labial tooth movement using micro-CT: An in vitro study. *Scientific Reports, 16*(1), 7976. https://doi.org/10.1038/s41598-026-37964-3

Lombardo, L., Martines, E., Mazzanti, V., Arreghini, A., Mollica, F., & Siciliani, G. (2017). Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. *The Angle Orthodontist, 87*(1), 11–18. https://doi.org/10.2319/113015-813.1

Macrì, M., D'Albis, V., Marciani, R., Nardella, M., & Festa, F. (2024). Towards sustainable orthodontics: Environmental implications and strategies for clear aligner therapy. *Materials, 17*(17), 4171. https://doi.org/10.3390/ma17174171

Maspero, C., & Tartaglia, G. M. (2020). 3D printing of clear orthodontic aligners: Where we are and where we are going. *Materials, 13*(22), 5204. https://doi.org/10.3390/ma13225204

McKay, A., McCray, J., Bankhead, B., Lee, M. M., Miranda, G., Adel, S. M., & Kim, K. B. (2023). Forces and moments generated during extrusion of a maxillary central incisor with clear aligners: An in vitro study. *BMC Oral Health, 23*(1), 495. https://doi.org/10.1186/s12903-023-03136-2

McNamara, J. A., Kramer, K. L., & Juenker, J. P. (1985). Invisible retainers. *Journal of Clinical Orthodontics, 19*, 570–578.

Migliorati, M., Drago, S., Castroflorio, T., Pesce, P., Battista, G., Campobasso, A., ... De Mari, A. (2024). Accuracy of orthodontic movements with 3D printed aligners: A prospective observational pilot study. *Korean Journal of Orthodontics, 54*(3), 160–170. https://doi.org/10.4041/kjod23.268

Nakornnoi, T., Srirodjanakul, W., Chintavalakorn, R., Santiwong, P., & Sipiyaruk, K. (2024). The biomechanical effects of clear aligner trimline designs and extensions on orthodontic tooth movement: A systematic review. *BMC Oral Health, 24*(1), 1523. https://doi.org/10.1186/s12903-024-05274-7

Narongdej, P., Hassanpour, M., Alterman, N., Rawlins-Buchanan, F., & Barjasteh, E. (2024). Advancements in clear aligner fabrication: A comprehensive review of

direct-3D printing technologies. *Polymers, 16*(3), 371. https://doi.org/10.3390/polym16030371

Oyonarte, R., Lagos, I. M., Vidaurre, F., Parada, T., del Real, A., Jang, S., ... Kim, H. (2026). Mechanical properties of thermoformed and direct-printed aligner materials after immersion in 37 °C water: A 14-day in vitro study. *Scientific Reports, 16*(1), 5864. https://doi.org/10.1038/s41598-026-36723-8

Park, S. Y., Choi, S.-H., Yu, H.-S., Kim, S.-J., Kim, H., Kim, K. B., & Cha, J.-Y. (2023). Comparison of translucency, thickness, and gap width of thermoformed and 3D-printed clear aligners using micro-CT and spectrophotometer. *Scientific Reports, 13*(1), 10921. https://doi.org/10.1038/s41598-023-36851-5

Patterson, B. D., Foley, P. F., Ueno, H., Mason, S. A., Schneider, P. P., & Kim, K. B. (2021). Class II malocclusion correction with Invisalign: Is it possible? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 159*(1), e41–e48. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.08.016

Ponitz, R. J. (1971). Invisible retainers. *American Journal of Orthodontics, 59*(3), 266–272. https://doi.org/10.1016/0002-9416(71)90099-6

Pratsinis, H., Papageorgiou, S. N., Panayi, N., Iliadi, A., Eliades, T., & Kletsas, D. (2022). Cytotoxicity and estrogenicity of a novel 3-dimensional printed orthodontic aligner. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 162*(3), e116–e122. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.06.014

Remley, M. L., Miranda, G. F. P. C., Bankhead, B., McCray, J., & Kim, K. B. (2023). Force assessment of thermoformed and direct-printed aligners in a lingual bodily movement of a central incisor over time: A 14-day in vitro study. *Journal of Korean Dental Science, 16*(1), 23–34. https://doi.org/10.5856/JKDS.2023.16.1.23

Ren, Y., Maltha, J. C., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2003). Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: A systematic literature review. *The Angle Orthodontist, 73*(1), 86–92. https://doi.org/10.1043/0003-3219(2003)073<0086:OFMFOT>2.0.CO;2

Ryokawa, H., Miyazaki, Y., Fujishima, A., Miyazaki, T., & Maki, K. (2006). The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthodontic Waves, 65*(2), 64–72. https://doi.org/10.1016/j.odw.2006.03.003

Ryu, J.-H., Kwon, J.-S., Jiang, H. B., Cha, J.-Y., & Kim, K.-M. (2018). Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *Korean Journal of Orthodontics, 48*(5), 316–325. https://doi.org/10.4041/kjod.2018.48.5.316

Sayahpour, B., Zinelis, S., Polychronis, G., Eliades, T., Goteni, M., Kopp, S., & Eslami, S. (2024). Effects of intraoral aging on mechanical properties of directly printed aligners vs. thermoformed aligners: An in vivo prospective investigation. *European Journal of Orthodontics, 46*(1), cjad063. https://doi.org/10.1093/ejo/cjad063

Sharif, M., Bourauel, C., Ghoneima, A., Schwarze, J., Alhotan, A., & Elshazly, T. M.

(2024). Force system of 3D-printed orthodontic aligners made of shape memory polymers: An in vitro study. *Virtual and Physical Prototyping, 19*(1). https://doi.org/10.1080/17452759.2024.2361857

Sheridan, J. J., LeDoux, W., & McMinn, R. (1993). Essix retainers: Fabrication and supervision for permanent retention. *Journal of Clinical Orthodontics, 27*(1), 37–45.

Šimunović, L., Jurela, A., Sudarević, K., Bačić, I., Haramina, T., & Meštrović, S. (2024). Influence of post-processing on the degree of conversion and mechanical properties of 3D-printed polyurethane aligners. *Polymers, 16*(1), 17. https://doi.org/10.3390/polym16010017

Tartaglia, G. M., Mapelli, A., Maspero, C., Santaniello, T., Serafin, M., Farronato, M., & Caprioglio, A. (2021). Direct 3D printing of clear orthodontic aligners: Current state and future possibilities. *Materials, 14*(7), 1799. https://doi.org/10.3390/ma14071799

von Waldthausen, E., Mai, L.-M., Meyer-Marcotty, P., Quast, A., Schmid, J. Q., Brockmeyer, P., ... Wiechens, B. (2026). Force systems of direct printed and thermoformed aligners with different trimlines during rotational movements: An in vitro analysis. *Progress in Orthodontics, 27*, 28. https://doi.org/10.1186/s40510-026-00634-1

Wiechens, B., Meyer-Marcotty, P., von Waldthausen, E., Mai, L.-M., Schmid, J. Q., Brockmeyer, P., ... Quast, A. (2026). Biomechanical force profiles and force decrease of direct printed versus thermoformed aligners with different trimlines: An in vitro analysis. *Progress in Orthodontics, 27*, 23. https://doi.org/10.1186/s40510-026-00627-0

Willi, A., Patcas, R., Zervou, S.-K., Panayi, N. C., Schätzle, M. A., Eliades, G., ... Eliades, T. (2023). Leaching from a 3D-printed aligner resin. *European Journal of Orthodontics, 45*(3), 244–249. https://doi.org/10.1093/ejo/cjac056

Zhang, Y., & Wu, B. M. (2026). Next-generation orthodontics: Functional resins, biomechanics, biocompatibility, and current clinical reality of direct 3D-printed aligners. *Journal of Functional Biomaterials, 17*(3), 129. https://doi.org/10.3390/jfb17030129

Bölüm 2

OBSTRÜKTİF UYKU APNESİNDE KRANİYOFASİYAL FENOTİPLER VE ORTODONTİK YAKLAŞIMLAR

Hande Uzunçıbuk[1]

1 Department of Orthodontics, Dentistry Faculty, Trakya University, 22030, Edirne, Turkey Correspondence: handeuzuncibuk@trakya.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-9265-1772

■ Orta ile şiddetli düzeyde uykuya bağlı solunum bozuklukları (SDB), özellikle 50 ila 70 yaş arası bireylerde genel popülasyonda yaygın olarak görülmektedir.

■ Obstrüktif uyku apnesi (OSA); hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet ve motorlu araç kazalarıyla yüksek oranda ilişkili ciddi bir halk sağlığı sorunudur. Ortodontistler ve diş hekimleri, SDB riski taşıyan hastalarda sistemik ve kraniofasiyal risk faktörlerini değerlendirmelidir.

■ Polisomnografi (PSG), OSA ve diğer uyku bozukluklarının tanısında altın standart yöntemdir.

■ PAP tedavisi, özellikle erişkin orta-şiddetli OSA'nın yönetiminde en etkili tedavi seçeneklerinden biridir. Ancak cihazın yan etkileri ve düşük hasta uyumu, klinisyenleri alternatif tedavi seçeneklerini değerlendirmeye yönlendirmektedir.

■ Oral apareyler (OA), özellikle mandibular ilerletme apareyleri (MAD), hafif ile orta şiddette OSA veya birincil horlama olgularında etkili bir tedavi seçeneği olarak öne çıkmaktadır.

■ Ortodontistler ve diş hekimleri, OSA'nın multidisipliner değerlendirme ve tedavi sürecinde önemli bir role sahiptir.

■ Oral aparey tedavisi uygulanırken, apareylerin bireysel dentisyon ve oklüzal özelliklere göre kişiye özel hazırlanması önemlidir. Dental uyku tıbbı konusunda eğitimli diş hekimi veya ortodontist, apareyin titrasyon sürecini yönetmeli ve hem OSA semptomlarının düzelmesini hem de olası yan etkileri yakından takip etmelidir.

1. Giriş ve Tanısal Alt Tipler

Yetişkinlerde uyku ile ilişkili solunum bozuklukları, uyku sırasında solunumda meydana gelen farklı anormalliklerle karakterize heterojen bir bozukluk grubudur. "Uykuya bağlı solunum bozukluğu (SDB)" terimi, geçmişte sıklıkla "obstrüktif uyku apnesi (OSA)" terimiyle birbirinin yerine kullanılmıştır. Ancak günümüzde, bu durum için daha doğru bir terim olan **obstrüktif uyku apne-hipopne sendromu (OSAH)** kullanılmaktadır. Teknik anlamda değerlendirildiğinde, yalnızca obstrüktif olayları değil, tüm uyku sırasındaki solunum anormalliklerini kapsayan **SDB** teriminin tercih edilmesi daha uygundur.

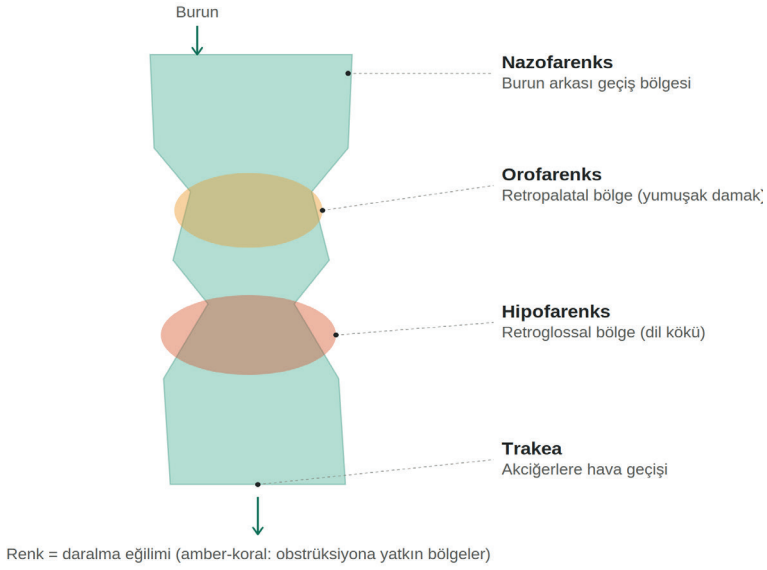
Bu terminolojik ayrımlar göz önüne alındığında, Uluslararası Uyku Bozuklukları Sınıflandırması (ICSD-3), uyku ile ilişkili solunum bozukluklarını sınıflandırmaktadır.

Klasik olarak, uykuya bağlı solunum bozuklukları spektrumu birincil horlamadan ağır düzeyde uyku apnesine kadar uzanır. Bu yaklaşım,

özellikle ortodontistlerin ve diş hekimlerinin bu bozuklukları daha iyi değerlendirebilmesi açısından faydalıdır. Ancak, uyku tıbbı alanında klinik sunum ile nomenklatürdeki bilimsel titizlik arasındaki dengeyi korumak önemlidir. Bu bağlamda, obstrüktif uyku apne-hipopne (OSAH) sendromu terimi yalnızca obstrüktif solunum olayları ailesi kapsamındaki bozukluklardan söz edilirken kullanılmalıdır.

Öncelikle, **OSA (obstrüktif uyku apnesi)** ile **CSA (santral uyku apnesi)** terimlerinin net bir şekilde birbirinden ayrılması büyük önem taşır. Çünkü bu ayrım, hastalara uygulanabilecek tedavi yöntemleri üzerinde doğrudan belirleyici olur. Aynı zamanda, **diş hekimi** ya da **orofasiyal ağrı/ağız hastalıkları uzmanının** bu rahatsızlıkların yönetimindeki rolünü de şekillendirir.

Obstrüktif Uyku Apnesi (OSA), uyku sırasında tekrarlayan tam veya kısmi üst hava yolu obstrüksiyonu ile karakterizedir. Şiddetli horlama, tanıklı apneler ve uyku sırasında hava akımında azalma sık görülen klinik bulgular arasındadır (Şekil 1).[1]



Sarı ve somon rengi alanlar, obstrüksiyona yatkın retropalatal ve retroglossal bölgeleri göstermektedir

Şekil 1. Üst hava yolunun şematik kesiti: nazofarenks, orofarenks (retropalatal bölge) ve hipofarenks (retroglossal bölge) boyunca daralmaya yatkın alanlar.

OSA, santral uyku apnesi (CSA) ve bu iki durumun bir arada bulunduğu karışık apne (mikst apne) arasında önemli tanımsal farklılıklar bulunmaktadır.

Üst hava yolu direnç sendromu (UARS) terimi, 1993 yılında **Guilleminault ve arkadaşları** tarafından literatüre kazandırılmıştır.[2] UARS genellikle, **gündüz uykululuğu ile birlikte görülen uykuya bağlı solunum bozukluğu ve solunumsal çaba ile ilişkili mikrouyanıklar (RERA)** ile tanımlanır; ancak bu hastalarda OSA tanı kriterlerini karşılayacak düzeyde apne veya hipopne olayları bulunmaz.

UARS tanısı, **klinik semptomların varlığı ile polisomnografi (PSG) bulgularının birlikte değerlendirilmesine** dayanır.[2] UARS hastaları genellikle **horlama ve gündüz aşırı uykululu**k şikayetleri ile başvururlar.

2. Klinik Bulgular

Uykuya bağlı solunum bozuklukları (SDB) sırasında farklı tipte olaylar meydana gelebilir.

SDB'ye ait klinik tablo, yaşla birlikte ilerleyici bir seyir gösterme eğilimindedir.

İlk olarak, **birincil horlama** durumu esasen **"sosyal" bir sorun** olarak kabul edilir; çünkü bu hastalarda aşırı gündüz uykululuğu bulunmaz ve uyku testi (polisomnografi) bulguları genellikle normal sınırlardadır. Birincil horlama, şiddetine bağlı olarak şu şekilde alt sınıflara ayrılabilir:

- **Aralıklı horlama**,
- **Hafif kronik horlama**,
- **Ağır kronik horlama.**

İkinci olarak, **Üst Hava Yolu Direnç Sendromu (UARS)**'nda hem **horlama** hem de **gündüz aşırı uykululuk** mevcuttur; AHİ normal veya düşük olabilir, ancak polisomnografide RERA ve artmış solunum çabası saptanabilir.

Son olarak, obstrüktif uyku apnesi (OSA), en sık görülen durumdur ve apne-hipopne indeksi (AHİ)'ne göre üç şiddet derecesine ayrılır.[1] AHİ, bir saatlik uyku süresince gerçekleşen apne ve hipopne olaylarının sayısını ifade eder (Tablo 1).

Şiddet derecesi	AHİ (olay/saat)
Hafif OSA	5–15
Orta OSA	15–30
Şiddetli OSA	≥30

Tablo 1. Apne-hipopne indeksine (AHİ) göre OSA şiddet sınıflandırması.

OSA genellikle aşağıdaki belirtilerle ilişkilidir:

- Şiddetli horlama, boğulma hissi, solunumda duraksama ve uyku sırasında nefesin kesilmesi
- Aşırı gündüz uykululuğu

■ **Anormal uyku çalışması (polisomnografi) bulguları**

■ **Birden fazla sistemik etki** (yaşamı tehdit edebilecek potansiyel)

OSA ile UARS arasında, polisomnografi (PSG) bulgularına ve diğer belirti, semptomlar ile tıbbi durumların varlığına göre daha ayrıntılı klinik farklılıklar bulunmaktadır.

3. Epidemiyoloji ve Etiyoloji (Risk Faktörleri)

Birincil Horlama:

■ Tüm yaş gruplarında görülmekle birlikte, yaşla birlikte sıklığı artar (**40 yaş üzerindeki yetişkinlerin %40–60'ı** horlama bildirmektedir).

■ **Çocuklarda**, genellikle **büyümüş tonsiller (bademcikler)** veya **adenoidler (geniz eti)** ile ilişkilidir.

■ **Erkeklerde** daha yaygındır; özellikle **Hispanik, Asyalı ve Afrikalı Amerikalılarda** daha sık görülür.

■ **Obez bireylerde**, horlama **3 kat daha sık** görülür.

Obstrüktif Uyku Apnesi (OSA):

OSA prevalansı yaş, cinsiyet, obezite sıklığı, kullanılan tanı kriterleri ve incelenen popülasyona göre önemli ölçüde değişmektedir.[3]

4. OSA'nın Sistemik Etkileri

Obstrüktif uyku apnesi (OSA), hayatı tehdit edebilecek potansiyele sahip bir durumdur; çünkü apne atakları, solunum, kardiyovasküler ve merkezi sinir sistemlerini içeren bir dizi birincil olay ve fizyolojik sonuç zincirini tetikleyebilir. Bu fizyolojik değişiklikler; hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar, metabolik bozukluklar, nörokognitif etkiler ve trafik kazası riskindeki artışla ilişkilendirilmiştir.[4]

Toplum temelli bazı çalışmalar, OSA'nın **geleneksel kardiyovasküler risk faktörlerinden bağımsız olarak**, kardiyovasküler mortalite için predispozan bir faktör olduğunu göstermiştir.[4]

OSA'ya bağlı morbidite ve mortalite artışı büyük olasılıkla **diyabete eğilim, dislipidemi, glukoz intoleransı ve hipertansiyon** gibi **ara yollarla** ortaya çıkmakta ve **santral obezite** ile birlikte **metabolik sendrom**u tanımlamaktadır. Bu nedenle OSA'nın **tip 2 diyabet gelişimine katkıda bulunduğu** düşünülmektedir.[4]

OSA'nın iki fenotipik bileşeni arasında:

■ **Hipoksemi**, **glukoz intoleransı ve kardiyovasküler hastalıklarla**,

■ **Uyku sırasında mikrouyanmalar**, **yeni gelişen hipertansiyonla** daha güçlü ilişki göstermektedir.

OSA ile ilişkili **nörokognitif bozukluklar**, dikkat süresinde azalma, **hafıza zayıflığı** ve **yürütücü işlevlerde bozulma** gibi durumları içerir ve bu bozukluklar, **prefrontal korteksteki uyku kaybının etkiler**i sonucunda ortaya çıkabilir.

Her ne kadar **gündüz uykululuğu**, OSA tedavisinden sonra genellikle hızlı şekilde düzelse de beynin bilişsel merkezlerinde meydana gelen hasarın, **kronik aralıklı hipoksemiye bağlı olarak kalıcı** olabileceği görülmektedir. Bu nedenle, uygun şekilde tedavi edilmiş olmasına rağmen, başlangıçta görülen nörokognitif bozuklukların **tam olarak iyileşmeyebileceği** belirtilmektedir.

Ayrıca, çocuklarda OSA'nın bilişsel-davranışsal sorunlar, DEHB benzeri belirtiler ve akademik başarıda düşüş ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir.

5. Tanı ve Tanı Kriterleri

Obstrüktif uyku apnesi (OSA) ve **uykuya bağlı solunum bozukluklarının (SDB)** tanısı; tipik klinik belirti ve semptomların tanınması, fiziksel muayene ve uyku çalışmaları ile konur. **Amerikan Uyku Tıbbı Akademisi**'ne göre, **gece boyunca yapılan tam polisomnografi (PSG)** OSA ve diğer uyku bozukluklarının tanısında **altın standart** olarak kabul edilir.[5] Ancak, **yüksek ön test olasılığ**ı bulunan hastalarda PSG'ye alternatif olarak, kapsamlı klinik değerlendirme ile birlikte **ev tipi uyku testler**i de kullanılabilir.[5]

OSA şüphesi, klinik belirti ve semptomların varlığına dayanır. Bu semptomlar, **gündüz** ve **gece** olmak üzere iki ana gruba ayrılır:

- **Gündüz semptomları:** Aşırı gündüz uykululuğu, huzursuz uyku, sabah baş ağrısı, nörokognitif bozulma, depresyon
- **Gece semptomları:** Horlama, boğulma veya nefes darlığıyla uyanma, gastroözofageal reflü (GERD)

5.1. Tarama Testleri ve Anketler

Çeşitli anketler, özellikle OSA hastalarında yaygın olan **gündüz uykululuğunu** saptamada tarama aracı olarak kullanılabilir. Bu anketlerden biri olan **Epworth Uykululuk Ölçeği (ESS)**, uykululuğun öznel ve nicel olarak değerlendirilmesine olanak tanır. Bireyden, sekiz farklı durumda uyuklama olasılığını **0 (hiçbir zaman) ile 3 (yüksek olasılık)** arasında derecelendirmesi istenir. Bu skorun, fizyolojik uyku ölçütleri ile orta düzeyde korelasyonu olmakla birlikte, **OSA hastalarında solunum bozukluğu indeksiyle daha güçlü bir ilişki** gösterdiği bildirilmiştir.[6]

Ayrıca, STOP kısaltması ile temsil edilen dört temel sorudan oluşan basit bir tarama testi de kullanılabilir. Bu sorulardan iki veya daha fazlasına "evet" cevabı verilmesi, uyku apnesi açısından yüksek risk olarak değerlendirilir. Genişletilmiş hali olan STOP–BANG anketi, uyku apnesi varlığını yüksek

doğrulukla öngörmektedir. BANG, dört ek sorudan oluşur: Beden Kitle İndeksi (B), yaş (A), boyun çevresi (N) ve cinsiyet (G). STOP-BANG, OSA açısından risk sınıflandırmasında kullanılan bir tarama aracıdır; yüksek skorlar orta-şiddetli OSA olasılığının arttığını düşündürür ancak tanı koydurucu değildir.[7]

5.2. Klinik Muayene ve Görüntüleme

Ayrıntılı ortodontik ve kraniofasiyal muayene, klinisyeni OSA ile ilişkili dentofasiyal ve üst hava yolu risk faktörleri hakkında bilgilendirir.

Görüntüleme yöntemleri, üst hava yolu ve çevresindeki yapıların anatomik değerlendirilmesinde rol oynar. Her ne kadar baş-boyun görüntüleme yöntemleri OSA tanısında rutin olarak kullanılmasa da bazı teknikler aşağıdaki amaçlarla fayda sağlayabilir:

1. Üst hava yolunun görselleştirilmesi

2. Kraniofasiyal ve dentofasiyal morfolojik özelliklerin saptanması

3. Üst hava yolu darlığı ve çökebilirlik riskinin öngörülmesi ve olası SDB varlığının değerlendirilmesi

Bu nedenle, **sefalometrik analiz**, **manyetik rezonans görüntüleme (MRI)**, **akustik yansıma teknikleri** ve **bilgisayarlı tomografi (BT)** taramaları, hastanın kapsamlı ortodontik ve kraniofasiyal değerlendirmesinin bir parçası olarak **kullanılmaktadır. Özellikle konik ışınlı b**ilgisayarlı tomografi (CBCT), ortodontik tanı ve tedavi planlamasında giderek daha fazla kullanılmakta ve bu görüntüleme yöntemi sayesinde dişler, çeneler, omurga, kranial taban ve yüz yumuşak dokuları bir arada değerlendirilebilmekt**edir.** CBCT, kraniofasiyal yapıların ve üst hava yolunun üç boyutlu anatomik değerlendirilmesine olanak sağlar; ancak statik morfolojik ölçümlerin solunum fonksiyonunu doğrudan yansıtmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. **Ayrıca bu teknikler, üst hava yolu hacmi v**e minimum kesitsel alanın üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak tanır.

Uyku çalışmaları, **SDB ve OSA'nın kesin tanısını koymak** için temel tanı araçlarıdır. Bu çalışmalarda, bireyin **uyanıklık ve uyku evrelerine ait fizyolojik verilerinin** eksiksiz biçimde toplanması ve eğitimli bir **uyku tıbbı uzmanı** tarafından değerlendirilmesi gerekir.

Amerikan Uyku Tıbbı Akademisi, uyku çalışmalarını **dört seviye** halinde tanımlamıştır. Bu seviyeler, hem **kayıt altına alınan fizyolojik parametrelerin sayısına** hem de çalışmanın bir **uyku teknisyeni tarafından izlenip izlenmediğine** göre sınıflandırılır.

- **Tip I uyku çalışması** ya da **polisomnografi (PSG)**, bir uyku laboratuvarında **gece boyunca yapılan**, uyku teknisyeni tarafından izlenen ve en az **yedi fizyolojik parametrenin** kaydedildiği bir çalışmadır. PSG, **objektif**

uyku çalışmaları içinde altın standart olarak kabul edilir.

6. Tedavi Seçenekleri, Hedefler ve Bakımın Aşamaları

Bu bölümde, **obstrüktif uyku apnesi (OSA)** ve **birincil horlama** ele alınacaktır. Bu durumlar, yalnızca **uyku tıbbı uzmanıyla iş birliği içinde çalışan deneyimli bir diş hekimi** tarafından yönetilebilecek hastalık gruplarıdır.

OSA'nın etkili bir şekilde tedavi edilmesindeki temel hedefler şunlardır:

- Aşırı gündüz uykululuğu ve yorgunluğu azaltmak,
- Hastalıkla ilişkili riskleri en aza indirmek,
- Kardiyovasküler etkilerin oluşturduğu yükü hafifletmek,
- Genel yaşam kalitesini artırmak.

Bu süreçte kulak burun boğaz uzmanları, göğüs hastalıkları ve kardiyoloji uzmanları, maksillofasiyal cerrahlar gibi çeşitli sağlık profesyonellerinin iş birliği **zorunludur**. Uygun tedavi planı, her hastanın **apne şiddetine** ve **eşlik eden sağlık sorunlarına** göre bireyselleştirilmelidir.[1]

Aşağıda **bilişsel-davranışsal**, **medikal cihaz temelli**, **farmakolojik** ve **cerrahi** tedavi seçenekleri açıklanmaktadır (Tablo 2):

Tedavi seçeneği	Endikasyon	Etkinlik	Öne çıkan özellik
Bilişsel-davranışsal tedavi	Tüm OSA hastaları (tamamlayıcı)	Tek başına sınırlı	Kilo kaybı, pozisyon değişikliği, uyku hijyeni
PAP cihazları (CPAP/BPAP/APAP)	Orta-şiddetli OSA (1. basamak)	Yüksek etkinlik (uygun titrasyon ve düzenli kullanımda)	Yüksek etkinlik, düşük uyum oranı
Oral apareyler (MAD/TRD)	Birincil horlama, hafif-orta OSA, CPAP intoleransı	Etkinlik; hasta özellikleri, aparey tasarımı ve kullanılan başarı ölçütüne göre değişir.	Konfor ve uyum avantajı
Farmakolojik tedavi	Seçilmiş, sınırlı endikasyon	Rezidüel gündüz uykululuğunda semptomatik yarar	Etkinliği sınırlı, araştırmalar sürüyor
Cerrahi tedavi	Seçilmiş OSA hastaları; anatomik obstrüksiyon ve/veya PAP intoleransı/başarısızlığı	Prosedüre göre değişken	KBB/maksillofasiyal cerrah değerlendirmesi gerektirir

Tablo 2. OSA ve birincil horlama tedavi seçeneklerinin karşılaştırılması.

6.1. Bilişsel-Davranışsal Tedavi

Hasta eğitimi, tedavi sürecinde en az cihaz ve ilaç tedavileri kadar önemlidir. Özellikle risk faktörlerinin azaltılmasına yönelik farkındalık oluşturmak çok değerlidir. Yaygın öneriler şunlardır:

- Kilo kaybı,
- Uyku pozisyonunun değiştirilmesi (örneğin sırt üstü yatmaktan kaçınma),
- Sigara ve alkol tüketiminin bırakılması,
- Sedatif ilaçlardan kaçınma,
- Uyku hijyeni kurallarının uygulanması.

6.2. Cihaz Temelli Tedaviler

OSA'nın yönetiminde en etkili tıbbi tedavilerden ikisi:

6.2.1. PAP Cihazları (Pozitif Hava Yolu Basınç Cihazları)

- OSA tedavisinde **en başarılı tıbbi yaklaşım** olarak kabul edilir.
- Uyku sırasında hava yolunu açık tutan **pnömatik bir atel** gibi çalışır.
- CPAP (sürekli), BPAP (iki seviyeli) ve APAP (otomatik ayarlanabilir) olmak üzere üç temel tipi vardır.
- CPAP cihazı, hastaya maske aracılığıyla sabit bir pozitif hava basıncı sağlar.
- **AHİ, kan basıncı, kardiyak aritmiler** azalır; **oksijen satürasyonu, uyku verimliliği, öznel uyku kalitesi ve yaşam kalitesi** artar.

Dezavantaj: CPAP cihazlarının kullanımı bazı hastalar için zor olabilir; bu da uyumu olumsuz etkiler. Etkinliği yüksek olsa da **kabul, tolerans ve düzenli kullanım oranı düşüktür**.

- **Depresyon**, CPAP'a uyumu azaltan risk faktörleri arasında yer alır.
- **Orta ve şiddetli OSA** olgularında **birinci basamak tedavi** olarak kabul edilir.
- Doğru titre edilmiş ve düzenli kullanılan PAP tedavisi, obstrüktif solunum olaylarını ve AHİ'yi belirgin biçimde azaltmada oldukça etkilidir.[8] Bununla birlikte klinik yarar, hastanın tedaviyi düzenli kullanmasına ve yeterli uyuma bağlıdır.[8]

6.2.2. İntraoral Apareyler (OA)

- CPAP'a toleransı olmayan, CPAP uyumu düşük olan, **birincil horlaması** veya **hafif-orta şiddette OSA'sı** olan hastalar için önerilir.
- İki ana tipi vardır:

o Mandibular ilerletme apareyleri (MAD)

o Dil tutucu apareyler (TRD)

MAD'ler, mandibulayı öne taşıyarak orofarenks ve velofarenksin anteroposterior genişliğini artırır.[9]

TRD'ler ise dili öne çekerek retroglossal bölgeyi rahatlatır.

■ Uyum ve konfor açısından MAD'ler genellikle ilk tercihtir.

· Dişsiz hastalarda TRD daha uygundur.

· MAD'ler; üretim malzemesi, tasarım, kalınlık, ileri hareket mekanizması gibi farklılıklara sahiptir.

Etkililik:

■ MAD tedavisinin etkinliği; OSA şiddeti, hasta özellikleri, apareyin tasarımı ve kullanılan başarı ölçütüne göre değişir.

Tedaviden daha çok fayda gören gruplar:

■ Kadınlar,

■ Genç hastalar,

■ Küçük boyun çevresi,

■ Düşük BKİ,

■ Retrognatik mandibula,

■ Pozisyona bağlı OSA vakaları

Yaygın ama genellikle geçici yan etkiler:

■ Tükürük artışı veya azalışı,

■ Diş hareketleri,

■ Diş hassasiyeti,

■ Çiğneme kası veya TME ağrısı,

■ Oklüzal değişiklikler (ör. posterior açık kapanış),

Öneri: Oral apareyler, özellikle kişiye özel ve titre edilebilir MAD'ler, birincil horlamada ve hafif-orta OSA'da; ayrıca PAP tedavisini tolere edemeyen veya alternatif tedaviyi tercih eden uygun erişkin OSA hastalarında değerlendirilebilir (Tablo 3a ve 3b). Tedavi etkinliği objektif uyku testiyle doğrulanmalı ve dental/oklüzal yan etkiler düzenli olarak izlenmelidir.[10]

OSA şiddeti	MAD etkinliği
OSA hastalarında MAD	Etkinlik; hasta seçimi, aparey tasarımı ve başarı tanımına göre değişkendir.

Tablo 3a. Obstrüktif uyku apnesinde mandibular ilerletme apareylerinin (MAD) etkinliğine ilişkin genel değerlendirme.

Tedavi öncesi hasta seçimi ve dikkat gerektiren durumlar
Aktif/ileri periodontal hastalık veya yetersiz periodontal destek
Aktif veya semptomatik TME patolojisi
Apareyin retansiyonunu engelleyen yetersiz dentisyon
Santral uyku apnesinde öncelikle tıbbi değerlendirme
Pediatrik hastalarda multidisipliner değerlendirme
Belirgin obezite/ağır OSA'da tedavinin bireyselleştirilmesi
Kullanım, titrasyon veya takibe uyum sağlayamayacak hastalar
Şiddetli hipoksemi/ciddi kardiyopulmoner komorbiditelerde tıbbi değerlendirme
Şiddetli OSA/ciddi kardiyovasküler hastalıkta OA'nın tek başına yeterli olmayabileceğinin değerlendirilmesi

Tablo 3b. Oral aparey tedavisi öncesinde hasta seçimi ve dikkat gerektiren durumlar.

6.3. Farmakolojik Tedavi

- Bugüne kadar çok sayıda farmakolojik yöntem araştırılmış olsa da OSA'yı tedavi etme konusundaki etkinlikleri **sınırlı** bulunmuştur.
- Araştırmalar hâlen devam etmektedir.
- **Nazal kortikosteroidler**, AHİ'yi azaltabilir ve **CPAP'a bağlı nazal tıkanıklıklar, alerjik rinit** gibi durumlarda yardımcı olabilir.
- Modafinil ve armodafinil gibi uyanıklığı artırıcı ilaçlar, primer OSA tedavisi değildir; etkin OSA tedavisine rağmen rezidüel aşırı gündüz uykululuğu devam eden seçilmiş erişkin hastalarda, diğer olası nedenler dışlandıktan sonra semptomatik tedavi amacıyla değerlendirilebilir.

6.4. Cerrahi Tedavi

Cerrahi tedavi yalnızca OSA şiddetine göre belirlenmez. PAP tedavisini tolere edemeyen veya yeterli yanıt/uyum sağlayamayan seçilmiş hastalarda ve cerrahi olarak düzeltilebilir belirgin anatomik obstrüksiyon bulunan olgularda cerrahi değerlendirme düşünülebilir.[11] OSA tedavisine yönelik çeşitli cerrahi teknikler mevcuttur ve bu tekniklerin temel amacı, obstrüksiyonu ortadan kaldırmak, bypass etmek ya da hava yolu çapını artırmaktır.

Hangi cerrahi yöntemin seçileceği, **hastanın anatomik ve fizyolojik özelliklerine** bağlıdır. Cerrahi müdahale kararı, ancak hastanın **OSA konusunda uzmanlaşmış bir kulak burun boğaz (KBB) uzmanı** ya da **maksillofasiyal cerrah** tarafından **kapsamlı bir değerlendirme sonrası** verilmelidir.[11]

OSA tedavisinde en yaygın uygulanan cerrahi prosedürler şunlardır:

- **Trakeostomi**
- **Tonsillektomi/adenoidektomi** (özellikle çocuklar için)
- **Septoplasti / konka küçültme operasyonu**
- **Uvulopalatofarengoplasti (UPPP)**

- **Dil kökü rezeksiyonu**
- **Hyoid süspansiyonu**
- **Genioglossus ilerletme**
- **Maksillomandibular ilerletme (MMA)**
- **Bu tekniklerin kombinasyonları**

7. Uykuya Bağlı Solunum Problemleri Olan Çocuklarda Kraniofasiyal Değerlendirme ve Ortodontik Müdahale

Pediatrik uykuya bağlı solunum bozuklukları, çocuklarda uyku sırasında meydana gelen solunumsal sorunların geniş bir yelpazesini ifade eder. Bu spektrum, birincil horlamadan, üst hava yolunun kısmi veya tam obstrüksiyonu ile karakterize edilen obstrüktif uyku apnesine (OSA) kadar uzanır. Bu durumlar, uyku düzeninin bozulmasına, sık uyanmalara ve gündüz saatlerinde davranışsal ve bilişsel problemlerle sonuçlanabilir. SDB açısından yüksek risk taşıyan çocukların erken tanımlanması; kardiyovasküler hastalıklar, metabolik bozukluklar, gecikmiş somatik büyüme, bilişsel gerilik, depresyon ve yaşam kalitesinde azalma gibi sağlık sonuçlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.[12]

Pediatrik OSA'nın etiyolojisi multifaktöriyeldir ve üst hava yolu açıklığını koruyan faktörler ile bu yapının kollapsına neden olan faktörler arasındaki dengenin bozulmasıyla ortaya çıkar.[12] Üst hava yolu çökebilirliğini etkileyen başlıca fenotipik faktörler, anatomik olmayan ve kraniofasiyal anatomik fenotipler olarak iki ana başlıkta incelenebilir.

7.1. Kraniofasiyal Olmayan Fenotipler

Anatomik olmayan fenotipler arasında nöromotor disfonksiyon ve inflamasyon yer alır. Yetersiz nöromüsküler kontrol, uyku sırasında üst hava yolu kaslarının tonus ve koordinasyonunun bozulmasına yol açarak kollapsa eğilim yaratabilir. Bu durum, hava yolunun açıklığını koruyan reflekslerin zayıfladığı santral sinir sistemi bozuklukları veya gelişimsel gecikmeler gibi durumları da içerebilir. Özellikle REM uykusunda kas tonusunun azalması, hava yolu çökebilirliğini artırabilir. Kronik rinit veya astım gibi inflamatuvar durumlar ise üst hava yolunda sürekli inflamasyona ve ödem oluşumuna neden olarak hava direncini artırır. Alerjik reaksiyonlar da burun pasajlarında ve üst hava yolunda inflamasyon ve konjesyona yol açarak çökebilirliği artırabilir.

7.2. Anatomik Fenotipler

Kraniofasiyal anatomik fenotipler arasında orofasiyal yumuşak doku özellikleri ve dentofasiyal iskeletsel uyumsuzluklar yer alır. Orofasiyal yumuşak doku özellikleri içinde, adenoide ve tonsillerin hipertrofisi pediatrik

OSA'nın en yaygın anatomik nedenidir.[12] Waldeyer halkasını oluşturan lenfoid doku, 3-6 yaş arasında maksimum gelişim gösterir ve bu dönem, OSA'nın çocuklarda en sık görüldüğü dönemle örtüşmektedir. Bu dokuların büyümesi, sadece hacimsel olarak değil, aynı zamanda mevcut anatomik boşluğa olan orantısal etkisiyle de hava yolunu daraltabilir. Obezite, boyun ve üst hava yolu çevresinde aşırı yağ birikimi ile hava yolunun dışarıdan baskılanmasına neden olabilir. Bu durum, solunum kaslarının yapısal ve fonksiyonel özelliklerinde bozulmaya, solunum sürücüsünde değişikliklere ve fonksiyonel rezidüel kapasitenin azalmasına yol açar. Makroglossi ve ankiloglossi gibi dil anomalileri ise emme, yutma ve konuşma işlevlerinde zorluklara yol açmanın yanı sıra, orofasiyal dismorfizme neden olarak üst hava yolu desteğini azaltabilir.

Dentofasiyal iskeletsel uyumsuzluklar arasında, mandibular retrognati, transvers maksiller yetersizlik ve orta yüz hipoplazisi gibi dentofasiyal iskeletsel özellikler OSA ile ilişkili önemli kraniofasiyal risk faktörleri arasında yer alır.[13] Kafatası, nazomaksiller kompleks, mandibula ve hyoid kemik gibi kraniofasiyal yapıların boyut, pozisyon ve ilişkilerindeki değişiklikler; üst hava yolunun boyutlarını önemli ölçüde etkileyebilir. Çünkü üst hava yolu, kraniyumun alt kısmında ve yüz yapılarının arkasında yer alır. Dolayısıyla bu yapıların gelişimsel olarak değişmesi, üst hava yolu çapında anlamlı daralmalara neden olabilir.

Çocukların büyüme süreci içerisinde ortodontiste başvurmaları, OSA açısından risk faktörlerinin belirlenmesi ve büyümenin yönlendirilmesine yönelik stratejilerin uygulanması için önemli bir fırsat sunar. Bu fenotipik faktörlerin tanınması; doğru ortodontik tanı, multidisipliner yönetim ve bireyselleştirilmiş tedavi planlaması açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle kraniofasiyal yapılarla ilişkili risk faktörlerinin belirlenmesi durumunda, tedavi seçimi kraniofasiyal fenotipleme dikkate alınarak bireyselleştirilmelidir.[13]

7.3. Ortodontik Müdahaleden Faydalanan Kraniofasiyal Yapılar

Obstrüktif uyku apnesi (OSA) ile ilişkili kraniofasiyal yapıları ve dentofasiyal paternleri tanımlamaya yönelik olarak birçok fenotipleme girişimi yapılmıştır (Tablo 4). Her bir kraniofasiyal özelliğin spesifik olarak hangi uykuya bağlı solunum bozukluğuna (SDB) katkı sağladığı net olarak belirlenememiş olsa da, dentofasiyal iskeletsel uyumsuzluğun kökenine dayalı olarak OSA'nın kraniofasiyal yapıya göre başlıca alt tipleri şu şekilde sınıflandırılabilir: mandibular retrognati ile karakterize iskeletsel Sınıf II, vertikal maksiller fazlalık ile karakterize iskeletsel Sınıf II, transvers nazomaksiller yetersizlik, maksiller retrognati ile karakterize iskeletsel Sınıf III ve bimaksiller iskeletsel yetersizlik.[13,14]

Fenotip	Karakteristik özellik	Olası müdahale / zamanlama yaklaşımı
Mandibular retrognati (Sınıf II)	Dar orofarengeal hava yolu, posterior konumlu dil/damak	Fonksiyonel aparey; bireysel iskeletsel maturasyon ve pubertal büyüme potansiyeline göre
Vertikal maksiller fazlalık (Sınıf II)	Saat yönü mandibular rotasyon, dar orofarenks	Oksipital headgear; büyüme paterni ve iskeletsel maturasyona göre bireyselleştirilir
Transvers nazomaksiller yetersizlik	Dar nazal kavite, artmış nazal direnç	RPE veya iskeletsel ankraj destekli genişletme; sutur maturasyonu, dentisyon ve transvers yetersizliğe göre
Maksiller retrognati (Sınıf III)	Daralmış nazofarengeal hava yolu	Yüz maskesi ± ekspansiyon; iskeletsel maturasyon, dentisyon ve Sınıf III etiyolojisine göre
Bimaksiller iskeletsel yetersizlik	Zayıf yanıt, kompleks hava yolu tıkanıklığı	Kombine tedavi; büyümesi tamamlanmış seçilmiş ciddi vakalarda MMA değerlendirilebilir

Tablo 4. OSA ile ilişkili kraniofasiyal fenotip alt tipleri ve önerilen ortodontik müdahale zamanlaması.

7.3.1. Mandibular Retrognati ile Karakterize İskeletsel Sınıf II Patern

7.3.1.1. Fonksiyonel Apareylerin Mandibular Ortopedik İlerletme ile Üst Hava Yolunu Açma Mekanizması

Önceki çalışmalar hem erişkin hem de çocuklarda, iskeletsel Sınıf II bireylerin orofarenks bölgesinde iskeletsel Sınıf I bireylere kıyasla anlamlı derecede daha dar farengeal hava yollarına sahip olduğunu göstermiştir.[13] Bu daralmanın, retrognatik mandibulaya bağlı olarak dilin ve yumuşak damağın daha posterior konumlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Fonksiyonel aparey (FA) tedavisinin, iskeletsel Sınıf II bireylerde farengeal hava yolu boyutlarını artırdığı ve bu ölçülerin Sınıf I bireylerle karşılaştırılabilir seviyelere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, FA tedavisi sırasında hava yolu boyutlarında artış görülebileceğini düşündürmektedir; ancak doğal büyümenin katkısı ve değişikliklerin uzun dönem kalıcılığı çalışma tasarımlarına göre değişmektedir. FA tedavisi sırasında farengeal hava yolu boyutlarındaki artış, mandibulanın ortopedik olarak öne konumlandırılmasıyla birlikte dilin ve suprahyoid kasların gerilmesine bağlanmakta, bu mekanizmanın üst hava yolu boyutlarındaki değişikliklere katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.[15] Fonksiyonel apareyler, büyüme çağındaki hastalarda orofarengeal ve nazofarengeal hava yolu hacimlerini ve minimum kesitsel alanı (MCA) artırabilir. Bununla birlikte, bir sistematik derleme, FA tedavisi sırasında hyoid kemiğin anteroposterior pozisyonunun anlamlı şekilde değişmediğine dair bulguya ulaşmıştır.[15] Mandibular retrognati ile karakterize iskeletsel Sınıf II bireylerde ortopedik tedavi hava yolu boyutlarında değişiklik oluşturabilir; ancak bunun ileride OSA gelişme riskini azalttığını gösteren yeterli uzun dönem kanıt bulunmamaktadır.[14]

Nazofarengeal ve orofarengeal hacimlerdeki değişimler genellikle küçük ile orta düzeyde olmasına karşın, hava yolunun alt bölümlerinde daha belirgin etkiler gözlemlenmiştir. Bu da klinik olarak anlamlı solunum

iyileşmelerinin daha çok alt farengeal bölgedeki değişimlere bağlı olabileceğini düşündürmektedir. OSA'lı bireylerde, özellikle retropalatal ve retroglossal alanlarda, farengeal hava yolu boyutları ve duvar kalınlığı açısından anlamlı farklılıklar tanımlanmıştır. Bu değişikliklerin kesin mekanizması halen tam olarak açıklanamamış olsa da mandibulanın anterior yönde ortopedik konumlandırılmasının dile ve hyoid kemiğe öne doğru traksiyon uygulayarak yumuşak damağın pozisyonunu değiştirdiği ve farengeal hava yolunu genişlettiği öne sürülmektedir. Bu hipotez, Sınıf II maloklüzyonun FA ile tedavisi sonrası yumuşak damağın anterior yer değiştirdiğini ve dilin damaktan uzaklaştığını gösteren gözlemlerle desteklenmektedir.[15]

7.3.1.2. Fonksiyonel Aparey Sonrası Fonksiyonel İyileşme

Fonksiyonel apareylerin apne/hipopne indeksi (AHİ) ve minimum oksijen satürasyonu (SaO_2) üzerindeki etkilerini değerlendiren bir çalışmada, FA tedavisi sonrasında AHİ'de belirgin bir azalma ve minimum SaO_2'de artış gözlemlenmiş, bu da FA'nın uykuya bağlı solunum bozukluğu semptomlarını azaltmada etkili olduğunu düşündürmüştür.[16] Bu gelişmeler, yalnızca tedavi öncesi ve sonrası ölçümlerin karşılaştırılmasıyla elde edilmiş, kontrol grubu ile karşılaştırma yapılmamıştır. Öte yandan, başka bir sistematik derleme, FA tedavisi sonrası AHİ değerlerinde azalma bildiren on iki çalışmayı içermiştir. Ancak, havuzlanan verilerdeki yüksek heterojenite nedeniyle istatistiksel olarak anlamlı bir sonuca ulaşılamamış, bu durum FA etkinliğinin kesin olarak ortaya konmasını zorlaştırmıştır.[14] Ayrıca, tedavi sonuçlarının uzun vadeli stabilitesinin henüz kanıtlanmadığı ve bu konuda daha fazla uzun dönemli çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.[14,17]

7.3.1.3. Fonksiyonel Aparey için Zamanlama

Fonksiyonel aparey tedavisinin zamanlamasında kronolojik yaştan çok bireysel iskeletsel maturasyon ve büyüme potansiyeli dikkate alınmalıdır. Mandibular büyüme modifikasyonundan yararlanılması hedeflendiğinde tedavinin pubertal büyüme dönemiyle ilişkilendirilmesi klinik açıdan önemlidir; ancak tüm hastalar için geçerli kesin bir başlangıç yaşı bulunmamaktadır.[14]

7.3.2. Vertikal Maksiller Fazlalık ile Karakterize İskeletsel Sınıf II Patern

7.3.2.1. Maksiller Vertikal Büyümenin Kontrolünde Oksipital Headgear Mekanizması

Headgear tedavisinin ilk amacı, maksillanın öne doğru büyümesini sınırlamaktır; bu durum bazı klinisyenler tarafından hava yolu üzerine olası olumsuz etkiler yaratabileceği gerekçesiyle eleştirilmiştir. Ancak süregelen tartışmalara rağmen, headgear tedavisinin Sınıf II fonksiyonel apareylerinden biri olan aktivatör ile birlikte kullanılması durumunda, özellikle

maksiller fazlalık ve mandibular yetmezlikle karakterize iskeletsel Sınıf II maloklüzyonu olan hastalarda orofarengeal hava yolu boyutlarını artırma potansiyeli gösterdiği saptanmıştır. Bu kombinasyon tedavisi, dil ile posterior farengeal duvar arasındaki en dar mesafeyi ve genel farengeal alanı artırabilir.[14]

Headgear tedavisi ile obstrüktif uyku apnesi (OSA) semptomları arasındaki ilişkiye dair sınırlı sayıda çalışma bulunsa da vertikal maksiller fazlalığın olumsuz etkileri dikkate alındığında —özellikle mandibulanın saat yönünde rotasyonuna neden olarak orofarengeal hava yolunun daralması— oksipital headgear apareyi kullanımının olası yararlar sağlayabileceği düşünülmektedir. Vertikal maksiller büyümenin inhibisyonu ile yüzün dikey yönde daha fazla diverjans göstermesi önlenebilir ve orofarengeal açıklık artırılabilir. Bu bağlamda, hedefe yönelik headgear tedavileri, belirli kraniofasiyal anomalilere sahip hastalarda üst hava yolu boyutları üzerinde olumlu değişikliklere katkıda bulunabilir. Ancak bu faydaların doğrulanması ve standardize edilmiş tedavi protokollerinin oluşturulabilmesi için daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç vardır.[14]

7.3.2.2. Oksipital Headgear İçin Zamanlama

Oksipital headgear ile vertikal büyüme kontrolünün zamanlaması, hastanın kronolojik yaşından ziyade iskeletsel matürasyonu, büyüme paterni ve ortodontik tedavi hedeflerine göre bireyselleştirilmelidir. Büyüme döneminde uygulanabilmekle birlikte, 10–12 yaş aralığını tüm hastalar için zorunlu veya optimal kabul eden kesin bir yaş sınırı bulunmamaktadır.[14]

Vertikal kraniofasiyal büyüme uzun bir gelişim dönemine yayıldığından müdahale zamanlaması yalnızca kronolojik yaşa göre belirlenmemelidir. Headgear kullanım süresi ve zamanlaması; iskeletsel matürasyon, vertikal büyüme paterni, dentofasiyal hedefler ve hasta kooperasyonu dikkate alınarak bireyselleştirilmelidir.[14]

7.3.2.3. Vertikal Kontrol İçin Geçici Ankraj Cihazı (TAD) Destekli Mekaniklerle Total Maksiller Ark İntrüzyonu

Geçici ankraj cihazları (TAD) kullanılarak gerçekleştirilen total maksiller dental ark intrüzyonu, vertikal fazlalığa sahip fenotiplerin yönetiminde etkili bir strateji olabilir. Tüm maksiller arkın intrüzyonu sayesinde, yüzün dikey yüksekliği azaltılabilir ve mandibula saat yönünün tersine döndürülerek anterior pozisyona taşınabilir.[17]

TAD destekli mekaniklerle maksiller dentisyonun intrüzyonu, seçilmiş hiperdiverjan olgularda vertikal kontrol ve mandibulanın saat yönünün tersine rotasyonuna katkı sağlayabilir. Bu değişikliklerin üst hava yolu boyutları üzerindeki olası etkileri bildirilmiş olmakla birlikte, OSA veya solunum fonksiyonu üzerindeki klinik yararı konusunda kanıtlar sınırlıdır.[17]

7.3.3. Transvers Nazomaksiller Yetersizlik Fenotipi

7.3.3.1. Ortopedik Maksiller Ekspansiyonun Üst Hava Yolunu Açmadaki Mekanizması

Maksilla kemikleri, nazal kavitenin anatomik yapısının yaklaşık %50'sini oluşturur. Bu nedenle, maksiller diş arkının morfolojisini değiştiren tedavi yöntemleri, nazal kavitenin şekli ve fonksiyonu üzerinde önemli etkiler yaratabilir. Nazal kavitenin dar olduğu, nazal tabanın sınırlı gelişim gösterdiği ve maksiller daralmanın eşlik ettiği kraniofasiyal fenotiplerle karakterize olgularda, iskeletsel genişletme yaklaşımı ortodontik endikasyon varlığında değerlendirilebilir. Nazal kavite, üst hava yolu direncinin önemli bir bölümünü oluşturur. Literatürdeki veriler, hızlı maksiller ekspansiyonun (rapid palatal expansion, RPE), nazal kavitenin dış duvarlarını lateral yönde genişlettiğini, palatal kubbe yüksekliğini azalttığını ve nazal septumu düzleştirdiğini göstermektedir. Bu yapısal değişikliklerin nazal kavite boyutlarında artışa ve nazal dirençte azalmaya katkıda bulunabileceği bildirilmiştir. RPE sonrasında nazal hava akımında iyileşme de raporlanmış olmakla birlikte, bu anatomik ve fonksiyonel değişikliklerin pediatrik OSA üzerindeki klinik etkileri hastalar ve çalışmalar arasında değişkenlik göstermektedir.[18,19]

7.3.3.2. Nazomaksiller İskeletsel Ekspansiyonun Fonksiyonel İyileştirme Üzerindeki Etkisi

Maksiller transvers yetersizliği bulunan seçilmiş pediatrik OSA hastalarında RPE'nin üst hava yolu boyutları ve bazı uyku ile ilişkili solunum parametreleri üzerinde olumlu etkileri bildirilmiştir; ancak mevcut kanıtların heterojenliği nedeniyle RPE, pediatrik OSA için tek başına standart bir tedavi olarak değerlendirilmemelidir.[14,17,20] OSA tanısı konulmuş, 0–12 yaş arası 215 sendromik olmayan çocukla yapılan bir çalışmada, müdahale öncesi ve sonrası polisomnografi ile ölçülen apne/hipopne indeksi (AHİ) değerlerinde anlamlı azalma gözlemlenmiştir.[21] Yoon tarafından gerçekleştirilen retrospektif bir çalışma, RPE sonrasında çocuklarda tonsil ve adenoid hacmindeki değişiklikleri değerlendiren ilk klinik araştırmalardan biridir.[22] Ortalama yaşı 8 olan 60 çocuk iki gruba ayrılmış; bir grup RPE ile tedavi edilmiş, diğer grup ise tedavi almamıştır. Tedavi sonunda RPE grubunda tonsil ve adenoid hacimlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma gözlenirken, kontrol grubunda anlamlı bir değişim saptanmamıştır.[22]

Geçici ankraj cihazı (TAD) destekli veya mini-implant destekli maksiller genişletme yaklaşımlarının nazal hava yolu ve solunum parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bazı çalışmalar nazal hava akımında artış ve dirençte azalma bildirmiştir; ancak mevcut çalışmaların örneklem büyüklükleri ve tasarımları, bu yaklaşımların geleneksel RPE'ye göre SDB/OSA açısından genel olarak daha etkili olduğu sonucuna varmak için yeterli değildir.[23]

Başka bir çalışmada ise, ortalama yaşı 13,6 olan ve obez olmayan 26 OSA hastasına nazomaksiller iskeletsel genişletme uygulanmış; konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntüleriyle yapılan değerlendirmelerde, glossopharyngeal hava yolu hariç tüm üst hava yolu bölümlerinde anlamlı genişlemeler saptanmıştır.[24] Evde yapılan uyku testi ve modifiye edilmiş pediatrik uyku anketi sonuçları; AHİ, oksijen desatürasyon indeksi, en düşük oksijen satürasyonu, akım sınırlamaları, horlama ve m-PSQ skorlarında kayda değer iyileşmeler göstermiştir.[24] Bu bulgular seçilmiş hastalarda olumlu değişiklikler olabileceğini düşündürmektedir; ancak kontrol grubu, örneklem büyüklüğü ve çalışma tasarımı gibi sınırlılıklar nedeniyle sonuçlar genellenirken dikkatli olunmalıdır.[24]

7.3.3.3. Nazomaksiller Genişletme İçin Zamanlama

Nazomaksiller iskeletsel genişletmenin başarısı, median palatal suturun ve çevre kraniofasiyal suturların maturasyonuna bağlıdır. Sutur maturasyonu kronolojik yaşla tam olarak öngörülemediğinden, geleneksel RPE ile iskeletsel ankraj destekli genişletme arasındaki seçim için; bireysel iskeletsel maturasyon ve klinik özellikler değerlendirilmelidir.[23]

Pediatrik OSA ile transvers maksiller yetersizliğin birlikte bulunduğu bazı küçük yaş gruplarında erken maksiller genişletmenin olası yararları araştırılmıştır. Bununla birlikte OSA semptomlarının varlığı tek başına RPE endikasyonu oluşturmaz. Genişletme kararı; ortodontik transvers yetersizlik, iskeletsel maturasyon, dentisyon ve multidisipliner uyku/üst hava yolu değerlendirmesi dikkate alınarak bireyselleştirilmelidir.[14]

Transvers maksiller yetersizliği bulunan büyüme çağındaki hastalarda RPE düşünülebilir. Diş destekli RPE, hibrit genişletme veya MARPE/TAD destekli yaklaşımlar arasındaki seçim; kronolojik yaştan tek başına ziyade sutur maturasyonu, transvers yetersizliğin şiddeti, dentisyon, periodontal koşullar ve ortodontik hedeflere göre yapılmalıdır. Mini implant destekli sistemler, genişletme kuvvetlerinin daha fazla iskeletsel yapılara iletilmesini amaçlar.[23]

7.3.4. Maksiller Retrognati ile Karakterize İskeletsel Sınıf III Fenotip

7.3.4.1. Maksiller Ortopedik Protraksiyon ile Üst Hava Yolunun Açılmasında Yüz Maskesi Mekanizması

Maksiller protraksiyon, büyüme dönemindeki maksiller retrognati ile karakterize iskeletsel Sınıf III hastalarda temel olarak dentofasiyal ortopedik endikasyonlarla uygulanır; üst hava yolu boyutları üzerinde olumlu değişiklikler bildirilmiş olsa da pediatrik OSA için tek başına standart bir tedavi olarak değerlendirilmemelidir. Maksiller retrüzyon çoğunlukla maksiller darlık ile birlikte görüldüğü için, yüz maskesi uygulamasının hızlı maksiller ekspansiyon (RPE) ile kombinasyonu yaygındır. Yüz maskesiyle elde edilen

iskeletsel değişiklikler arasında, maksillanın öne ve aşağıya doğru büyümesinin stimülasyonu, palatal düzlemin saat yönünün tersine rotasyonu ve mandibulanın dolaylı olarak saat yönünde rotasyonu yer alır. Bu değişiklikler, çevre maksiller suturlar ve maksiller tüberkül bölgesindeki hücresel aktiviteye bağlanmaktadır. Ortodontik olarak, bu etkiler arka nazal omurga (PNS) noktasının anteriora yer değiştirmesine neden olarak yumuşak damağın da öne taşınmasına ve post-palatal hava yolu genişliğinin artmasına yol açabilir. Ayrıca, maksillanın öne alınması ile nazofarengeal hava yolu boyutlarında — kalınlık ve alan dahil olmak üzere — artışlar gözlenebilir.[25,26]

Bununla birlikte, yüz maskesinin neden olduğu mandibulanın saat yönünde rotasyonu, dilin pozisyonunu sınırlayabilir. Bu bağlamda, Akin, maksiller protraksiyon yüz maskesi tedavisi sırasında hyoid kemiğin konumunda anlamlı bir değişiklik olmadığını bildirmiştir.[25] Benzer şekilde, Balos da tedavi ve kontrol grupları arasında hyoid pozisyonu açısından anlamlı bir fark olmadığını ifade etmiştir.[26] Sonuç olarak, McNamara alt farengeal hava yolu ölçümünde ise daha sınırlı bir değişiklik gözlenmiştir.[26] Mandibular saat yönü rotasyonunun bu dolaylı etkilerini en aza indirmek için, kemik ankrajlı **i**ntermaksiller traksiyon, farenks gelişimi açısından konvansiyonel maksiller protraksiyon yüz maskesine göre daha faydalı olabilir. Bu yaklaşım, maksiller protraksiyon sağlarken mandibular şekli ve büyüme yönünü saat yönünün tersine olacak şekilde modüle edebilir.

Yalnızca yüz maskesi kullanımına ve fonksiyonel etkilerine dair çalışmalar sınırlıdır. Quo ve ark., Sınıf III maloklüzyon ve OSA tanılı hastalarda erken dönemde uygulanan maksiller protraksiyon tedavisi sonrasında **AHİ'de anlamlı azalma** raporlamıştır.[27]

7.3.4.2. Maksiller Ortopedik Protraksiyon için Zamanlama

Maksiller protraksiyonun zamanlaması; Sınıf III maloklüzyonun etiyolojisi ve şiddeti, maksiller büyüme yetersizliği, iskeletsel maturasyon, dentisyon ve hasta kooperasyonu dikkate alınarak bireyselleştirilmelidir. Erken dönemde uygulanan yüz maskesi tedavisi bazı hastalarda daha belirgin ortopedik yanıt sağlayabilir; ancak tüm hastalar için birincil dişlenmede veya tanı konur konmaz tedavi başlanmasını gerektiren tek bir optimal zamanlama bulunmamaktadır.

Geleneksel tedavi yaklaşımı, maksiller protraksiyonu erken karışık dişlenme döneminde, diş destekli maksiller ekspansiyon apareyi ve yüz maskesi kombinasyonu ile başlatmaktır. Çünkü yaşla birlikte suturların tedaviye duyarlılığı azalmaktadır. Buna karşın, iskeletsel ankrajlı yaklaşımlar uygun kemik gelişimi ve iskeletsel maturasyona ulaşıldığında daha ileri yaşlarda uygulanabilir; tedavi zamanlaması bireysel anatomik ve iskeletsel özelliklere göre belirlenmelidir.

Büyüme dönemindeki Sınıf III hastalarda yüz maskesi ile RPE kombinasyonu, eşlik eden transvers maksiller yetersizlik bulunduğunda kullanılabilir. İskeletsel ankraj veya MARPE gereksinimi ise yaşa tek başına bağlı olmayıp iskeletsel maturasyon, transvers yetersizliğin şiddeti, dentisyon, vertikal kontrol gereksinimi ve tedavi hedeflerine göre değerlendirilmelidir.

İleri maturasyon gösteren büyüme çağındaki hastalarda diş destekli ve iskeletsel ankrajlı protraksiyon/ekspansiyon seçenekleri arasında seçim bireyselleştirilmelidir. MARPE, mini implant veya mini plak destekli yaklaşımlar bazı hastalarda dental yan etkileri azaltıp iskeletsel kuvvet aktarımını artırabilir; ancak belirli yaş aralıklarında bir yöntemin diğerinden kesin olarak üstün olduğu genellenmemelidir.[14,17]

7.3.5. Bimaksiller İskeletsel Yetersizlik Fenotipi

Bimaksiller yetersizlik fenotipleri, uykuya bağlı solunum bozukluklarında yaygın olarak görülür; ancak hem maksilla hem de mandibulanın büyümesini yönetme açısından önemli zorluklar oluşturur. Bazı klinisyenler, maksiller ekspansiyon apareyi ile yüz maskesi kullanarak maksillanın transvers ve sagittal gelişimine odaklanır; ardından üst kesici dişlerin ileri eğimi ile mandibular büyümenin önünü açarak mandibulanın doğal olarak öne büyümesini destekler. Bu yaklaşım, mandibulanın gelişimini yakalayabilmesi için postürün düzeltilmesini ve nazal solunumun sağlanmasını içeren fonksiyonel restorasyonu hedefler.[14]

Bazı klinisyenler ise, büyüme modifikasyonunun erken dönemlerinde hem maksilla hem de mandibulanın gelişimini eş zamanlı olarak desteklemeye çalışır; bu durumda genellikle önce maksilla üzerinde çalışılır. Ancak, her iki çenenin birlikte başarılı şekilde büyümesini sağlama konusunda ortak bir görüş birliği yoktur. Bimaksiller yetersizlik gösteren çocuklar, yüz gelişimini uyaran ortopedik veya fonksiyonel apareylere **zayıf yanıt veren** bireyler olarak değerlendirilir. Bu durumlarda, müdahale zamanlaması ve aparey seçimi, **iskeletsel hedef** ve **hava yolu tıkanıklığının lokalizasyonuna** göre, farklı büyüme teorileri doğrultusunda belirlenmelidir.[14]

Retrognatik maksillalı Sınıf III hastalarda maksiller protraksiyonun zamanlaması bireysel iskeletsel maturasyon ve tedavi hedeflerine göre belirlenmelidir. Mandibular büyüme modifikasyonu planlandığında da kronolojik yaş yerine pubertal büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi daha uygundur.[14]

Aşırı hiperdiverjan yüz paterni ve ciddi bimaksiller yetersizlik bulunan, büyümesi büyük ölçüde tamamlanmış seçilmiş hastalarda maksillomandibular ilerletme (MMA), dentofasiyal iskeletsel uyumsuzluğun ve OSA'nın cerrahi yönetiminde etkili seçeneklerden biri olabilir.[28] Maksiller ilerletme, yumuşak damak ve velofarengeal kasları öne çekerek nazofarengeal ve

hipofarengeal alanı genişletir, burun kanat tabanını genişleterek nazal direnci azaltır. Mandibular ilerletme ise, dili ve suprahyoid kasları öne taşır. Bu değişiklikler, farengeal obstrüksiyonu ortadan kaldırarak üst hava yolu genişliğini hem sagittal hem transvers düzlemde artırır ve hava yolu çökebilirliğini azaltarak fonksiyonel performansı iyileştirir.[28]

Büyüme çağındaki hastalarda cerrahi müdahale hâlâ tartışmalıdır. Literatürde, büyüme çağındaki farklı cerrahi prosedürlerin zamanlamasına veya bu işlemlerin sonrası iskeletsel büyüme üzerindeki etkilerine dair yeterli veri bulunmamaktadır. Normal kraniofasiyal büyüme ve gelişim, maksillanın büyümesini mandibuladan daha önce tamamladığını ve boy uzunluğunda büyüme hızının zirveye ulaştıktan sonra maksillanın büyüme potansiyelinin azaldığını göstermektedir. Refrakter OSA olgularında, erken MMA tedavisi düşünülebilir.[28]

8. Sonuç

Pediatrik OSA'nın multifaktöriyel etiyolojisi ve yetişkin OSA'dan belirgin şekilde farklılık göstermesi nedeniyle, ortodontistlerin üst hava yolu çökebilirliğini etkileyen çeşitli patofizyolojik OSA fenotipleriyle ilişkili kraniofasiyal özellikleri tanıması büyük önem taşımaktadır. Literatür incelemeleri, büyüme modifikasyonu tedavileriyle nazomaksiller kompleksin ve mandibulanın **anteroposterior, vertikal ve transversal** boyutlarının kontrol edilmesinin yalnızca iskeletsel gelişimi değil, aynı zamanda üst hava yolu gelişimini de olumlu etkileyebileceğini göstermektedir.[14,17]

Bu sayede, fonksiyonel matriksin normal solunum ve kraniofasiyal gelişim için optimize edilebileceği daha elverişli bir ortam yaratılabilir. Bu amacı desteklemek için, OSA'nın kraniofasiyal fenotipleri dentofasiyal iskeletsel uyumsuzluğun etiyolojisine göre sınıflandırılmış; retrognatik mandibulalı Sınıf II, vertikal maksiller fazlalık ile karakterize iskeletsel Sınıf II, transvers nazomaksiller yetersizlik, retrognatik maksillalı Sınıf III ve bimaksiller yetersizlik gibi ana alt tipler belirlenmiş ve uygun tedavi seçenekleri önerilmiştir.[13,14]

Zamanında ve uygun endikasyonla uygulanan dentofasiyal ortopedik müdahaleler, seçilmiş hastalarda iskeletsel gelişimi yönlendirebilir ve üst hava yolu morfolojisi üzerinde olumlu değişikliklere katkıda bulunabilir. Bununla birlikte, bu değişikliklerin OSA üzerindeki uzun dönem klinik etkilerinin ortaya konması için daha güçlü çalışmalara ihtiyaç vardır.[14,17,20] Dentofasiyal ortopedik büyüme modifikasyonu ile iskeletsel iyileşme sağlandığında, beraberinde fonksiyonel iyileşmenin gerçekleşip gerçekleşmediği mutlaka değerlendirilmelidir. Pediatrik uyku hekimleriyle disiplinler arası iletişim, üst hava yolu gelişimi için kapsamlı ve hasta merkezli tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.[14]

Ayrıca, büyüme modifikasyonunun; uygun durumlarda **adenotonsillektomi**, **ilaç tedavisi** veya **kilo ve diyet kontrolü** gibi yöntemlerle birleştirilmesi, tedavi etkinliğini maksimum düzeye çıkarma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

1. Chang JL, Goldberg AN, Alt JA, et al. International Consensus Statement on Obstructive Sleep Apnea. *Int Forum Allergy Rhinol*. 2023;13(7):1061-1482. doi:10.1002/alr.23079

2. Guilleminault C, Stoohs R, Clerk A, Cetel M, Maistros P. A Cause of Excessive Daytime Sleepiness. *Chest*. 1993;104(3):781-787. doi:10.1378/chest.104.3.781

3. Benjafield A V, Ayas NT, Eastwood PR, et al. Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea: a literature-based analysis. *Lancet Respir Med*. 2019;7(8):687-698. doi:10.1016/S2213-2600(19)30198-5

4. Veasey SC, Rosen IM. Obstructive Sleep Apnea in Adults. *New England Journal of Medicine*. 2019;380(15):1442-1449. doi:10.1056/NEJMcp1816152

5. Kapur VK, Auckley DH, Chowdhuri S, et al. Clinical Practice Guideline for Diagnostic Testing for Adult Obstructive Sleep Apnea: An American Academy of Sleep Medicine Clinical Practice Guideline. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2017;13(3):479-504. doi:10.5664/jcsm.6506

6. Johns MW. A New Method for Measuring Daytime Sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*. 1991;14(6):540-545. doi:10.1093/sleep/14.6.540

7. Chung F, Yegneswaran B, Liao P, et al. STOP Questionnaire. *Anesthesiology*. 2008;108(5):812-821. doi:10.1097/ALN.0b013e31816d83e4

8. Patil SP, Ayappa IA, Caples SM, Kimoff RJ, Patel SR, Harrod CG. Treatment of Adult Obstructive Sleep Apnea with Positive Airway Pressure: An American Academy of Sleep Medicine Clinical Practice Guideline. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2019;15(2):335-343. doi:10.5664/jcsm.7640

9. Sutherland K, Vanderveken OM, Tsuda H, et al. Oral Appliance Treatment for Obstructive Sleep Apnea: An Update. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2014;10(2):215-227. doi:10.5664/jcsm.3460

10. Ramar K, Dort LC, Katz SG, et al. Clinical Practice Guideline for the Treatment of Obstructive Sleep Apnea and Snoring with Oral Appliance Therapy: An Update for 2015. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2015;11(7):773-827. doi:10.5664/jcsm.4858

11. Kent D, Stanley J, Aurora RN, et al. Referral of adults with obstructive sleep apnea for surgical consultation: an American Academy of Sleep Medicine clinical practice guideline. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2021;17(12):2499-2505. doi:10.5664/jcsm.9592

12. Marcus CL, Brooks LJ, Draper KA, et al. Diagnosis and Management of Childhood Obstructive Sleep Apnea Syndrome. *Pediatrics*. 2012;130(3):576-584. doi:10.1542/peds.2012-1671

13. Liu Y, Zhao T, Ngan P, Qin D, Hua F, He H. The dental and craniofacial characteristics among children with obstructive sleep apnoea: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2023;45(3):346-355. doi:10.1093/ejo/cjac074

14. Bucci R, Rongo R, Zunino B, et al. Effect of orthopedic and functional orthodontic treatment in children with obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev*. 2023;67:101730. doi:10.1016/j.smrv.2022.101730

15. Scribante A, Pascadopoli M, Zampetti P, Rocchi C, Falsarone F, Sfondrini MF. Changes in the Upper Airway Dimension Following the Use of Functional Appliances in Children with Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review. *Children*. 2025;12(2):227. doi:10.3390/children12020227

16. Sun Y, Jia Y, Wang S, et al. Effectiveness of mandibular advancement orthodontic appliances with maxillary expansion device in children with obstructive sleep apnea: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1303. doi:10.1186/s12903-024-04931-1

17. Yu M, Ma Y, Xu Y, et al. Orthodontic appliances for the treatment of pediatric obstructive sleep apnea: A systematic review and network meta-analysis. *Sleep Med Rev*. 2023;72:101855. doi:10.1016/j.smrv.2023.101855

18. Camacho M, Chang ET, Song SA, et al. Rapid maxillary expansion for pediatric obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope*. 2017;127(7):1712-1719. doi:10.1002/lary.26352

19. Barbosa DF, Bana LF, Michel MCB, Meira e Cruz M, Zancanella E, Machado Júnior AJ. Rapid maxillary expansion in pediatric patients with obstructive sleep apnea: an umbrella review. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2023;89(3):494-502. doi:10.1016/j.bjorl.2023.02.004

20. Fernández-Barriales M, López de Luzuriaga M, Lafuente-Ibáñez de Mendoza I, Alonso Fernández-Pacheco JJ, Álvarez Ruiz de Larrinaga A, Aguirre Urizar JM. Controlled Prospective Evidence of Rapid Maxillary Expansion Efficacy in Pediatric Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review Update. *J Clin Med*. 2026;15(8):2976. doi:10.3390/jcm15082976

21. Machado-Junior A, Zancanella E, Crespo A. Rapid maxillary expansion and obstructive sleep apnea: A review and meta-analysis. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. Published online 2016:0-0. doi:10.4317/medoral.21073

22. Yoon A, Abdelwahab M, Bockow R, et al. Impact of rapid palatal expansion on the size of adenoids and tonsils in children. *Sleep Med*. 2022;92:96-102. doi:10.1016/j.sleep.2022.02.011

23. Abu Arqub S, Mehta S, Iverson MG, Yadav S, Upadhyay M, Almuzian M. Does Mini Screw Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) have an influence on airway and breathing in middle-aged children and adolescents? A systematic review. *Int Orthod*. 2021;19(1):37-50. doi:10.1016/j.ortho.2021.01.004

24. Kim JE, Hwang KJ, Kim SW, Liu SYC, Kim SJ. Correlation between craniofacial changes and respiratory improvement after nasomaxillary skeletal expansion in pediatric obstructive sleep apnea patients. *Sleep and Breathing*. 2022;26(2):585-594. doi:10.1007/s11325-021-02426-9

25. Akin M, Ucar FI, Chousein C, Sari Z. Effects of chincup or facemask therapies on the orofacial airway and hyoid position in Class III subjects. *Journal of*

Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie. 2015;76(6):520-530. doi:10.1007/s00056-015-0315-3

26. BALOŞ TUNCER B, ULUSOY Ç, TUNCER C, TÜRKÖZ Ç, KALE VARLIK S. Effects of reverse headgear on pharyngeal airway in patients with different vertical craniofacial features. *Braz Oral Res*. 2015;29(1):1-8. doi:10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0057

27. Quo S, Lo LF, Guilleminault C. Maxillary protraction to treat pediatric obstructive sleep apnea and maxillary retrusion: a preliminary report. *Sleep Med*. 2019;60:60-68. doi:10.1016/j.sleep.2018.12.005

28. Kent D, Stanley J, Aurora RN, et al. Referral of adults with obstructive sleep apnea for surgical consultation: an American Academy of Sleep Medicine systematic review, meta-analysis, and GRADE assessment. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2021;17(12):2507-2531. doi:10.5664/jcsm.9594

Bölüm 3

ŞEFFAF PLAK TEDAVİLERİNDE DİŞ HAREKETLERİNİN BİYOMEKANİK VE KLİNİK PLANLANMASI

Güray GÜRLER[1]

1 Uzm. Dt., Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı
ORCID: 0009-0008-0411-7739

1. Giriş

Şeffaf plak tedavileri, dijital planlama ve materyal bilimindeki gelişmelerle birlikte çağdaş ortodontide yaygın biçimde kullanılmaktadır. Dijital planda öngörülen hareketlerin klinik olarak gerçekleşme düzeyi; hareket tipine, tedavi tasarımına ve kullanılan sisteme göre değişmektedir. (1-4) Şeffaf plaklar, mevcut diş konumu ile hedeflenen bir sonraki konum arasındaki geometrik farkın termoplastik materyalde oluşturduğu elastik deformasyon üzerinden kuvvet üretir. (5-8) Kuvvetin çoğunlukla kuron yüzeylerinden iletilmesi, gövdesel hareket ile tork ve kök kontrolünün klinik ifadesini sınırlayabilir. Materyalin zamanla stres gevşemesine uğraması ise başlangıçtaki kuvvet sisteminin kullanım süresi boyunca aynı düzeyde korunmasını güçleştirir. Plak–diş uyumu, materyal özellikleri, diş morfolojisi, ataşman geometrisi ve kuvvetin uygulama noktası, kuvvet iletimini ve planlanan hareketin klinik ifadesini birlikte belirler. (5-10) Bu biyomekanik sınırlılıklar, staging kavramını tedavi planlamasının temel bileşenlerinden biri hâline getirmiştir. Staging, hareketlerin uygun miktar ve sırayla ardışık plaklara dağıtılmasını ifade eder.

Macro-staging (makro aşamalandırma), ark düzeyindeki hareket fazlarını ve ankraj segmentlerini; micro-staging (mikro aşamalandırma) ise her dişte plak başına uygulanacak hareket miktarını ve eş zamanlı hareket bileşenlerini düzenler. (11-13) Sinerjik hareketlerin birlikte, antagonistik veya biyomekanik olarak çatışan hareketlerin ise farklı fazlarda planlanması plak–diş uyumunun, ankrajın ve kök kontrolünün korunmasına katkı sağlayabilir. (14-16) Bu bölümde plak–diş etkileşimi, kuvvet ve moment sistemleri, materyal ve ataşman özellikleri, staging yaklaşımları, farklı diş hareketlerinin planlanması, klinik sapmalar ve düzeltici yaklaşımlar biyomekanik bir çerçevede ele alınmaktadır.

2. Şeffaf Plak Biyomekaniğinin Temel Bileşenleri

2.1. Plak–Diş Etkileşimi

Şeffaf plak, diş kuronlarını kesintisiz biçimde sararak kuvvetlerin ark boyunca karşılıklı etkileştiği kapalı bir mekanik sistem oluşturur. Bu nedenle bir dişe verilen aktivasyon, komşu dişlerde ve ankraj segmentlerinde reaktif etkiler meydana getirebilir. (6) Kuvvet dağılımı homojen değildir. Hareket yönü, kuron morfolojisi ve plağın diş yüzeyine lokal adaptasyonu, basıncın yoğunlaştığı bölgeleri ve oluşan net kuvvet vektörünü belirler. (7)

Başlıca mekanik sınırlılıklardan biri, kuvvetin ağırlıklı olarak kuron yüzeylerinden iletilmesidir. Kuvvet hattı direnç merkezinden sapabildiği için gövdesel hareket yerine devrilme hareketi oluşabilir; kuron hedef konuma yaklaşırken kök hareketi geride kalabilir. (5,6,18) Kuron ve kök morfolojisi, aktif temas yüzeylerinin niteliğini ve gerekli momentin oluşturulmasını etkiler. Bu morfolojik farklılıklar, özellikle rotasyon, ekstrüzyon ve tork gibi kontrollü moment gerektiren hareketlerin klinik ifadesini sınırlayabilir. (2,6)

Ataşmanlar ek aktif temas yüzeyleri oluşturarak retansiyonu ve moment üretimini destekleyebilir. (10,19-21) Materyal özellikleri de kuvvet iletiminin büyüklüğünü ve sürekliliğini etkiler. (7,17,22) Daha yüksek aktivasyon her zaman daha fazla klinik hareket sağlamaz; aşırı aktivasyon plağın tam yerleşmesini bozabilirken, yetersiz aktivasyon etkili kuvvet üretimini sınırlayabilir. (6,23)

2.2. Kuvvet ve Moment Sistemleri

Şeffaf plak tedavisinde hareketin niteliği yalnızca kuvvetin büyüklüğüne değil, yönüne, uygulama noktasına ve oluşturduğu momente de bağlıdır. (5-7) Kuvvet dişi belirli bir yönde hareket ettirirken, moment dişi bir eksen çevresinde döndürme eğilimi oluşturur. Hareket tipi, kuvvet ile karşıt moment arasındaki ilişkiye bağlıdır. Karşıt moment yetersiz olduğunda kontrolsüz devrilme eğilimi baskın olabilir; karşıt moment arttıkça kontrollü devrilme, gövdesel hareket veya kök hareketine yaklaşan hareket paternleri oluşabilir. Bu mekanik ilişki; kuron morfolojisi, kök uzunluğu ve biçimi ile periodontal destek gibi anatomik değişkenlerden etkilenir. (6,18,22) Rotasyonun ve tork kontrollü hareketlerin klinik olarak ifade edilebilmesi için uygun yön ve büyüklükte karşıt kuvvetlerin oluşturduğu bir moment sistemi gerekir. (10,24)

Ataşmanlar ve power ridge benzeri tasarımlar, aktif temas yüzeylerini ve kuvvetin uygulama noktasını değiştirerek gerekli moment sistemini desteklemeyi amaçlar. (9,10,19) Materyalin viskoelastik davranışı, başlangıçta oluşan kuvvet ve moment sisteminin zaman içinde aynı düzeyde korunmasını güçleştirir. Bu nedenle bir plağın kullanım süresi boyunca sabit bir kuvvet sisteminin iletildiği varsayılamaz. (8,25) Planlamada yalnızca hareket miktarı değil, kuvvet hattının direnç merkeziyle ilişkisi, gerekli karşıt moment ve ankraj segmentinde oluşabilecek reaktif etkiler de birlikte değerlendirilmelidir. (16,26)

2.3. Materyal Özellikleri

Şeffaf plakların kuvvet üretimi ve kuvvetin zaman içindeki değişimi, kullanılan termoplastik materyalin mekanik özelliklerinden etkilenir. Elastik modül, sertlik, akma gerilmesi ve enerji geri kazanımı; başlangıç kuvvetinin büyüklüğünü, materyalin deformasyon davranışını ve kuvvetin sürdürülmesini etkileyen temel özelliklerdir. (6,27) Materyal sertliği ve elastik modülü arttıkça başlangıç kuvveti genellikle yükselir. Ancak daha yüksek kuvvet tek başına daha etkili diş hareketi anlamına gelmez.

Plağın kalıcı deformasyona uğramadan esneyebilmesi, yeterli retansiyon sağlaması ve klinik olarak kullanılabilir bir kuvvet düzeyini sürdürebilmesi gerekir. (23,27) Deneysel çalışmalarda daha kalın materyallerin daha yüksek başlangıç kuvvetleri oluşturabildiği, daha ince plakların ise belirli aktivasyon aralıklarında farklı enerji geri kazanımı özellikleri gösterebildiği bildirilmiştir. (23,25) Plak sabit deformasyon altında tutulduğunda iç gerilim ve dişe

iletilen kuvvet zaman içinde azalır. Bu stres gevşemesi, başlangıçtaki kuvvet sisteminin kullanım süresi boyunca aynı düzeyde korunmasını güçleştirir. (8,22)

Termoform işlemi sırasında materyal kalınlığının her bölgede eşit kalmaması, ark boyunca heterojen rijitlik ve kuvvet iletimine yol açabilir. (25,27) Tek katmanlı ve çok katmanlı materyallerin başlangıç stresi ile stres gevşemesi bakımından farklı davranış göstermektedir. Bu farklılıklar materyal bileşimine ve test koşullarına bağlı olduğundan tüm ürünlere genellenmemelidir. (8) Materyal özellikleri retansiyon ve plak–diş uyumunu da etkiler.

Fazla esnek materyaller yapısal stabiliteyi ve retansiyonu sınırlayabilir; aşırı rijit materyaller ise daha yüksek başlangıç kuvvetleri ve yerleştirme–çıkarma güçlüğüyle ilişkili olabilir. (22,28) Rotasyon, ekstrüzyon ve tork gibi düşük öngörülebilirlik gösteren hareketlerde yalnızca başlangıç kuvveti değil, kuvvet sisteminin kullanım süresince ne ölçüde korunabildiği de biyomekanik açıdan önem taşır. (8,29)

2.4. Ataşmanlar ve Yardımcı Mekanikler

Şeffaf plakların doğal retansiyonu ve kuron yüzeyleri üzerinden sağladığı kuvvet aktarımı, özellikle karmaşık hareketlerde gerekli moment sistemini oluşturmak için yetersiz kalabilir. Kompozit ataşmanlar, diş kuronunda ek retansiyon ve aktif temas yüzeyleri oluşturarak kuvvetin uygulama noktasını değiştirebilir ve gerekli momentin oluşmasını destekleyebilir. (9,19) Ataşmanın şekli, yönelimi, kuron üzerindeki konumu, plak materyali ve ataşman yuvasına uyumu retansiyonu ve kuvvet iletimini etkiler. Ataşmanın eksik şekillenmesi, aşınması, kırılması veya yerinden ayrılması planlanan kuvvet sistemini bozabilir. (9,24,28) Dikdörtgen, elipsoid ve sisteme özgü optimize ataşman tasarımları; retansiyon, rotasyon, kök kontrolü veya gövdesel hareket gibi farklı mekanik amaçlarla kullanılabilir. Bununla birlikte ataşmanın etkisi yalnızca biçimine değil, yönelimine, konumuna, diş morfolojisine ve hedeflenen hareketin yönüne bağlıdır. (6,9,10,19,21,30)

Vertikal elastikler, seçilmiş olgularda dişler arası temasların ve oklüzal yerleşmenin geliştirilmesini destekleyebilir; ancak asimetrik veya kontrolsüz kuvvetler devrilme, tek taraflı ekstrüzyon ve oklüzal düzlem sapmasına yol açabilir. (2,13) İskeletsel ankraj, reaktif kuvvetlerin bir bölümünü dental segmentlerden kemiğe aktararak ankraj kontrolünü destekleyebilir; ancak plak deformasyonunu, yetersiz kök kontrolünü veya plak–diş uyumunun kaybını tek başına gidermez. (13,30,31) Ataşmanların ve yardımcı mekaniklerin seçimi; hareket tipi, diş morfolojisi, ankraj gereksinimi, plak materyali ve staging planıyla birlikte değerlendirilmelidir.

3. Staging ve Hareket Dizisinin Planlanması

3.1. Macro-Staging

Macro-staging, tedavinin ark düzeyindeki hareket fazlarını, önceliklerini ve her aşamada ankraj sağlayacak segmentleri düzenler. (11,12) Aynı fazda çok sayıda dişin aktive edilmesi, plak üzerinde oluşan toplam deformasyonu ve reaktif kuvvetlerin dağılımını artırarak retansiyon ve ankraj kontrolünü güçleştirebilir. Karmaşık hareketlerin fazlara ayrılması, aktif diş sayısının sınırlandırılmasına ve arkın daha geniş bir bölümünün ankraj segmenti olarak kullanılmasına olanak tanıyabilir. (19)

Caterpillar motion, çekim boşluğu kapatma veya geniş segmental hareketlerde arkın farklı bölümlerinin ardışık olarak aktive edilmesini ifade eden bir macro-staging modelidir. (11,32) Bu yaklaşımda amaç, aynı anda aktif olan segmenti sınırlandırarak ankraj yükünü ve çekim boşluğu üzerindeki plak deformasyonunu azaltmaktır; ancak bu biyomekanik avantajların klinik üstünlüğe dönüşüp dönüşmediği kesin değildir. (11,16)

Birbirini destekleyen sinerjik hareketler aynı aşamada yürütülebilirken, zıt kuvvet sistemleri oluşturan antagonistik hareketlerin farklı fazlara ayrılması daha uygun olabilir. (12,13) Bazı planlarda hareket fazları arasına programlanmış duraklama aşamaları (pause) eklenebilir. Bu aşamalarda belirgin yeni bir aktivasyon verilmez; önceki fazdaki hareketin klinik ifadesi, plak–diş uyumu ve ankraj segmenti değerlendirilir. Kök hareketinin devam etmesine zaman tanınabileceği öne sürülmekle birlikte, bu yaklaşımı doğrudan destekleyen klinik kanıtlar sınırlıdır. (11) Özellikle rotasyon, tork ve kök kontrolü içeren fazlardan sonra plak–diş uyumu, diş angulasyonları ve ankraj segmentindeki değişiklikler klinik olarak değerlendirilmelidir. (12,14)

Ataşmanlar, elastikler ve iskeletsel ankraj her fazın gereksinimine göre kullanılabilir; ancak yardımcı mekaniklerin eklenmesi hatalı hareket sırasını veya yetersiz ankraj planını tek başına telafi edemez. (13,19,30) Ark düzeyindeki bu fazlama belirlendikten sonra, her faz içindeki bireysel diş aktivasyonları micro-staging kapsamında düzenlenir. (11,17)

3.2. Micro-Staging

Micro-staging, her plakta bireysel dişlere verilecek hareket miktarını ve aynı dişte hangi hareket bileşenlerinin birlikte yürütüleceğini belirler. Macro-staging ark düzeyindeki fazları düzenlerken, micro-staging bu fazların diş bazındaki mekanik ayrıntılarına odaklanır. (11,12) Aynı dişte rotasyon, ekstrüzyon, tork ve gövdesel hareket gibi birden fazla karmaşık hareket bileşeninin eş zamanlı planlanması, plağın aynı temas yüzeylerinden farklı yönlerde kuvvet ve moment üretmesini gerektirebilir. Biyomekanik olarak çatışan hareket bileşenlerinin farklı aşamalara ayrılması, hedeflenen kuvvet sisteminin sadeleştirilmesine ve plak–diş uyumunun korunmasına katkı sağlayabilir.

(13) Kuron morfolojisi ve mevcut aktif temas yüzeyleri, hareket bileşenlerinin birlikte mi yoksa ardışık mı planlanacağını etkiler. (2,20)

Ekspansiyon, proklinasyon ve interproksimal redüksiyon, sonraki hareketler için gerekli alanı önceden sağlayacak biçimde zamanlanmalıdır. (12) Micro-staging sabit bir yazılım ayarı değildir. Aynı plan içinde bazı dişler standart aktivasyonlarla ilerlerken, düşük öngörülebilirlik gösteren hareketlerin plak başına daha küçük miktarlara bölünmesi, izole edilmesi veya farklı fazlarda yürütülmesi gerekebilir. (11,17)

3.3. Hareket Miktarı ve Sıralaması

Şeffaf plak tedavisinde hareket miktarı ve sıralaması, toplam diş hareketinin ardışık plaklara nasıl dağıtılacağını belirler. Amaç, her aşamada kuvvet sistemini kontrol edilebilir düzeyde tutmak, ankrajı korumak ve plak–diş uyumunu sürdürmektir. (12) Plak başına planlanacak hareket miktarı; diş tipi, kök morfolojisi, periodontal destek, mevcut alan ve hareketin niteliğine göre değişir. (33) Dişin mevcut konumu ile plağın temsil ettiği hedef konum arasındaki geometrik fark arttıkça başlangıç kuvveti de artabilir. Bununla birlikte plak başına daha yüksek aktivasyon, her zaman daha fazla gerçekleşen hareket sağlamaz. Plağın tam yerleşmemesi, materyal deformasyonu ve kuvvetin uygulama noktasındaki değişiklik planlanan hareketin klinik ifadesini sınırlayabilir. (6,8,23)

Hareket sırası, mevcut alan ve ankraj gereksinimiyle uyumlu olmalıdır. (2,12) Ardışık staging, özellikle geniş sagittal hareketlerde aynı anda aktif olan diş sayısını sınırlandırmak amacıyla kullanılabilir. Molarların ardışık biçimde distalize edilmesi, posterior segmentte oluşan ankraj yükünün fazlara dağıtılmasına yardımcı olabilir. (32) Çekimli vakalarda kanin ve kesici retraksiyonunun farklı fazlarda yürütülmesi de aynı anda aktive edilen diş sayısını azaltabilir. (31)

Plak değiştirme aralığı, planlanan aktivasyon miktarı ve klinik hareket ifadesi birlikte değerlendirilmelidir. Düşük öngörülebilirlik gösteren bir hareketin tamamlanmamış olması durumunda kullanım süresinin uzatılması düşünülebilir; ancak mekanik engel, plak–diş uyumsuzluğu veya hatalı staging varlığında yalnızca kullanım süresini uzatmak yeterli değildir. (29,34) Planlanan hareketin klinik ifadesi yetersiz kaldığında plak–diş uyumu, ataşman bütünlüğü, interproksimal engeller, aktivasyon miktarı ve staging sırası birlikte yeniden değerlendirilmelidir. (14,35) Plak başına aktivasyon miktarı ve plak değiştirme aralığı, gerçekleşen hareket, plak–diş uyumu ve klinik yanıt doğrultusunda tedavi süresince yeniden düzenlenebilir. (29,35)

3.4. Overcorrection

Overcorrection, planlanan hareketin klinikte eksik ifade edilebileceği öngörülerek dijital hedefin kontrollü biçimde aşılmasıdır. Amaç, dijital hedef

ile gerçekleşen hareket arasındaki olası farkı telafi etmektir; ancak planlanan aşımın klinik olarak aynı ölçüde gerçekleşeceği varsayılamaz. Rotasyon, tork, ekstrüzyon ve intrüzyon gibi öngörülebilirliği sınırlı hareketlerde değerlendirilebilir. (12,15) Overcorrection gereksinimi; kuvvetin ağırlıklı olarak kuron yüzeylerinden iletilmesi, plağın diş yüzeyinde kayması, materyalin stres gevşemesi ve kök hareketinin kuron hareketinin gerisinde kalması gibi mekanik sınırlılıklarla ilişkili olabilir. (6,8,24)

Rotasyonda overcorrection, özellikle yuvarlak kuronlu kanin ve premolarlarda eksik hareketi telafi etmek amacıyla planlanabilir. Anterior retraksiyonda ise beklenen tork kaybını kompanse etmek amacıyla dijital planda ek kök torku verilebilir; bu yaklaşım overcorrection'ın özel bir uygulaması olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte marka, sistem veya simülasyon modeline özgü kompanzasyon oranları doğrudan klinik eşik olarak kabul edilmemelidir. (2,15,20,26) Vertikal hareketlerde aşırı kompanzasyon; anterior–posterior temas dengesini, oklüzal düzlemi ve oklüzal yerleşmeyi olumsuz etkileyebileceğinden daha ihtiyatlı planlanmalıdır. (2,15,21)

Overcorrection miktarı; hareket tipi, diş morfolojisi, periodontal sınırlar, kullanılan sistem ve önceki klinik yanıta göre bireyselleştirilmelidir. (15) Plak–diş uyumu bozulmuşsa mevcut sapmayı yalnızca hedef hareket miktarını artırarak telafi etmeye çalışmak uygun değildir. (9,12,15,24) Tedavi sırasında kuvvet sisteminin geçerliliğini yitirdiği belirgin sapmalarda ara yeniden planlama; ana seri tamamlandıktan sonra kalan sınırlı eksikliklerde ise ek plak tedavisi değerlendirilebilir. (14,15,26,36)

4. Hareket Kombinasyonlarının Biyomekanik Planlanması

4.1. Sinerjik Hareketler

Sinerjik hareketler, aynı fazda planlandıklarında alan, retansiyon veya ankraj açısından birbirini destekleyen hareket kombinasyonlarıdır. Amaç, hareketleri yalnızca eş zamanlı yürütmek değil, ortak biyomekanik hedef doğrultusunda daha dengeli bir kuvvet sistemi oluşturmaktır. (13) Aynı dişte sınırlı bir ek hareket bileşeni aktif temas yüzeyini artırabilir; ark düzeyinde ise stabil bırakılan bir segment aktif bölgeye ankraj sağlayabilir. Bu yaklaşım özellikle yuvarlak kuronlu dişlerde yüzey kaymasını sınırlayabilir. (11,12)

Kesici hedefleri ve periodontal sınırlar uygun olduğunda molar distalizasyonuna eşlik eden sınırlı anterior proklinasyon yer gereksinimini azaltabilir; ancak bu durum anterior ankrajın korunduğu anlamına gelmez. (13,32) Kombinasyonun uygunluğu yüz paterni, oklüzal hedef, posterior ankraj kapasitesi ve vertikal gereksinimlere göre belirlenmelidir. (11,17) Ataşmanlar, elastikler ve iskeletsel ankraj sinerjik kuvvet sistemlerini destekleyebilir; ancak biyomekanik olarak uyumsuz hareketleri sinerjik hâle getiremez. (9,13) Bu nedenle hareket kombinasyonları sabit eşleştirmelere göre değil,

oluşturdukları net kuvvet, moment, alan kullanımı ve ankraj dengesi üzerinden değerlendirilmelidir. (13)

4.2. Antagonistik Hareketler

Antagonistik hareketler, aynı fazda planlandıklarında kuvvet sistemini zayıflatan, plak retansiyonunu azaltan veya ankraj dengesini bozan hareket kombinasyonlarıdır. (13) Rotasyon sırasında plak yüzeyde kaymadan moment üretmeli, ekstrüzyonda ise dişi vertikal yönde kavramalıdır. Özellikle yuvarlak kuronlu kanin ve premolarlarda bu gereksinimler çatışarak her iki hareketin klinik ifadesini sınırlayabilir. (12,13,20) Anterior retraksiyonda gövdesel hareket ile kök kontrolü için gerekli karşıt moment yeterince oluşturulamazsa lingual kuron devrilmesi gelişebilir. (13,24,26)

Ark düzeyinde aynı anda çok sayıda dişin aktive edilmesi, reaktif kuvvetleri karşılayacak stabil segmenti küçültebilir. (17) Posterior ekspansiyon ile anterior proklinasyon plağın iki ucunda dışa yönlü kuvvetler oluşturabilirken, posterior kompresyon ile anterior retraksiyon materyalin içe doğru bükülme ve plak–diş uyumsuzluğu riskini artırabilir. (13) Ataşmanlar, elastikler ve iskeletsel ankraj bu etkileri azaltabilir; ancak temel mekanik çatışmayı ortadan kaldırmaz. (16,30,37)

Çatışan hareketlerin farklı fazlara ayrılması, aktif diş sayısının azaltılması, gerekli alanın önceden oluşturulması ve ankrajın güçlendirilmesi daha kontrollü bir kuvvet sistemi sağlayabilir. (9,17) Beklenmeyen devrilme, oklüzal düzlem değişikliği, plak–diş uyumsuzluğu veya ankraj segmentindeki istenmeyen hareketler ortaya çıktığında kombinasyon ve staging sırası yeniden değerlendirilmelidir. (12,14)

4.3. Kombine Hareketlerde Klinik Karar Verme

Hareket kombinasyonları planlanırken aynı fazdaki hareketlerin alan, retansiyon ve ankraj açısından birbirini desteklemesi hedeflenmelidir. Karar, yalnızca tedavi süresine değil, oluşacak net kuvvet ve moment sistemine göre verilmelidir. (12) Distalizasyon, çekim boşluğu kapatma ve belirgin vertikal düzeltmelerde aynı anda aktive edilen diş sayısının sınırlandırılması, reaktif kuvvetlerin daha geniş ve stabil bir segment tarafından karşılanmasına katkı sağlayabilir. Dental ankrajın yetersiz kalacağı öngörülüyorsa elastik veya iskeletsel ankraj desteği başlangıçtan planlanmalıdır. (30)

Rotasyon–ekstrüzyon veya yüksek miktarlı retraksiyon–tork gibi aynı temas yüzeylerinden farklı kuvvet sistemleri gerektiren hareketler farklı fazlara ayrılabilir. (13,20) Ataşmanlar, elastikler, power ridge yapıları ve mini-vidalar yalnızca biyomekanik olarak uygun bir hareket dizisini desteklemek amacıyla kullanılmalıdır. (9-11,13,17) Sonraki faza geçmeden önce plak–diş uyumu, ataşman bütünlüğü, diş angulasyonları, kök kontrolü, ankraj segmenti ve oklüzal ilişkiler değerlendirilmelidir. (11,14,26) Temel yaklaşım, kuvvet

sistemini sade tutmak ve her fazın klinik ifadesini bir sonraki aşamadan önce doğrulamaktır. (17,31)

5. Vertikal Hareketlerin ve Oklüzal İlişkilerin Planlanması

5.1. Anterior Açık Kapanış Tedavisi

Anterior açık kapanış tedavisinde öncelikle problemin dental ve iskeletsel bileşenleri ayrılmalıdır. Dental olgularda dentoalveoler hareketler yeterli olabilirken, hiperdiverjan olgularda posterior vertikal kontrol ve mandibular rotasyon daha fazla önem taşır. (38-40) Bununla birlikte mandibular autorotasyon her olguda öngörülebilir değildir ve tek başına güvenilir bir posterior kontrol yöntemi olarak kabul edilmemelidir. (12,38-40) Lingual kuron devrilmesi kesici kenarı oklüzale yaklaştırarak overbite'ı artırabilir; ancak gerçek anterior ekstrüzyon olarak yorumlanmamalıdır. (24,39)

Anterior ekstrüzyonun klinik ifadesi, özellikle kısa, konik veya yuvarlak kuronlarda sınırlı olabilir. Ataşmanlar retansiyonu, vertikal elastikler ise ekstrüzif kuvveti destekleyebilir; ancak sonuç plak–diş uyumuna, ataşman bütünlüğüne ve hasta kooperasyonuna bağlıdır. (2,12,21,41) Staging, hedeflenen kapanış mekanizmasına göre düzenlenmelidir. Ark hizalaması ve sagittal ilişkiler kontrol altına alındıktan sonra anterior ve posterior vertikal hareketlerin farklı fazlarda yürütülmesi kuvvet sistemini sadeleştirebilir. Anterior ekstrüzyon ile posterior intrüzyon aynı fazda planlanıyorsa ankraj dengesi ve plak–diş uyumu her aşamada değerlendirilmelidir. (12)

Tedavi boyunca anterior plak–diş uyumu ve posterior temaslar birlikte izlenmelidir. (12,14,41) Dil pozisyonu, solunum paterni, iskeletsel yapı ve posterior oklüzal temaslar nüks riskini etkileyebileceğinden retansiyon başlangıç etiyolojisine göre bireyselleştirilmelidir. (38) Planlamada hedeflenen vertikal mekanizma önceden tanımlanmalı ve anterior hareketler posterior oklüzyonla birlikte değerlendirilmelidir. (39,42)

5.2. Derin Kapanış Tedavisi

Derin kapanış tedavisinde artmış overbite'ın kesici dişlerin aşırı erüpsiyonuna, posterior dişlerin yetersiz vertikal gelişimine veya her iki bileşene bağlı olup olmadığı belirlenmelidir. (40,43) Mandibular kesici proklinasyonu, belirgin gerçek intrüzyon oluşmadan göreceli overbite azalması sağlayabilir; bu nedenle sonuç yalnızca kapanış miktarına göre değil, kesici eğimindeki değişiklikle birlikte değerlendirilmelidir. (40,44,45) Bite ramp'lerin etkinliği plağın tam yerleşmesine, karşıt dişlerle gerçek temas oluşmasına ve posterior segmentin yeterli retansiyonuna bağlıdır. (20,43)

Anterior intrüzyon sırasında posterior segmentte reaktif ekstrüzyon, devrilme veya retansiyon kaybı gelişebilir. Optimize ankraj ataşmanları bu etkileri azaltmayı amaçlasa da posterior dişler mutlak ankraj ünitesi olarak

kabul edilmemelidir. (13,43) Yetersiz kök kontrolü kesicilerin linguale devrilmesine ve overbite'ın artmasına yol açabileceğinden retraksiyon, intrüzyon ve tork hedefleri birlikte değerlendirilmelidir. (13,26) Belirgin Spee eğrisinde posterior ankraj hazırlandıktan sonra kanin ve kesici intrüzyonunun aşamalı yürütülmesi daha kontrollü olabilir. Posterior ekstrüzyon ile anterior intrüzyonun birlikte kullanıldığı frog pattern, yüz paterni ve vertikal hedefler uygun olduğunda değerlendirilebilecek bir staging seçeneğidir. (11,17,45)

Tedavi sonunda kesici eğimi ve kök konumu, posterior vertikal düzey, oklüzal temaslar ve plağın anterior uyumu birlikte değerlendirilmelidir. (40,44,45) Hedefler yüz yüksekliği, mandibular düzlem açısı, periodontal sınırlar ve ankraj kapasitesiyle uyumlu olmalıdır. (42,43,47,48)

5.3. Anterior İntrüzyon

Anterior intrüzyonda hedef, kesici dişleri apikal yönde hareket ettirirken kuron eğimini ve kök konumunu korumaktır. (40,43,45) İntrüzif kuvvet kuron yüzeyinden iletildiği için kuvvet hattı direnç merkezinden sapabilir ve saf intrüzyon yerine proklinasyon momenti gelişebilir. Bu nedenle değerlendirme yalnızca kesici kenarın vertikal konumuna değil, kesici eğimi, kök konumu, alveoler sınırlar ve overbite değişimine dayanmalıdır. (13,40,44,49)

Kesicilere uygulanan intrüzif kuvvetler posterior segmentte ekstrüzyon, devrilme veya retansiyon kaybı oluşturabileceğinden posterior dişler mutlak ankraj ünitesi olarak kabul edilmemelidir. (13) Optimize ankraj ataşmanları ve virtual bite ramp'ler posterior retansiyonu desteklemeyi amaçlar; ancak etkileri plağın tam yerleşmesine ve karşıt dişlerle gerçek temas kurulmasına bağlıdır. (12,43) Belirgin derin kapanışlarda posterior segmentin hazırlanması, ardından kanin ve kesici intrüzyonunun aşamalı yürütülmesi daha kontrollü bir kuvvet sistemi sağlayabilir. (11,17,45,46)

Retraksiyon ile intrüzyonun aynı fazda planlanması, lingual kuron devrilmesi ve kök kontrolü açısından mekanik çatışma oluşturabilir. (13,26) Klinik ifade yetersiz kaldığında kullanım süresi, plak–diş uyumu, aktivasyon miktarı ve staging sırası birlikte değerlendirilmelidir. (14,35) Başarılı anterior intrüzyon, gerçek vertikal hareketin, kesici eğiminin, kök konumunun ve ankrajın birlikte kontrol edilmesine bağlıdır. (18,42,47,50)

5.4. Anterior Ekstrüzyon

Anterior ekstrüzyon; açık kapanışın kapatılması, gülüş hattının düzenlenmesi ve anterior rehberliğin kurulması amacıyla planlanabilir. Biyomekanik hedef, dişi uzun ekseni boyunca oklüzal yönde taşımaktır; ancak bu hareketin klinik ifadesi şeffaf plaklarla sınırlı olabilir. (2,21,49) Kesici kenarın oklüzale yaklaşması, kuron ve kökün birlikte vertikal yönde hareket ettiğini göstermeyebilir. Bu nedenle değerlendirme kesici kenar düzeyiyle birlikte dişin aksiyel eğimi ve kök konumuna dayanmalıdır. (13,24,39)

Kısa, konik veya yuvarlak kuronlarda retansiyonun azalması ve plağın yüzey üzerinde kayması ekstrüzyonu sınırlayabilir. Kuvvet hattının direnç merkezinden sapması, ekstrüzyona devrilme veya rotasyonun eşlik etmesine yol açabilir. (12,13) Butonlar ve vertikal elastikler ekstrüzif kuvveti destekleyebilir; ancak komşu segmentlerde reaktif hareket, tek taraflı vertikal sapma veya oklüzal düzlem değişikliği oluşturabilir ve hasta kooperasyonuna bağlıdır. (12,21,41)

Yüksek miktarlı ekstrüzyonun daha küçük aşamalara bölünmesi, yeterli retansiyonun sağlanması ve gerektiğinde elastik desteği kullanılması plak–diş uyumunun korunmasına katkı sağlayabilir. (12,21) Ekstrüzyonun rotasyon gibi düşük öngörülebilirlik gösteren başka bir hareketle aynı fazda verilmesi, özellikle kanin ve premolarlarda mekanik çatışmayı artırabilir. (12,14,20) Başarılı anterior ekstrüzyon; gerçek hareket hedefinin tanımlanmasına, yeterli retansiyona, kontrollü aktivasyona ve sürekli plak–diş uyumuna bağlıdır. (15,21,42)

5.5. Posterior Açık Kapanışın Gelişimi ve Düzeltilmesi

Posterior açık kapanış, şeffaf plak tedavisi sırasında premolar ve molarlar arasındaki oklüzal temasların azalması veya kaybolmasıdır. Aktif tedavi sırasında gelişebileceği gibi plak serisi tamamlandıktan sonra da fark edilebilir. Plak kalınlığı, posterior intrüzyon, yetersiz oklüzal yerleşme, diş angulasyonları ve plak–diş uyumsuzluğu etiyolojide birlikte rol oynayabilir. (12,13,39) Yeni bir plakla ortaya çıkan hafif disoklüzyon geçici olabilir; ancak seri boyunca artan, tek taraflı gelişen veya plak çıkarıldıktan sonra da süren açıklık gerçek bir oklüzal sapmayı düşündürür. (39,40)

Anterior retraksiyon, ekstrüzyon veya plak–diş uyumunun kaybı posterior oklüzyonu etkileyebilir. Reaktif kuvvetler posterior intrüzyona, hatalı plak yerleşimi ise temasların bozulmasına yol açabilir. (13,39) Posterior bölgede plağın yükselmesi, ataşman yuvasının tam oturmaması veya tek taraflı adaptasyon bozukluğu plak–diş uyumsuzluğunu düşündürür. (12,14,17,51)

Tedavi etiyolojiye göre planlanmalıdır. Terminal molar bölgesinde plağın kesilmesi oklüzal yerleşmeye izin verebilir; ancak aktif hareketler tamamlanmadan uygulanırsa retansiyon ve plak stabilitesi bozulabilir. (41) Vertikal elastikler temasları destekleyebilir, fakat asimetrik veya aşırı kuvvetler tek taraflı ekstrüzyon ve oklüzal düzlem sapmasına neden olabilir. (13) Sorun belirgin plak–diş uyumsuzluğu, tork yetersizliği, posterior angulasyon bozukluğu veya oklüzal interferansa bağlıysa yalnızca yerleştirme elastikleri yeterli olmayabilir. (12,14)

6. Sagittal Hareketler ve Ankraj Planlaması

6.1. Distalizasyon

Molar distalizasyonu maksiller arkta çoğunlukla çekimsiz Sınıf II düzeltmelerinde, mandibular arkta ise seçilmiş Sınıf III veya total ark distalizasyonu gereken olgularda kullanılır. Klinik başarı yalnızca kuronun distale hareketine değil, kök kontrolüne, anterior ankrajın korunmasına ve vertikal yan etkilerin sınırlandırılmasına bağlıdır. (2,32,52,53) Kuvvet kuron üzerinden iletildiği için planlanan gövdesel hareket distal devrilmeye dönüşebilir; bu nedenle molarların son konumu uzun eksen, kök hareketi ve oklüzal düzlem değişikliğiyle birlikte değerlendirilmelidir. (13,18)

Ardışık distalizasyon aynı anda aktif olan diş sayısını sınırlayabilir; ancak önceki segment hedefe ulaşmadan sonraki faza geçilmesi plak–diş uyumsuzluğu ve ankraj kaybı riskini artırabilir. (11,12,14,32) Sınıf II veya Sınıf III elastikler sagittal düzeltmeyi ve ankrajı destekleyebilir; buna karşılık molar ekstrüzyonu, kesici konumunda değişiklik ve oklüzal düzlem rotasyonu oluşturabilir. (2,12,13,32) Ataşmanlar posterior retansiyonu ve kök kontrolünü destekleyebilir, ancak gövdesel distalizasyonu garanti etmez. (9,52)

Mandibular arkta retromolar alan, kortikal kemik ve kök morfolojisi hareket kapasitesini daha belirgin biçimde sınırlayabilir; total ark distalizasyonunda iskeletsel ankraj gerekebilir. (13,53) Faz geçişlerinde kök konumu, posterior stabilite, retansiyon ve oklüzal interferanslar değerlendirilmelidir. (14,24,30,31) Mevcut kanıtların önemli bölümü retrospektif ve sistem özgü çalışmalara dayandığından distalizasyon kontrollü fazlar ve aktif ankraj planlamasıyla yürütülmelidir. (32,42,54)

6.2. Mesializasyon

Mesializasyon, çekim boşluğu kapatmanın posterior segmentle ilişkili bileşenidir. Amaç, premolar ve molarları mesiale taşırken kök paralelliğini, anterior segmenti ve oklüzal düzlemi korumaktır. (30) Kuvvet kuron üzerinden iletildiği için planlanan gövdesel hareket mesial devrilmeye dönüşebilir; kuronlar temas etse bile kökler geride kalabilir. Bu risk geniş hareket mesafelerinde ve uzun ya da eğimli köklerde artabilir. (55) Dijital planda sabit bırakılan posterior segment bu nedenle mutlak ankraj ünitesi olarak kabul edilmemelidir. (30,31)

Gerçekleşen posterior hareket, başlangıçta belirlenen minimum, orta veya maksimum ankraj hedefiyle birlikte değerlendirilmelidir. (13,16,30,37) Power arm, buton ve elastikler kuvvet hattını değiştirmek için kullanılabilir; maksimum ankraj gereken olgularda mini-vida desteği değerlendirilebilir. (55,56) Ancak bu yardımcılar plak deformasyonunu, yetersiz kök kontrolünü veya plak–diş uyumsuzluğunu tek başına gidermez. (9,13,30)

Geniş posterior segmentlerin tek fazda mesiale taşınması mekanik yükü ve ankraj rekabetini artırabilir. Buna karşılık aşırı fazlama plak sayısını ve tedavi süresini uzatabilir. Bu nedenle staging; kök morfolojisi, boşluk miktarı, periodontal destek ve ankraj gereksinimine göre bireyselleştirilmelidir. (11,12,14,35) Mevcut kanıtlar büyük ölçüde retrospektif çekim vakalarına dayandığından mesializasyon, kök kontrolü ve üç boyutlu ankraj değerlendirmesiyle birlikte planlanmalıdır. (31,56)

6.3. Çekim Boşluğu Kapatma

Çekim boşluğu kapatma, anterior retraksiyon ile posterior mesializasyonun aynı mekanik sistem içinde dengelenmesini gerektirir. Amaç yalnızca boşluğu kapatmak değil; ankraj hedefini, kök paralelliğini, oklüzal düzlemi ve anterior torku korumaktır. (30,31) Posterior segmentin planlanandan fazla mesiale hareket etmesi kesici retraksiyonu için kullanılabilir alanı azaltabilir. Kuron düzeyinde temas sağlanması da köklerin uygun konuma ulaştığını göstermez; kaninlerde distal, molarlarda mesial devrilme gelişebileceğinden kök paralelliği bağımsız olarak değerlendirilmelidir. (30,31,55)

Anterior lingual kuron devrilmesi ve ekstrüzyon ile posterior mesial devrilme ve intrüzyonun birlikte gelişmesi, bowing effect veya roller-coaster paterni olarak tanımlanan ark deformasyonlarına yol açabilir. (16,37) En masse yaklaşım tedavi süresini kısaltabilir ancak aynı anda aktive edilen diş sayısını ve ankraj yükünü artırabilir. İki aşamalı yaklaşım kuvvet sistemini segmentlere ayırabilir; buna karşılık plak sayısını artırır ve kök kontrolü sorunlarını tamamen ortadan kaldırmaz. (12,31)

Caterpillar motion ile posterior hizalama, kanin retraksiyonu ve kesici retraksiyonu ardışık fazlara ayrılarak aynı anda aktif olan diş sayısı sınırlandırılabilir. Bu yaklaşım ankraj kontrolünü ve plak stabilitesini desteklemeyi amaçlar; ancak klinik üstünlüğü kesin olarak gösterilmiş değildir. (11,31) Yardımcı mekanikler hatalı staging sırasını, çekim boşluğu üzerindeki plak deformasyonunu veya plak–diş uyumsuzluğunu tek başına telafi edemez. (9,13,16,30) Kesici eğimi ve vertikal konumu, kanin ve molar angulasyonları, kök paralelliği, posterior ankraj, oklüzal düzlem ve plak–diş uyumu birlikte izlenmelidir. (14,31,55)

6.4. Anterior Retraksiyon

Anterior retraksiyonda amaç yalnızca kesici kuronlarını posteriora taşımak değil, kökleri alveoler sınırlar içinde kontrollü biçimde konumlandırmaktır. (30,31) Kuvvet kuron üzerinden iletildiği için yeterli karşıt moment oluşmazsa gövdesel hareket yerine lingual kuron devrilmesi gelişebilir ve kök hareketi geride kalabilir. Materyalin esnemesi, servikal plak adaptasyonunun yetersizliği ve plak–diş uyumunun bozulması bu tork kaybını artırabilir. (13,24,44) Retro-inklinasyon bazı çalışmalarda pro-inklinasyondan daha

öngörülebilir görünse de yüksek miktarda kök hareketi gereken olgularda dijital hedefler ihtiyatla yorumlanmalıdır. (36,52)

Yüksek miktarlı retraksiyon ile belirgin intrüzyon veya kök torkunun aynı fazda planlanması mekanik çatışmayı artırabilir. Bu bileşenlerin daha küçük aşamalara ayrılması veya kök kontrolünün ayrı bir fazda tamamlanması daha kontrollü olabilir. (12,13,16,26,30) Power ridge yapıları, uygun ataşmanlar ve elastikler karşıt momenti ve ankraj kontrolünü destekleyebilir; ancak kök hareketini garanti etmez. (10,19,24)

Ek kök torku veya overcorrection; başlangıç kesici eğimi, retraksiyon miktarı, periodontal sınırlar ve önceki klinik yanıta göre bireyselleştirilmelidir. (15,26) Klinik ifade yetersiz kaldığında ardışık plaklarla ilerlemek yerine plak–diş uyumu, interproksimal engeller, aktivasyon miktarı ve staging sırası yeniden değerlendirilmelidir. (11,14) Başarılı anterior retraksiyon, kuron ve kökün birlikte kontrol edilmesine bağlıdır. (18,30,31)

6.5. Ankraj Kontrolü

Ankraj, planlanan diş hareketi sırasında konumu korunmak istenen dişlerin veya segmentlerin reaktif kuvvetlere karşı direncidir. Şeffaf plak tedavisinde ankraj gereksinimi başlangıçta açıkça tanımlanmalıdır. Minimum ankrajlı bir olguda posterior mesializasyon hedeflenen sonucun parçası olabilirken, maksimum ankraj gereken anterior retraksiyonda aynı hareket ankraj kaybı olarak değerlendirilir. (31) Çekimli olgularda posterior dişlerin planlanandan fazla mesiale, distalizasyonda ise anterior dişlerin labiale hareket edebildiği bildirilmiştir. (17,30,57)

Ankraj kontrolünün temel bileşeni uygun staging'dir. Aynı anda aktif olan diş sayısının sınırlandırılması, arkın daha geniş bir bölümünün ankraj segmenti olarak kullanılmasına katkı sağlayabilir; ancak aşırı fazlama ankrajı otomatik olarak güçlendirmez. (11,12,14,26,52) Ataşmanlar retansiyonu destekleyebilir, fakat mutlak ankraj oluşturmaz. Plak–diş uyumu, hareket sırası, aktif diş sayısı ve diş morfolojisi belirleyici olmaya devam eder. (1,9,21)

Sınıf II ve Sınıf III elastikler sagittal düzeltmeyi ve ankrajı destekleyebilir; ancak vertikal kuvvet bileşenleri oluşturabilir. (13,53,58) İskeletsel ankraj, reaktif kuvvetlerin bir bölümünü dental segmentlerden kemiğe aktararak molar stabilitesini ve anterior retraksiyon kontrolünü artırabilir. Ankraj kontrolü; başlangıç hedefinin doğru tanımlanmasına, aktif diş sayısının sınırlandırılmasına, uygun staging'e ve reaktif segmentin üç boyutlu izlenmesine dayanır. (30,31)

7. Transversal Hareketler, Rotasyon ve Kök Kontrolü

7.1. Ekspansiyon

Şeffaf plaklarla transversal ekspansiyon; ark darlığının giderilmesi, çapraşıklık için yer kazanılması ve dentoalveoler çapraz kapanışların düzel-

tilmesi amacıyla uygulanır. (13,17,42) Hedef posterior dişleri bukkale doğru gövdesel olarak taşımaktır; ancak klinik hareket çoğu zaman bukkal kuron devrilmesi ile sınırlı gövdesel yer değiştirmenin birleşiminden oluşur. Bu nedenle yalnızca interpremolar veya intermolar genişlik artışı değil, posterior diş angulasyonları ve köklerin alveoler kemik içindeki konumu da değerlendirilmelidir. (51,59)

Öngörülebilirlik başlangıç ark formuna, diş grubuna, hareket miktarına, plak materyaline ve ölçüm düzeyine göre değişir. (60) Kanin bölgesi, uzun kök yapısı ve yuvarlak kuron morfolojisi nedeniyle daha zor kontrol edilebilir. (51) Bukkal kök torku kuron devrilmesini sınırlamayı amaçlayabilir; ancak aşırı tork plak–diş uyumunu bozabilir veya kökleri alveoler sınırlara yaklaştırabilir. (13,17)

Tüm posterior dişlerin aynı anda aktive edilmesi plak sayısını azaltabilir, ancak materyal üzerindeki yükü ve ankraj rekabetini artırabilir. Segmental veya ardışık ekspansiyon, aktif diş sayısını sınırlandırarak plak stabilitesini ve kök kontrolünü destekleyebilir; bununla birlikte eş zamanlı ekspansiyona klinik üstünlüğü kesin değildir. (17) Ataşmanlar posterior retansiyonu ve tork kontrolünü destekleyebilir, ancak gövdesel ekspansiyonu garanti etmez. (9,13,28)

Ekspansiyon miktarı alveoler kemik kalınlığı, başlangıç kök konumu, periodontal fenotip ve dehisens ya da fenestrasyon riski dikkate alınarak belirlenmelidir. (42) Klinik ifade yetersiz kaldığında daha fazla ekspansiyon eklemek yerine aktivasyon miktarı, oklüzal interferanslar, retansiyon, diş angulasyonları ve staging sırası yeniden değerlendirilmelidir. (12,35) Tedavi sonunda transversal mesafeler, posterior diş angulasyonları, kök konumları, oklüzal temaslar ve periodontal sınırlar birlikte incelenmelidir. (17,42,59)

7.2. Rotasyon

Rotasyon, dişin uzun ekseni çevresinde döndürülmesidir. (20) Klinik değerlendirme yalnızca kuronun son konumuna değil, kök pozisyonuna, dişin uzun eksenine ve eşlik eden vertikal değişikliklere dayanmalıdır. (10,13,56) Yeterli karşıt kuvvetler ve aktif temas yüzeyleri oluşturulamadığında planlanan rotasyon eksik kalabilir. (12,52) Geniş kuron yüzeyi retansiyonu artırabilse de çok köklü yapı ve periodontal destek hareket direncini yükseltebilir; bu nedenle molarlarda geniş kuron tek başına yüksek rotasyon doğruluğu anlamına gelmez. (13)

Ataşmanlar aktif temas yüzeyi ve moment kolu oluşturarak rotasyonu destekleyebilir. Ancak rotasyon yönüne uygun yüzey sağlamayan bir tasarım yalnızca retansiyonu artırabilir; eksik şekillenme, aşınma veya ataşman yuvasına uyumsuzluk mekanik avantajı azaltır. (9,10,21,28) Ekspansiyon, proklinasyon veya interproksimal redüksiyon gerekli alanı önceden sağlayacak biçimde planlanmalıdır. (20)

Saf rotasyona alternatif olarak hinge rotation kullanılabilir; ancak klinik üstünlüğünü gösteren karşılaştırmalı kanıtlar sınırlıdır. (11) Rotasyonun ekstrüzyonla aynı fazda verilmesi özellikle kanin ve premolarlarda mekanik çatışmayı artırabilir. Bu nedenle yüksek miktarlı rotasyon ve ekstrüzyon farklı aşamalara ayrılabilir. (13)

Yüksek rotasyon miktarlarının daha küçük aktivasyonlara bölünmesi plak–diş uyumunun korunmasına katkı sağlayabilir; ancak derece başına sabit hız sınırları bütün dişlere ve sistemlere genellenmemelidir. (12,52) Klinik ifade yetersiz kaldığında interproksimal alan, ataşman bütünlüğü, aktivasyon miktarı ve plak–diş uyumu yeniden değerlendirilmelidir. (15,20)

7.3. Tork ve Kök Kontrolü

Tork, kuron ve kökte zıt yönlü açısal değişim oluşturan moment kontrollü bir harekettir. Kök kontrolü ise kökün konumunun ve eğiminin planlanan hareket boyunca korunmasını veya yönlendirilmesini ifade eder. (36,44) Tork kontrollü hareket için uygun yön ve büyüklükte karşıt kuvvetlerin oluşturduğu bir moment sistemi gerekir. Materyalin esnekliği, servikal adaptasyonun yetersizliği ve plağın diş yüzeyinden ayrılması bu momentin iletimini sınırlayabilir. (10,24)

Kuron hareketi kök hareketinden daha kolay gerçekleşebildiği için dijital planda gövdesel görünen hareket klinikte devrilmeye dönüşebilir. Anterior retraksiyonda kesici kuronları linguale ilerlerken kökler hedefin gerisinde kalabilir; ekspansiyonda ise posterior kuronlar bukkale devrilirken kök hareketi sınırlı kalabilir. (18,44,59) Bu nedenle kuron eğimindeki değişiklik, gerçek kök hareketinin doğrudan göstergesi olarak kabul edilmemelidir. (36,52)

Kuron yüksekliği, kök uzunluğu ve biçimi, alveoler kemik kalınlığı ve başlangıç kök konumu gerekli momenti ve klinik yanıtı etkiler. Tork hedefleri bu nedenle alveoler zarf ve periodontal sınırlarla birlikte değerlendirilmelidir. (18,24) Power ridge yapıları, uygun ataşmanlar ve aktif basınç alanları tork momentini destekleyebilir; ancak kök hareketini garanti etmez. (9,19)

Yüksek miktarlı veya başka hareketlerle çatışan tork bileşenleri daha küçük aşamalara ayrılabilir ya da kök kontrolü ayrı bir fazda tamamlanabilir. (12,13,15,17,26) Klinik değerlendirme servikal plak–diş uyumu, kuron eğimi, kök konumu ve periodontal sınırları birlikte kapsamalıdır. (14,24,44,52)

8. Klinik Sapmalar ve Düzeltici Yaklaşımlar

8.1. Plak–Diş Uyumunun Kaybı

Plak–diş uyumunun kaybı (tracking kaybı), dişlerin planlanan konuma ulaşamaması nedeniyle plağın diş yüzeyine tam yerleşmemesidir. Klinik olarak plak ile diş arasında boşluk, ataşman yuvasında uyumsuzluk veya belirli bir dişin komşularına göre geride kalmasıyla fark edilir. Erken dönemde

sınırlı görünen sapma, sonraki plaklara geçildikçe artabilir. (12,14,35) Plak tam yerleşmediğinde yalnızca kuvvet miktarı değil, kuvvetin uygulama noktası ve yönü de değişebilir. (6,9,23)

Rotasyon, ekstrüzyon, kök torku ve gövdesel hareket plak–diş uyumsuzluğuna daha yatkındır. (2,20) Ataşmanın eksik şekillenmesi, aşınması, kırılması veya yerinden ayrılması retansiyonu ve aktif temas yüzeyini azaltabilir. (9,28) Yetersiz günlük kullanım etkili kuvvet süresini azaltırken, plakların erken değiştirilmesi tamamlanmamış hareketlerin üzerine yeni aktivasyon ekler. Buna karşılık kullanım süresini uzatmak, mekanik engel veya hatalı staging kaynaklı bir sorunu tek başına gidermez. (8,29)

Lokal ve erken uyumsuzluklarda plak kullanımı, ataşman bütünlüğü ve interproksimal engeller değerlendirilmelidir. Birden fazla dişi kapsayan, ilerleyici veya kök kontrolü kaybıyla ilişkili sapmalarda sonraki plaklara geçilmemeli; yeniden tarama, güncellenmiş staging ve ara yeniden planlama düşünülmelidir. (14,35) Önleme; gerekli alanın önceden oluşturulmasına, karmaşık hareketlerin kontrollü aşamalara bölünmesine ve plak–diş uyumunun düzenli izlenmesine dayanır. (12)

8.2. İstenmeyen Devrilme ve Tork Kaybı

İstenmeyen devrilme (tipping), planlanan gövdesel veya kök hareketinin ağırlıklı olarak kuron hareketine dönüşmesidir. Tork kaybında ise kök hedeflenen yönde yeterince ilerlemez ve dişin aksiyel eğimi dijital plandan sapar. (5,10,44) Kuvvet hattı direnç merkezinden sapıp yeterli karşıt moment oluşturulamadığında kuron kökten daha hızlı hareket edebilir. Servikal plak adaptasyonunun yetersizliği, materyalin esnemesi ve plak–diş uyumunun kaybı bu riski artırabilir. (6,18,24,26)

Klinik sapma erken dönemde fark edildiğinde aktivasyon miktarı azaltılabilir, çatışan hareket bileşenleri farklı fazlara ayrılabilir ve kök kontrolü için ayrı bir staging aşaması oluşturulabilir. (14,15,55) Power ridge yapıları, uygun ataşmanlar, elastikler ve gerektiğinde iskeletsel ankraj karşıt momenti destekleyebilir; ancak temel kuvvet sistemi veya servikal plak uyumu yetersizse kök hareketini tek başına düzeltemez. (9,13,19)

Belirgin kök kontrolü kaybında mevcut plak serisiyle ilerlemek yerine yeniden tarama ve ara yeniden planlama gerekebilir. (14,15) Düzeltme miktarı; hareket tipi, başlangıç eğimi, periodontal sınırlar ve gerçekleşen klinik yanıta göre bireyselleştirilmelidir. (24,26)

8.3. Ankraj Kaybı

Ankraj kaybı, stabil kalması beklenen dişlerin reaktif kuvvetlerle plan dışı yer değiştirmesidir. (30,55) Plağın tüm arkı sarması geniş bir destek alanı sağlar, ancak mutlak ankraj oluşturmaz. Bu nedenle minimum ankrajlı bir olguda hedeflenen posterior mesializasyon, maksimum ankraj gereken an-

terior retraksiyonda başarısızlık olarak değerlendirilebilir. (10,13,31) Mesial devrilme ve rotasyon kök paralelliğini ve posterior oklüzyonu bozabilir. (55)

Distalizasyonda reaktif kuvvetler anterior segmente yönelerek kesici proklinasyonu, labial devrilme ve overjet artışına yol açabilir. Posterior dişlerin distale hareket etmiş olması bu nedenle anterior ankrajın korunduğunu göstermez. (12,52) Aynı anda aktive edilen diş sayısının fazla olması, yetersiz posterior retansiyon, hatalı staging, uygunsuz elastik yönü veya plak–diş uyumsuzluğu ankraj kaybını artırabilir. (9,13)

Elastikler ve iskeletsel ankraj ankraj kontrolünü destekleyebilir; ancak vertikal yan etkileri, plak deformasyonunu veya kök kontrolü yetersizliğini tek başına gidermez. (13,30,53) Ankraj kaybında yalnızca kaybedilen mesafeyi geri kazanmaya değil, sapmaya yol açan kuvvet sistemini ve staging sırasını düzeltmeye odaklanılmalıdır. (14,18,56)

8.4. Vertikal Yan Etkiler

Şeffaf plak tedavisinde vertikal yan etkiler; planlanmayan intrüzyon veya ekstrüzyon, overbite değişikliği, posterior temas kaybı ve oklüzal düzlem sapması biçiminde ortaya çıkabilir. Bu etkiler oklüzal örtücülük, sagittal ve transversal hareketler, elastik kullanımı, yetersiz kök kontrolü ve plak–diş uyumsuzluğuyla ilişkili olabilir. (13,40,42) Anterior retraksiyon sırasında gelişen lingual kuron devrilmesi ve ekstrüzyon overbite'ı artırabilir. Sınıf II ve Sınıf III elastiklerin vertikal kuvvet bileşenleri ise molar ekstrüzyonu, kesici konumunda değişiklik ve oklüzal düzlem rotasyonuna yol açabilir. (2,13,16,30,55,58)

Klinik değerlendirme yalnızca overbite veya posterior açıklık miktarına dayanmamalıdır. Sapmanın gerçek vertikal hareketten, devrilmeden, plak–diş uyumsuzluğundan veya fonksiyonel mandibular konum değişikliğinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı belirlenmelidir. (40,44-46) Plak–diş uyumsuzluğu, aşırı aktivasyon, hatalı hareket kombinasyonu veya elastik kaynaklı yan etki saptandığında kuvvet artırılmadan önce staging sırası ve yardımcı mekanikler yeniden değerlendirilmelidir. (12,14)

8.5. Ara Yeniden Planlama ve Ek Plak Tedavisi

İlk plak serisi sonunda planlanan hareketlerin tümü gerçekleşmeyebilir. Ara yeniden planlama (revizyon) ise tedavi sürerken gelişen belirgin plak–diş uyumsuzluğu veya mekanik sapma nedeniyle mevcut plan geçerliliğini yitirdiğinde yapılan yeniden tarama ve plan güncellemesidir. Ek plak tedavisinde mevcut seri tamamlanmış, ancak sınırlı rotasyon, tork, vertikal ilişki veya oklüzal temas eksiklikleri kalmıştır. (14,35) Buna karşılık birden fazla dişi kapsayan, ilerleyen veya kök kontrolü ile oklüzal ilişkileri etkileyen sapmalarda sonraki plaklara geçmek hatayı büyütebilir. (29) Belirgin servikal uyumsuzluk, ilerleyici tork kaybı, ankraj bozulması, oklüzal düzlem değişikliği veya genel ark uyumsuzluğu ara yeniden planlama gereksinimini düşündürür.

Sapmaya yol açan aktivasyon miktarı, staging sırası, ataşman tasarımı, retansiyon, ankraj sistemi ve yardımcı mekanikler yeniden değerlendirilmelidir. Özellikle yüksek miktarlı rotasyon, tork, ekstrüzyon ve birleşik hareketler daha kontrollü aşamalara ayrılabilir. (12) Kesici ve posterior diş angulasyonları, kök paralelliği, overbite, overjet, orta hatlar, arklar arası ilişki, posterior temaslar ve oklüzal yerleşme birlikte değerlendirilmelidir. Kuronların düzgün sıralanması, kök kontrolünün ve fonksiyonel oklüzyonun tamamlandığını tek başına göstermez. (4,62,63) Bu plaklar kontrollü ek tork, sınırlı rotasyon, küçük vertikal düzeltmeler veya oklüzal temasların geliştirilmesi amacıyla kullanılabilir; ancak belirgin mekanik bozulma varlığında bitim plakları ara yeniden planlamanın yerine geçmez. (14,35)

Dişlerin dizilimi, marjinal sırt ilişkileri, bukkolingual eğimler, kök paralelliği, interproksimal temaslar, overjet, overbite ve bilateral oklüzal temaslar klinik olarak doğrulanmalıdır. (62-64) Karar; sapmanın zamanı, yaygınlığı, biyomekanik nedeni ve kalan tedavi hedefleri temelinde verilmelidir. (14,35) Retansiyon aşamasına ancak estetik, periodontal ve fonksiyonel hedeflerin klinik olarak karşılandığı doğrulandıktan sonra geçilmelidir. (1,63)

9. Klinik Planlama İçin Sistematik Yaklaşım

Şeffaf plak planlamasında dijital setup kesin klinik sonucu değil, olası bir hareket dizisini gösterir. Bu nedenle simülasyon; tanısal kayıtlar, biyomekanik gereklilikler ve hastaya özgü anatomik sınırlar doğrultusunda değerlendirilmelidir. (19) İlk aşamada fotoğraflar, dijital modeller, gerekli radyografik kayıtlar, periodontal durum ve fonksiyonel oklüzyon incelenerek güvenli hareket alanı belirlenir. Başlangıç kesici eğimleri, kök morfolojisi, alveoler kemik sınırları, yüz paterni ve maloklüzyonun iskeletsel bileşeni bu alanı sınırlar. (1)

Tedavi hedefleri yer kazanımı, sagittal düzeltme, vertikal kontrol, kök torku, orta hatlar ve oklüzal bitim açısından önceliklendirilmelidir. Tüm hedeflerin aynı fazda en üst düzeyde planlanması kuvvet sistemini gereksiz biçimde karmaşıklaştırabilir. Alan yönetimi; interproksimal redüksiyon, dentoalveoler ekspansiyon, kesici proklinasyonu, distalizasyon veya çekim seçenekleri arasından periodontal fenotip, başlangıç kesici eğimi, posterior alan, yüz profili ve ankraj gereksinimine göre planlanmalıdır. (19,36)

Macro-staging ile tedavi ana fazlara ayrılmalı; her fazdaki aktif dişler, ankraj segmentleri ve beklenen reaktif hareketler tanımlanmalıdır. Sinerjik hareketler birlikte yürütülebilirken, plak stabilitesini azaltan veya aynı temas yüzeylerinden farklı kuvvet sistemleri gerektiren hareketler farklı fazlara ayrılmalıdır. (11,12,30) Faz geçişlerinden önce önceki hareketin klinik ifadesi, kök kontrolü ve plak–diş uyumu değerlendirilmelidir. (17,26)

Micro-staging ile her diş için plak başına hareket miktarı, yönü ve eş zamanlı hareket bileşenleri belirlenir. Rotasyon, ekstrüzyon, tork ve gövdesel ha-

reket gibi düşük öngörülebilirlik gösteren hareketler daha küçük aktivasyonlara bölünmeli; gerekli interproksimal alan hareket başlamadan önce sağlanmalıdır. (2,11,12) Ataşmanlar, power ridge yapıları, bite ramp'ler, elastikler ve iskeletsel ankraj üniteleri hedeflenen kuvvet sistemine göre seçilmeli; hatalı staging'i veya yetersiz plak–diş uyumunu telafi eden araçlar olarak görülmemelidir. (9,13,19)

Klinik kontrollerde plak–diş uyumu, kök kontrolü, diş angulasyonları, ankraj segmentindeki değişiklikler, overbite, posterior temaslar ve periodontal sınırlar değerlendirilmelidir. (14,35,65) Lokal ve erken uyumsuzluklarda kullanım süresi, ataşman bütünlüğü ve interproksimal temaslar düzenlenebilirken; ilerleyici veya kök kontrolünü ve oklüzal ilişkileri etkileyen sapmalarda ara yeniden planlama düşünülmelidir. Ana seri sonunda kalan sınırlı eksiklikler ek plak tedavisi veya bitim plaklarıyla tamamlanabilir. (29,35)

Sistematik yaklaşımın temel ilkesi, dijital planı statik bir reçete olarak değil, klinik bulgularla sürekli doğrulanan dinamik bir model olarak ele almaktır. Öngörülebilirlik; hareketlerin anatomik sınırlar içinde tutulmasına, kuvvet sisteminin sadeleştirilmesine, ankrajın aktif biçimde planlanmasına ve sapmalara zamanında müdahale edilmesine bağlıdır. (13,42)

10. Sonuç

Şeffaf plak tedavileri, dijital planlama ile termoplastik materyalin mekanik özelliklerini birleştiren dinamik biyomekanik sistemlerdir. Klinik sonuç; diş morfolojisi, periodontal sınırlar, plak–diş uyumu, biyolojik yanıt ve hasta kooperasyonundan etkilenir. Bu nedenle dijital setup kesin sonucu gösteren bir model değil, klinik bulgular doğrultusunda yorumlanması gereken bir planlama aracıdır.

Tedavi başarısı, hareketlerin uygun miktar ve sırayla planlanmasına bağlıdır. Macro-staging ile ark düzeyindeki fazlar ve ankraj segmentleri, micro-staging ile bireysel dişlerin hareket miktarı ve eş zamanlı hareket bileşenleri düzenlenmelidir. Sinerjik hareketler birlikte, biyomekanik olarak çatışan hareketler ise farklı fazlarda planlanmalıdır. Ataşmanlar, elastikler, bite ramp'ler, power ridge yapıları ve iskeletsel ankraj uygun kuvvet sistemini destekleyebilir; ancak hatalı staging'i, aşırı aktivasyonu veya yetersiz plak–diş uyumunu tek başına telafi edemez.

Klinik izlem yalnızca kuronların hedef konuma yaklaşmasına dayanmamalıdır. Kök konumu, diş angulasyonları, ankraj segmentleri, oklüzal ilişkiler, periodontal sınırlar ve plak–diş uyumu birlikte değerlendirilmelidir. İlerleyici veya birden fazla dişi etkileyen sapmalarda ara yeniden planlama düşünülmeli; ana seri sonunda kalan sınırlı eksiklikler ek plak tedavisi veya bitim plaklarıyla tamamlanmalıdır. Şeffaf plak tedavisinde öngörülebilirlik, kuvvet sisteminin sadeleştirilmesi, anatomik sınırların korunması, ankrajın aktif biçimde planlanması ve klinik sapmalara zamanında müdahale edilmesiyle artırılabilir.

KAYNAKLAR

Castroflorio T, Sedran A, Parrini S, ve ark. Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: effect of treatment design. Prog Orthod. 2023;24(1):2. doi:10.1186/s40510-022-00453-0.

Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. Angle Orthod. 2015;85(5):881- 889. doi:10.2319/061614-436.1.

Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Huanca Ghislanzoni LT, Siciliani G. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. Prog Orthod. 2017;18(1):35. doi:10.1186/s40510-017-0190-0.

D'Antò V, Bucci R, De Simone V, Huanca Ghislanzoni L, Michelotti A, Rongo R. Evaluation of Tooth Movement Accuracy with Aligners: A Prospective Study. Materials (Basel). 2022;15(7):2646. doi:10.3390/ma15072646.

Drake CT, McGorray SP, Dolce C, Nair M, Wheeler TT. Orthodontic tooth movement with clear aligners. ISRN Dent. 2012;2012:657973. doi:10.5402/2012/657973.

Upadhyay M, Arqub SA. Biomechanics of clear aligners: hidden truths, first principles. J World Fed Orthod. 2022;11(1):12-21. doi:10.1016/j.ejwf.2021.11.002.

Cervinara F, Cianci C, De Cillis F, ve ark. Experimental Study of the Pressures and Points of Application of the Forces Exerted between Aligner and Tooth. Nanomaterials (Basel). 2019;9(7):1010. doi:10.3390/nano9071010.

Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. Angle Orthod. 2017;87(1):11-18. doi:10.2319/113015-813.1.

Dalaie K, Ghaffari S. Importance of attachments in treatment with clear aligners: a narrative review. J Dent Sch. 2020;38(1):41-47. doi:10.22037/jds.v38i1.33729.

Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2014;145(6):728-736. doi:10.1016/j.ajodo.2014.03.015.

Martínez-Lozano D, Castellanos-Andrés D, López-Jiménez AJ. Staging of orthodontic tooth movement in clear aligner treatment: macro-staging and micro-staging—a narrative review. Appl Sci. 2024;14(15):6690. doi:10.3390/app14156690.

Mehta S, Patel D, Yadav S. Staging Orthodontic Aligners for Complex Orthodontic Tooth Movement. Turk J Orthod. 2021;34(3):202-206. doi:10.5152/TurkJOrthod.2021.20116.

Li J, Si J, Xue C, Xu H. Seeking orderness out of the orderless movements: an up-to-date review of the biomechanics in clear aligners. Prog Orthod. 2024;25(1):44. doi:10.1186/s40510-024-00543-1.

Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A

retrospective study of patients who needed refinement. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2018;154(1):47-54. doi:10.1016/j.ajodo.2017.11.028.

Palone M, Pignotti A, Morin E, ve ark. Analysis of overcorrection to be included for planning clear aligner therapy: a retrospective study. Angle Orthod. 2023;93(1):11-18. doi:10.2319/052022371.1.

Mao B, Tian Y, Xiao Y, ve ark. Biomechanical effects of clear aligner with different shape design at extraction space area during anterior teeth retraction. Orthod Craniofac Res. 2024;27(5):740-749. doi:10.1111/ocr.12795.

Yao S, Jiang W, Wang C, He Y, Wang C, Huang L. Improvements of tooth movement efficiency and torque control in expanding the arch with clear aligners: a finite element analysis. Front Bioeng Biotechnol. 2023;11:1120535. doi:10.3389/fbioe.2023.1120535.

Zhang XJ, He L, Guo HM, Tian J, Bai YX, Li S. Integrated three-dimensional digital assessment of accuracy of anterior tooth movement using clear aligners. Korean J Orthod. 2015;45(6):275-281. doi:10.4041/kjod.2015.45.6.275.

Morton J, Derakhshan M, Kaza S, Li C. Design of the Invisalign system performance. Semin Orthod. 2017;23(1):3-11. doi:10.1053/j.sodo.2016.10.001.

Kravitz ND, Kusnoto B, Agran B, Viana G. Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with Invisalign. A prospective clinical study. Angle Orthod. 2008;78(4):682-687. doi:10.2319/0003-3219(2008)078[0682: IOAAIR]2.0.CO;2.

Karras T, Singh M, Karkazis E, Liu D, Nimeri G, Ahuja B. Efficacy of Invisalign attachments: A retrospective study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;160(2):250-258. doi:10.1016/j.ajodo.2020.04.028.

Iliadi A, Koletsi D, Eliades T. Forces and moments generated by aligner-type appliances for orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. Orthod Craniofac Res. 2019;22(4):248- 258. doi:10.1111/ocr.12333.

Kohda N, Iijima M, Muguruma T, Brantley WA, Ahluwalia KS, Mizoguchi I. Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. Angle Orthod. 2013;83(3):476-483. doi:10.2319/052512-432.1.

Tepedino M, Paoloni V, Cozza P, Chimenti C. Movement of anterior teeth using clear aligners: a three- dimensional, retrospective evaluation. Prog Orthod. 2018;19(1):9. doi:10.1186/s40510-018- 0207-3.

Kwon JS, Lee YK, Lim BS, Lim YK. Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2008;133(2):228-234. doi:10.1016/j.ajodo.2006.03.034.

Liu L, Song Q, Zhou J, ve ark. The effects of aligner overtreatment on torque control and intrusion of incisors for anterior retraction with clear aligners: A finite-element study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;162(1):33-41. doi:10.1016/j.ajodo.2021.02.020.

Tamburrino F, D'Antò V, Bucci R, Alessandri-Bonetti G, Barone S, Razionale AV. Mechanical Properties of Thermoplastic Polymers for Aligner Manufacturing: In Vitro Study. Dent J (Basel). 2020;8(2):47. doi:10.3390/dj8020047.

Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee HF, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. Angle Orthod. 2015;85(6):934-940. doi:10.2319/091014- 637.1.

Al-Nadawi M, Kravitz ND, Hansa I, Makki L, Ferguson DJ, Vaid NR. Effect of clear aligner wear protocol on the efficacy of tooth movement. Angle Orthod. 2021;91(2):157-163. doi:10.2319/071520-630.1.

Dai FF, Xu TM, Shu G. Comparison of achieved and predicted tooth movement of maxillary first molars and central incisors: First premolar extraction treatment with Invisalign. Angle Orthod. 2019;89(5):679-687. doi:10.2319/090418-646.1.

Vicioni-Marques F, Reis CLB, de Almeida APV, ve ark. Space closure after premolar extraction using clear aligners: a systematic review with meta-analysis. Clin Oral Investig. 2025;29(9):435. doi:10.1007/s00784-025-06475-2.

Ravera S, Castroflorio T, Garino F, Daher S, Cugliari G, Deregibus A. Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study. Prog Orthod. 2016;17:12. doi:10.1186/s40510-016-0126-0.

Chisari JR, McGorray SP, Nair M, Wheeler TT. Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2014;145(4 Suppl): S82-S91. doi:10.1016/j.ajodo.2013.10.022.

Bollen AM, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: Ability to complete treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003;124(5):496-501. doi:10.1016/s0889-5406(03)00576-6.

Bilello G, Fazio M, Amato E, Crivello L, Galvano A, Currò G. Accuracy evaluation of orthodontic movements with aligners: a prospective observational study. Prog Orthod. 2022;23(1):12. doi:10.1186/s40510-022-00406-7.

Oliveira AC, Rocha AS, Leitão R, Maia M, Pinho T. Coronal Repercussions of the Maxillary Central Incisor Torque in the First Set of Aligners: A Retrospective Study. Dent J (Basel). 2023;11(8):186. doi:10.3390/dj11080186.

Cao Y, Wang ZW, Chen D, ve ark. The effect of space arrangement between anterior teeth on their retraction with clear aligners in first premolar extraction treatment: a finite element study. Prog Orthod. 2023;24(1):39. doi:10.1186/s40510-023-00484-1.

Moshiri S, Araújo EA, McCray JF, Thiesen G, Kim KB. Cephalometric evaluation of adult anterior open bite non-extraction treatment with Invisalign. Dental Press J Orthod. 2017;22(5):30-38. doi:10.1590/2177-6709.22.5.030-038.oar.

Harris K, Ojima K, Dan C, ve ark. Evaluation of open bite closure using clear aligners: a retrospective study. Prog Orthod. 2020;21(1):23. doi:10.1186/s40510-020-00325-5.

Khosravi R, Cohanim B, Hujoel P, ve ark. Management of overbite with the Invisalign appliance. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2017;151(4):691-699.e2. doi:10.1016/j.ajodo.2016.09.022.

Xiao L, Wen S, Yuan X, ve ark. Vertical settling elastics for resolving posterior open bite during the fine-tuning staging for clear aligner therapy: A prospective clinical study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2026;170(1):65-76.e2. doi:10.1016/j.ajodo.2026.01.028.

Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. Prog Orthod. 2018;19(1):37. doi:10.1186/s40510- 018-0235-z.

Henick D, Dayan W, Dunford R, Warunek S, Al-Jewair T. Effects of Invisalign (G5) with virtual bite ramps for skeletal deep overbite malocclusion correction in adults. Angle Orthod. 2021;91(2):164-170. doi:10.2319/072220-646.1.

Jiang T, Jiang YN, Chu FT, Lu PJ, Tang GH. A cone-beam computed tomographic study evaluating the efficacy of incisor movement with clear aligners: Assessment of incisor pure tipping, controlled tipping, translation, and torque. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;159(5):635-643. doi:10.1016/j.ajodo.2019.11.025.

Goh S, Dreyer C, Weir T. The predictability of the mandibular curve of Spee leveling with the Invisalign appliance. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;162(2):193-200. doi:10.1016/j.ajodo.2021.04.034.

Lim ZW, Meade MJ, Weir T. The predictability of maxillary curve of Spee leveling with the Invisalign appliance. Angle Orthod. 2023;93(6):638-643. doi:10.2319/022423-128.1.

Blundell HL, Weir T, Kerr B, Freer E. Predictability of overbite control with the Invisalign appliance. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;160(5):725-731. doi:10.1016/j.ajodo.2020.06.042.

Krieger E, Seiferth J, Marinello I, ve ark. Invisalign® treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved? J Orofac Orthop. 2012;73(5):365-376. doi:10.1007/s00056-012- 0097-9.

Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;135(1):27-35. doi:10.1016/j.ajodo.2007.05.018.

Fang X, Qi R, Liu C. Root resorption in orthodontic treatment with clear aligners: A systematic review and meta-analysis. Orthod Craniofac Res. 2019;22(4):259-269. doi:10.1111/ocr.12337.

Houle JP, Piedade L, Todescan R Jr, Pinheiro FH. The predictability of transverse changes with Invisalign. Angle Orthod. 2017;87(1):19-24. doi:10.2319/122115-875.1.

Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique--regarding incisor torque, premolar derotation and

molar distalization. BMC Oral Health. 2014;14:68. doi:10.1186/1472-6831-14-68.

Chae JM, Park JH, Kojima Y, Tai K, Kook YA, Kyung HM. Biomechanical analysis for total distalization of the mandibular dentition: A finite element study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2019;155(3):388-397. doi:10.1016/j.ajodo.2018.05.014.

Caruso S, Nota A, Ehsani S, Maddalone E, Ojima K, Tecco S. Impact of molar teeth distalization with clear aligners on occlusal vertical dimension: a retrospective study. BMC Oral Health. 2019;19(1):182. doi:10.1186/s12903-019-0880-8.

Dai FF, Xu TM, Shu G. Comparison of achieved and predicted crown movement in adults after 4 first premolar extraction treatment with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;160(6):805-813. doi:10.1016/j.ajodo.2020.06.041.

Alwafi AA, Hannam AG, Yen EH, Zou B. A new method assessing predicted and achieved mandibular tooth movement in adults treated with clear aligners using CBCT and individual crown superimposition. Sci Rep. 2023;13(1):4084. doi:10.1038/s41598-023-31339-8.

Taffarel IA, Gasparello GG, Mota-Júnior SL, ve ark. Distalization of maxillary molars with Invisalign aligners in nonextraction patients with Class II malocclusion. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;162(4): e176-e182. doi:10.1016/j.ajodo.2022.07.007.

Patterson BD, Foley PF, Ueno H, Mason SA, Schneider PP, Kim KB. Class II malocclusion correction with Invisalign: Is it possible? Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;159(1): e41-e48. doi:10.1016/j.ajodo.2020.08.016.

Lione R, Paoloni V, Bartolommei L, ve ark. Maxillary arch development with Invisalign system. Angle Orthod. 2021;91(4):433-440. doi:10.2319/080520-687.1.

Solano-Mendoza B, Sonnemberg B, Solano-Reina E, Iglesias-Linares A. How effective is the Invisalign® system in expansion movement with Ex30' aligners? Clin Oral Investig. 2017;21(5):1475-1484. doi:10.1007/s00784-016-1908-y.

Haouili N, Kravitz ND, Vaid NR, Ferguson DJ, Makki L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2020;158(3):420-425. doi:10.1016/j.ajodo.2019.12.015.

Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. BMC Oral Health. 2019;19(1):24. doi:10.1186/s12903-018-0695-z.,

Galan-Lopez L, Barcia-Gonzalez J, Plasencia E. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with Invisalign®. Korean J Orthod. 2019;49(3):140-149. doi:10.4041/kjod.2019.49.3.140.

Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2005;128(3):292-

298. doi:10.1016/j.ajodo.2005.06.002.

Grünheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? Angle Orthod. 2017;87(6):809-815. doi:10.2319/022717-147.1.

Bölüm 4

MANDİBULAR ÜÇÜNCÜ MOLARLARIN ALT ANTERİOR ÇAPRAŞIKLIK VE ORTODONTİK STABİLİTE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Seda SAĞOĞLU[1]

1 Uzm. Dt. ORCID: 0009-0006-2139-7029

1. Giriş

Mandibular anterior bölge, ortodontik tedavi sonrası uzun dönem stabilitenin sağlanması açısından dental arkın en problemli bölgelerinden biridir. Uzun dönem takip çalışmalarında tedavi sonunda ideal veya ideale yakın bir keser dizilimi elde edilmesine rağmen postretansiyon dönemde farklı derecelerde düzensizlik gelişebildiği gösterilmiştir (Little, Riedel, & Artun, 1988; Little, Wallen, & Riedel, 1981). Bununla birlikte benzer değişikliklerin ortodontik tedavi görmemiş bireylerde de meydana gelmesi, mandibular anterior düzensizliğin en azından bir bölümünün normal kraniyofasiyal maturasyon ve dentoalveoler adaptasyon süreçleriyle ilişkili olduğunu düşündürmektedir (Buschang & Shulman, 2003; Richardson, 2002).

Geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın etiyolojisi multifaktöriyeldir. Kraniyofasiyal büyümenin devam eden bileşenleri, mandibular ark uzunluğu ve derinliğinde meydana gelen azalma, posterior dişlerin fizyolojik mezial migrasyonu, interkanin genişlik ve ark formundaki değişiklikler, keserlerin inklinasyonu, oklüzal kuvvetler, periodontal ve yumuşak doku etkileri ile yaşa bağlı dentoalveoler adaptasyonlar mandibular anterior dişlerin uzun dönem pozisyonunu etkileyebilmektedir (Henrikson, Persson, & Thilander, 2001; Richardson, 1994, 2002).

Bu multifaktöriyel süreç içerisinde en fazla tartışılan faktörlerden biri mandibular üçüncü molarlardır. Üçüncü molarların gelişim ve sürme döneminin mandibular anterior düzensizliğin sıklıkla belirginleştiği geç adolesan ve erken erişkinlik dönemleriyle çakışması, bu dişlerin anterior çapraşıklığın gelişiminde rol oynayabileceği görüşünün ortaya çıkmasına neden olmuştur (Lindauer et al., 2007; Richardson, 1989; Stanaityte, Trakiniene, & Gervickas, 2014). Bu görüş doğrultusunda gelişmekte veya sürmekte olan mandibular üçüncü molarların posterior bölgede mezial yönlü bir kuvvet oluşturabileceği, bu kuvvetin aproksimal temaslar aracılığıyla dental ark boyunca anterior bölgeye iletilebileceği ve sonuçta mandibular keserlerde düzensizliğe katkıda bulunabileceği ileri sürülmüştür (Richardson, 1989; Southard, Southard, & Weeda, 1991). Bununla birlikte üçüncü molarların sürmesiyle mandibular anterior çapraşıklığın benzer yaş dönemlerinde görülmesi tek başına nedensel bir ilişki bulunduğunu göstermemektedir. Geç adolesan ve erken erişkinlik dönemi aynı zamanda mandibular büyümenin devam ettiği, dental ark boyutlarının değiştiği, yumuşak dokuların maturasyona uğradığı ve oklüzal ilişkilerin yeniden şekillendiği dinamik bir dönemdir (Henrikson et al., 2001; Richardson, 1994, 2002). Bu nedenle üçüncü molarların sürmesi ile anterior çapraşıklık arasındaki zamansal birliktelik, her iki durumun ortak büyüme ve maturasyon süreçlerinden etkilenmesinin sonucu da olabilir.

Bu görüşü destekleyen önemli verilerden biri Zigante ve arkadaşlarının 2021 yılında yayımladığı longitudinal çalışmadan gelmektedir (Zigante,

Pavlic, Morelato, Vandevska-Radunovic, & Spalj, 2021). Ortodontik tedavi görmemiş 72 bireyin 12, 15, 18 ve 21 yaşlarındaki kayıtlarının değerlendirildiği çalışmada mandibular keser düzensizliğinin yaşla birlikte arttığı, ancak bu artışın üçüncü molarların bulunup bulunmamasından bağımsız olduğu bildirilmiştir. Ayrıca üçüncü molar agenezisi, çekimi, varlığı, sürmüş veya impakte olması ile düzensizlik miktarındaki değişim arasında anlamlı farklılık gösterilmemiştir (Zigante et al., 2021). Bu bulgular, üçüncü molarların sürme dönemi ile çapraşıklık gelişiminin zamansal olarak çakışmasına rağmen bu ilişkinin doğrudan nedensellik anlamına gelmeyebileceğini göstermektedir.

Benzer şekilde Cotrin ve arkadaşlarının 2020 yılında yayımlanan çalışmasında ortodontik tedavi görmüş 108 hastanın tedavi öncesi, tedavi sonrası ve postretansiyon kayıtları değerlendirilmiştir (Cotrin et al., 2020). Postretansiyon dönemde mandibular üçüncü molarları bulunan 72 birey ile üçüncü molarları bulunmayan 36 birey karşılaştırılmış ve mandibular anterior çapraşıklık relapsı açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır (Cotrin et al., 2020). Yakın dönem derlemeler de genel olarak bu ilişkinin basit bir neden-sonuç modeliyle açıklanamayacağını göstermektedir. Genest-Beucher ve arkadaşlarının 2018 tarihli literatür derlemesinde değerlendirilen 12 çalışmanın 10'unda mandibular üçüncü molar varlığı ile anterior çapraşıklık arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır (Genest-Beucher, Graillon, Bruneau, Benzaquen, & Guyot, 2018). Bununla birlikte çalışmalar arasındaki metodolojik farklılıklar nedeniyle üçüncü molarların olası etkisinin kesin olarak dışlanamayacağı belirtilmiştir.

Ortodontik tedavi sonrası relapsı özel olarak değerlendiren 2023 tarihli sistematik derlemede çalışmaların büyük çoğunluğunda mandibular üçüncü molarların varlığıyla anterior çapraşıklık relapsı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki bildirilmemiştir. Bununla birlikte dahil edilen çalışmaların çoğunda yüksek yanlılık riski bulunması nedeniyle küçük bir etkinin tamamen dışlanamayacağı ve mevcut kanıtların yalnızca oklüzal stabilite amacıyla profilaktik üçüncü molar çekimini desteklemek için yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Lyros et al., 2023).

Buna karşılık Palikaraki ve arkadaşları üçüncü molar-çapraşıklık ilişkisine daha nüanslı yaklaşılması gerektiğini düşündüren bulgular ortaya koymuştur. Birleştirilmiş analizlerde mandibular üçüncü molarları bulunmayan bireylerde çapraşıklık ve Little düzensizlik indeksi açısından daha avantajlı değerler bildirilmiş, ayrıca ark uzunluğu açısından da gruplar arasında farklılıklar saptanmıştır. Araştırmacılar mandibular üçüncü molarların anterior çapraşıklık ve alt ark daralmasına katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir (Palikaraki, Mitsea, & Sifakakis, 2024). Ancak bu bulgular üçüncü molarların mandibular anterior çapraşıklığın doğrudan nedeni olduğunun kanıtı olarak yorumlanmamalıdır. Meta-analize dahil edilen primer çalışmaların

gözlemsel nitelikte olması ve çalışmaların çoğunda orta, geri kalanında yüksek yanlılık riski bulunması nedensel çıkarımların gücünü sınırlandırmaktadır. Üçüncü molarların varlığıyla anterior çapraşıklık arasındaki istatistiksel ilişki; mandibular ark morfolojisi, posterior alan yetersizliği, büyüme paterni ve başlangıç çapraşıklık miktarı gibi ortak faktörlerden etkilenebilir. Dolayısıyla güncel literatür üçüncü molarlar ile mandibular anterior çapraşıklık arasındaki ilişkiyi basit bir "neden olur" veya "neden olmaz" ikilemi içerisinde değerlendirmeye uygun değildir. Kanıta dayalı değerlendirmede üç farklı soru birbirinden ayrılmalıdır: üçüncü molar varlığı ile mandibular anterior çapraşıklık arasında istatistiksel bir ilişki bulunup bulunmadığı, üçüncü molarların çapraşıklığın doğrudan nedeni olup olmadığı ve üçüncü moların profilaktik olarak çekilmesinin gelecekteki çapraşıklık veya ortodontik relapsı önleyip önlemediği. Bu sorular birbiriyle ilişkili olmakla birlikte aynı değildir ve farklı kanıt düzeyleri gerektirmektedir.

Bu bölümün amacı mandibular üçüncü molarların geç dönem alt anterior çapraşıklık ve ortodontik tedavi sonrası stabilite üzerindeki olası etkilerini güncel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmektir. Bu amaçla öncelikle geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın doğal seyri ve multifaktöriyel etiyolojisi ele alınacak; ardından üçüncü molarların çapraşıklık oluşturabileceğine ilişkin biyolojik mekanizmalar incelenecek, üçüncü molar varlığı ile çapraşıklık arasındaki klinik kanıtlar değerlendirilecek ve profilaktik üçüncü molar çekiminin ortodontik stabilite açısından bilimsel dayanağı tartışılacaktır.

2. Geç Dönem Mandibular Anterior Çapraşıklığın Seyri ve Etiyolojisi

2.1. Geç dönem mandibular anterior çapraşıklık kavramı

Mandibular anterior dişlerin pozisyonu ve dental ark boyutları, daimi dentisyonun tamamlanmasından sonra tamamen sabit kalan yapılar değildir. Adolesan dönemden erişkinliğe geçiş sırasında ve erişkin dönemde dental arkta yavaş ancak ölçülebilir değişiklikler meydana gelebilmektedir. Mandibular ark uzunluğu ve derinliğinde azalma, ark formunda değişiklik ve keser düzensizliğinde artış bu değişiklikler arasında yer almaktadır (Buschang & Shulman, 2003; Henrikson et al., 2001; Richardson, 1994, 2002).

Henrikson ve arkadaşlarının yaptığı longitudinal bir çalışmada mandibular ark formunun zaman içerisinde değiştiği ve mandibular keser düzensizliğindeki artışla ark formundaki değişiklik arasında ilişki bulunduğu gösterilmiştir (Henrikson et al., 2001). Bu bulgu, ortodontik tedavi uygulanmamış ve başlangıçta normal oklüzyona sahip bireylerde dahi dental arkın erişkinliğe geçiş sırasında tamamen stabil olmadığını göstermesi açısından önemlidir. Benzer biçimde tedavi görmemiş popülasyonun değerlendirildiği bir çalışmada 15–50 yaş arasındaki bireylerde mandibular keser düzensizliğinin yaşla birlikte arttığı ve en belirgin artışın erken erişkinlik döneminde

meydana geldiği bildirilmiştir. Aynı çalışmada sürmüş üçüncü molarların artmış çapraşıklık ile ilişkili olmadığı da gösterilmiştir (Buschang & Shulman, 2003). Bu nedenle geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın yalnızca ortodontik tedavinin başarısızlığı veya yetersiz retansiyon sonucu geliştiğinin kabul edilmesi doğru değildir. Tedavi görmemiş bireylerde de benzer değişikliklerin ortaya çıkabilmesi, mandibular anterior düzensizliğin en azından bir bölümünün normal kraniyofasiyal maturasyon ve dentoalveoler adaptasyon süreçleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir (Buschang & Shulman, 2003; Henrikson et al., 2001; Richardson, 2002; Zigante et al., 2021).

Burada klinik açıdan "ortodontik relaps" ile "yaşa bağlı fizyolojik değişiklik" kavramlarının birbirinden ayrılması önemlidir. Ortodontik relaps tedaviyle oluşturulan diş pozisyonlarının tedavi öncesindeki konumlarına dönme eğilimini ifade ederken, fizyolojik değişiklikler tedavi görmemiş bireylerde de meydana gelebilmektedir. Bununla birlikte iki süreç klinik olarak benzer mandibular anterior düzensizlik görünümü oluşturabilir. Bu ayrım üçüncü molarların rolünün değerlendirilmesi açısından özellikle önem taşımaktadır. Eğer yaşa bağlı dentoalveoler değişiklikler üçüncü molar bulunmayan bireylerde de mandibular anterior düzensizliğe yol açıyorsa, üçüncü molarların sürme döneminde ortaya çıkan her çapraşıklık değişikliğini üçüncü molara atfetmek doğru olmayacaktır (Zigante et al., 2021).

2.2. Geç dönem kraniyofasiyal büyüme ve maturasyon

Kraniyofasiyal büyüme pubertal büyüme atağının tamamlanmasıyla tamamen sona ermemektedir. Mandibulada erken erişkinlik dönemine kadar devam eden büyüme ve remodelasyon değişiklikleri görülebilir. Bu geç dönem büyümenin miktarı ve yönü bireyler arasında farklılık göstermekte ve dental ark içerisindeki dişlerin konumunu etkileyebilmektedir (Richardson, 1994, 2002). Mandibulanın maksillaya göre daha uzun süre büyümeye devam etmesi, mandibular keserlerin çevre yumuşak dokular ve maksiller dentisyon tarafından sınırlandığı bir ortamda dentoalveoler kompansasyonların ortaya çıkmasına neden olabilir. Alt keserlerin lingual yönde eğilmesi veya dental ark içerisinde yeniden düzenlenmesi bu adaptasyonların olası sonuçları arasında değerlendirilmektedir (Richardson, 2002).

Geç dönem mandibular büyümenin üçüncü molarların gelişim ve sürme dönemiyle çakışması, iki olayın etkilerinin birbirinden ayrılmasını güçleştirmektedir. Mandibular büyüme bir yandan üçüncü moların sürmesi için gerekli retromolar alanın oluşumunu etkilerken diğer yandan anterior dental arkın morfolojisini değiştirebilir. Dolayısıyla üçüncü moların sürme durumu ile anterior çapraşıklığın aynı temel büyüme sürecinden etkilenmesi mümkündür. Bu durum özellikle gözlemsel araştırmaların yorumlanmasında önemlidir. Üçüncü moları impakte olan bireylerde daha fazla anterior çapraşıklık bulunması, impakte üçüncü moların anterior dişleri mekanik olarak

ittiğini gösterebileceği gibi hem impaksiyon hem çapraşıklığın ortak bir ark morfolojisi veya büyüme paterniyle ilişkili olmasının sonucu da olabilir (Richardson, 2002).

2.3. Dental ark uzunluğunda ve çevresinde azalma

Geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın gelişiminde üzerinde en fazla durulan değişikliklerden biri mandibular dental ark uzunluğu ve çevresindeki azalmadır. Dişlerin toplam meziodistal genişliği erişkin dönemde büyük ölçüde sabit kalırken dental arkta mevcut yerin azalması, anterior dişlerin düzgün sıralanmasını güçleştirebilir (Little et al., 1981, 1988; Richardson, 2002). Little ve arkadaşlarının uzun dönem postretansiyon çalışmalarında mandibular ark uzunluğunun ve interkanin genişliğin zaman içerisinde azalma eğiliminde olduğu, mandibular anterior düzensizliğin ise artabildiği gösterilmiştir (Little et al., 1981, 1988). Bu değişikliklerin hastalar arasında oldukça farklı olması uzun dönem mandibular stabilitenin bireysel olarak öngörülmesinin güç olduğunu göstermektedir.

Dental ark uzunluğundaki küçük değişiklikler dahi özellikle başlangıçta minimal yer rezervine sahip bireylerde klinik olarak anlamlı olabilir. Anterior bölgede birkaç dişin rotasyonu veya hafif çapraşıklığı için büyük miktarda alan kaybı gerekmemektedir. Dolayısıyla grup ortalamalarında küçük görünen değişiklikler bireysel hastalarda belirgin çapraşıklık şeklinde ortaya çıkabilir. Ark uzunluğundaki azalma farklı mekanizmalarla meydana gelebilir. Posterior dişlerin fizyolojik mezial migrasyonu, anterior dişlerin lingual yönde hareketi veya bu iki olayın birlikte bulunması dental arkta mevcut alanın azalmasına neden olabilir (Richardson, 1989, 2002).

Güncel meta-analiz sonuçları bu açıdan dikkat çekicidir. Palikaraki ve arkadaşlarının çalışmasında üçüncü molarların bulunduğu ve bulunmadığı gruplar arasında ark uzunluğu açısından farklılıklar bildirilmiştir (Palikaraki et al., 2024). Bununla birlikte bu bulgu üçüncü moların ark uzunluğu azalmasının doğrudan nedeni olduğunu tek başına göstermemektedir. Ark morfolojisi ve üçüncü moların sürme durumu aynı büyüme ve gelişim faktörlerinden etkilenebilmektedir.

2.4. İnterkanin genişlik ve anterior ark formu

Mandibular interkanin genişlik, anterior dental ark içerisindeki önemli morfolojik değişkenlerden biridir. Ortodontik tedavi sırasında mandibular interkanin genişliğin artırılmasıyla elde edilen alanın uzun dönem stabilitesi sınırlı olabilir veya tedaviyle oluşturulan genişlemenin bir bölümü postretansiyon dönemde kaybedilebilir (Little et al., 1981, 1988). Bununla birlikte anterior dental arkın üç boyutlu bir yapı olması nedeniyle interkanin genişlik tek başına mandibular çapraşıklığı açıklamak için yeterli değildir. Keserlerin inklinasyonu, kaninlerin rotasyonu, arkın anterior kurvatürü ve sagittal

ark derinliği gibi değişkenler de anterior bölgede mevcut alanı etkileyebilir (Henrikson et al., 2001; Richardson, 2002). Bu durum üçüncü molar çalışmalarının karşılaştırılmasında önemli bir metodolojik sorun oluşturmaktadır. Bazı araştırmalarda çapraşıklık Little düzensizlik indeksi ile değerlendirilirken diğerlerinde interkanin genişlik, ark uzunluğu veya ark çevresi kullanılmıştır (Genest-Beucher et al., 2018; Lyros et al., 2023; Palikaraki et al., 2024). Bu ölçümler birbiriyle ilişkili olmakla birlikte aynı klinik sonucu ifade etmemektedir. Pithon ve arkadaşlarının yaptığı sistematik derleme ve meta-analizde üçüncü moların bulunduğu veya çekildiği gruplar arasında irregülerite indeksi ve interkanin genişlik açısından anlamlı fark saptanmamasına karşın ark uzunluğu açısından farklılık bildirilmiştir (Pithon, Baião, Sant'Anna, Coqueiro, & Maia, 2017). Bu durum üçüncü molarların dental ark üzerindeki olası etkisinin kullanılan sonuç ölçütüne bağlı olarak farklı görünebileceğini ortaya koymaktadır.

2.5. Fizyolojik migrasyon ve mezial yönlü kuvvetler

Dental ark içerisinde posterior dişlerin yaşam boyunca mezial yönde hareket etme eğilimi bulunmaktadır. "Fizyolojik mezial drift" olarak tanımlanan bu süreç, dental arkın doğal biyolojik özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Oklüzal kuvvetlerin anterior komponenti, dişlerin aksiyal eğimleri, periodontal ligament ve transseptal lifler bu süreçte rol oynayabilir (Richardson, 1989, 2002). Mandibular üçüncü molarların sürme kuvvetlerinin mevcut mezial kuvvet sistemine ek bir komponent sağlayabileceği düşüncesi üçüncü molar-çapraşıklık hipotezinin temelini oluşturmaktadır. Bu modele göre üçüncü molar ikinci molara, ikinci molar birinci molara ve devamında dental arkın daha anterior segmentlerine mezial yönde kuvvet aktarabilir (Richardson, 1989).

Southard ve arkadaşları, bilateral sürmemiş mandibular üçüncü molarlara sahip bireylerde üçüncü molar çekimi öncesi ve sonrasında posterior aproksimal temas sıkılığını değerlendirmiş ve sürmemiş üçüncü molarlardan kaynaklanan belirgin bir mezial kuvveti gösterememiştir (Southard et al., 1991). Çalışma, üçüncü molarların mezial yönde mekanik basınç oluşturduğu varsayımının doğrudan deneysel kanıtının sınırlı olduğunu ortaya koyması açısından önemlidir. Ayrıca dental ark rijit bir mekanik zincir değildir. Periodontal ligamentin viskoelastik özellikleri, alveoler kemiğin remodelasyonu ve dişlerin üç boyutlu hareket kapasitesi nedeniyle posterior bölgede oluşan kuvvetin tamamının anterior bölgeye aktarılması beklenmemektedir. Bu nedenle üçüncü moların mezial yönde bir kuvvet oluşturabilmesi ile bu kuvvetin klinik olarak anlamlı anterior çapraşıklık oluşturması birbirinden ayrı kavramlardır.

2.6. Oklüzal kuvvetler ve fonksiyonel adaptasyon

Dental arkın uzun dönem stabilitesi yalnızca dişlerin anatomik konumuyla değil, fonksiyon sırasında ortaya çıkan kuvvetlerle de ilişkilidir.

Posterior dişlere uygulanan oklüzal kuvvetlerin horizontal komponentleri, dişlerin aksiyal eğimleri ve tüberkül morfolojileri nedeniyle dental ark boyunca kuvvet aktarımına katkıda bulunabilir (Richardson, 2002).

Oklüzal ilişkiler yaşam boyunca tamamen statik değildir. Dişlerin sürmeye devam etmesi, oklüzal aşınma, periodontal adaptasyon ve restoratif değişiklikler dental ark içerisindeki temas ilişkilerini zaman içerisinde değiştirebilir. Bu nedenle geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın yalnızca üçüncü molardan anteriora doğru iletilen tek yönlü bir kuvvet modeliyle açıklanması, biyolojik sistemi aşırı basitleştirmektedir. Daha gerçekçi bir modelde üçüncü molarlar, fizyolojik mezial drift ve oklüzal kuvvetler gibi zaten mevcut olan mekanizmalar üzerine eklenen olası bir faktör olarak değerlendirilmelidir. Böyle bir model, üçüncü moları bulunan her bireyde çapraşıklık gelişmemesini ve üçüncü moları bulunmayan bireylerde de zaman içerisinde anterior düzensizlik ortaya çıkabilmesini açıklayabilir (Buschang & Shulman, 2003; Zigante et al., 2021).

2.7. Yumuşak doku maturasyonu

Dişlerin uzun dönem pozisyonu dilin içeriden, dudak ve yanakların dışarıdan oluşturduğu kuvvetler arasındaki dinamik denge içerisinde belirlenmektedir. Adolesan dönemden erişkinliğe geçiş sırasında yüz yumuşak dokularında meydana gelen büyüme ve maturasyon değişiklikleri bu dengeyi etkileyebilir. Mandibular büyümenin devam etmesine karşılık çevre yumuşak dokuların oluşturduğu sınırlamalar, keserlerin lingual yönde adaptasyonuna ve buna bağlı olarak anterior ark çevresinin azalmasına katkıda bulunabilir (Richardson, 1994, 2002).

2.8. Periodontal ve bağ dokusu kaynaklı kuvvetler

Periodontal ligament ve gingival lifler dişlerin pozisyonunun korunmasında aktif biyolojik yapılardır. Özellikle interproksimal bölgelerde bulunan transseptal lifler komşu dişler arasındaki ilişkinin korunmasına katkıda bulunmakta ve dental ark boyunca kuvvet aktarımında rol oynayabilmektedir (Richardson, 2002). Periodontal ve bağ dokuları yaşam boyunca tamamen statik değildir. Yaşlanmayla birlikte periodontal ligament, gingiva ve diğer bağ dokularında biyolojik ve mekanik değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler dental arkın kuvvetlere verdiği yanıtı etkileyebilir ve üçüncü molarların sürmesi tamamlandıktan yıllar sonra dahi mandibular anterior dişlerin pozisyonunda değişikliklerin devam etmesine katkıda bulunabilir (Richardson, 2002).

2.9. Diş boyutu, ark morfolojisi ve bireysel yatkınlık

Çapraşıklığın gelişiminde dişlerin toplam meziodistal boyutları ile dental arkta mevcut yer arasındaki ilişki önemli rol oynamaktadır. Mandibular keser ve kaninlerin toplam meziodistal genişliğinin fazla olduğu veya dental

ark boyutlarının daha sınırlı olduğu bireylerde çapraşıklık gelişimine yatkınlık artabilir (Buschang & Shulman, 2003; Richardson, 2002). Ancak diş boyutları erişkin dönemde büyük ölçüde sabit olduğundan geç dönemde yeni ortaya çıkan çapraşıklığı tek başına açıklamaz.

Mandibular ark morfolojisi üçüncü moların sürme olasılığını da etkileyebilir. Posterior ark alanı sınırlı olan bireylerde üçüncü molar impaksiyonu daha olası olabilirken aynı bireylerde genel ark boyutlarının daha küçük olması anterior çapraşıklığa yatkınlığı da artırabilir. Bu durum üçüncü molar impaksiyonu ile anterior çapraşıklık arasında görülen ilişkinin ortak morfolojik faktörlerden kaynaklanabileceği olasılığını gündeme getirmektedir. Dolayısıyla üçüncü molar bazı bireylerde çapraşıklığın doğrudan nedeni olmaktan çok, çapraşıklığa yatkın bir kraniyofasiyal veya dentoalveoler morfolojinin eşlik eden göstergelerinden biri olabilir (Richardson, 2002).

2.10. Multifaktöriyel etiyolojik model

Güncel kanıtlar birlikte değerlendirildiğinde geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın tek bir etiyolojik faktöre indirgenmesi mümkün görünmemektedir (Genest-Beucher et al., 2018; Lyros et al., 2023; Palikaraki et al., 2024; Richardson, 2002). Geç mandibular büyüme, ark uzunluğunda ve çevresinde azalma, fizyolojik mezial migrasyon, oklüzal kuvvetler, yumuşak doku maturasyonu, periodontal kuvvetler, diş boyutları ve morfolojisi, ortodontik tedaviyle oluşturulan değişiklikler ve bireysel kraniyofasiyal özellikler farklı oranlarda aynı klinik sonuca katkıda bulunabilir. Güncel meta-analitik veriler üçüncü molar varlığının çapraşıklık ve bazı ark boyutu değişiklikleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Palikaraki et al., 2024). Bununla birlikte longitudinal veriler üçüncü moların varlığı, yokluğu veya gelişim dinamiklerinin çapraşıklık artışını açıklamakta yetersiz kalabildiğini göstermektedir (Zigante et al., 2021). Bu nedenle klinik açıdan daha anlamlı soru "Üçüncü molarlar çapraşıklık yapar mı?" yerine "Mandibular üçüncü molarlar multifaktöriyel geç dönem çapraşıklık sürecine ne ölçüde katkıda bulunmaktadır ve bu katkı klinik kararlarımızı değiştirecek büyüklükte midir?" şeklinde formüle edilmelidir.

3. Mandibular Üçüncü Molarların Anterior Çapraşıklık Oluşturabileceğine İlişkin Biyolojik Teoriler

3.1. Erüptif kuvvet ve mezial kuvvet aktarımı teorisi

Mandibular üçüncü molarların anterior çapraşıklık oluşturabileceğine ilişkin en yaygın teori, sürme sırasında meydana gelen kuvvetlerin dental ark boyunca anterior yönde iletilmesine dayanmaktadır (Richardson, 1989; Southard et al., 1991). Bu modele göre gelişmekte olan veya sürmeye çalışan üçüncü molar ikinci moların distal yüzeyine mezial yönde kuvvet uygulamakta; söz konusu kuvvet ikinci molardan birinci molara, premolarlara, kaninlere

ve son olarak mandibular keserlere iletilmektedir. Anterior dental arkta yeterli yer bulunması durumunda bu kuvvet sisteminin belirgin bir düzensizlik oluşturmayabileceği, ancak diş boyutu-ark uzunluğu dengesinin sınırda olduğu bireylerde küçük miktardaki ek kuvvetin dahi keserlerde rotasyon veya çapraşıklığa katkıda bulunabileceği ileri sürülmüştür. Bununla birlikte Southard ve arkadaşlarının deneysel çalışmasında sürmemiş üçüncü molarların posterior aproksimal temaslarda beklenen mezial kuvvet etkisi gösterilememiştir (Southard et al., 1991). Dolayısıyla bu teori biyolojik olarak makul görünmekle birlikte, üçüncü molarların oluşturduğu kuvvetin büyüklüğü ve süresi, kuvvetin dental ark boyunca ne ölçüde iletilebildiği ve fizyolojik mezial drift gibi diğer kuvvetlerden ayrıştırılıp ayrıştırılamayacağı halen tartışmalıdır. Güncel sistematik derlemelerde bu nedenle yalnızca biyomekanik mekanizmanın varlığı değil, üçüncü moların bulunduğu ve bulunmadığı bireylerde ortaya çıkan klinik sonuçlar değerlendirilmektedir (Genest-Beucher et al., 2018; Lyros et al., 2023; Palikaraki et al., 2024; Pithon et al., 2017). Bu çalışmaların sonuçları genel olarak üçüncü molarların etkisine ilişkin tek yönlü bir tablo ortaya koymamaktadır. Önceki sistematik derlemelerde üçüncü molar varlığı ile mandibular anterior çapraşıklık veya postortodontik relaps arasında tutarlı bir ilişki gösterilemezken, daha güncel meta-analitik bulgular üçüncü moları bulunan bireylerde bazı çapraşıklık ve ark boyutu ölçümlerinin daha olumsuz olabileceğini düşündürmektedir (Genest-Beucher et al., 2018; Lyros et al., 2023; Palikaraki et al., 2024; Pithon et al., 2017). Bu farklılık, üçüncü molarların biyolojik olarak olası etkisinin bireyler arasında değişebileceğini ve gözlenen ilişkinin büyüme, ark morfolojisi, başlangıç çapraşıklığı ve ortodontik tedavi öyküsü gibi diğer faktörlerden bağımsız olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

3.2. Retromolar alan ve üçüncü molar impaksiyonu

Mandibular üçüncü moların sürme olasılığı retromolar bölgede mevcut alan, mandibular büyüme ve ramusun remodelasyon paterniyle yakından ilişkilidir. Üçüncü molar için yeterli posterior alanın bulunmaması impaksiyon olasılığını artırmaktadır. Bu durum üçüncü molar-çapraşıklık ilişkisinin yorumlanmasında önemli bir metodolojik problem oluşturmaktadır. Genel olarak daha kısa veya daha sınırlı dental arka sahip bireylerde hem üçüncü molar impaksiyonu hem de anterior çapraşıklık daha sık görülebilir. Böyle bir durumda impakte üçüncü molar çapraşıklığın doğrudan nedeni olmaktan çok aynı morfolojik yetersizliğin başka bir sonucu olabilir (Palikaraki et al., 2024).

3.3. Üçüncü moların pozisyonu ve sürme durumu

Üçüncü moların yalnızca varlığı değil, sürme durumu ve angulasyonu da anterior çapraşıklık üzerindeki olası etkisi açısından önem taşıyabilir. Sürmüş, yarı sürmüş ve impakte üçüncü molarlar farklı biyomekanik koşulları temsil etmektedir. Zigante ve arkadaşlarının longitudinal çalışmasında sürmüş, sürmemiş ve impakte üçüncü molarlara sahip birey-

ler arasında mandibular keser düzensizliğindeki değişim açısından anlamlı farklılık bulunmamıştır (Zigante et al., 2021). Ayrıca üçüncü moların maturasyon dinamikleri ile Little düzensizlik indeksi değişimi arasında anlamlı korelasyon saptanmamıştır. Bu sonuç üçüncü moların radyografik pozisyonunun tek başına gelecekteki anterior çapraşıklığı öngörmek için yeterli olmayabileceğini düşündürmektedir. Bir üçüncü moların mesioanguler veya impakte pozisyonda bulunması, anterior bölgede klinik olarak anlamlı çapraşıklık oluşturacak büyüklükte aktif bir kuvvet ürettiği anlamına gelmemektedir (Zigante et al., 2021).

3.4. Konjenital üçüncü molar eksikliği

Üçüncü moları konjenital olarak eksik bireyler, üçüncü moların çapraşıklık üzerindeki etkisini değerlendirmek açısından doğal bir karşılaştırma grubu oluşturmaktadır. Eğer üçüncü molarlar geç dönem çapraşıklığın önemli bir nedeni ise üçüncü molar agenezisi bulunan bireylerde daha az anterior düzensizlik görülmesi beklenebilir. Üçüncü molar agenezisi rastgele oluşan deneysel bir durum değildir. Diş sayısı, diş boyutları, çene boyutları ve kraniyofasiyal morfoloji gibi özelliklerle gelişimsel ilişkiler bulunabilir. Bu nedenle üçüncü moları konjenital olarak eksik bireylerin üçüncü moları bulunan bireylerle diğer tüm özellikler açısından eşdeğer olduğu varsayılamaz. Nitekim longitudinal veriler, üçüncü molar agenezisinin geç dönem mandibular anterior çapraşıklığa karşı mutlak bir koruyuculuk sağlamadığını göstermektedir (Zigante et al., 2021).

3.5. Biyolojik olabilirlik ve klinik nedensellik

Üçüncü molarların mandibular anterior çapraşıklığa katkıda bulunabileceğine ilişkin mekanik teoriler biyolojik olarak makul görünmekle birlikte, bu mekanizmaların klinik önemi kesin olarak ortaya konulamamıştır. Nitekim Southard ve ark., sürmemiş mandibular üçüncü molarların oluşturabileceği mezial kuvveti posterior aproksimal kontak sıkılığı üzerinden değerlendirmiş ve üçüncü molarlardan kaynaklanan belirgin bir mezial kuvvet gösteremiştir (Southard et al., 1991). Bu nedenle üçüncü molarların teorik olarak anterior yönde kuvvet oluşturabilmesi ile bu kuvvetin klinik olarak anlamlı düzeyde mandibular anterior çapraşıklığa neden olması birbirinden ayrı değerlendirilmelidir.

Benzer şekilde, üçüncü molar varlığı ile mandibular anterior çapraşıklık arasında istatistiksel bir ilişkinin gösterilmesi de tek başına nedensellik için yeterli değildir. Önceki sistematik derlemelerde primer çalışmaların önemli bir bölümünün yüksek yanlılık riski taşıdığı ve sonuçların tutarlı olmadığı bildirilmiş; bu nedenle üçüncü molarlarla anterior çapraşıklık arasında kesin bir neden-sonuç ilişkisi kurulamamıştır (Lyros et al., 2023; Zawawi & Melis, 2014). Buna karşılık daha güncel bir sistematik derleme ve meta-analizde üçüncü moları bulunmayan bireyler lehine çapraşıklık, Little dü-

zensizlik indeksi ve ark uzunluğu açısından anlamlı farklılıklar saptanmış; ancak dahil edilen çalışmaların gözlemsel nitelikte ve orta-yüksek yanlılık riskine sahip olması nedeniyle nedensel ilişkinin kesinleştirilebilmesi için yüksek kaliteli prospektif araştırmalara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (Palikaraki et al., 2024).

Klinik açıdan üçüncü ve daha ileri bir soru ise üçüncü moların uzaklaştırılmasının gelecekte ortaya çıkabilecek anterior çapraşıklığı veya postortodontik relapsı önleyip önlemediğidir. Güncel sistematik derlemeler, üçüncü molarların profilaktik olarak uzaklaştırılmasının yalnızca oklüzal stabilitenin korunması veya mandibular anterior çapraşıklığın önlenmesi amacıyla rutin olarak önerilmesini destekleyecek yeterli kanıt bulunmadığını göstermektedir (Lyros et al., 2023; Zawawi & Melis, 2014). Bu nedenle üçüncü molar–çapraşıklık ilişkisinin değerlendirilmesinde biyolojik mekanizmanın varlığı, üçüncü molar ile çapraşıklık arasındaki klinik ilişki ve üçüncü moların uzaklaştırılmasının tedavi edici veya koruyucu etkisi birbirinden ayrı değerlendirilmelidir.

4. Üçüncü Molar Varlığı ile Mandibular Anterior Çapraşıklık Arasındaki Klinik İlişki

Mandibular üçüncü molarların çapraşıklık üzerindeki etkisini değerlendiren araştırmalarda sürmüş, impakte, konjenital olarak eksik veya daha önce çekilmiş üçüncü molarlara sahip bireyler karşılaştırılmıştır (Cotrin et al., 2020; Genest-Beucher et al., 2018; Lyros et al., 2023; Palikaraki et al., 2024; Pithon et al., 2017; Stanaityte et al., 2014; Zigante et al., 2021). Bu konuda klasik ancak uzun takip süresi nedeniyle halen önemli çalışmalardan biri Ades ve arkadaşlarının araştırmasıdır. Çalışmada üçüncü molarları impakte, fonksiyonel olarak sürmüş, konjenital olarak eksik veya uzun süre önce çekilmiş bireyler karşılaştırılmış ve ortalama 13 yıllık postretansiyon takip süresinde mandibular keser düzensizliğinin arttığı, ark uzunluğu ve interkanin genişliğin azaldığı gösterilmiştir. Bununla birlikte söz konusu değişiklikler üçüncü molar alt grupları arasında anlamlı farklılık göstermemiştir (Ades, Joondeph, Little, & Chapko, 1990).

Buna karşılık üçüncü molarlarla çapraşıklık arasında ilişki bildiren çalışmalar da bulunmaktadır. Niedzielska'nın çalışmasında üçüncü molarların dental ark çapraşıklığı üzerindeki olası etkisi değerlendirilmiş ve üçüncü molarların belirli koşullarda ark boyutlarındaki değişikliklerle ilişkili olabileceği ileri sürülmüştür (Niedzielska, 2005). Sidlauskas ve Trakiniene de üçüncü molarların alt dental ark çapraşıklığı üzerindeki etkisini değerlendirmiş; ancak üçüncü molarların geç dönem çapraşıklığın tek veya temel etiyolojik faktörü olduğunu gösterecek yeterli kanıt bulunmadığını belirtmiştir (Sidlauskas & Trakiniene, 2006).

Bu farklı sonuçlar yakın dönem sistematik derlemelere de yansımıştır. Genest-Beucher ve arkadaşlarının derlemesinde çalışmaların %83'ünde anlamlı ilişki saptanmamışken, Palikaraki ve arkadaşlarının çalışmasında ise üçüncü moları bulunmayan bireyler lehine anlamlı farklılıklar bildirilmiştir (Genest-Beucher et al., 2018; Palikaraki et al., 2024). Bu nedenle mevcut klinik literatür, üçüncü molarların mandibular anterior çapraşıklığa katkıda bulunabileceği olasılığını tamamen dışlamamakla birlikte, üçüncü molar varlığının tek başına klinik olarak anlamlı çapraşıklığa neden olduğunu da ortaya koymamaktadır.

5. Üçüncü Molarlar ve Ortodontik Tedavi Sonrası Relaps

Üçüncü molar-çapraşıklık tartışmasının klinik açıdan en önemli boyutlarından biri ortodontik tedavi sonrası stabilitedir. Ortodontik tedavi sonunda düzgün biçimde sıralanan mandibular keserlerde postretansiyon dönemde yeniden düzensizlik meydana gelebilmesi, üçüncü molarların relaps üzerindeki olası etkisine yönelik ilgiyi artırmıştır. Bununla birlikte mandibular anterior relapsın üçüncü molar durumundan bağımsız olarak ortaya çıkabildiği uzun dönem çalışmalarda gösterilmiştir (Ades et al., 1990; Little et al., 1981, 1988). Little ve arkadaşlarının çalışmalarında mandibular anterior düzensizliğin postretansiyon dönemde uzun yıllar boyunca artmaya devam edebildiği ve bireysel uzun dönem stabilitenin öngörülmesinin güç olduğu bildirilmiştir (Little et al., 1981, 1988).

Ades ve arkadaşlarının uzun dönem araştırmasında da postretansiyon mandibular keser çapraşıklığı üçüncü molarları impakte, sürmüş, konjenital olarak eksik veya daha önce çekilmiş gruplar arasında anlamlı farklılık göstermemiştir (Ades et al., 1990). Bu sonuç üçüncü molar durumunun uzun dönem relapsın temel belirleyicisi olmadığı görüşünü desteklemektedir. Yakın dönem primer klinik kanıtlar da genel olarak aynı yöndedir. Cotrin ve arkadaşlarının 2020 tarihli çalışmasında üçüncü molarları bulunan ve bulunmayan ortodontik hastaların tedavi öncesi, tedavi sonrası ve postretansiyon kayıtları karşılaştırılmış; mandibular anterior çapraşıklık relapsı açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır (Cotrin et al., 2020).

Pithon ve arkadaşlarının 2017 tarihli sistematik derleme ve meta-analizinde üçüncü molarların varlığı veya önceden uzaklaştırılmış olması ile postortodontik mandibular keser çapraşıklık rekürrensi arasındaki ilişki değerlendirilmiştir (Pithon et al., 2017). Altı çalışmanın dahil edildiği analizde Little düzensizlik indeksi ve interkanin genişlik açısından gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Lyros ve arkadaşlarının 2023 tarihli sistematik derlemesi bu kanıtları güncellemiştir (Lyros et al., 2023). İncelenen 605 kayıttan 10 çalışma dahil edilmiş ve çalışmaların büyük çoğunluğunda üçüncü molarların varlığıyla postortodontik mandibular anterior çapraşıklık relapsı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki bildirilmemiştir (Lyros et al., 2023).

Bu ayrım retansiyon açısından önemlidir. Üçüncü molarların çekilmiş olması mandibular anterior segmentin yaşam boyu stabil kalacağını garanti etmediği gibi üçüncü molarların bulunması da relapsın kaçınılmaz olduğu anlamına gelmez. Dolayısıyla retansiyon stratejisinin üçüncü molar durumundan bağımsız olarak dental arkın yaşam boyu değişme eğilimi dikkate alınarak planlanması gerekir.

6. Profilaktik Üçüncü Molar Çekimi Çapraşıklığı Önler Mi?

Üçüncü molarların mandibular çapraşıklık ile ilişkili olup olmadığı bilimsel açıdan önemli olmakla birlikte klinisyen açısından daha önemli soru üçüncü moların uzaklaştırılmasının gelecekteki çapraşıklığı azaltıp azaltmayacağıdır. Eğer üçüncü molar mandibular anterior çapraşıklığın önemli ve değiştirilebilir bir nedeni ise üçüncü moların sürmesinden önce veya sürme döneminde uzaklaştırılması meydana gelebilecek anterior düzensizliği azaltmalıdır. Bu hipotezin değerlendirilmesi gözlemsel ilişki çalışmalarından ziyade kontrollü müdahale çalışmalarını gerektirir.

Bu konuda klasik çalışmalardan biri Lindqvist ve Thilander tarafından gerçekleştirilmiştir (Lindqvist & Thilander, 1982). Bilateral impakte mandibular üçüncü molarları bulunan bireylerde bir taraftaki üçüncü molar çekilmiş, karşı taraf kontrol olarak bırakılmış ve bireyler longitudinal olarak izlenmiştir. Bazı değişkenler çekim tarafı lehine sonuç vermiş olmakla birlikte hangi hastaların üçüncü molar uzaklaştırılmasından çapraşıklık açısından fayda göreceğinin öngörülemeyeceği belirtilmiştir (Lindqvist & Thilander, 1982). Harradine ve arkadaşlarının çalışmasında ortodontik tedavi ve retansiyonunu tamamlayan hastalar üçüncü molarların erken çekimi açısından randomize edilmiştir. Ortalama 66 aylık takip sonunda üçüncü molarların çekildiği grupta alt labial segment düzensizliğindeki artış sayısal olarak daha düşük olmakla birlikte gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Harradine, Pearson, & Toth, 1998).

2017 sistematik derleme ve meta-analizinde üçüncü moların varlığı veya uzaklaştırılmasının postortodontik Little düzensizlik indeksi ve interkanin genişlik üzerinde anlamlı farklılık oluşturmadığı bildirilmiştir (Pithon et al., 2017). Benzer biçimde 2023 yılına ait bir derleme de mevcut kanıtların oklüzal stabilitenin korunması amacıyla profilaktik üçüncü molar çekimini savunmak için yeterli olmadığını göstermiştir (Lyros et al., 2023).

2024 meta-analizinin üçüncü molar varlığıyla çapraşıklık arasında ilişki bildirmesi bu sonucu doğrudan değiştirmemektedir (Palikaraki et al., 2024). Üçüncü moları bulunmayan bireylerde ortalama çapraşıklık miktarının daha az olması, üçüncü moların cerrahi olarak uzaklaştırılmasının aynı sonucu oluşturacağını kanıtlamaz. Konjenital olarak üçüncü moları bulunmayan bireylerle üçüncü moları cerrahi olarak çekilmiş bireyler biyolojik olarak eşdeğer gruplar değildir.

6.1. Kanıtlar Neden Çelişiyor?

Literatürde farklı sonuçların ortaya çıkmasının temel nedenlerinden biri çalışma popülasyonlarının heterojenliğidir (Genest-Beucher et al., 2018; Lyros et al., 2023; Palikaraki et al., 2024; Pithon et al., 2017; Zawawi & Melis, 2014). Bazı araştırmalarda ortodontik tedavi görmemiş bireyler değerlendirilirken diğerlerinde tedavi görmüş ve farklı retansiyon protokolleri uygulanmış hastalar incelenmiştir. Bu popülasyonların aynı analiz içerisinde değerlendirilmesi üçüncü moların bağımsız etkisinin belirlenmesini güçleştirmektedir. İkinci önemli sorun üçüncü molar durumunun tanımlanmasıdır. Sürmüş, yarı sürmüş, impakte, konjenital olarak eksik ve cerrahi olarak çekilmiş üçüncü molarlar biyolojik olarak farklı durumları temsil etmektedir. Bu grupların tek bir "üçüncü molar yok" veya "üçüncü molar var" kategorisinde birleştirilmesi önemli bilgilerin kaybedilmesine neden olabilir. Üçüncü sorun sonuç ölçütlerinin heterojenliğidir. Çapraşıklık; Little düzensizlik indeksi, diş-ark boyut uyumsuzluğu, ark uzunluğu, ark çevresi veya interkanin genişlik gibi farklı parametrelerle değerlendirilmiştir (Genest-Beucher et al., 2018; Lyros et al., 2023; Palikaraki et al., 2024; Pithon et al., 2017). Bu ölçümler ilişkili olmakla birlikte aynı biyolojik sonucu değerlendirmemektedir. Bir çalışmada ark uzunluğu değişirken Little indeksi değişmeyebilir veya bunun tersi görülebilir.

Takip sürelerindeki farklılıklar da önemlidir. Üçüncü moların aktif sürme dönemini kapsayan birkaç yıllık takip ile sürme tamamlandıktan sonraki uzun dönem değişiklikleri değerlendiren araştırmalar aynı biyolojik süreci ölçmemektedir (Ades et al., 1990; Zigante et al., 2021).

Ortodontik tedavi görmüş bireyleri değerlendiren çalışmalarda retansiyon protokollerindeki farklılıklar önemli bir metodolojik sınırlılık oluşturmaktadır. Retainer tipi ve kullanım süresinin yanı sıra hasta uyumunun çalışmalar arasında farklılık göstermesi de sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir (Lyros et al., 2023).

Başlangıçtaki çapraşıklık miktarı ve dental ark özellikleri de sonuçları etkileyebilecek diğer faktörlerdir. Diş boyutları ile arkta mevcut yer arasındaki dengenin sınırda olduğu bireylerde, ark uzunluğundaki küçük bir azalma dahi anterior çapraşıklıkta artışa neden olabilirken, başlangıçta boşluklu diş dizilimine sahip bireylerde benzer miktardaki değişiklik belirgin bir çapraşıklık oluşturmayabilir. Ayrıca posterior bölgedeki yer yetersizliği, mandibular ark boyutları ve büyüme paterni gibi özellikler hem üçüncü molar impaksiyonu hem de anterior çapraşıklık ile ilişkili olabilir. Bu ortak faktörlerin yeterince kontrol edilmemesi, üçüncü molar varlığı ile çapraşıklık arasında saptanan ilişkinin doğrudan nedensel bir ilişki olarak yorumlanmasına yol açabilir (Palikaraki et al., 2024; Zawawi & Melis, 2014).

Literatürdeki bir diğer önemli sınırlılık ise yüksek kaliteli primer çalışmaların sayısının az olmasıdır. Nitekim 2023 tarihli sistematik derlemede değerlendirilen 605 kayıttan yalnızca 10 çalışma dahil edilme kriterlerini karşılamıştır (Lyros et al., 2023). Benzer şekilde 2024 tarihli sistematik derlemede 13 çalışma değerlendirmeye alınmış, bunların yalnızca yedisi meta-analize dahil edilebilmiştir. Ayrıca bu çalışmada primer araştırmaların çoğunda orta, geri kalanında ise yüksek yanlılık riski bildirilmiştir (Palikaraki et al., 2024). Dolayısıyla literatürde bildirilen farklı sonuçlar, üçüncü molarların mandibular anterior çapraşıklık üzerindeki etkisine ilişkin kesin bir yargıya varmaktan çok, mevcut kanıtların sınırlı ve heterojen olduğunu göstermektedir.

7. SONUÇ

Geç dönem mandibular anterior çapraşıklık, tek bir etkene bağlanamayacak kadar karmaşık ve multifaktöriyel bir süreçtir. Mandibular üçüncü molarlar bu süreçte uzun yıllardır olası bir etiyolojik faktör olarak değerlendirilmekle birlikte, mevcut kanıtlar üçüncü molarların anterior çapraşıklığın temel veya tek başına belirleyici nedeni olduğunu ortaya koymamaktadır. Bununla birlikte üçüncü molarların bazı bireylerde dental ark değişikliklerine ve anterior çapraşıklığa belirli ölçüde katkıda bulunabileceği olasılığı da tamamen dışlanamamaktadır.

Üçüncü molar varlığı ile anterior çapraşıklık arasında bir ilişkinin gösterilmesi, doğrudan nedensellik anlamına gelmediği gibi üçüncü moların uzaklaştırılmasının gelecekteki çapraşıklığı veya postortodontik relapsı önleyeceğini de göstermemektedir. Bu nedenle asemptomatik mandibular üçüncü molarların yalnızca anterior çapraşıklığı önlemek veya ortodontik stabiliteyi korumak amacıyla rutin olarak profilaktik çekimi mevcut kanıtlarla desteklenmemektedir.

Klinik yaklaşımda üçüncü molarlar, geç dönem mandibular anterior çapraşıklığın multifaktöriyel yapısı içerisinde değerlendirilmelidir. Çekim kararı yalnızca üçüncü moların varlığına veya gelecekte çapraşıklık oluşturabileceği varsayımına dayandırılmamalı; hastaya özgü dentofasiyal özellikler, ortodontik tedavi ve retansiyon durumu ile üçüncü molara ilişkin klinik bulgular birlikte dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla uzun dönem ortodontik stabilitenin korunmasında temel yaklaşım, üçüncü molarların rutin olarak uzaklaştırılmasından ziyade bireysel risklerin değerlendirilmesi ve uygun retansiyon stratejisinin sürdürülmesi olmalıdır.

KAYNAKLAR

Ades, A. G., Joondeph, D. R., Little, R. M., & Chapko, M. K. (1990). A long-term study of the relationship of third molars to changes in the mandibular dental arch. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 97*(4), 323–335. doi:10.1016/0889-5406(90)70105-L

Buschang, P. H., & Shulman, J. D. (2003). Incisor crowding in untreated persons 15–50 years of age: United States, 1988–1994. *The Angle Orthodontist, 73*(5), 502–508. doi:10.1043/0003-3219(2003)073<0502:ICIUPY>2.0.CO;2

Cotrin, P., Freitas, K. M. S., Freitas, M. R., Valarelli, F. P., Cançado, R. H., & Janson, G. (2020). Evaluation of the influence of mandibular third molars on mandibular anterior crowding relapse. *Acta Odontologica Scandinavica, 78*(4), 297–302. doi:10.1080/00016357.2019.1703142

Genest-Beucher, S., Graillon, N., Bruneau, S., Benzaquen, M., & Guyot, L. (2018). Does mandibular third molar have an impact on dental mandibular anterior crowding? A literature review. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery, 119*(3), 204–207. doi:10.1016/j.jormas.2018.03.005

Harradine, N. W. T., Pearson, M. H., & Toth, B. (1998). The effect of extraction of third molars on late lower incisor crowding: A randomized controlled trial. *British Journal of Orthodontics, 25*(2), 117–122. doi:10.1093/ortho/25.2.117

Henrikson, J., Persson, M., & Thilander, B. (2001). Long-term stability of dental arch form in normal occlusion from 13 to 31 years of age. *European Journal of Orthodontics, 23*(1), 51–61. doi:10.1093/ejo/23.1.51

Lindauer, S. J., Laskin, D. M., Tüfekçi, E., Taylor, R. S., Cushing, B. J., & Best, A. M. (2007). Orthodontists' and surgeons' opinions on the role of third molars as a cause of dental crowding. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 132*(1), 43–48. doi:10.1016/j.ajodo.2005.07.026

Lindqvist, B., & Thilander, B. (1982). Extraction of third molars in cases of anticipated crowding in the lower jaw. *American Journal of Orthodontics, 81*(2), 130–139. doi:10.1016/0002-9416(82)90037-9

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. doi:10.1016/0889-5406(88)90102-3

Little, R. M., Wallen, T. R., & Riedel, R. A. (1981). Stability and relapse of mandibular anterior alignment—first premolar extraction cases treated by traditional edgewise orthodontics. *American Journal of Orthodontics, 80*(4), 349–365. doi:10.1016/0002-9416(81)90171-8

Lyros, I., Vasoglou, G., Lykogeorgos, T., Tsolakis, I. A., Maroulakos, M. P., Fora, E., & Tsolakis, A. I. (2023). The effect of third molars on the mandibular anterior crowding relapse—A systematic review. *Dentistry Journal, 11*(5), 131. doi:10.3390/dj11050131

Niedzielska, I. (2005). Third molar influence on dental arch crowding. *European Journal of Orthodontics, 27*(5), 518–523. doi:10.1093/ejo/cji045

Palikaraki, G., Mitsea, A., & Sifakakis, I. (2024). Effect of mandibular third molars on crowding of mandibular teeth in patients with or without previous orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *The Angle Orthodontist, 94*(1), 122–132. doi:10.2319/032323-205.1

Pithon, M. M., Baião, F. C. S., Sant'Anna, L. I. D. A., Coqueiro, R. S., & Maia, L. C. (2017). Influence of the presence, congenital absence, or prior removal of third molars on recurrence of mandibular incisor crowding after orthodontic treatment: Systematic review and meta-analysis. *Journal of the World Federation of Orthodontists, 6*(2), 50–56. doi:10.1016/j.ejwf.2017.03.003

Richardson, M. E. (1989). The role of the third molar in the cause of late lower arch crowding: A review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 95*(1), 79–83. doi:10.1016/0889-5406(89)90139-X

Richardson, M. E. (1994). The etiology of late lower arch crowding alternative to mesially directed forces: A review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 105*(6), 592–597. doi:10.1016/S0889-5406(94)70144-X

Richardson, M. E. (2002). Late lower arch crowding: The aetiology reviewed. *Dental Update, 29*(5), 234–238. doi:10.12968/denu.2002.29.5.234

Sidlauskas, A., & Trakiniene, G. (2006). Effect of the lower third molars on the lower dental arch crowding. *Stomatologija, 8*(3), 80–84.

Southard, T. E., Southard, K. A., & Weeda, L. W. (1991). Mesial force from unerupted third molars. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 99*(3), 220–225. doi:10.1016/0889-5406(91)70004-G

Stanaityte, R., Trakiniene, G., & Gervickas, A. (2014). Do wisdom teeth induce lower anterior teeth crowding? A systematic literature review. *Stomatologija, 16*(1), 15–18.

Zawawi, K. H., & Melis, M. (2014). The role of mandibular third molars on lower anterior teeth crowding and relapse after orthodontic treatment: A systematic review. *The Scientific World Journal, 2014*, Article 615429. doi:10.1155/2014/615429

Zigante, M., Pavlic, A., Morelato, L., Vandevska-Radunovic, V., & Spalj, S. (2021). Presence and maturation dynamics of mandibular third molars and their influence on late mandibular incisor crowding: A longitudinal study. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(19), Article 10070. doi:10.3390/ijerph181910070