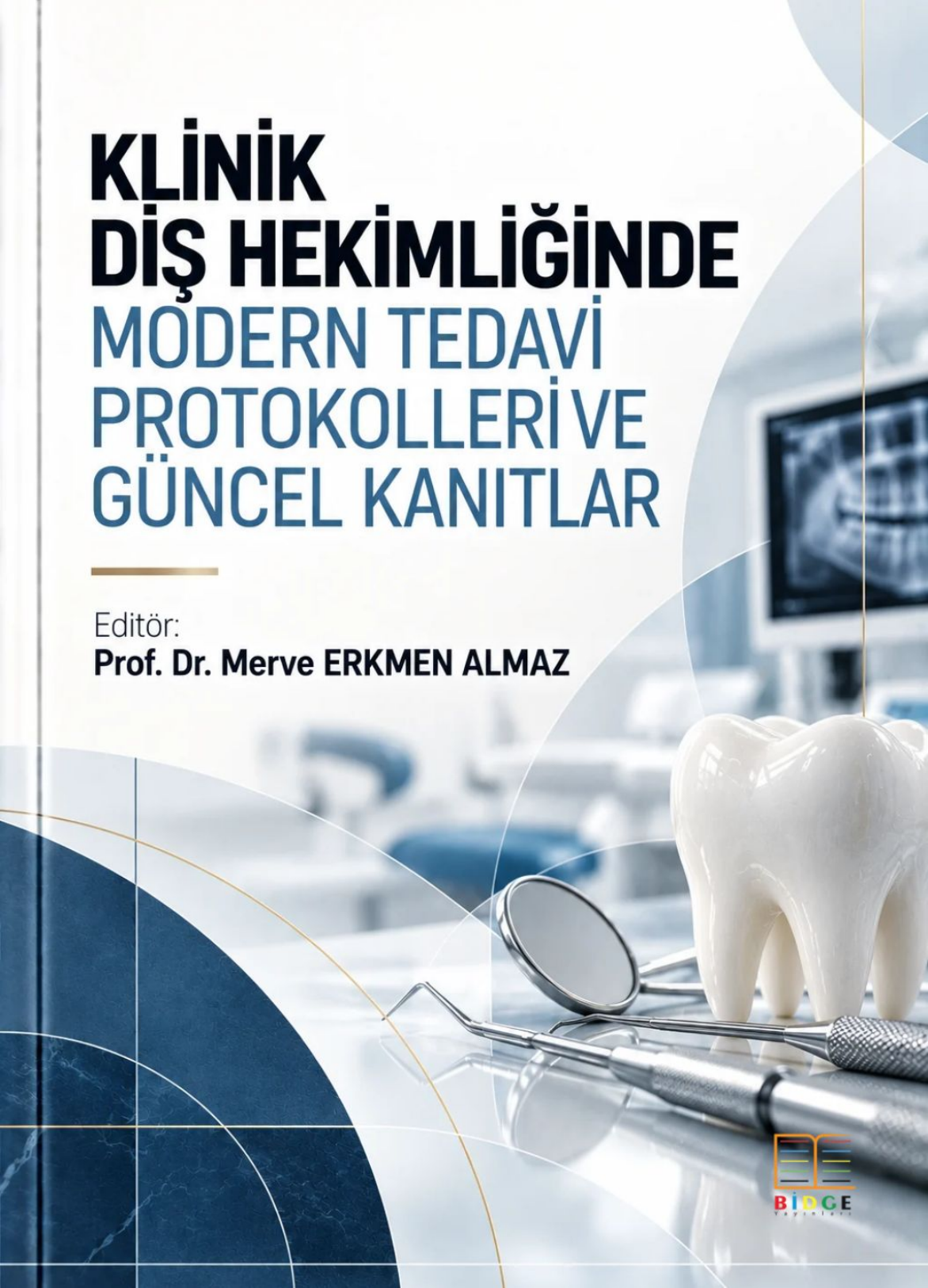
KLİNİK DİŞ HEKİMLİĞİNDE MODERN TEDAVİ PROTOKOLLERİ VE GÜNCEL KANITLAR

Editör:
Prof. Dr. Merve ERKMEN ALMAZ



BİDGE Yayınları

BİDGE Yayınları

Klinik Diş Hekimliğinde Modern Tedavi Protokolleri ve Güncel Kanıtlar

Editör: Prof. Dr. Merve ERKMEN ALMAZ

ISBN: 978-625-5474-56-8

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

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

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

ÖNSÖZ

Günümüz klinik hekimliği; yalnızca rutin restoratif ve cerrahi prosedürleri uygulamayı değil, aynı zamanda temel fiziko-kimyasal prensipleri anlamayı, ileri görüntüleme tekniklerini doğru yorumlamayı ve özel hasta yönetimini birleştirmeyi gerektirmektedir. Hazırlanan bu eser; kanıta dayalı estetikten implantolojideki stabilite parametrelerine, gelişmiş görüntüleme artefaktlarından biyomateryal adaptasyonuna kadar geniş bir alana odaklanmaktadır. Bu eserin ortaya çıkmasında emeği geçen meslektaşlarıma teşekkür eder, eserin faydalı olmasını dilerim.

Editör

Prof. Dr. Merve ERKMEN ALMAZ Ekim 2026

İÇİNDEKİLER

RADYOTERAPİNİN TÜKÜRÜK BEZLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ 1
MELEK RUTBİL, FATMA AKKOCA

ANTERİOR RESTORASYONLARDA OPTİK PRENSİPLER VE İLLÜZYON YÖNETİMİ 22
MİNE BAŞAN TOSUN

KEMOTERAPİ VEYA RADYOTERAPİ GÖREN HASTADA DİŞ HEKİMLİĞİ YAKLAŞIMI 36
EMRE KOYUNCU, MELİH ÖZDEDE

BEYAZLATILMIŞ DENTİNDE ADEZİV BAĞLANMA STABİLİTESİ: ANTİOKSİDANLAR VE GÜNCEL KLİNİK YAKLAŞIMLAR 60
CANSU YILDIRIM

ULTRASONOGRAFİDE ARTEFAKTLAR: FİZİKSEL TEMELLER VE GÖRÜNÜMLER 87
MELEK RUTBİL, MELİH ÖZDEDE

ZİRKONYUM VE DENTAL İMPLANTLAR: TEMEL ÖZELLİKLER, KLİNİK KULLANIM VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR 99
DELİL DOĞAN, MERVE GÜNEY

DENTAL İMPLANTLARDA STABİLİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ: KLİNİK VE DENEYSEL YÖNTEMLER 108
DELİL DOĞAN, MERVE GÜNEY

Şeffaf Plak Tedavisinde Biyomekanik ve Öngörülebilirlik Güncel Kanıtlar 119
EMİNE KILIÇ

ÇOCUK VE ADÖLESANLARDA MİNE DEFEKTLERİNİN

İÇİNDEKİLER

MİNİMAL İNVAZİV ESTETİK TEDAVİSİ 176
ZELAL ALMAK, SONGÜL ÖZDÖGEN

BÖLÜM 1

RADYOTERAPİNİN TÜKÜRÜK BEZLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

MELEK RUTBİL[1]
FATMA AKKOCA[2]

Giriş

Baş-boyun kanserlerinin tedavisinde radyoterapi, tek başına ya da cerrahi ve kemoterapiyle birlikte en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Tedavi alanı çoğu zaman parotis ve submandibuler bezleri, ağız boşluğundaki minör tükürük bezlerini de içine alır. Bezlerin aldığı doz arttıkça tükürük salgısı azalır; kserostomi, çiğneme, yutma ve konuşma güçlüğü, tat değişikliği ve çürük gibi ağız içi komplikasyonlar bunu izler (Jasmer et al., 2020; Gerlach et al., 2026). Bu yan etkilerin bir kısmı tedavi bittikten sonra yıllarca sürer ve yaşam kalitesini kalıcı olarak düşürür (Paz et al., 2024; Hoene et al., 2026).

Konvansiyonel tekniklerle tedavi edilen hastaların yaklaşık %50–70'inde kserostomi gelişirken modern tekniklerle bu oran %30

[1] Arş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0005-6461-1729
[2] Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0002-4522-656X

dolayına inmiştir (Paz et al., 2024). Yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT), proton tedavisi ve adaptif planlama, tümör kontrolünü korurken bezlere ulaşan dozu azaltmak için kullanılmaktadır (Alterio et al., 2021; Cao et al., 2021; Lindegaard et al., 2023). Yine de tümörün yerleşimi ve boyun lenf nodu tutulumu, birçok hastada bezlerin bir kısmının yüksek doz almasını kaçınılmaz kılar (Paz et al., 2024). Radyasyon hasarının biyolojisini, doz sınırlarını, hasarın görüntüleme yöntemleriyle izlenmesini ve kserostominin yönetimini bilmek, bu hastaları izleyen diş hekimi ve radyolog için de gereklidir (Jasmer et al., 2020; Gerlach et al., 2026).

Tükürük Bezlerinin Anatomisi ve Fizyolojisi

Tükürük, üç çift büyük tükürük bezi (parotis, submandibuler ve sublingual bez) ile ağız mukozasına dağılmış yüzlerce minör bez tarafından salgılanır. Yaklaşık %99'u sudur; geri kalanını elektrolitler, proteinler, müsinler ve antimikrobiyal bileşenler oluşturur (Paz et al., 2024). Tükürük mukozayı nemlendirir, lokmanın oluşmasını ve yutulmasını kolaylaştırır, konuşmaya yardımcı olur; tamponlama kapasitesi ve remineralizasyona katkısıyla dişleri çürüğe karşı korur (Proctor, 2016).

Salgı birimi, asinus ve ona bağlanan kanal sisteminden oluşur. Primer salgıyı üreten asiner hücreler parotiste seröz yapıdadır ve enzimden zengin, akışkan bir salgı oluşturur. Submandibuler bez seröz ve müköz asinusları birlikte içerir; sublingual bez ise ağırlıklı olarak müközdür. Primer salgı çizgili kanallardan geçerken sodyum ve klor geri emilir, böylece ağza ulaşan tükürük hipotonik hâle gelir (Paz et al., 2024). Salgıyı otonom sinir sistemi denetler: parasempatik uyarı sıvı salgısını, sempatik uyarı ise protein salgısını artırır (Proctor, 2016).

Bezlerin toplam salgıya katkısı uyarı durumuna göre değişir. Dinlenme (uyarılmamış) tükürüğünün büyük kısmını submandibuler bezler sağlar; yemek sırasında olduğu gibi uyarılmış durumda ise

parotislerin payı artar (Proctor, 2016). Gün içinde ve gece hissedilen ağız kuruluğu daha çok dinlenme tükürüğüyle ilişkili olduğundan, son yıllarda parotislerin yanında submandibuler bezlerin de korunması gündeme gelmiştir (Murdoch-Kinch et al., 2008).

Radyasyonun Tükürük Bezlerine Etki Mekanizmaları

Tükürük bezleri yavaş yenilenen bir dokudur ve klasik radyobiyolojiye göre radyasyona geç yanıt vermesi beklenir. Oysa salgı tedavinin ilk haftalarında hızla azalır; birçok hastada tükürük miktarı erken dönemde %50–60 oranında düşer (Paz et al., 2024). Bu çelişkinin açıklaması erken hasarın niteliğindedir. İlk günlerde asiner hücrelerin ölmesinden çok hücre zarı etkilenir; zar hasarı, muskarinik reseptör uyarısıyla başlayan sinyal iletimini bozar ve hücre sayısı henüz korunurken su salgısı azalır (Konings et al., 2005).

Sonraki haftalarda ve aylarda asiner hücre kaybı, kök/progenitör hücre havuzunun tükenmesi, mikrovasküler hasar, süregen inflamasyon ve fibrozis bezin yenilenme kapasitesini sınırlar (Konings et al., 2005; Jasmer et al., 2020). Oksidatif stres ve mitokondriyal işlev bozukluğu da bu sürece katkıda bulunur (Jasmer et al., 2020). Hayvan deneylerinde mitokondriyi hedefleyen bir antioksidanın salgı kaybını sınırladığı görülmüştür; bu bulgu henüz klinik bir tedaviye dönüşmemiştir (Liu et al., 2021).

Radyasyon tükürüğün yalnızca miktarını değil niteliğini de değiştirir. Tükürük koyulaşır, viskozitesi ve müsin içeriği artar, pH düşer. Ağız mikrobiyotasında laktobasil oranı artar, mikrobiyal çeşitlilik azalır ve bu değişiklikler tedaviden sonra beş yıla kadar sürebilir (Paz et al., 2024). Hastaların “yapışkan tükürük” olarak tanımladığı yakınma bu değişikliklerin klinik karşılığıdır (Paz et al., 2024).

Bezin uzun dönem işlevi, aldığı toplam dozun yanında dozun bez içindeki dağılımına da bağlıdır. Parotiste kök/progenitör

hücrelerin büyük kanallar çevresinde yoğunlaştığı ve bu bölgenin dozunun azaltılmasının tükürük üretimini daha iyi koruduğu öne sürülmüştür (van Luijk et al., 2015). Ne var ki bu yaklaşımı sınayan randomize çalışmada, kök hücre bölgesini koruyan IMRT ile standart IMRT arasında tükürük akışı ve hasta bildirimli kserostomi açısından anlamlı fark bulunmamıştır (Paz et al., 2024).

Klinik Tablo ve Hasta Üzerindeki Etkiler

Kserostomi hastanın ağız kuruluğu hissini, hiposalivasyon ise tükürük akışındaki nesnel azalmayı tanımlar. İki durum sık birlikte görülse de birbirinin yerine kullanılamaz: akışı azalmış bir hasta yakınma bildirmeyebilir, ağız kuruluğundan yakınan bir hastanın akış hızı ise normal sınırlarda olabilir (Villa et al., 2014). Uyarılmamış tüm tükürük akışının 0,1 mL/dk ve altında, uyarılmış akışın 0,5–0,7 mL/dk ve altında olması genellikle hiposalivasyon olarak kabul edilir (Villa et al., 2014).

Kserostomi, baş-boyun kanserinden sağ kalanlarda en sık görülen geç yan etkilerden biridir (Hoene et al., 2026). Kesitsel bir çalışmada katılımcıların büyük çoğunluğu ağız kuruluğu bildirmiş, yarısından fazlası bu yakınmanın günlük yükünü güçlü ya da çok güçlü olarak tanımlamıştır. Kserostomisi olan hastaların ağız sağlığına bağlı yaşam kalitesi puanları daha kötüdür ve bu fark diğer değişkenler hesaba katıldığında da sürmüştür (Hoene et al., 2026).

Tükürük azaldığında lokma oluşturmak ve yutmak güçleşir, konuşma sırasında dil ve dudaklar yapışır. Tat duyusu değişir, hareketli protez kullanımı zorlaşır, mukoza travmaya ve fırsatçı enfeksiyonlara daha açık hâle gelir (Paz et al., 2024; Gerlach et al., 2026). Diş hekimliği açısından en önemli sonuç radyasyon çürüğüdür (Vasconcellos et al., 2020). Hastaların dörtte birinden fazlasında görülen bu tablonun gelişiminde hiposalivasyon belirleyicidir (Gerlach et al., 2026). Tükürük azalması, diyetin yumuşak ve şekerli gıdalara kayması ve ağız hijyeninin bozulması

bir araya geldiğinde çürük riski daha da artar (Vasconcellos et al., 2020).

Klinik değerlendirmede hekimin yaptığı derecelendirme ile hastanın kendi bildirimi birbirini tamamlar. Yan etkiler çoğunlukla Ulusal Kanser Enstitüsünün advers olay terminoloji ölçütleri (CTCAE) ile, hasta bildirimli yakınmalar ise bu ölçütlerin hasta sürümü (PRO-CTCAE) ile derecelendirilir (Tzikas et al., 2023). IMRT uygulanan orofarenks kanserli hastalarda hasta bildirimli kserostomi oranının ilk aylardan ikinci yıla doğru belirgin biçimde azaldığı gösterilmiştir (Tzikas et al., 2023). Bu düşüş, korunan bez dokusunun işlevinin zamanla kısmen geri gelebildiğini gösterir (Murdoch-Kinch et al., 2008; Pan et al., 2019). Ağız sağlığına bağlı yaşam kalitesi ölçekleri de izlemde kullanılabilir (Hoene et al., 2026).

Doz-Hacim Parametreleri ve Tükürük Bezi Korunması

Radyoterapi planlamasında bezlerin aldığı doz, doz-hacim histogramı üzerinden değerlendirilir. En sık kullanılan parametre bezin ortalama dozudur (Dmean). Bunun yanında bezin belirli bir dozu aşan hacim yüzdesi de kullanılır; örneğin V45 (volume 45 Gy), bez hacminin 45 Gy ve üzerinde doz alan yüzdesini gösterir (Deasy et al., 2010). Normal doku toleransına ilişkin klinik verileri derleyen QUANTEC raporuna göre, en az bir parotisin ortalama dozunun 20 Gy'in ya da iki parotisin birlikte ortalama dozunun 25 Gy'in altında tutulması, ağır işlev kaybını (uzun dönem salgının başlangıç düzeyinin %25'inin altına inmesini) önlemeye yardımcı olur (Deasy et al., 2010).

Bu değerler kesin sınırlar değil, planlama hedefleridir (Deasy et al., 2010). Güncel çalışmalar, kontralateral bezlere odaklanan daha düşük hedefler önermektedir. Human papilloma virüsü (HPV) ile ilişkili orofarenks kanserli hastalarda kontralateral parotisin ortalama dozunun 18 Gy'in ve V45 değerinin %10'un altında,

kontralateral parotis ve submandibuler bezin birlikte ortalama dozunun ise 22 Gy'in ve V50 değerinin %10'un altında tutulmasının kserostomi riskini yaklaşık iki ila üç kat azalttığı hesaplanmıştır (Tzikas et al., 2023).

Submandibuler bezde ortalama doz yaklaşık 39 Gy'e kadar olduğunda bez işlevi zamanla düzelebilmekte, bu dozun üzerinde ise düzelme görülmemektedir (Murdoch-Kinch et al., 2008). Lokal ileri orofarenks kanserli hastalarda kontralateral submandibuler bezin korunduğu bir çalışmada, bir yıllık izlemde 2. derece ve üzeri kserostomi korunan grupta korunmayan gruba göre belirgin olarak daha az görülmüş; korunan bezin çevresinde marjinal nüks saptanmamıştır (Gensheimer et al., 2014).

Korunan bezlerde salgı tedaviden sonraki aylar içinde kısmen geri gelebilir. IMRT uygulanan nazofarenks kanserli hastaların yarısından fazlasında kserostomi zamanla gerilemiştir. İpsilateral parotisin ortalama dozunun 39 Gy'in altında olması düzelmeyle ilişkili bulunurken, parotis hacminin büyük olması düzelmeyi güçleştiren bir etken olarak saptanmıştır (Pan et al., 2019).

IMRT ve volümetrik ayarlı ark tedavisi (VMAT), dozu hedef hacmin biçimine uydurarak çevredeki bezlere ulaşan dozu azaltır (Alterio et al., 2021). Parotis koruyucu IMRT ile konvansiyonel radyoterapiyi karşılaştıran çok merkezli randomize faz 3 çalışmada (PARSPORT), IMRT kolunda 2. derece ve üzeri kserostomi, tedaviden bir ve iki yıl sonra konvansiyonel kola göre yaklaşık yarı oranında ya da daha az görülmüştür. İki kol arasında sağkalım farkı saptanmamıştır (Nutting et al., 2011). Orofarenks kanserinde yapılan meta-analiz de IMRT'nin geç kserostomiyi azalttığını doğrulamıştır (Alterio et al., 2021).

Proton tedavisinde dozun büyük kısmı Bragg tepesinde, hedef hacim içinde bırakılır ve hedefin ötesindeki dokular çok daha

az doz alır (Cao et al., 2021). Yoğunluk ayarlı proton tedavisi uygulanan orofarenks kanserli hastalarda geç kserostomi oranlarının daha düşük olduğu bildirilmiştir (Cao et al., 2021). Tedavi sırasında tümör küçülmesi, kilo kaybı ve bezlerin hacim kaybı nedeniyle bezler yüksek doz bölgesine doğru yer değiştirebilir. Adaptif radyoterapi, planı tedavi sürecinde elde edilen yeni görüntülere göre güncelleyerek bu dozimetrik kaymayı sınırlamayı amaçlar; ancak klinik sonuçları değerlendiren çalışmaların sayısı henüz azdır (Lindegaard et al., 2023). Bildirilen başlıca doz-hacim parametreleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Radyoterapide tükürük bezi koruması için bildirilen doz-hacim parametreleri

Doz parametresi	**Eşik / sınır değer**	**Klinik anlamı**	**Kaynak**
Submandibuler bez	Dmean ≤ yaklaşık 39 Gy	Bez işlevi zamanla düzelebilir; daha yüksek dozlarda düzelme görülmez	Murdoch-Kinch et al. (2008)
Tek parotis Dmean	< 20 Gy	Ağır işlev kaybı riski azalır	Deasy et al. (2010)
İki parotis birlikte Dmean	< 25 Gy	Ağır işlev kaybı riski azalır	Deasy et al. (2010)
Kontralateral submandibuler bez (IMRT ile korunan)	Ortalama 30,7 Gy	≥ 2. derece kserostomi belirgin olarak azalır; marjinal nüks artmamıştır	Gensheimer et al. (2014)
Parotisin kök hücreden zengin bölgesi	Bölgesel dozun azaltılması	Deneysel ve dozimetrik çalışmalarda yararlı; randomize çalışmada anlamlı ek yarar gösterilmemiştir	van Luijk et al. (2015); Paz et al. (2024)
İpsilateral parotis (nazofarenks kanseri, IMRT)	Dmean < 39 Gy	Kserostominin zamanla düzelmesiyle ilişkili	Pan et al. (2019)
Kontralateral parotis	Dmean < 18 Gy; V45 < %10	Kserostomi riski yaklaşık 2–3 kat azalır	Tzikas et al. (2023)

Doz parametresi	Eşik / sınır değer	Klinik anlamı	Kaynak
Kontralateral parotis ve submandibuler bez (birlikte)	Dmean < 22 Gy; V50 < %10	Kserostomi riski yaklaşık 2–3 kat azalır	Tzikas et al. (2023)

Dmean: ortalama doz (mean dose); V45 / V50 (volume 45 Gy / volume 50 Gy): bezin 45 Gy / 50 Gy ve üzeri doz alan hacminin yüzdesi; IMRT: yoğunluk ayarlı radyoterapi.

Kaynak: Murdoch-Kinch et al. (2008); Deasy et al. (2010); Gensheimer et al. (2014); van Luijk et al. (2015); Pan et al. (2019); Tzikas et al. (2023); Paz et al. (2024).

Tükürük Bezlerinin Görüntülenmesi ve İşlev Değerlendirmesi

Radyoterapi sonrası bez hasarını değerlendirmede kullanılan yöntemler farklı özellikleri ölçer: sialometri salgı miktarını, sintigrafi her bezin işlevini, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve ultrasonografi (USG) ise bezin yapısını ve doku özelliklerini gösterir. Sistematik bir derlemede, radyoterapi sonrası bez işlevini değerlendirmek ve öngörmek için tek başına yeterli, standart kabul görmüş bir yöntem bulunmadığı sonucuna varılmıştır (Le Guevelou et al., 2024). Yöntemlerin karşılaştırması Tablo 2'de verilmiştir.

Sialometri ucuz ve kolay uygulanır, ancak tüm bezlerin toplam salgısını ölçer ve tek tek bezlerin katkısını ayırt edemez (Villa et al., 2014). Teknesyum-99m perteknetat ile yapılan sintigrafi, her bezin radyofarmasötiği tutma ve uyarıyla boşaltma kapasitesini ayrı ayrı gösterir. Bu nedenle doz-yanıt çalışmalarında sık kullanılmıştır; hastanın iyonlaştırıcı radyasyon alması ve uzaysal çözünürlüğün düşük olması ise başlıca sınırlılıklarıdır (Le Guevelou et al., 2024).

Radyoterapi planlaması için rutin olarak elde edilen BT görüntüleri, bezlerdeki hacim ve yoğunluk değişikliklerini izlemeye olanak verir (van Dijk et al., 2017). Görüntülerden nicel doku

özelliklerinin çıkarıldığı radyomik analiz, kserostomi riskini öngörmede doz parametrelerine ek bilgi sağlayabilir (van Dijk et al., 2017). Prospektif olarak izlenen hastalarda, parotis dokusunun heterojenliğini yansıtan bir doku parametresinin modele eklenmesi, kontralateral parotis dozu ve başlangıç yakınmasına dayanan modele göre 12. aydaki kserostomiyi daha iyi öngörmüştür. Submandibuler bezin BT yoğunluğu ise yapışkan tükürük öngörüsüne katkıda bulunmuştur (van Dijk et al., 2017).

MRG iyonlaştırıcı radyasyon içermez ve yumuşak doku kontrastı yüksektir. Difüzyon ağırlıklı görüntülemede (DAG) ölçülen görünür difüzyon katsayısı (ADC), bez dokusundaki su hareketini yansıtır (Dirix et al., 2008). Parotis koruyucu radyoterapi uygulanan küçük bir hasta grubunda, tedavi sonrası dinlenme ADC değeri korunmayan bezlerde artarken korunan parotislerde değişmemiş; tükürük uyarısı sırasında izlenen ADC değişiklikleri sintigrafi bulgularıyla uyumlu bulunmuştur (Dirix et al., 2008). Bez işlevini radyasyon kullanmadan değerlendirebilmesi DAG'nin üstünlüğüdür; maliyet ve erişim ise rutin izlemde kullanımını sınırlar (Dirix et al., 2008; Le Guevelou et al., 2024).

USG ucuzdur, kolay erişilir, iyonlaştırıcı radyasyon içermez ve tekrarlanabilir; bu nedenle tedavi öncesi ve sonrası seri izlem için uygundur (Imanimoghaddam et al., 2012). Radyoterapi sonrasında parotis ve submandibuler bezlerde hacim azalması, parankimde heterojenleşme ve bez sınırlarında düzensizlik görülebilir (Imanimoghaddam et al., 2012). USG operatöre bağımlı bir yöntem olduğundan, seri incelemelerde aynı cihaz ve prob ile standart kesit düzlemlerinin kullanılması ölçümlerin karşılaştırılabilirliğini artırır (Le Guevelou et al., 2024).

Elastografi, dokunun sertliğini değerlendirerek konvansiyonel USG'ye ek bilgi sağlar. Makaslama dalgası elastografisi (SWE), dokuda oluşturulan makaslama dalgalarının yayılma hızını ölçer ve sertliği kilopaskal (kPa) cinsinden nicel

olarak verir (Kaluzny et al., 2014). Radyasyona bağlı fibrozisin bez sertliğini artırması beklenir (Kaluzny et al., 2014). Radyoterapi almış baş-boyun kanserli hastaların sağlıklı gönüllülerle karşılaştırıldığı bir çalışmada, ışınlanan parotis ve submandibuler bezlerin belirgin olarak daha sert olduğu ve bu hastalarda tükürük miktarının da daha düşük olduğu saptanmıştır (Kaluzny et al., 2014). Nokta makaslama dalgası elastografisiyle yapılan bir çalışma da yöntemin tedavi sonrası bez tutulumunun izleminde kullanılabileceğini düşündürmektedir (Hofauer et al., 2022). SWE ölçümleri cihaza ve prob basıncına duyarlıdır ve radyoterapi sonrası hasar için kabul görmüş kesim değerleri henüz yoktur (Hofauer et al., 2022; Le Guevelou et al., 2024).

Tablo 2. Radyoterapi sonrası tükürük bezlerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler

Yöntem	**Değerlendirdiği özellik**	**Üstünlükleri**	**Sınırlılıkları**
Sialometri	Tüm tükürüğün akış hızı (mL/dk)	Basit, ucuz ve tekrarlanabilir; hiposalivasyonu nesnel olarak gösterir	Bezlerin katkısını ayrı ayrı göstermez; ölçüm koşullarından etkilenir
Sintigrafi	Her bezde radyofarmasötik tutulumu ve uyarıyla boşalma	Bezlerin işlevini ayrı ayrı gösterir	İyonlaştırıcı radyasyon; uzaysal çözünürlüğü düşük
BT	Bez hacmi, yoğunluğu ve doku özellikleri (radyomik)	Planlama görüntüleri zaten elde edilmiştir; risk öngörüsüne katkı sağlayabilir	İyonlaştırıcı radyasyon; işlev hakkında dolaylı bilgi verir
MRG (DAG)	Dinlenme ve uyarı sırasında ADC	Radyasyon içermez; işlev hakkında dinamik bilgi verir	Pahalı; erişimi ve çekim süresi rutin izlemi sınırlar
USG	Boyut, eko yapısı, bez sınırları	Ucuz, erişilebilir, radyasyon içermez; seri izleme uygundur	Operatöre bağımlıdır

Yöntem	Değerlendirdiği özellik	Üstünlükleri	Sınırlılıkları
SWE	Doku sertliği (kPa)	Fibrozisi nicel olarak gösterebilir	Cihaza ve prob basıncına duyarlıdır; kabul görmüş kesim değeri yoktur

ADC: görünür difüzyon katsayısı; BT: bilgisayarlı tomografi; DAG: difüzyon ağırlıklı görüntüleme; MRG: manyetik rezonans görüntüleme; SWE: makaslama dalgası elastografisi; USG: ultrasonografi.

Kaynak: Dirix et al. (2008); Hofauer et al. (2022); Imanimoghaddam et al. (2012); Kaluzny et al. (2014); Le Guevelou et al. (2024); van Dijk et al. (2017); Villa et al. (2014).

Radyoproteksiyon ve Koruyucu Yaklaşımlar

Bezleri korumanın temel yolu, planlama aşamasında dozu azaltmaktır; diğer yöntemler bu yaklaşımı destekler (Jasmer et al., 2020). Radyoprotektör ajanlar arasında en çok incelenen amifostindir. Randomize çalışmaların meta-analizinde akut ve geç kserostomi riskini azalttığı gösterilmiş, ancak yan etkileri ve uygulama gereklilikleri nedeniyle klinik kullanımı sınırlı kalmıştır (Gu et al., 2014). Deneysel çalışmalarda alfa lipoik asit gibi antioksidanların asiner hücre bütünlüğünü koruyarak erken apoptozu ve geç fibrozisi azalttığı bildirilmiştir (Kim et al., 2016); bu ajanların insanda etkinliğine ilişkin kanıt henüz yetersizdir (Jasmer et al., 2020).

Cerrahi bir seçenek olarak, kontralateral submandibuler bezin radyoterapiden önce submental bölgeye taşınması tanımlanmıştır. Bez, radyasyon alanının dışında kalacak ya da düşük doz alacak biçimde yeniden konumlandırılır (Jha et al., 2003). Taşınan bezi radyasyondan korunan hastaların büyük çoğunluğunda, tedaviden altı ay sonra kserostomi hiç gelişmemiş ya da hafif düzeyde kalmıştır (Jha et al., 2003). Yöntem, uygun seçilmiş hastalarda uygulanabilen bir seçenektir (Jasmer et al., 2020).

Hasarlı bezde işlevi yeniden kazandırmaya yönelik rejeneratif yaklaşımlar araştırma aşamasındadır (Jasmer et al., 2020). Işınlanmış farelerde tükürük bezi kök hücrelerinin nakli bez işlevini kısmen geri kazandırmıştır (Lombaert et al., 2008). İnsanda yapılan ilk randomize, plasebo kontrollü çalışmada (MESRIX), hastanın kendi yağ dokusundan elde edilen mezenkimal kök hücrelerin submandibuler beze uygulanması güvenli bulunmuş, tükürük akışını artırmış ve kserostomi yakınmalarını azaltmıştır (Paz et al., 2024). Su kanalı proteini akuaporin-1'in geninin adenovirüs aracılığıyla parotise aktarıldığı faz 1 çalışmada da bazı hastalarda tükürük akışı artmış ve yakınmalar azalmıştır (Baum et al., 2012). Bu yöntemler henüz standart tedavi değildir (Paz et al., 2024).

Radyoterapi Öncesi ve Sonrası Diş Hekimliği Yaklaşımı

Diş hekimi, radyoterapi alacak hastayı izleyen ekibin bir parçasıdır. Tedavi başlamadan önce ağız içindeki enfeksiyon ve inflamasyon odakları giderilmeli, çürük lezyonlar tedavi edilmeli; florür uygulaması için kişiye özel kaşıklar ya da koruyucu ağız içi apareyler planlanmalıdır (Gerlach et al., 2026). Radyasyon çürüğünü önlemede en etkili önlem topikal florürdür; tükürük ikameleri, profesyonel profilaksi ve hastanın düzenli olarak bilgilendirilmesi bu önlemi tamamlar (Gerlach et al., 2026).

Tedaviden sonra ilk diş hekimi kontrolünün üç ay içinde yapılması, ardından risk durumuna göre altı ayda ya da yılda bir izlem önerilmektedir. Kontrollerde çürüğün yanı sıra trismus, periodontal yıkım, mukoza değişiklikleri ve osteoradyonekroz bulguları sistematik olarak değerlendirilmelidir (Gerlach et al., 2026). Işınlanmış çene kemiğinde diş çekimi osteoradyonekroz riskini artırdığından, dişlerin çekim gerektirecek duruma gelmeden korunması bu hastalarda öncelikli hedeftir (Gerlach et al., 2026).

Radyoterapi Sonrası Kserostominin Yönetimi

Yönetimin amacı kalan salgı kapasitesini uyarmak, ağız yüzeylerini nemli tutmak ve komplikasyonları önlemektir. Çok Uluslu Kanserde Destekleyici Bakım Derneği ile Uluslararası Oral Onkoloji Derneğinin (MASCC/ISOO) ortak klinik uygulama bildirisi, tedavinin hastanın kalan bez işlevine, yakınmalarına ve tedaviyi tolere edebilmesine göre bireyselleştirilmesini önerir (Hong et al., 2024).

Bezlerde işlev gören doku kalmışsa, muskarinik reseptör agonistleri olan pilokarpin ve sevimelin tükürük salgısını artırabilir. Sistematik derleme ve meta-analizde bu ilaçlar kserostomi yakınmalarında azalmayla ilişkili bulunmuştur (Mercadante et al., 2017). Günlük pratikte ise kullanımları sınırlı görünmektedir: kesitsel bir çalışmada reçeteli tükürük uyarıcı ilaç kullanan hastaların oranı düşük kalmış ve hastalar bu ilaçları diğer yöntemlere göre daha az etkili bulmuştur (Hoene et al., 2026).

Kalan salgı kapasitesi düşük olan hastalarda tedavi semptomatiktir. Aynı çalışmada hastaların en sık başvurduğu yöntemler sık su içmek, şekersiz sakız ya da pastil kullanmak ve tükürük ikameleri olmuştur (Hoene et al., 2026). Tükürük ikameleri ve ağız nemlendiricileri kısa süreli rahatlama sağlar, ancak bez işlevini düzeltmez (Paz et al., 2024).

Kronik radyasyon kaynaklı kserostomisi olan hastalarda yapılan randomize çalışmada, akupunktur uygulanan hastalar standart ağız bakımı alanlara göre daha az yakınma bildirmiştir (Cohen et al., 2024). Transkutan elektriksel sinir stimülasyonu da seçenekler arasında yer almaktadır (Gerlach et al., 2026). Bu yöntemleri destekleyen kanıtlar henüz sınırlıdır (Paz et al., 2024). Tedavi hangi yöntemle sürdürülürse sürdürülsün, düzenli ağız bakımı ve diş hekimi izlemiyle birlikte yürütülmelidir (Gerlach et al., 2026).

Sonuç

Radyoterapiye bağlı tükürük bezi hasarının büyük kısmı planlama aşamasında belirlenir; bezlerin, özellikle kontralateral parotis ve submandibuler bezin ortalama dozunu düşürmek kalıcı kserostomiyi önlemenin bugün için en güvenilir yoludur. Hasar geliştikten sonra tedavi çoğunlukla semptomatiktir ve rejeneratif yöntemler henüz araştırma aşamasındadır. Diş hekimi ve radyoloğun tedavi öncesi değerlendirmeye katılması, çürüğü önleyici uygulamaların erken başlatılması ve bez değişikliklerinin USG gibi radyasyon içermeyen yöntemlerle izlenmesi, hastanın uzun dönem ağız sağlığını doğrudan etkiler.

Kaynakça/References

Alterio, D., Gugliandolo, S. G., Augugliaro, M., Marvaso, G., Gandini, S., Bellerba, F., Russell-Edu, S. W., De Simone, I., Cinquini, M., Starzyńska, A., Zaffaroni, M., Bacigalupo, A., Fanetti, G., Durante, S., Dicuonzo, S., Orecchia, R., & Jereczek-Fossa, B. A. (2021). IMRT versus 2D/3D conformal RT in oropharyngeal cancer: A review of the literature and meta-analysis. *Oral Diseases*, *27*(7), 1644-1653. https://doi.org/10.1111/odi.13599

Baum, B. J., Alevizos, I., Zheng, C., Cotrim, A. P., Liu, S., McCullagh, L., Goldsmith, C. M., Burbelo, P. D., Citrin, D. E., Mitchell, J. B., Nottingham, L. K., Rudy, S. F., Van Waes, C., Whatley, M. A., Brahim, J. S., Chiorini, J. A., Danielides, S., Turner, R. J., Patronas, N. J., … Illei, G. G. (2012). Early responses to adenoviral-mediated transfer of the aquaporin-1 cDNA for radiation-induced salivary hypofunction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(47), 19403-19407. https://doi.org/10.1073/pnas.1210662109

Cao, J., Zhang, X., Jiang, B., Chen, J., Wang, X., Wang, L., Sahoo, N., Zhu, X. R., Ye, R., Blanchard, P., Garden, A. S., Fuller, C. D., Gunn, G. B., & Frank, S. J. (2021). Intensity-modulated proton therapy for oropharyngeal cancer reduces rates of late xerostomia. *Radiotherapy and Oncology*, *160*, 32-39. https://doi.org/10.1016/j.radonc.2021.03.036

Cohen, L., Danhauer, S. C., Garcia, M. K., Dressler, E. V., Rosenthal, D. I., Chambers, M. S., Cusimano, A., Brown, W. M., Ochoa, J. M., Yang, P., Chiang, J., Gordon, O., Crutcher, R., Kim, J. K., Russin, M., Lukenbill, J., Porosnicu, M., Yost, K. J., Weaver, K. E., & Lesser, G. J. (2024). Acupuncture for chronic radiation-induced xerostomia in head and neck

cancer. *JAMA Network Open*, *7*(5), Article e2410421. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.10421

Deasy, J. O., Moiseenko, V., Marks, L., Chao, K. S. C., Nam, J., & Eisbruch, A. (2010). Radiotherapy dose-volume effects on salivary gland function. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, *76*(3 Suppl), S58-S63. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.06.090

Dirix, P., De Keyzer, F., Vandecaveye, V., Stroobants, S., Hermans, R., & Nuyts, S. (2008). Diffusion-weighted magnetic resonance imaging to evaluate major salivary gland function before and after radiotherapy. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, *71*(5), 1365-1371. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2007.12.011

Gensheimer, M. F., Liao, J. J., Garden, A. S., Laramore, G. E., & Parvathaneni, U. (2014). Submandibular gland-sparing radiation therapy for locally advanced oropharyngeal squamous cell carcinoma: Patterns of failure and xerostomia outcomes. *Radiation Oncology*, *9*, Article 255. https://doi.org/10.1186/s13014-014-0255-x

Gerlach, T., Brunello, G., Tenbrink, C., Schumacher, J., Haussmann, J., Irschfeld, L., Neuwahl, J., Schmidt, L., Schipper, J., Plettenberg, C., Schorn, L., Kübler, N., Weitz, L., Ljimani, A., Antoch, G., Khosravi, Z., Röhrig, S., Gottschlag, H., Gierthmühlen, P., & Jazmati, D. (2026). Radiation-induced oral side effects in head and neck cancer: A scoping review and interdisciplinary recommendations. *BMC Oral Health*, *26*(1), Article 617. https://doi.org/10.1186/s12903-026-08100-4

Gu, J., Zhu, S., Li, X., Wu, H., Li, Y., & Hua, F. (2014). Effect of amifostine in head and neck cancer patients treated with

radiotherapy: A systematic review and meta-analysis based on randomized controlled trials. *PLoS ONE*, *9*(5), Article e95968. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095968

Hoene, G., Waldzus, L. C., Schminke, B., Gruber, L. J., Dröge, L., Schliephake, H., & Wolfer, S. (2026). Post-radiotherapy xerostomia and quality of life in head and neck cancer patients. *Supportive Care in Cancer*, *34*(7), Article 698. https://doi.org/10.1007/s00520-026-10948-9

Hofauer, B., Roth, A., Heiser, C., Schukraft, J., Johnson, F., Zhu, Z., & Knopf, A. (2022). Point shear wave elastography in diagnosis and follow-up of salivary gland affection after head and neck cancer treatment. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(21), Article 6285. https://doi.org/10.3390/jcm11216285

Hong, C., Jensen, S. B., Vissink, A., Bonomo, P., Santos-Silva, A. R., Gueiros, L. A., Epstein, J. B., & Elad, S. (2024). MASCC/ISOO clinical practice statement: Management of salivary gland hypofunction and xerostomia in cancer patients. *Supportive Care in Cancer*, *32*(8), Article 548. https://doi.org/10.1007/s00520-024-08688-9

Imanimoghaddam, M., Rahrooh, M., Tafakhori, Z., Zahedanaraki, S., & Homaeieshandiz, F. (2012). Changes of parotid and submandibular glands caused by radiotherapy: An ultrasound evaluation. *Dentomaxillofacial Radiology*, *41*(5), 379-384. https://doi.org/10.1259/dmfr/17113005

Jasmer, K. J., Gilman, K. E., Muñoz Forti, K., Weisman, G. A., & Limesand, K. H. (2020). Radiation-induced salivary gland dysfunction: Mechanisms, therapeutics and future directions. *Journal of Clinical Medicine*, *9*(12), Article 4095. https://doi.org/10.3390/jcm9124095

Jha, N., Seikaly, H., Harris, J., Williams, D., Liu, R., McGaw, T., Hofmann, H., Robinson, D., Hanson, J., & Barnaby, P. (2003). Prevention of radiation induced xerostomia by surgical transfer of submandibular salivary gland into the submental space. *Radiotherapy and Oncology*, *66*(3), 283-289. https://doi.org/10.1016/S0167-8140(03)00023-6

Kaluzny, J., Kopec, T., Szczepanek-Parulska, E., Stangierski, A., Gurgul, E., Ruchala, M., Milecki, P., & Wierzbicka, M. (2014). Shear wave elastography: A new noninvasive tool to assess the intensity of fibrosis of irradiated salivary glands in head and neck cancer patients. *BioMed Research International*, *2014*, Article 157809. https://doi.org/10.1155/2014/157809

Kim, J. H., Kim, K. M., Jung, M. H., Jung, J. H., Kang, K. M., Jeong, B. K., Kim, J. P., Park, J. J., & Woo, S. H. (2016). Protective effects of alpha lipoic acid on radiation-induced salivary gland injury in rats. *Oncotarget*, *7*(20), 29143-29153. https://doi.org/10.18632/oncotarget.8661

Konings, A. W. T., Coppes, R. P., & Vissink, A. (2005). On the mechanism of salivary gland radiosensitivity. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, *62*(4), 1187-1194. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2004.12.051

Le Guevelou, J., Palard-Novello, X., Kammerer, E., Baty, M., Perazzi, M., Larnaudie, A., De Crevoisier, R., & Castelli, J. (2024). Assessment and prediction of salivary gland function after head and neck radiotherapy: A systematic review. *Cancer Medicine*, *13*(24), Article e70494. https://doi.org/10.1002/cam4.70494

Lindegaard, A. M., Håkansson, K., Bernsdorf, M., Gothelf, A. B., Kristensen, C. A., Specht, L., Vogelius, I. R., & Friborg, J.

(2023). A systematic review on clinical adaptive radiotherapy for head and neck cancer. *Acta Oncologica*, *62*(11), 1360-1368. https://doi.org/10.1080/0284186X.2023.2245555

Liu, X., Subedi, K. P., Zheng, C., & Ambudkar, I. (2021). Mitochondria-targeted antioxidant protects against irradiation-induced salivary gland hypofunction. *Scientific Reports*, *11*(1), Article 7690. https://doi.org/10.1038/s41598-021-86927-3

Lombaert, I. M. A., Brunsting, J. F., Wierenga, P. K., Faber, H., Stokman, M. A., Kok, T., Visser, W. H., Kampinga, H. H., de Haan, G., & Coppes, R. P. (2008). Rescue of salivary gland function after stem cell transplantation in irradiated glands. *PLoS ONE*, *3*(4), Article e2063. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002063

Mercadante, V., Al Hamad, A., Lodi, G., Porter, S., & Fedele, S. (2017). Interventions for the management of radiotherapy-induced xerostomia and hyposalivation: A systematic review and meta-analysis. *Oral Oncology*, *66*, 64-74. https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2016.12.031

Murdoch-Kinch, C. A., Kim, H. M., Vineberg, K. A., Ship, J. A., & Eisbruch, A. (2008). Dose-effect relationships for the submandibular salivary glands and implications for their sparing by intensity modulated radiotherapy. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, *72*(2), 373-382. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2007.12.033

Nutting, C. M., Morden, J. P., Harrington, K. J., Urbano, T. G., Bhide, S. A., Clark, C., Miles, E. A., Miah, A. B., Newbold, K., Tanay, M., Adab, F., Jefferies, S. J., Scrase, C., Yap, B. K., A'Hern, R. P., Sydenham, M. A., Emson, M., & Hall, E.

(2011). Parotid-sparing intensity modulated versus conventional radiotherapy in head and neck cancer (PARSPORT): A phase 3 multicentre randomised controlled trial. *The Lancet Oncology*, *12*(2), 127-136. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(10)70290-4

Pan, X. B., Liu, Y., Huang, S. T., Chen, K. H., Jiang, Y. M., & Zhu, X. D. (2019). Predictors for improvement of xerostomia in nasopharyngeal carcinoma patients receiving intensity-modulated radiotherapy. *Medicine*, *98*(36), Article e17030. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000017030

Paz, C., Glassey, A., Frick, A., Sattar, S., Zaorsky, N. G., Blitzer, G. C., & Kimple, R. J. (2024). Cancer therapy–related salivary dysfunction. *Journal of Clinical Investigation*, *134*(17), Article e182661. https://doi.org/10.1172/JCI182661

Proctor, G. B. (2016). The physiology of salivary secretion. *Periodontology 2000*, *70*(1), 11-25. https://doi.org/10.1111/prd.12116

Tzikas, A., Lavdas, E., Kehagias, D., Amdur, R., Mendenhall, W., Sheets, N., Green, R., Chera, B., & Mavroidis, P. (2023). NTCP modelling of xerostomia after radiotherapy for oropharyngeal cancer using the PRO-CTCAE and CTCAE scoring systems at different time-points post-RT. *Physica Medica*, *116*, Article 103169. https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2023.103169

van Dijk, L. V., Brouwer, C. L., van der Schaaf, A., Burgerhof, J. G. M., Beukinga, R. J., Langendijk, J. A., Sijtsema, N. M., & Steenbakkers, R. J. H. M. (2017). CT image biomarkers to improve patient-specific prediction of radiation-induced xerostomia and sticky saliva. *Radiotherapy and Oncology*,

122(2), 185-191. https://doi.org/10.1016/j.radonc.2016.07.007

van Luijk, P., Pringle, S., Deasy, J. O., Moiseenko, V. V., Faber, H., Hovan, A., Baanstra, M., van der Laan, H. P., Kierkels, R. G. J., van der Schaaf, A., Witjes, M. J., Schippers, J. M., Brandenburg, S., Langendijk, J. A., Wu, J., & Coppes, R. P. (2015). Sparing the region of the salivary gland containing stem cells preserves saliva production after radiotherapy for head and neck cancer. *Science Translational Medicine*, *7*(305), Article 305ra143. https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aac4441

Vasconcellos, A. F. G., Palmier, N. R., Ribeiro, A. C. P., Normando, A. G. C., Morais-Faria, K., Gomes-Silva, W., Vechiato Filho, A. J., de Goes, M. F., Paes Leme, A. F., Brandão, T. B., Lopes, M. A., Marsh, P. D., & Santos-Silva, A. R. (2020). Impact of clustering oral symptoms in the pathogenesis of radiation caries: A systematic review. *Caries Research*, *54*(2), 113-126. https://doi.org/10.1159/000504878

Villa, A., Connell, C. L., & Abati, S. (2014). Diagnosis and management of xerostomia and hyposalivation. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, *11*, 45-51. https://doi.org/10.2147/TCRM.S76282

BÖLÜM 2

ANTERİOR RESTORASYONLARDA OPTİK PRENSİPLER VE İLLÜZYON YÖNETİMİ

MİNE BAŞAN TOSUN[1]

Giriş

Günümüz estetik diş hekimliği, geleneksel preparasyonlardan uzaklaşarak, sağlıklı diş dokularının maksimum düzeyde korunduğu minimal invaziv ve biyomimetik protokollere dayanmaktadır (Magne & Belser, 2002). Rezin kompozit materyallerinin mekanik dayanımında ve optik çeşitliliğinde yaşanan sürekli gelişmeler, direkt anterior restorasyonları form, fonksiyon ve estetiğin iadesinde birincil tedavi seçeneği haline getirmiştir (Ferracane, 2011). Güncel literatürde bu restorasyonların klinik başarısı yalnızca uzun dönem hayatta kalma oranlarıyla değil; aynı zamanda restorasyonun komşu doğal dişlerle ne derece kusursuz bir biyomimetik entegrasyon sağladığı ile ölçülmektedir (Demarco et al., 2015). Bu entegrasyonun sağlanması, hekimin yalnızca basit bir renk seçimi yapmasının ötesine geçerek, ışığın doğal diş dokularıyla olan karmaşık etkileşimini tam anlamıyla anlamasını ve yönetmesini gerektirir (Dietschi & Fahl, 2016).

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, mine.basantosun@ksbu.edu.tr, ORCID: 0009-0009-9181-6980

Doğal anterior dişler, mine ve dentinin yapısal farklılıklarından kaynaklanan son derece kompleks bir optik mimariye sahiptir. Dentin dokusu yüksek oranda kromatik, opak ve floresan özellikler sergilerken; mine dokusu alttaki dentin rengini modüle eden, yarı saydam ve opalesan bir filtre görevi görmektedir (Devoto et al., 2010). Monolitik bir kompozit kitlesinin bu ikiliyi taklit etmesi fiziksel olarak imkansız olduğundan, her bir doku katmanının spesifik ışık saçılma özelliklerini kopyalamayı hedefleyen polikromatik tabakalama teknikleri geliştirilmiştir (Fahl, 2006).

Bununla birlikte, renk ve tabakalama işlemleri kusursuz bir şekilde gerçekleştirilse dahi, anterior bir restorasyonun üç boyutlu formu ve yüzey tekstürü hatalıysa estetik bütünlük sağlanamaz. Işığın refleksiyon ve defleksiyon biçimi, dişin algılanan boyutunu ve şeklini doğrudan etkiler; bu durum klinik pratikte optik illüzyonların yönetimi ile kontrol altına alınır (Fahl, 2006). Klinisyen, aproksimal geçiş çizgilerinin ve gelişimsel olukların yerlerini stratejik olarak değiştirerek, dişin gerçek fiziksel boyutlarına dokunmadan onun daha dar veya daha geniş algılanmasını sağlayabilir (Devoto et al., 2010). Ayrıca, perikimata ve yüzey pürüzlülüğü gibi mikro-morfolojik detayların restorasyon yüzeyine titizlikle işlenmesi, ışığın doğal minede olduğu gibi dağınık bir şekilde yansımasını garanti ederek biyomimetik illüzyonu tamamlar (Dietschi & Fahl, 2016; Fahl, 2006; Korkut, 2018).

Diş Hekimliğinde Renk Biliminin Temelleri

Doğal diş renginin analizi ve estetik aktarımı, temellerini geleneksel Munsell renk sisteminden almaktadır. Bu sistemdeki renk tonu (hue), dişin sahip olduğu temel rengi ve dalga boyunu ifade eder. Renk doygunluğu (chroma) ise bu spesifik rengin diş dokusu içindeki yoğunluğunu ve şiddetini belirlemektedir. Ancak estetik diş

hekimliği pratiğinde insan gözünün en duyarlı olduğu ve restorasyonun görsel başarısını şüphesiz en çok etkileyen parametre parlaklık (value) değeridir. Dişin ışığı ne oranda yansıttığını veya absorbe ettiğini belirleyen parlaklık, restorasyonun ağız içindeki canlılığını, yaş algısını ve doğal diş dizisi içindeki üç boyutlu konumunu doğrudan kontrol eder (Gurrea et al., 2016). Yanlış seçilmiş bir renk tonu göze hemen çarpmazken, parlaklık değeri hatalı olan bir kompozit restorasyon ortamdaki ışığa göre fazla gri veya aşırı opak görünerek kendini anında belli edecektir (Paravina et al., 2019)

İnsan gözünün renkleri algılayışındaki subjektivite, özellikle polikromatik tabakalama gerektiren karmaşık anterior vakalarda estetik uyumsuzluk riskini artırmaktadır (Dietschi & Fahl, 2016; Fahl, 2006). Bu subjektiviteyi ortadan kaldırmak amacıyla, güncel estetik yaklaşımlarda spektrofotometreler ve kolorimetreler gibi objektif ölçüm yapan dijital cihazların kullanımı yaygınlaşmıştır. Spektrofotometreler, diş yüzeyinden yansıyan görünür ışığın dalga boyunu ölçerek renk sapmalarını minimize eder. Aynı zamanda, minenin altındaki dentin yapısının detaylı bir renk haritasını son derece hassas bir şekilde hekime sunar. Günümüzde görsel değerlendirmelerin bu tür dijital sistemlerle doğrulanması, öngörülebilir bir klinik başarı için altın standart halini almıştır (Chu et al., 2010).

Renk eşleştirmedeki doğruluğu etkileyen ve sıklıkla gözden kaçan bir diğer kritik faktör ise, çalışma ortamındaki ışık kaynağının niteliği ve metamerizm olgusudur. Metamerizm, farklı ışık spektrumları altında aynı dişin veya kompozit materyalin farklı renklerde algılanması durumu olup; klinikte aydınlık ve uyumlu görünen bir restorasyonun gün ışığına çıkıldığında tamamen uyumsuz durmasına sebep olabilmektedir. Bunu engellemek için klinik değerlendirmelerin 5500 Kelvin renk sıcaklığına ve yüksek

renksel geriverim indeksine (CRI) sahip standardize gün ışığı sistemleri altında yapılması esastır (Paravina et al., 2019).

Son yıllarda klinik rutinimize dahil olan bir diğer önemli teşhis aracı ise çapraz polarize filtreli dental fotoğrafçılıktır. Flaş ışığının mine yüzeyinde yarattığı istenmeyen parlamalar, dişin içsel renk dağılımının ve karakterizasyonlarının görülmesini engeller. Polarize filtreler minenin bu yansıtıcı özelliğini anında nötralize ederek, dentinin gerçek renk doygunluğunu, mamelon yapılarını ve insizal halo gibi içsel optik detayları hekime çok daha net bir şekilde sunmaktadır (Gurrea et al., 2016).

Doğal Diş Dokularının Işık Dinamikleri ve Optik Özellikleri

Doğal anterior dişlerin eşsiz ve canlı görünümü, mine ve dentinin histolojik yapı farklılıklarından kaynaklanan spesifik ışık geçirgenlik (transmisyon), kırılma (refraksiyon) ve saçılma (scattering) modellerine dayanmaktadır. Dişin hacimsel olarak en büyük kısmını oluşturan ve core görevini üstlenen dentin, içerdiği yüksek orandaki organik madde ve tübüler yapı nedeniyle ışığı yüksek oranda saçarak opak bir zemin oluşturur (Gonzales, 2011; Magne & Belser, 2002). Buna karşılık, %96 oranında inorganik hidroksiapatit kristallerinden oluşan mine tabakası, ışığın büyük bir kısmını ileten doğal bir fiber optik sistem gibi davranır. Minenin bu yüksek optik geçirgenliği, alttaki dentin renginin dışarı yansımasına izin verirken, yüzeydeki parlaklık değerini modüle ederek dişe üç boyutlu derinlik hissini kazandırmaktadır (Gurrea et al., 2016).

Bu iki dokunun bir araya gelerek oluşturduğu optik bütünlük, kron boyunca sabit kalmaz. Servikal bölgeden insizal kenara doğru ilerledikçe dentin kalınlığı azalırken mine kalınlığı artar. "Optik kalınlık" olarak adlandırılan bu değişen mine/dentin oranı, dişin bölgesel olarak servikalde daha kromatik ve opak, insizalde ise daha translüsent bir karakter sergilemesinin temel nedenidir (Dietschi & Fahl, 2016; Fahl, 2006).

Dişin canlılık algısını ve ışık altındaki dinamik değişimini belirleyen en önemli optik fenomenlerden biri opalesanstır. Minenin karakteristik bir özelliği olan opalesans, doku içindeki hidroksiapatit prizmalarının ışığı dalga boylarına göre filtrelemesi sonucunda ortaya çıkar. Mine, üzerine düşen kısa dalga boylu ışınları yansıtarak dişe mavimsi bir şeffaflık katarken; uzun dalga boylu ışınların içinden geçmesine izin verir. Bu sayede dişler, farklı aydınlatma açılarında zengin bir renk oyunu sergiler (Devoto et al., 2010).

Opalesansın aksine, floresans özelliği ağırlıklı olarak dentin dokusuna aittir ve dişin içsel parlaklığının ana kaynağıdır. Dentin dokusu, ultraviyole spektrumundaki görünmez ışınları absorbe ederek bunları daha uzun dalga boyuna sahip, görünür mavimsi-beyaz bir ışık olarak geri yansıtma yeteneğine sahiptir (Gurrea et al., 2016)Floresans özelliği, dişlerin özellikle loş veya UV ağırlıklı ortamlarda grileşip cansız görünmesini engeller. Modern polikromatik kompozit sistemlerinin klinik estetik başarısı, materyalin dentin kitlelerinin floresan, mine kitlelerinin ise opalesan özelliklerinin doğal dokuları ne kadar aslına uygun taklit edebildiği ile doğrudan ilişkilidir (Fahl, 2006)

Anterior dişlerin insizal bölgesine inildikçe, dentin desteğinin tamamen ortadan kalkmasıyla mine izole hale gelir ve bu bölgede yarı saydamlık maksimum seviyeye ulaşır. Bu yüksek şeffaflık alanı içerisinde sonlanan dentin mamelonlarının oluşturduğu parmaksı çıkıntılar, arka plandaki karanlık ağız boşluğuyla birleşerek üç boyutlu, güçlü bir optik kontrast yaratır (Korkut, 2018).

Bununla birlikte, insizal kenarın estetik anatomisi sadece translüsensiden ibaret değildir. Dişin en uç noktasında, minenin iç yüzeyine çarpan ışığın tam iç yansımaya uğraması sonucunda şeffaf alanın hemen bitiminde ince, opak ve parlak bir sınır çizgisi belirir. "İnsizal halo" olarak adlandırılan bu optik çerçeve, restoratif olarak yapay dentin veya özel opak tintler kullanılarak kurgulanmadığı

takdirde, kompozit restorasyon doğal diş dizisi içinde eksik ve yapay algılanacaktır (Dietschi & Fahl, 2016; Fahl, 2006; Gonzales, 2011).

Polikromatik Kompozit Tabakalama Teknikleri

Polikromatik tabakalama; dişin histolojik yapısına sadık kalarak, dentin ve mine karakteristiklerini taşıyan farklı opaklık, translüsensi ve renk doygunluğundaki rezin kitlelerinin stratejik olarak üst üste yerleştirilmesi prensibine dayanır (Dietschi & Fahl, 2016). Geleneksel iki tabakalı yaklaşımlar, günümüzde yerini palatal mine, dentin core, efekt kompozitleri ve bukkal mine katmanlarını içeren çok aşamalı biyomimetik protokollere bırakmıştır. Bu modern yaklaşımların temel amacı oldukça nettir: Kullanılan opak dentin kompoziti ile dişin temel renk tonunu ve doygunluğunu oluşturmak; üzerine yerleştirilen translüsent mine kompoziti ile de parlaklığı modüle ederek dişe doğal bir optik derinlik kazandırmaktır (Fahl, 2006).

Tabakalama işleminin klinik olarak öngörülebilir bir şekilde uygulanabilmesi için, palatal silikon anahtarların kullanımı günümüzde altın standart haline gelmiştir. Silikon anahtar, özellikle Sınıf IV kavitelerde veya direkt kompozit veneer uygulamalarında dişin palatal mine duvarının doğru anatomik pozisyonda ve ideal kalınlıkta oluşturulmasına rehberlik eder (Korkut, 2018). Oluşturulan bu ince ve yarı saydam palatal kabuk, üzerine eklenecek dentin ve efekt materyalleri için sağlam bir destek matrisi görevi görmektedir.

Palatal mine duvarı kurgulandıktan sonra, yüksek opasiteye sahip dentin kompoziti ile kayıp dentin dokusu hacimsel olarak yerine konur. Biyomimetik bir restorasyonda dentin kitlesinin kalınlığı, üzerine gelecek bukkal mine tabakası için yeterli alan (yaklaşık 0.5 mm) bırakacak şekilde hassasiyetle ayarlanmalıdır. Mine kompozitinin gereğinden kalın uygulanması restorasyonun value değerini düşürerek grileşmesine neden olurken; çok ince

uygulanması alttaki opak dentinin aşırı yansıyarak dişin cansız ve yapay görünmesine yol açar (Gonzales, 2011). Ayrıca insizal üçlüde dentin mamelon yapılarının üç boyutlu ve asimetrik olarak işlenmesi, canlı bir gülüş tasarımının vazgeçilmez bir parçasıdır.

Restorasyonun kişiselleştirilmesi ve komşu dişlerle tam optik bütünlük sağlaması, dentin ve mine tabakaları arasına stratejik olarak yerleştirilen efekt kompozitlerinin kullanımını gerektirir. Mamelonların etrafındaki alanlar, opalesan ve yüksek translüsensiye sahip "pencere" (window) kompozitleriyle doldurularak dişin ışık geçirgenliği ve içsel optik kontrastı artırılır (Korkut, 2018).

Eş zamanlı olarak, insizal kenarın en uç kısmına uygulanan yoğun beyaz veya opak tintler sayesinde doğal dişte gözlenen "insizal halo" etkisi optik olarak yeniden yaratılır (Magne & Belser, 2002). Tüm bu içsel karakterizasyonlar tamamlandıktan sonra uygulanan son bukkal mine tabakası, alttaki bütün detayları tıpkı doğal minede olduğu gibi yarı geçirgen bir filtre arkasından yansıtarak biyomimetik illüzyonu tamamlar (Dietschi & Fahl, 2016)

Anterior Bölgede Optik İllüzyon Yönetimi ve Form Algısı

Anterior bölgede estetik başarının temel bileşenlerinden biri, dişin fiziksel sınırlarını aşmadan algılanan görsel boyutunu değiştirebilme sanatıdır. İnsan gözü bir objenin boyutlarını değerlendirirken milimetrik ölçümler yapmak yerine, objeden yansıyan ışık ve gölge alanlarına odaklanır. Kuron yüzeyinden doğrudan yansıyan aydınlık alanlar dişin gerçekte ne kadar büyük algılanacağını belirlerken, gölgede kalan alanlar boyut algısını sınırlandırır (Bhuvaneswaran, 2010).

Dişin genişlik algısını optik olarak manipüle etmedeki en stratejik araçlar, aproksimal geçiş çizgileridir. Dişin labial yüzeyinin proksimal yüzeylerle birleştiği bu hatların kompozit rezin ile birbirine yaklaştırılması, gölgede kalan alanları artırarak dişin olduğundan daha dar görünmesini sağlar. Aksine, diastema kapatma

vakalarında olduğu gibi dişin fiziksel olarak mecburen genişletildiği senaryolarda, bu geçiş çizgilerinin mezial ve distale doğru itilmesi genişlik algısını optik olarak dengeleyerek aşırı büyük kron görünümünü ustalıkla engeller (Machado, 2014).

Optik illüzyon prensipleri dikey düzlemde uygulandığında ise dişin uzunluk algısı yönetilir. Restorasyonun servikal bölgesindeki konveksitenin artırılması ve en geniş çevrenin insizale doğru konumlandırılması, kron boyunu kısaltan yatay bir gölge yaratarak dişi daha kısa gösterir. Buna karşılık, labial yüzeyin daha düz formda şekillendirilmesi ve dikey gelişimsel olukların belirginleştirilmesi, ışığın kesintisiz yansımasını sağlayarak dişe çok daha uzun ve ince bir karakter kazandırmaktadır (Ahmad, 2005). Ayrıca, anterior dişler arasındaki insizal embraşürlerin derinliği ve formu, restorasyonun hastanın yüz hatlarıyla bütünleşmesinde kritik bir rol oynar. Komşu dişler arasındaki bu karanlık üçgen boşlukların derinleştirilmesi dişlere daha yuvarlak ve feminen bir illüzyon katarken, sığ bırakılması daha köşeli ve maskülen bir form algısı oluşturur (Sharma & Sharma, 2012). Sonuç olarak, anatomik kısıtlamalar nedeniyle dişin gerçek boyutlarının değiştirilemediği vakalarda, materyale işlenen bu üç boyutlu morfolojik illüzyonlar sayesinde kusursuz bir görsel entegrasyon elde edilebilmektedir.

Makro ve Mikro Morfolojinin Yüzey Yansımalarına Etkisi

Anterior estetik restorasyonlarda mükemmel bir renk eşleşmesi yakalanmış ve polikromatik tabakalama kusursuz şekilde uygulanmış olsa dahi, yüzey morfolojisi doğal diş dokusunu taklit etmiyorsa, restorasyonun ışığı yansıtma biçimi onun yapay olduğunu anında ortaya çıkaracaktır. Pürüzsüz ve düz yüzeylerde ışık ayna benzeri bir şekilde direkt yansımaya uğrarken; pürüzlü yüzeylerde ışık saçılarak dağılır ve difüz bir yansıma oluşturur. Doğal mine dokusu, üzerinde barındırdığı anatomik detaylar sayesinde ışığı oldukça dinamik bir şekilde yansıtmaktadır (Vanini, 1996).

Makro morfoloji, dişin labial yüzeyini vertikal eksende bölen gelişimsel olukları ve bu oluklar arasında kalan gelişimsel mine loblarını kapsar. Anterior dişlerin bu sekonder anatomik yapıları, ışığı farklı açılarda yansıtarak tekdüze ve düz bir yüzey yerine derinlikli, üç boyutlu bir form illüzyonu yaratır (Brasil & Teruya, 2024).

Güncel literatürde, kompozit yüzeyine işlenen bu morfolojik detayların materyalin ışık saçılımını nasıl değiştirdiği 3D optik profilometreler ile çok daha hassas şekilde incelenmektedir. Yeni nesil tek renkli ve nanohibrit kompozitlerin yüzey topografyası üzerine yapılan son çalışmalar, makro ve mikro pürüzlülükteki kontrollü oynamaların, materyalin ışık yansıtma kapasitesi ve renk algısı üzerinde dramatik optik illüzyonlar yarattığını kanıtlamaktadır (Rohym et al., 2023).

Mikro morfoloji ise, mine yüzeyinin yatay eksenindeki çok daha ince anatomik detayları, yani perikimataları ifade eder. Genç dişlerde çok daha belirgin olan perikimatalar, dişin servikal ve orta üçlüsünde yoğunlaşan birbirine paralel, ince yatay çizgiler şeklindedir (Korkut, 2018). Bu mikro-çizgiler ışığı difüz olarak saçarak dişin parlaklığını hafifçe düşürürken ona karakteristik, ipeksi bir matlık kazandırır. Kompozit materyallerinin yüzeyinde yaratılan bu tersiyer mikro-pürüzlülüğün ışığın speküler yansımasını doğal mine gibi kırdığını doğrulamaktadır; ancak klinisyenin bu tekstürü aşırıya kaçırmasının materyalin optik stabilitesini tehlikeye atabileceği de vurgulanmaktadır (HashemiKamangar et al., 2023).

Bitirme ve Polisaj Protokollerinin Estetik Bütünlükteki Rolü

Anterior estetik restorasyonlarda polikromatik tabakalama ve morfolojik şekillendirme işlemleri ne kadar başarılı kurgulanırsa kurgulansın; uygun bitirme ve polisaj protokolleri

uygulanmadığında elde edilen biyomimetik bütünlük kısa sürede bozulacaktır.

Bitirme işlemi, restorasyonun makro morfolojisinin netleştirildiği, taşkınlıkların alındığı ve komşu dişlerle olan oklüzal/aproksimal uyumlamaların yapıldığı aşamadır. Bu aşamada genellikle ince grenli alev uçlu elmas frezler, çok bıçaklı karbit frezler ve kalın kumlu alüminyum oksit zımpara diskleri tercih edilir. Ancak bu döner aletlerin kompozit yüzeyinde kaçınılmaz olarak bıraktığı mikro-çizikler, materyalin ışığı yanlış kırmasına ve optik illüzyonların matlaşmasına neden olduğundan, süreci takip eden detaylı bir polisaj aşaması estetik açıdan zorunludur (Devoto et al., 2010).

Polisaj aşamasında klinik süreci hızlandırmak amacıyla tek aşamalı lastik ve fırça sistemleri popülerleşmiş olsa da güncel literatür çok aşamalı sistemlerin optik üstünlüğünü vurgulamaya devam etmektedir. Azalan gren sırasına sahip iki ve üç aşamalı polisaj protokollerinin tek aşamalı sistemlere kıyasla yüzey pürüzlülüğünü azaltmada ve estetik parlaklık değerini artırmada başarılı olduğu bildirilmektedir (HashemiKamangar et al., 2023)

Ağız içi dinamik şartlarında (termal döngüler, mekanik çiğneme kuvvetleri ve asidik ataklar) hiçbir kompozit yüzeyi ilk günkü optik özelliklerini sonsuza dek koruyamaz. Yıllar içerisinde polimer matrisinde meydana gelen yüzeysel degradasyon, restorasyonun dokusunu bozarak metamerik uyumsuzluklara yol açmaktadır (Dietschi & Fahl, 2016).

Bu kaçınılmaz degradasyon sürecini yönetmek ve ilk seansta yaratılan optik illüzyonların kalıcılığını sağlamak için periyodik polisaj yenileme protokolleri büyük önem taşır. Hastanın rutin kontrol seanslarında ultra ince grenli elmas patlar, alüminyum oksit pastalar ve keçe diskler yardımıyla yüzeyin kısa süreli olarak yeniden parlatılması, dışsal renklenmeleri uzaklaştırır ve

restorasyonun klinik ömrünü kayda değer ölçüde uzatarak gülüşteki estetik bütünlüğü muhafaza eder.

Sonuç

Anterior restorasyonlarda estetik mükemmellik, kayıp dokuların sadece hacimsel telafisini değil, doğal dişin ışık dinamiklerinin ve morfolojik detaylarının biyomimetik bir felsefeyle yeniden kurgulanmasını gerektirir. Klinisyenin özellikle parlaklık algısını doğru yönetmesi, minenin opalesan ve dentinin floresan karakteristiğini polikromatik tabakalama ile aslına uygun taklit edebilmesinin temelidir. Fiziksel kısıtlamaların bulunduğu vakalarda aproksimal geçiş çizgilerinin, gelişimsel olukların ve insizal embraşürlerin stratejik manipülasyonu ile dişe istenen optik form illüzyonu kazandırılır. Bu üç boyutlu derinlik, makro ve mikro yüzey tekstürünün doğru işlenmesiyle desteklendiğinde restorasyonun yapaylık hissi tamamen ortadan kalkar. Son aşamada titizlikle uygulanan bitirme ve polisaj protokolleri ise bu estetik ve optik illüzyonun uzun vadeli renk stabilitesini güvence altına alır. Sonuç itibarıyla başarılı bir restorasyon; güncel materyal bilgisinin, ışık fiziği prensiplerinin ve hekimin sanatsal vizyonunun kusursuz bir sentezidir.

Kaynakça

Ahmad, I. (2005). Anterior dental aesthetics: Dental perspective. *British dental journal*, *199*(3), 135-141.

Bhuvaneswaran, M. (2010). Principles of smile design. *J Conserv Dent*, *13*(4), 225-232. https://doi.org/10.4103/0972-0707.73387

Brasil, L. J. B. C., & Teruya, C. M. (2024). Selamento dentinário imediato: um dos princípios da odontologia biomimética–uma revisão de literatura. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, *10*(5), 3274-3290.

Chu, S. J., Trushkowsky, R. D., & Paravina, R. D. (2010). Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent*, *38 Suppl 2*, e2-16. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.001

Demarco, F. F., Collares, K., Coelho-de-Souza, F. H., Correa, M. B., Cenci, M. S., Moraes, R. R., & Opdam, N. J. (2015). Anterior composite restorations: A systematic review on long-term survival and reasons for failure. *Dent Mater*, *31*(10), 1214-1224. https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.07.005

Devoto, W., Saracinelli, M., & Manauta, J. (2010). Composite in everyday practice: how to choose the right material and simplify application techniques in the anterior teeth. *Eur J Esthet Dent*, *5*(1), 102-124. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20305875

Dietschi, D., & Fahl, N., Jr. (2016). Shading concepts and layering techniques to master direct anterior composite restorations: an update. *Br Dent J*, *221*(12), 765-771. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2016.944

Fahl, N., Jr. (2006). A polychromatic composite layering approach for solving a complex Class IV/direct veneer-diastema combination: part I. *Pract Proced Aesthet Dent*, *18*(10), 641-

645; quiz 646. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17283695

Ferracane, J. L. (2011). Resin composite--state of the art. *Dent Mater*, *27*(1), 29-38. https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020

Gonzales, D. A. A. (2011). Bio-emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histo-anatomic approach; structural analysis. *The European journal of esthetic dentistry: official journal of the European Academy of Esthetic Dentistry*.

Gurrea, J., Gurrea, M., Bruguera, A., Sampaio, C. S., Janal, M., Bonfante, E., Coelho, P. G., & Hirata, R. (2016). Evaluation of Dental Shade Guide Variability Using Cross-Polarized Photography. *Int J Periodontics Restorative Dent*, *36*(5), e76-81. https://doi.org/10.11607/prd.2700

HashemiKamangar, S. S., Jafari, S., & Rouhaninasab, M. (2023). Effects of curing time and intensity and polishing technique on color stability of bleach-shade composite resins. *Dent Res J (Isfahan)*, *20*, 67. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37483898

Korkut, B. (2018). Smile makeover with direct composite veneers: A two-year follow-up report. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, *12*(2), 146-151. https://doi.org/10.15171/joddd.2018.023

Machado, A. W. (2014). 10 commandments of smile esthetics. *Dental Press J Orthod*, *19*(4), 136-157. https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.4.136-157.sar

Magne, P., & Belser, U. (2002). Bonded porcelain restorations in the anterior dentition: a biomimetic approach. *(No Title)*.

Paravina, R. D., Perez, M. M., & Ghinea, R. (2019). Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *J Esthet Restor Dent*, *31*(2), 103-112. https://doi.org/10.1111/jerd.12465

Rohym, S., Tawfeek, H. E. M., & Kamh, R. (2023). Effect of coffee on color stability and surface roughness of newly introduced single shade resin composite materials. *BMC oral health*, *23*(1), 236. https://doi.org/10.1186/s12903-023-02942-y

Sharma, P. K., & Sharma, P. (2012). Dental smile esthetics: the assessment and creation of the ideal smile. Seminars in orthodontics,

Vanini, L. (1996). Light and color in anterior composite restorations. *Pract Periodontics Aesthet Dent*, *8*(7), 673-682; quiz 684. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9242140

BÖLÜM 3

KEMOTERAPİ VEYA RADYOTERAPİ GÖREN HASTADA DİŞ HEKİMLİĞİ YAKLAŞIMI

EMRE KOYUNCU[1], MELIH OZDEDE[2]

GİRİŞ

Kanser tedavisinin başarısı yalnızca tümör kontrolüne değil, tedavinin kesintisiz sürdürülebilmesine ve hastanın beslenme, konuşma, yutma ve yaşam kalitesi gibi temel işlevlerinin korunmasına da bağlıdır. Ağız boşluğu hızlı yenilenen epitel, yoğun ve çeşitli mikrobiyota, travmaya açık yüzeyler, odontojenik enfeksiyon odakları ve tükürük bezleri nedeniyle sistemik antineoplastik tedavilerin ve baş-boyun radyoterapisinin toksisitelerine özellikle duyarlıdır. Oral mukozit, enfeksiyon, kanama, ağrı, tükürük bezi hipofonksiyonu, kserostomi, radyasyon çürüğü, trismus ve çene osteonekrozları yalnızca ağız sağlığını bozmaz; sıvı ve besin alımını azaltabilir, opioid ve parenteral beslenme gereksinimini artırabilir, hastane yatışına yol açabilir ve onkolojik tedavinin dozunun azaltılması ya da ertelenmesiyle sonuçlanabilir (Elad et al., 2020; PDQ Supportive and Palliative Care Editorial Board, 2002) .

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Bu nedenle diş hekimliği yaklaşımı, tedaviye bağlı komplikasyon ortaya çıktıktan sonra semptom gidermekten ibaret değildir. Esas hedef; tedavi öncesinde aktif hastalığı ve gelecekte sorun çıkarma olasılığı yüksek odakları belirlemek, zaman baskısı altında gerçekçi bir ağız sağlığı planı kurmak, aktif tedavi sırasında güvenli destek bakımını sürdürmek ve tedavi sonrasında geç etkileri yaşam boyu izlemektir. Güncel kılavuzlar diş hekiminin onkolog, hematolog, radyasyon onkoloğu, baş-boyun cerrahı, diyetisyen, konuşma-yutma terapisti ve hemşirelik ekibiyle sürekli iletişim içinde olmasını önermektedir (Kumar, 2025; Smith et al., 2025) .

Bu bölüm, erişkin ve çocuk hastalarda kemoterapi, hematopoietik kök hücre nakli, baş-boyun radyoterapisi, hedefe yönelik tedaviler, immünoterapi ve kemik modifiye edici ajanlarla ilişkili ağız-diş risklerinin klinik yönetimini ele almaktadır. Verilen eşik ve zaman aralıkları karar desteği amacı taşır; tek başına işlem onayı anlamına gelmez. Hastanın güncel tam kan sayımı, koagülasyon durumu, tedavi protokolü, beklenen nadir dönemi, komorbiditeleri ve kurum protokolü her invaziv girişim öncesinde onkoloji/hematoloji ekibiyle doğrulanmalıdır.

ANTİNEOPLASTİK TEDAVİLERİN ORAL DOKULAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Konvansiyonel sitotoksik kemoterapi hızlı çoğalan tümör hücrelerini hedeflerken oral epitel ve hematopoietik hücreleri de etkiler. Epitel yenilenmesinin bozulması ve inflamatuvar sinyal yollarının aktivasyonu mukozite; kemik iliği baskılanması nötropeni, trombositopeni ve anemiye; mikrobiyal dengenin değişmesi ise bakteriyel, fungal ve viral enfeksiyonlara zemin

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

hazırlar. Toksisitenin tipi ve şiddeti ilacın türüne, dozuna, uygulama biçimine, kombinasyon rejimine, hastanın yaşı ve beslenme durumuna, başlangıçtaki ağız sağlığına ve eş zamanlı radyoterapiye göre değişir (Elad et al., 2020; PDQ Supportive and Palliative Care Editorial Board, 2002).

Baş-boyun radyoterapisinde klinik sonuç yalnızca toplam doza değil, fraksiyonasyon şemasına ve oral yapılar ile tükürük bezlerinin doz-hacim dağılımına bağlıdır. Mukozit ve tat değişikliği çoğunlukla erken dönemde ortaya çıkarken tükürük bezi hipofonksiyonu, radyasyon çürüğü, fibrozis, trismus ve osteoradyonekroz aylar ya da yıllar sonra görülebilir. Yoğunluk ayarlı ve diğer doku koruyucu teknikler tükürük bezlerinin aldığı dozu azaltarak kserostomi riskini düşürür; ancak risk tamamen ortadan kalkmaz (Mercadante et al., 2021) .

Hedefe yönelik tedaviler ve immün kontrol noktası inhibitörleri klasik kemoterapiden farklı bir oral toksisite profiline sahiptir. mTOR ve tirozin kinaz inhibitörleri aft benzeri ülserasyon, mukozal hassasiyet, disgeuzi ve iyileşme sorunları oluşturabilir (Villa et al., 2024) . İmmünoterapi ile likenoid reaksiyonlar, pemfigoid benzeri hastalık, eritema multiforme benzeri tablolar, sicca sendromu, gingival inflamasyon ve nadiren çene osteonekrozu bildirilmiştir. Bu lezyonların enfeksiyon, rekürrens ve diğer ilaç reaksiyonlarından ayrılması; şiddetli olgularda biyopsi ve onkolojiyle ortak immünsüpresif tedavi planı gerekir (Fregnani et al., 2025) .

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Tablo 1. Antineoplastik tedavilerde başlıca oral komplikasyonlar

Tedavi	Erken dönem	Geç dönem / özel risk
Sitotoksik kemoterapi	Mukozit, ağrı, nötropeniye bağlı enfeksiyon, trombositopenik kanama, disgeuzi, bulantı-kusmaya bağlı erozyon	Bazı ajanlarda nöropati; tekrarlayan tedavilerde kümülatif ağız bakımı güçlüğü
Baş-boyun radyoterapisi	Mukozit, eritem, ağrı, kalın yapışkan tükürük, tat kaybı, kandidiyazis	Kalıcı hiposalivasyon, radyasyon çürüğü, trismus, fibrozis, osteoradyonekroz, periodontal yıkım
Hematopoietik kök hücre nakli	Şiddetli mukozit, enfeksiyon, kanama, kserostomi	Kronik graft-versus-host hastalığı, sekonder oral malignite, çocuklarda diş ve kraniofasiyal gelişim bozukluğu
Hedefe yönelik tedavi	Aft benzeri ülserler, stomatit, disgeuzi, kserostomi, pigmentasyon değişikliği	İlaca özgü mukokutanöz tablolar; bazı ajanlarda yara iyileşmesi ve MRONJ riski
İmmünoterapi	Likenoid/ülseratif lezyonlar, gingivit, sicca, disgzi	Süren immün ilişkili advers olaylar; sekonder enfeksiyon ve sistemik immünsüpresyon gereksinimi
Kemik modifiye edici / anti-anjiyojenik ajanlar	Çoğu hastada belirgin erken bulgu yoktur	İlaçla ilişkili çene osteonekrozu (MRONJ), çekim sonrası iyileşme sorunu

Kaynaklar: Elad et al., 2020; Mercadante et al., 2021; Villa et al., 2024; Fregnani et al., 2025

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

MULTİDİSİPLİNER İLETİŞİM VE RİSK SINIFLANDIRMASI

Diş hekimi ilk görüşmede yalnızca “kemoterapi alıyor” veya “radyoterapi gördü” bilgisini yeterli kabul etmemelidir. Onkoloji ekibinden tanı ve evre, tedavinin amacı, ilaç adları ve döngüsü, son ve planlanan uygulama tarihleri, beklenen kemik iliği baskılanması, kortikosteroid ve antimikrobiyal profilaksi, santral venöz kateter varlığı, kemik modifiye edici/anti-anjiyojenik ilaç öyküsü, nakil türü, graft-versus-host hastalığı ve güncel laboratuvar değerleri istenmelidir. Baş-boyun radyoterapisinde toplam dozun yanında mandibula, maksilla, majör tükürük bezleri ve çiğneme kaslarının doz-hacim bilgileri ile alan haritası klinik kararı doğrudan etkiler. “Baş-boyun bölgesine radyoterapi aldı” ifadesi, tek başına tüm çeneyi aynı riskte saymak için yeterli değildir; mümkünse radyasyon onkolojisi uzmanından bireysel doz dağılımı talep edilmelidir (Smith et al., 2025) .

Risk sınıflandırması üç eksende yapılabilir: hastaya ait riskler, tedaviye ait riskler ve planlanan dental işleme ait riskler. Kontrolsüz diyabet, malnütrisyon, sigara ve yüksek alkol kullanımı, kötü ağız hijyeni, daha önce gecikmiş yara iyileşmesi ve uyum güçlüğü hasta riskini artırır. Myeloablatif tedavi, uzun süren nötropeni, eş zamanlı kemoradyoterapi, çene kemiğinde yüksek radyasyon dozu ve onkolojik dozda antiresorptif tedavi tedavi riskini yükseltir. Mukozayı veya kemiği travmatize eden çekim, periodontal cerrahi, implant, apikal cerrahi ve biyopsi gibi işlemler; noninvaziv muayene, radyografi ve basit restoratif işlemlerden farklı değerlendirilmelidir (Smith et al., 2025) .

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

TEDAVİ ÖNCESİ DENTAL DEĞERLENDİRME

Dental değerlendirme kanser tanısından sonra mümkün olan en erken zamanda yapılmalıdır. Baş-boyun radyoterapisi planlanan hastada yaklaşık bir ay önceden değerlendirme, gerekli girişimler ve iyileşme için en elverişli zamanı sağlar; bununla birlikte onkolojik tedavi sırf ideal dental program tamamlanamadığı için gereksiz yere geciktirilmemelidir. Süre kısıtlıysa amaç tüm kronik kusurları düzeltmek değil, aktif enfeksiyonları ve yakın dönemde akutlaşma olasılığı yüksek odakları güvenli biçimde ortadan kaldırmak veya stabilize etmektir (Zadik et al., 2025) .

Anamnezde önceki radyoterapi ve kemoterapi, kullanılan tüm ilaçlar, alerjiler, kanama ve enfeksiyon öyküsü, böbrek-karaciğer işlevleri, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, sigara/alkol, beslenme, ağız kuruluğu ve protez kullanımı kaydedilir. Klinik muayene; dental plak ve hijyen, çürükler, restorasyonlar, pulpal ve periapikal hastalık, periodontal cepler ve mobilite, kısmen sürmüş dişler/perikoronitis, implant çevresi dokular, keskin diş ve restorasyon kenarları, protez uyumu, mukozal lezyonlar, tükürük akışı, ağız açıklığı ve temporomandibular işlevi kapsar. Başlangıç maksimum interinsizal açıklığının milimetre cinsinden kaydı, ileride trismusun erken fark edilmesini kolaylaştırır (Kumar, 2025; PDQ Supportive and Palliative Care Editorial Board, 2002).

Radyografik inceleme klinik ihtiyaca göre panoramik radyografi ile yapılır; bite-wing ve periapikal görüntüler çürük, periodontal ve endodontik değerlendirmeyi tamamlar. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) rutin tarama aracı değildir; üç boyutlu bilginin tedavi kararını değiştireceği seçilmiş olgularda ve düşük doz ilkesiyle kullanılmalıdır. Şüpheli kemik lezyonunda

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

malignite, metastaz, osteonekroz ve odontojenik enfeksiyon ayırıcı tanısı için ileri görüntüleme ve biyopsi gereksinimi multidisipliner olarak belirlenir (Epstein et al., 2012) .

Tablo 2. Tedavi öncesi dental planlamada önceliklendirme

Öncelik	Klinik örnekler	Yaklaşım
Yüksek	Akut apikal apse, selülit, semptomatik apikal periodontitis, ileri mobilite, aktif perikoronitis, ağrılı kırık diş, tümör/cerrahi alanındaki kötü prognozlu diş	Onkoloji takvimini gözeterek hızla tedavi; uygun ise endodonti veya atravmatik çekim. Hemostaz ve enfeksiyon riski planlanır.
Orta	Derin çürük, semptomsuz ancak restorasyonu güç diş, ileri periodontal cep, tekrarlayan protez travması, erişimi tedavi sonrası zorlaşacak diş	Beklenen yaşam boyu risk, hastanın uyumu ve kalan süreye göre tedavi ya da stabilize etme.
Düşük / ertelenebilir	Küçük asemptomatik çürük, estetik işlem, stabil kronik bulgu, elektif protez yenileme	Aktif tedavi sonrasına bırakılabilir; keskin yüzeyler düzeltilir ve koruyucu program başlatılır.

TEDAVİ ÖNCESİ DENTAL TEDAVİLERİN PLANLANMASI

Restorasyonu mümkün ve uzun dönem prognozu kabul edilebilir dişler korunmalıdır. Derin çürüklü veya pulpal hastalıklı dişte yeterli süre ve izolasyon varsa endodontik tedavi, özellikle gelecekte yüksek doz radyasyon alacak bölgede çekimi önleyebileceği için değerlidir. Bununla birlikte tamamlanamayacak

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

karmaşık işlemler veya kısa sürede semptom oluşturabilecek geçici çözümler yeni risk yaratabilir. Periodontal tedavinin amacı inflamasyon ve mikrobiyal yükü azaltmaktır; ileri mobil, derin cepli ve temizlenemeyen dişlerde çekim gündeme gelir. Keskin restorasyonlar düzeltilmeli, travmatik protezler ayarlanmalı; aktif mukozit döneminde kullanılamayabileceği hastaya anlatılmalıdır (C. H. L. Hong et al., 2018).

Çekim kararı yalnız radyografik bulguya dayanmaz. Dişin restoratif/endodontik prognozu, periodontal destek, fonksiyon, hastanın hijyen kapasitesi, gelecekteki ulaşılabilirlik, radyasyon alanı ve dozu, antiresorptif tedavi planı ve onkolojik tedaviye kalan süre birlikte değerlendirilir (Yong et al., 2022). Enfeksiyon odağının kanser tedavisinden en az 10 gün önce kaldırılması genel bir hedef olarak önerilmekte; baş-boyun radyoterapisinden önce çekim sonrası ideal iyileşme süresi çoğu kılavuzda 14-21 gün olarak verilmektedir. Ancak iyileşme süresini uzatmak için kanser tedavisinin geciktirilmesi otomatik bir karar değildir. Cerrahi mümkün olduğunca atravmatik yapılmalı, keskin kemik kenarları düzeltilmeli ve yara iyileşmesi tedavi başlamadan kontrol edilmelidir (Jawad et al., 2015; Peterson et al., 2024) .

Radyoterapi öncesinde florür programı başlatılmalı, gerekirse kişiye özel florür taşıyıcıları hazırlanmalıdır. Hastaya yumuşak kıllı küçük başlı fırça, florürlü diş macunu, tolere edilebiliyorsa ara yüz temizliği, alkolsüz/nötr ağız ürünleri ve protez hijyeni uygulamalı olarak gösterilir. Kserostomi ve radyasyon çürüğü riski yüksek hastalarda 2.800 veya 5.000 ppm florürlü reçeteli macun, yaşa ve yerel ruhsata uygun biçimde düşünülebilir. Macun sonrası köpüğün tükürülmesi ve ağzın suyla çalkalanmaması florür temasını artırır. Beslenme önerileri

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

diyetisyenle çelişmemeli; yüksek kalorili desteklerin gerekli olduğu hastada amaç beslenmeyi kısıtlamak değil, şeker maruziyetinin sıklığını azaltmak ve koruyucu önlemleri yoğunlaştırmaktır (Mercadante et al., 2021) .

AKTİF KEMOTERAPİ SIRASINDA DENTAL YAKLAŞIM

Aktif kemoterapi sırasında elektif işlemler mümkün olduğunca ertelenir. Acil bakım gerekiyorsa en güvenli zaman, rejime göre kan değerlerinin toparlandığı ve bir sonraki döngüden önceki dönemdir; takvim tahmini güncel laboratuvar sonucu yerine geçmez. İnvaziv işlemden 24-48 saat önce tam kan sayımı alınması, mutlak nötrofil sayısı (MNS/ANC), trombosit, hemoglobin ve gerektiğinde koagülasyon testlerinin onkoloji/hematoloji ekibiyle yorumlanması önerilir. Döngünün beklenen nadir dönemi, ateş, antimikrobiyal profilaksi, kateter ve organ disfonksiyonu ayrıca sorgulanır (Zimmermann et al., 2015) .

MNS azaldıkça enfeksiyon riski yükselir; 1.000/μL altında riskin belirgin arttığı ve yedi günden uzun nötropeninin ciddi enfeksiyonlar açısından özellikle önemli olduğu bildirilmiştir (PDQ Supportive and Palliative Care Editorial Board, 2002) . Trombositopenide işlem türü, kanama alanının kontrol edilebilirliği ve trombosit fonksiyonu en az sayı kadar önemlidir. Sabit eşikler kurumlar arasında farklıdır; antibiyotik profilaksisi ya da trombosit transfüzyonu kararı diş hekimi tarafından tek başına verilmemelidir (Lim et al., 2026) .

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Tablo 3. İnvaziv dental girişimlerde hematolojik değerlendirme: örnek eşikler ve klinik karar ilkeleri

Parametre	Pratik yorum	Dental yaklaşım
MNS ≥2.000/μL	Enfeksiyon riski yalnız nötrofil sayısı açısından genellikle düşük	Diğer riskler uygunsa işlem düşünülebilir.
MNS 1.000-1.999/μL	Orta düzey risk; düşüş eğilimi ve beklenen süre önemlidir	Onkoloji/hematolojiyle görüş; işlem ve profilaksi bireyselleştirilir.
MNS <1.000/μL	Enfeksiyon riski belirgin artar	Elektif işlem ertelenir; acil enfeksiyon hastane temelli multidisipliner yönetilir.
Trombosit ≥75.000/μL	Çoğu minör işlem için sayı açısından genellikle yeterli olabilir	Lokal hemostaz planlanır; ilaç ve koagülasyon durumu kontrol edilir.
Trombosit 40.000-74.999/μL	Kanama riski artabilir	Hematoloji konsültasyonu; lokal hemostatikler ve gerekirse transfüzyon planı.
Trombosit <40.000/μL	İnvaziv işlem için yüksek risk	Elektif işlem ertelenir; acil işlem hastane koşullarında hematolojik destekle ele alınır.

Not: *Belirtilen eşik değerler tek başına işlem onayı anlamına gelmez. Klinik kararlar, kurum protokolleri ve onkoloji/hematoloji ekibinin değerlendirmesi doğrultusunda verilmelidir. Kaynaklar: Zimmermann et al., 2015; Lim et al., 2026*

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Acil odontojenik enfeksiyonda amaç drenaj ve kaynağın kontrolüdür. Şişlik, ateş, trismus, disfaji, dispne, hızlı yayılım veya sepsis bulguları varsa hasta hastane ortamında değerlendirilir. Antibiyotik, kesin dental tedavinin yerine geçmez; ancak immünsüprese hastada kültür, böbrek-karaciğer fonksiyonu, güncel profilaksi ve yerel direnç örüntüsü dikkate alınarak onkoloji/enfeksiyon hastalıkları ekibiyle seçilir. Gereksiz antibiyotik kullanımı kandidiyazis, direnç ve ilaç etkileşimi riskini artırır (Jevon et al., 2020; Taplitz et al., 2018).

ORAL MUKOZİTİN ÖNLENMESİ VE YÖNETİMİ

Oral mukozit eritemden yaygın, ağrılı ülserasyona uzanan dinamik bir süreçtir. Şiddetin düzenli ve aynı ölçekle kaydedilmesi; ağrı, oral alım, yutma ve uyku üzerindeki etkilerin birlikte değerlendirilmesi gerekir. Dünya Sağlık Örgütü ölçeği veya Ulusal Kanser Enstitüsü Ortak Terminoloji Kriterleri kullanılabilir. Hastaya tedavi başlamadan önce lezyonların beklenen zamanı, alarm belirtileri ve iletişim kanalı açıklanmalıdır (Elad et al., 2020).

Temel ağız bakımı bütün hastalarda tedavinin omurgasıdır: günde en az iki kez yumuşak kıllı fırça ve florürlü macunla atravmatik fırçalama, tolere edilebiliyorsa ara yüz temizliği, sık su alımı, dudak nemlendirme ve serum fizyolojik ve/veya sodyum bikarbonat içeren nötr çalkalamalar önerilir (McGuire et al., 2013). Alkol içeren, kuvvetli aromalı veya irritan gargaralardan kaçınılmalıdır. Klorheksidin belirli dental enfeksiyon endikasyonlarında kullanılabilir; fakat baş-boyun radyoterapisine bağlı mukoziti önlemek için önerilmez (Raber-Durlacher et al., 2024) .

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

MASCC/ISOO önerileri tedavi bağlamına özgüdür. Bolus 5-florourasil sırasında oral kriyoterapi; yüksek doz melfalan içeren otolog nakil hazırlığında kriyoterapi; seçilmiş baş-boyun radyoterapisi ve nakil protokollerinde standardize fotobiyomodülasyon, uygun altyapı ve eğitim varsa etkilidir. Benzydamin, orta doz baş-boyun radyoterapisinde ve bazı eş zamanlı kemoradyoterapi rejimlerinde önleme amacıyla düşünülebilir (Elad et al., 2020). Bu uygulamalar cihaz parametreleri, doz ve zamanlamaya bağlıdır; "düşük düzey lazer" adı altında rastgele protokol uygulanmamalıdır (Zadik et al., 2019).

Ağrı tedavisi basamaklıdır. Topikal anestezikler kısa süreli rahatlama sağlayabilir ancak yutma refleksini etkileyebileceğinden aspirasyon ve ısırma travması konusunda uyarı gerekir. Sistemik parasetamol, opioid ve adjuvan analjezikler hastanın karaciğer-böbrek fonksiyonu, trombositleri ve eş zamanlı ilaçlarına göre onkoloji ekibiyle planlanır. Nonsteroid antiinflamatuvarlar trombositopeni ve kanama riski olanlarda uygun olmayabilir (Lim et al., 2026) . Şiddetli mukozitte oral alımın, hidrasyonun ve kilo kaybının izlenmesi; diyetisyen ve yutma ekibinin erken katılımı önemlidir (Peterson et al., 2015) .

Tablo 4. Oral mukozitte kanıta dayalı seçilmiş uygulamalar

Uygulama	Uygun bağlam	Klinik not
Temel ağız bakım protokolü	Kemoterapi, radyoterapi ve nakil boyunca	Her hastada standarttır; mekanik plak kontrolü toleransa göre sürdürülür.
Oral kriyoterapi	Bolus 5-florourasil; yüksek doz melfalan	İlacın kısa yarı ömründen yararlanır; her kemoterapi rejimine genellenmez.

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Uygulama	Uygun bağlam	Klinik not
Fotobiyomodülasyon	Belirli HSCT ve baş-boyun RT/kemoradyoterapi protokolleri	Eğitimli ekip, doğrulanmış dalga boyu-doz parametreleri ve güvenlik protokolü gerekir.
Benzydamin	Belirli baş-boyun RT veya kemoradyoterapi bağlamları	Yerel erişim ve hasta toleransına göre; tedavi protokolüne özgü uygulanır.
Klorheksidin	Dental plak/enfeksiyon için seçilmiş endikasyon	Baş-boyun RT mukozitini önlemek amacıyla rutin önerilmez.
Semptomatik ağrı kontrolü	Gelişmiş mukozit	Topikal ve sistemik seçenekler; aspirasyon, sedasyon, organ fonksiyonu ve kanama riski gözetilir.

Kaynaklar: Elad et al., 2020; McGuire et al., 2013; Zadik et al., 2019

ORAL ENFEKSİYONLAR

İmmünsüpresyonda enfeksiyonun klasik inflamatuvar bulguları silik olabilir. Odontojenik enfeksiyonda belirgin püy veya fluktuasyon olmadan ağrı ve hassasiyet; kandidiyaziste silinebilir plaklar, eritem, yanma ve angular şelitis; herpes simplekste alışılmadık genişlikte ve uzun süren ülserler görülebilir. Sitomegalovirüs, varisella-zoster ve derin fungal enfeksiyonlar özellikle nakil ve ağır immünsüpresyonda ayırıcı tanıya girer. Klinik görünüm yetersizse sürüntü, kültür, PCR veya biyopsi planlanır (Epstein et al., 2012)

Antifungal ve antiviral tedavi hastanın profilaksi rejimi ve ilaç etkileşimleri dikkate alınarak düzenlenir. Azoller, birçok kemoterapötik ve hedefe yönelik ajanla CYP aracılı etkileşime

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

girebilir. Protez kullanan kandidiyazis hastasında protezin temizliği, gece çıkarılması ve uyumunun düzeltilmesi tedavinin parçasıdır. Lokalize enfeksiyonun sistemik yayılımı açısından ateş, hemodinamik değişiklik, nötropeni ve oral alım değerlendirilir (Board, 2024).

BAŞ-BOYUN RADYOTERAPİSİ SIRASINDA DENTAL YAKLAŞIM

Radyoterapi boyunca elektif invaziv işlemlerden kaçınılır. Haftalık veya klinik gereksinime göre daha sık oral değerlendirme; mukozit, ağrı, enfeksiyon, plak kontrolü, protez travması, tükürük kıvamı, ağız açıklığı, beslenme ve kilo kaybının erken fark edilmesini sağlar. Hasta mümkünse protezini tedavi süresince ve gece çıkarmalı; ağrı veya ülser gelişirse protez kullanımını bırakıp durumu değerlendirilmelidir. Radyasyon stentleri ve ağız içi ayırıcılar seçilmiş hastalarda normal dokunun dozunu azaltmak için radyasyon onkolojisi uzmanı ve protetik diş tedavisi uzmanı ile planlanabilir (Smith et al., 2025).

Radyoterapi sırasında başlayan tükürük değişiklikleri sadece “ağız kuruluğu hissi” değildir. Akış azalır, tamponlama kapasitesi düşer, tükürük viskoz ve asidik hale gelebilir; bu ortam hızlı servikal ve insizal çürük, erozyon, kandidiyazis, disfaji ve protez intoleransına zemin hazırlar. Sık su yudumlama, nötr pH’lı tükürük ikameleri, ağız nemlendiricileri, şekersiz sakız/pastil ve rezidüel bez fonksiyonu varsa farmakolojik sialogoglar düşünülebilir. Pilokarpin veya sevimelin; kardiyopulmoner hastalık, glokom, ilaç etkileşimi ve kolinerjik yan etkiler yönünden hekim tarafından değerlendirilmelidir (C. Hong et al., 2024; Mercadante et al., 2021) .

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Tat değişikliği, ağrı ve kserostomi beslenmeyi bozar. Çok sıcak, keskin, baharatlı, asidik veya sert yiyecekler semptomları artırabilir; ancak katı yasak listeleri yerine toleransa göre kişiselleştirme yapılmalıdır. Şekerli ve yapışkan destek ürünleri gerekiyorsa diyetisyenle birlikte kullanım zamanı, ağız temizliği ve florür programı düzenlenir. Ağızdan beslenmenin sürdürülmesi hedeflenirken aspirasyon, belirgin disfaji ve kilo kaybında konuşma-yutma terapisti ve beslenme ekibi devreye girer (Board, 2024).

Kserostomi, Hiposalivasyon ve Radyasyon Çürüğü

Kserostomi öznel ağız kuruluğu hissini, hiposalivasyon ise ölçülebilir tükürük akış azalmasını tanımlar; ikisi her zaman birlikte değildir. Değerlendirmede semptomun zamanı, gece uyanma, kuru gıda yutma güçlüğü, ilaçlar, ağız solunumu, oral muayene ve gerektiğinde uyarılmış/uyarılmamış sialometri kullanılır (C. Hong et al., 2024). Radyasyon çürüğü klasik çürüğün ayrı bir mikrobiyolojik hastalığı değil; hiposalivasyon, diyet, plak, mine-dentin değişiklikleri ve bakım güçlüğünün hızlandırdığı agresif bir tablodur (Palmier et al., 2020).

Korunmada temel yaklaşım yaşam boyu yüksek riskli çürük protokolüdür. Günde en az iki kez yüksek florürlü macun, günlük nötr florür uygulaması için kişiye özel taşıyıcılar, düzenli profesyonel florür, plak kontrolü, diyet düzenlemesi ve 3-6 aylık diş hekimi kontrolü uygulanır. Florür taşıyıcısı mukozayı travmatize etmemeli; az miktarda jel ile üretici talimatına uygun kullanılmalıdır. Yeni beyaz nokta veya servikal lezyonlar restorasyon gereksiniminden önce remineralizasyon ve davranışsal

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

risklerin düzeltilmesi açısından değerlendirilir (McGuire et al., 2013; Mercadante et al., 2021).

Trismus ve Fonksiyonel Rehabilitasyon

Çiğneme kasları, pterigoid yapılar veya temporomandibular eklem yüksek doz aldığında fibrozis ve trismus gelişebilir. Cerrahi, ağrı ve hareketsizlik de katkıda bulunur. Tedavi öncesi ağız açıklığının kaydı, düzenli izlem ve azalma başladığında erken rehabilitasyon önemlidir. Aktif ve pasif germe, çene mobilizasyon cihazları, manuel terapi ve fizyoterapi seçilebilir; egzersizlerin üstünlüğüne ilişkin kanıt heterojen olmakla birlikte gecikmiş fibrozis yerleştikten sonra kazanım daha zor olduğundan erken ve sürdürülebilir program tercih edilir (Chee et al., 2021; Kamstra et al., 2017).

Egzersiz ağrılı dokuyu zorlayacak şekilde yapılmamalı; cerrahi rekonstrüksiyon, kırık riski, aktif osteonekroz veya tümör şüphesi varsa önce ilgili hekimden onay alınmalıdır. Hastanın uyumunu artırmak için kısa, sık, ölçülebilir hedefler; yazılı kayıt ve düzenli geri bildirim kullanılabilir (Kamstra et al., 2017).

OSTEORADYONEKROZUN ÖNLENMESİ VE YÖNETİMİ

Osteoradyonekroz, daha önce ışınlanmış çene kemiğinde tümör rekürrensi olmaksızın gelişen nekrotik kemik tablosudur. Klinik olarak ekspoze kemik veya fistül, ağrı, enfeksiyon, kötü koku, nöropati, trismus ve ileri olguda patolojik kırık görülebilir; ekspozisyon olmadan radyolojik değişiklikler de mümkündür (Chronopoulos et al., 2018). Mandibulada, yüksek doz alan bölgelerde, 60 Gy ve üzerindeki dozlarda, eş zamanlı kemoterapi, kötü ağız sağlığı, sigara, alkol, malnütrisyon, travmatik çekim ve

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

kontrolsüz protez travmasıyla risk artar. Risk zaman geçtikçe sıfırlanmaz; post-radyoterapi yaşam boyu öykü olarak kabul edilmelidir (Smith et al., 2025).

Tedavi öncesi enfeksiyon odaklarının uygun zamanda kaldırılması, korunabilir dişlerin tedavisi, travmanın azaltılması, güçlü koruyucu program ve modern doku koruyucu radyoterapi osteoradyonekrozu önlemenin temelidir (Smith et al., 2025). Radyoterapi sonrası çekim düşünülüyorsa önce dişin aldığı doz, alternatif endodontik/restoratif seçenekler ve hastanın bireysel riskleri incelenir. Çekim zorunluysa deneyimli ekip, minimal cerrahi ve atravmatik teknik, keskin kemiklerin düzeltilmesi, gerilimsiz kapanma, uygun olduğunda lokal kapatma ve yakın takip esastır. Antibiyotik, pentoksifilin-tokoferol veya hiperbarik oksijenin profilaktik kullanımı için kanıt sınırlıdır; 2024 ISOO-MASCC-ASCO kılavuzu hiperbarik oksijenin rutin kullanımını büyük ölçüde gerekçesiz bulmaktadır (Peterson et al., 2024).

TEDAVİ SONRASI VE UZUN DÖNEM İZLEM

Sistemik kemoterapi sonrasında rutin dental bakıma dönüş; hematolojik ve immünolojik toparlanma, devam eden idame tedavisi ve hastalığın durumuna göre belirlenir. Bu nedenle "kemoterapi bitti" bilgisi tek başına invaziv işlem için yeterli değildir. Baş-boyun radyoterapisinin geç etkileri yaşam boyu sürebileceğinden hasta, radyoterapi alanı ve dozunu içeren tedavi özetini saklamalıdır. Kontroller; özellikle ilk yıl yakın olmak üzere çürük ve periodontal risk, kserostomi, trismus, protez kullanımı ve öz bakım kapasitesine göre genellikle 3–6 aylık aralıklarla planlanmalıdır (Kumar, 2025).

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Her kontrolde çürük, periodontal ve peri-implant hastalık, ağız kuruluğu, kandidiyazis, mukozal lezyon, kemik ekspozisyonu veya fistül, açıklanamayan ağrı ya da parestezi, ağız açıklığı ve yutma değerlendirilmelidir. İyileşmeyen ülser, indürasyon, kitle, eritroplaki/lökoplaki veya tek taraflı nörolojik bulgular rekürrens ya da ikinci primer malignite açısından gecikmeden araştırılmalıdır. Allojenik hematopoietik hücre nakli ve kronik oral graft-versus-host hastalığı sonrasında oral skuamöz hücreli karsinom riski arttığından düzenli yumuşak doku muayenesi özellikle önemlidir (Raber-Durlacher et al., 2024).

KLİNİK UYGULAMA İÇİN AŞAMALI PROTOKOL

Tablo 5. Kanser tedavisi sürecinde diş hekiminin kontrol listesi

Aşama	Temel görevler
Tedavi öncesi	Onkolojik planı ve zaman çizelgesini öğren; kapsamlı klinik-radyografik değerlendirme yap; aktif enfeksiyonu ve kötü prognozlu odakları tedavi et; çekim iyileşmesini kontrol et; florür, hijyen, diyet, protez ve trismus programını başlat; bulguları onkoloji ekibine yazılı bildir.
Aktif tedavi	Elektif işlemleri ertele; temel ağız bakımını sürdür; mukozit, enfeksiyon, kanama, kserostomi, beslenme ve ağız açıklığını izle; acilde 24-48 saatlik kan sayımı ve onkoloji görüşü al; ilaç etkileşimlerini kontrol et.
Erken tedavi sonrası	Hematolojik/immün toparlanmayı doğrula; devam eden toksisite ve idame tedavisini sorgula; ağrı, enfeksiyon, iyileşme ve öz bakım kapasitesini değerlendir; koruyucu programı güçlendir.

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Aşama	Temel görevler
Uzun dönem	Baş-boyun radyoterapisi öyküsünü yaşam boyu risk olarak kaydet; 3-6 aylık kontrol; florür ve kserostomi yönetimi; trismus/yutma rehabilitasyonu; Osteoradyonekroz/MRONJ ve ikinci primer malignite taraması; invaziv işlemlerde doz haritası ve uzman görüşü.

SONUÇ

Kemoterapi veya radyoterapi gören hastada güvenli diş hekimliği yaklaşımı, tek bir ilaç listesi ya da laboratuvar eşiğine indirgenemez. Başarılı yönetim; erken dental değerlendirme, enfeksiyon odaklarının onkolojik tedaviyi geciktirmeden kontrolü, tedaviye ve hastaya özgü risk sınıflandırması, temel ağız bakımının kesintisiz sürdürülmesi ve multidisipliner iletişime dayanır. Aktif tedavi sırasında elektif işlemler sınırlanmalı; acil girişimler güncel kan değerleri ve onkoloji görüşüyle planlanmalıdır. Baş-boyun radyoterapisinden sonra hiposalivasyon, radyasyon çürüğü, trismus ve osteoradyonekroz riski uzun dönemli, çoğu zaman yaşam boyu izlem gerektirir. Güncel kılavuzların ortak mesajı, oral bakımın kanser tedavisinin yanında yürüyen isteğe bağlı bir hizmet değil, güvenli ve kaliteli onkolojik bakımın ayrılmaz bir bileşeni olduğudur.

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Kaynaklar

Board, P. S. and P. C. E. (2024). Oral Complications of Cancer Therapies (PDQ®). *PDQ Cancer Information Summaries*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK65725/

Chee, S., Byrnes, Y. M., Chorath, K. T., Rajasekaran, K., & Deng, J. (2021). Interventions for Trismus in Head and Neck Cancer Patients: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Integrative Cancer Therapies*, *20*. https://doi.org/10.1177/15347354211006474

Chronopoulos, A., Zarra, T., Ehrenfeld, M., & Otto, S. (2018). Osteoradionecrosis of the jaws: definition, epidemiology, staging and clinical and radiological findings. A concise review. *International Dental Journal*, *68*(1), 22–30. https://doi.org/10.1111/IDJ.12318

Elad, S., Cheng, K. K. F., Lalla, R. V., Yarom, N., Hong, C., Logan, R. M., Bowen, J., Gibson, R., Saunders, D. P., Zadik, Y., Ariyawardana, A., Correa, M. E., Ranna, V., Bossi, P., Arany, P., Al-Azri, A. R., Blijlevens, N., Hovan, A., Fregnani, E., … Zur, E. (2020). MASCC/ISOO clinical practice guidelines for the management of mucositis secondary to cancer therapy. *Cancer*, *126*(19), 4423–4431. https://doi.org/10.1002/CNCR.33100

Epstein, J. B., Thariat, J., Bensadoun, R.-J., Barasch, A., Murphy, B. A., Kolnick, L., Popplewell, L., & Maghami, E. (2012). Oral complications of cancer and cancer therapy†‡. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, *62*(6), 400–422. https://doi.org/10.3322/CAAC.21157

Fregnani, E. R., Epstein, J. B., Blijlevens, N. M. A., Yarom, N., Villa, A., Raber-Durlacher, J. E., Gardner, P. J., Shem, D., Beaumont, S., Bossi, P., & Elad, S. (2025). MASCC/ISOO Clinical Practice Statement: management of oral complications of immunotherapy. *Supportive Care in Cancer : Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, *33*(10). https://doi.org/10.1007/S00520-025-09806-X

Hong, C. H. L., Hu, S., Haverman, T., Stokman, M., Napeñas, J. J., Braber, J. B. den, Gerber, E., Geuke, M., Vardas, E., Waltimo, T., Jensen, S. B., & Saunders, D. P. (2018). A systematic review of dental disease management in cancer patients. *Supportive Care in Cancer : Official*

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer, *26*(1), 155–174. https://doi.org/10.1007/S00520-017-3829-Y

Hong, C., Jensen, S. B., Vissink, A., Bonomo, P., Santos-Silva, A. R., Gueiros, L. A., Epstein, J. B., & Elad, S. (2024). MASCC/ISOO Clinical Practice Statement: Management of salivary gland hypofunction and xerostomia in cancer patients. *Supportive Care in Cancer*, *32*(8), 548. https://doi.org/10.1007/S00520-024-08688-9

Jawad, H., Hodson, N. A., & Nixon, P. J. (2015). A review of dental treatment of head and neck cancer patients, before, during and after radiotherapy: part 1. *British Dental Journal*, *218*(2), 65–68. https://doi.org/10.1038/SJ.BDJ.2015.28

Jevon, P., Abdelrahman, A., & Pigadas, N. (2020). Management of odontogenic infections and sepsis: an update. *British Dental Journal*, *229*(6), 363. https://doi.org/10.1038/S41415-020-2114-5

Kamstra, J. I., van Leeuwen, M., Roodenburg, J. L. N., & Dijkstra, P. U. (2017). Exercise therapy for trismus secondary to head and neck cancer: A systematic review. *Head & Neck*, *39*(1), 160–169. https://doi.org/10.1002/HED.24366

Kumar, N. (2025). Updated guidelines on the oral and dental management of patients before, during and after cancer therapy. *Https://Doi.Org/10.1308/Rcsfdj.2026.5*, *17*(1), 7–7. https://doi.org/10.1308/RCSFDJ.2026.5

Lim, G. X. D., Al Sarraf, F., Cho, H., & Kumar, N. (2026). Platelet Levels Associated With Bleeding Risk for Dental Interventions: A Systematic Review. *Oral Diseases*, *32*(6), 1506–1517. https://doi.org/10.1111/ODI.70211

McGuire, D. B., Fulton, J. S., Park, J., Brown, C. G., Correa, M. E. P., Eilers, J., Elad, S., Gibson, F., Oberle-Edwards, L. K., Bowen, J., & Lalla, R. V. (2013). Systematic review of basic oral care for the management of oral mucositis in cancer patients. *Supportive Care in Cancer : Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, *21*(11), 3165–3177. https://doi.org/10.1007/S00520-013-1942-0

Mercadante, V., Jensen, S. B., Smith, D. K., Bohlke, K., Bauman, J., Brennan, M. T., Coppes, R. P., Jessen, N., Malhotra, N. K., Murphy, B., Rosenthal, D. I., Vissink, A., Wu, J., Saunders, D. P., & Peterson, D. E. (2021). Salivary Gland Hypofunction and/or Xerostomia

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Induced by Nonsurgical Cancer Therapies: ISOO/MASCC/ASCO Guideline. *Journal of Clinical Oncology : Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, *39*(25), 2825–2843. https://doi.org/10.1200/JCO.21.01208

Palmier, N. R., Migliorati, C. A., Prado-Ribeiro, A. C., de Oliveira, M. C. Q., Vechiato Filho, A. J., de Goes, M. F., Brandão, T. B., Lopes, M. A., & Santos-Silva, A. R. (2020). Radiation-related caries: current diagnostic, prognostic, and management paradigms. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, *130*(1), 52–62. https://doi.org/10.1016/J.OOOO.2020.04.003

PDQ Supportive and Palliative Care Editorial Board. (2002). Oral Complications of Cancer Therapies (PDQ®): Patient Version. *PDQ Cancer Information Summaries*. https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/side-effects/mouth-throat/oral-complications-pdq

Peterson, D. E., Boers-Doets, C. B., Bensadoun, R. J., & Herrstedt, J. (2015). Management of oral and gastrointestinal mucosal injury: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment, and follow-up. *Annals of Oncology : Official Journal of the European Society for Medical Oncology*, *26 Suppl 5*, v139–v151. https://doi.org/10.1093/ANNONC/MDV202

Peterson, D. E., Koyfman, S. A., Yarom, N., Lynggaard, C. D., Ismaila, N., Forner, L. E., Fuller, C. D., Mowery, Y. M., Murphy, B. A., Watson, E., Yang, D. H., Alajbeg, I., Bossi, P., Fritz, M., Futran, N. D., Gelblum, D. Y., King, E., Ruggiero, S., Smith, D. K., … Saunders, D. (2024). Prevention and Management of Osteoradionecrosis in Patients With Head and Neck Cancer Treated With Radiation Therapy: ISOO-MASCC-ASCO Guideline. *Journal of Clinical Oncology : Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, *42*(16), 1975–1996. https://doi.org/10.1200/JCO.23.02750

Raber-Durlacher, J. E., Zadik, Y., Treister, N. S., Stempler, N., Bruno, J. S., Epstein, J. B., & Elad, S. (2024). MASCC/ISOO clinical practice statement: Current understanding on controversies in basic oral care in hemato-oncology and hematopoietic cell transplantation. *Supportive Care in Cancer : Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, *32*(8). https://doi.org/10.1007/S00520-024-08690-1

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Smith, D. K., Villa, A., Koyfman, S. A., Yarom, N., Lynggaard, C. D., Ismaila, N., Forner, L. E., Fuller, C. D., Mowery, Y. M., Murphy, B. A., Watson, E., Yang, D. H., Alajbeg, I., Bossi, P., Fritz, M., Futran, N. D., Gelblum, D. Y., King, E., Ruggiero, S., … Saunders, D. (2025). The 2024 International Society of Oral Oncology-Multinational Association of Supportive Care in Cancer-American Society of Clinical Oncology guidelines for the prevention and management of osteoradionecrosis of the jaw: Summary and implications for dental team members. *Journal of the American Dental Association (1939)*, *156*(4), 268–276. https://doi.org/10.1016/J.ADAJ.2025.01.010

Taplitz, R. A., Kennedy, E. B., Bow, E. J., Crews, J., Gleason, C., Langston, A. A., Flowers, C. R., Hawley, D. K., Nastoupil, L. J., Rolston, K. V., Rajotte, M., & Strasfeld, L. (2018). Antimicrobial Prophylaxis for Adult Patients With Cancer-Related Immunosuppression: ASCO and IDSA Clinical Practice Guideline Update. *Journal of Clinical Oncology : Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, *36*(30), 3043–3054. https://doi.org/10.1200/JCO.18.00374

Villa, A., Epstein, J. B., Yarom, N., Hong, C., Fulop, C., Bossi, P., & Elad, S. (2024). MASCC/ISOO Clinical Practice Statement: Management of oral complications of targeted therapy. *Supportive Care in Cancer : Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, *32*(8). https://doi.org/10.1007/S00520-024-08689-8

Yong, C. W., Robinson, A., & Hong, C. (2022). Dental Evaluation Prior to Cancer Therapy. *Frontiers in Oral Health*, *3*. https://doi.org/10.3389/FROH.2022.876941

Zadik, Y., Arany, P. R., Fregnani, E. R., Bossi, P., Antunes, H. S., Bensadoun, R. J., Gueiros, L. A., Majorana, A., Nair, R. G., Ranna, V., Tissing, W. J. E., Vaddi, A., Lubart, R., Migliorati, C. A., Lalla, R. V., Cheng, K. K. F., & Elad, S. (2019). Systematic review of photobiomodulation for the management of oral mucositis in cancer patients and clinical practice guidelines. *Supportive Care in Cancer : Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, *27*(10), 3969–3983. https://doi.org/10.1007/S00520-019-04890-2

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

Zadik, Y., Raber-Durlacher, J. E., Epstein, J. B., Majorana, A., Miranda-Silva, W., Yang, S., Blijlevens, N., & Elad, S. (2025). MASCC/ISOO Clinical Practice Statement: dental evaluation and management prior to treatment for hematologic malignancies and CAR T-cell therapy. *Supportive Care in Cancer*, *33*(10), 853. https://doi.org/10.1007/S00520-025-09845-4

Zimmermann, C., Meurer, M. I., Grando, L. J., Gonzaga Del Moral, J. Â., Da Silva Rath, I. B., & Schaefer Tavares, S. (2015). Dental treatment in patients with leukemia. *Journal of Oncology*, *2015*. https://doi.org/10.1155/2015/571739

[1] Araştırma Görevlisi Uzman Diş Hekimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0009-0007-0114-577X
[2] Doçent Doktor, Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; ORCID: 0000-0002-8783-802X

BÖLÜM 4

BEYAZLATILMIŞ DENTİNDE ADEZİV BAĞLANMA STABİLİTESİ: ANTİOKSİDANLAR VE GÜNCEL KLİNİK YAKLAŞIMLAR

CANSU YILDIRIM[1]

Giriş

Estetik beklentilerin artmasıyla birlikte diş beyazlatma, günlük klinik uygulamada en sık başvurulan işlemlerden biri hâline gelmiştir (Moharam et al., 2022). Diş dokusunun korunmasına olanak tanıyan konservatif yapısı nedeniyle tercih edilen bu işlemde çoğunlukla hidrojen peroksit (HP) ve karbamid peroksit (KP) içeren ajanlar kullanılır. Bu ajanlar, diş dokusuna penetre olan reaktif oksijen türleri aracılığıyla renklenmeye neden olan kromojenik moleküllerin yapısını değiştirerek etki eder (Karadas & Demirbuga, 2019).

Beyazlatma tedavisi sonrasında restoratif işlem gereksinimi ortaya çıkabilir. Kompozit rezin restorasyonların yapılması, rezin simanlarla restorasyonların yapıştırılması veya mevcut restorasyonların yenilenmesi gibi işlemler, beyazlatmanın hemen ardından gündeme gelebilir (Mazaheri et al., 2011; Seto et al., 2022). Beyazlatma sonrasında diş dokusunda kalan artık oksidanların rezin polimerizasyonunu olumsuz etkileyerek adeziv bağlanma dayanımını azaltabildiği bildirilmiştir (Dishman et al., 1994). Dolayısıyla beyazlatma işlemi, estetik açıdan olumlu sonuçlar

[1]Arş. Gör., Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0000-0221-6997

sağlamasına rağmen, sonrasında uygulanacak rezin restorasyonların bağlanma performansı açısından bazı sorunlara yol açabilir. Bu sorunu önlemek amacıyla geleneksel olarak adeziv işlemlerin beyazlatmadan sonra belirli bir süre ertelenmesi önerilmektedir (Cavalli et al., 2001). Ancak hasta beklentileri, acil restoratif gereksinimler ve randevu planlamasına ilişkin nedenlerle bu bekleme süresi her zaman uygulanamayabilir. Bu durum, beyazlatma sonrasında adeziv bağlanmayı iyileştirmeye yönelik alternatif yöntemlere olan ilgiyi artırmıştır. Bu yöntemler arasında antioksidan uygulamaları öne çıkmaktadır. Sodyum askorbat bu alanda en sık araştırılan ajanlardan biri olmakla birlikte üzüm çekirdeği ve çam kabuğu özütleri, alfa-tokoferol, katalaz ve yeşil çay kateşinleri gibi farklı bileşikler de incelenmiştir (Feiz et al., 2017; Gelmini et al., 2021).

Yeşil çay kateşinleri ve proantosiyanidinler gibi polifenoller, antioksidan özelliklerinin yanı sıra dentin kollajeniyle etkileşimleri nedeniyle de ilgi çekmektedir. Bu bileşiklerin reaktif oksijen türlerini nötralize etme potansiyellerine ek olarak matriks metalloproteinazlarının (MMP) aktivitesini baskılayabildiği bildirilmiştir (Bagchi et al., 2000; El Baz & Aboulenien, 2018; Huang et al., 2019). Bu özellikler, polifenollerin beyazlatma sonrasındaki başlangıç bağlanma dayanımı ve rezin-dentin arayüzünün uzun dönem stabilitesi üzerindeki olası etkilerini araştırmaya değer kılmaktadır. Bununla birlikte, başlangıç bağlanma dayanımındaki artış ile arayüzün uzun dönem dayanıklılığının korunması farklı sonuçlar olduğundan, bu etkilerin birbirinden ayrı değerlendirilmesi gerekir.

Bu bölümde beyazlatmanın dentin ve adeziv bağlanma üzerindeki etkileri, bağlanma kaybının olası mekanizmaları ve bu kaybı azaltmak amacıyla araştırılan antioksidan yaklaşımlar ele alınmaktadır. Ayrıca adeziv sistem seçiminin rolü ve mevcut bulguların klinik uygulamaya aktarılmasındaki sınırlılıklar değerlendirilmektedir. Amaç, antioksidanları yalnızca tek tek

tanıtmak değil, bağlanma performansıyla ilişkili mekanizmaları ve bu alandaki bilimsel kanıtın sınırlarını ortaya koymaktır.

Beyazlatma Ajanlarının Etki Mekanizması

Karbamid peroksit, sulu ortamda hidrojen peroksit ve üreye ayrışır; beyazlatıcı etkiden esas olarak hidrojen peroksit sorumludur. Örneğin, %10'luk karbamid peroksit yaklaşık %3–3,5 oranında hidrojen peroksit açığa çıkarır. Hidrojen peroksit mine ve dentinden geçerek pulpa odasına ulaşabilir. Ortamın pH değerine bağlı olarak perhidroksil radikali, hidroksil radikali ve perhidroksil anyonu gibi reaktif türler oluşur. Bu türler, renklenmeden sorumlu organik moleküllerin yapısını değiştirerek daha küçük ve daha az renkli bileşiklerin oluşmasını sağlar (Arends et al., 1984; Dahl & Pallesen, 2003; Fasanaro, 1992).

Beyazlatma ajanları, genellikle yüksek konsantrasyonlu ve kısa süreli ofis tipi uygulamalar ile düşük konsantrasyonlu ve daha uzun süreli ev tipi uygulamalar şeklinde kullanılır (Barghi, 1998; Haywood & Heymann, 1989). Uygulama protokolündeki bu farklılıklar, beyazlatma sonrasında adeziv bağlanmada ortaya çıkabilecek değişikliklerin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Nitekim bir meta-analizde hem hidrojen peroksit hem de karbamid peroksit uygulamalarının adeziv bağlanmayı olumsuz etkileyebildiği bildirilmiştir (Savian et al., 2021). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda bağlanma dayanımındaki anlamlı azalmanın yalnızca yüksek konsantrasyonlu ofis tipi beyazlatma sonrasında görüldüğü, ev tipi uygulamalarda ise anlamlı bir değişiklik saptanmadığı belirtilmiştir (Patusco et al., 2009; Rahul et al., 2017). Bu farklılıklar, beyazlatma ajanının türü ve konsantrasyonunun yanı sıra uygulama süresi ve toplam maruziyetin de birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Beyazlatmanın Dentin Substratı Üzerindeki Etkileri

Mine yüksek oranda mineralize bir doku iken dentin; mineral fazın yanı sıra büyük ölçüde tip I kollajenden oluşan organik

matriks, su ve dentin tübüllerini içeren daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Faraoni-Romano et al., 2009; Klarić Sever et al., 2021). Bu yapısal farklılık, beyazlatma ajanlarının dentin üzerindeki etkilerinin yalnızca yüzey özellikleriyle sınırlı kalmayabileceğini düşündürmektedir. Dentin dokusunun organik ve inorganik bileşenlerinde meydana gelebilecek değişiklikler, adezivin dokuya infiltrasyonunu ve rezin-dentin arayüzünün oluşumunu etkileyebilir (Cavalli et al., 2004; Lewinstein et al., 2004; Wandera et al., 1994).

Beyazlatma sonrasında diş dokusunun mineral ve organik içeriğinde değişiklikler, yüzey morfolojisinde farklılaşmalar ve bazı deneysel koşullarda mikrosertlik değişimleri bildirilmiştir (Bitter, 1992; Sulieman et al., 2004). Bununla birlikte, bu bulgular kullanılan beyazlatma ajanına, konsantrasyona, uygulama süresine ve deneysel yönteme bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu nedenle tek bir çalışmada saptanan yapısal değişikliği tüm beyazlatma protokolleri için geçerli kabul etmek uygun değildir. Ayrıca, dentinde gözlenen yapısal değişiklikler ile adeziv bağlanma dayanımındaki azalma arasındaki ilişki her zaman doğrudan gösterilememektedir. Bu iki değişkenin ayrı ölçüldüğü çalışmalar, yapısal değişikliklerin bağlanma kaybına ne ölçüde katkıda bulunduğunu açıklamakta sınırlı kalabilir.

Beyazlatmanın Bağlanmaya Etkisi

Beyazlatma sonrasında adeziv bağlanma dayanımında görülen azalmanın başlıca açıklamalarından biri, dokuda kalan artık oksidanların rezin polimerizasyonunu olumsuz etkilemesidir. Adeziv sistemlerde polimer zincirlerinin oluşumu serbest radikal reaksiyonlarına dayanır. Ortamda bulunan oksijen ve diğer reaktif türler, polimerizasyon sırasında oluşan radikallerle etkileşerek zincir reaksiyonlarının ilerlemesini engelleyebilir. Bunun sonucunda polimerizasyon derecesi ve mekanik özellikleri yetersiz bir adeziv tabaka oluşabilir; bu durum dentin ile rezin arasındaki bağlanma

dayanımını düşürebilir (Barcellos et al., 2010; Halabi et al., 2020; Sasaki et al., 2009; Türkün & Kaya, 2004; Vidhya et al., 2011).

Bağlanmadaki olumsuzluk yalnızca polimerizasyonla sınırlı olmayabilir. Beyazlatma sonrasında uygulanan adezivin dentine yeterince infiltre olamaması, hibrit tabakanın oluşumunu ve rezin tagların gelişimini de etkileyebilir. Bu değişiklikler, rezin-dentin arayüzünün bütünlüğünü zayıflatarak mikrosızıntı riskini artırabilir ve restorasyonun uzun dönem performansını olumsuz etkileyebilir (Türkün & Kaya, 2004). Bununla birlikte, polimerizasyonun baskılanması ile arayüz oluşumundaki bozulma birbiriyle ilişkili olsa da aynı mekanizma değildir. Bu nedenle beyazlatma sonrasındaki bağlanma kaybını değerlendirirken hem adeziv tabakanın polimerizasyonunu hem de rezin-dentin arayüzünün oluşumunu dikkate almak gerekir.

Bekleme Süresi

Beyazlatma sonrasında azalan adeziv bağlanma dayanımının zamanla yeniden iyileşebilmesi, restoratif işlemler öncesinde belirli bir süre beklenmesini gündeme getirmiştir. Yapılan çalışmalarda, beyazlatma ile adeziv uygulama arasındaki sürenin uzamasıyla bağlanma dayanımındaki azalmanın hafifleyebildiği ve yaklaşık iki ila üç haftalık bekleme sonrasında beyazlatılmamış dişlerle karşılaştırıldığında anlamlı farklılıkların ortadan kalkabildiği bildirilmiştir (Cavalli et al., 2004; Unlu et al., 2008; van der Vyver et al., 1997). Bununla birlikte, bekleme süresine ilişkin bulguların tüm diş dokuları ve beyazlatma protokolleri için aynı şekilde yorumlanması uygun değildir. Özellikle dentin üzerinde gerçekleştirilen çalışmaların mineye kıyasla daha sınırlı olması, önerilen sürelerin dentin bağlanması açısından genellenmesini güçleştirmektedir (Alqahtani, 2014). Ayrıca beyazlatma ajanının türü ve konsantrasyonu, uygulama süresi, dişin vital veya devital olması ve kullanılan adeziv sistem gibi değişkenler, bağlanma dayanımının zaman içerisindeki değişimini etkileyebilir. Bu nedenle

klinik uygulamada sıklıkla önerilen iki haftalık bekleme süresi, her koşulda yeterli olduğu kanıtlanmış kesin bir sınırdan ziyade, mevcut araştırma bulgularına dayanan genel bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir. Restoratif işlemin ertelenemediği durumlarda ise antioksidan uygulamaları, bekleme süresine alternatif olabilecek yöntemler arasında araştırılmaktadır (Feiz et al., 2017).

Devital Dişlerde Beyazlatma

Devital dişlerde beyazlatma işlemi, beyazlatıcı ajanın pulpa odasına yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu uygulamada ajan doğrudan pulpa odası dentiniyle temas ettiğinden, işlem sonrasında yapılacak adeziv restorasyonların bağlanma performansı önem kazanmaktadır (Zimmerli et al., 2010). Nitekim intrakoronal beyazlatma sonrasında pulpa odası dentininde kalan oksidanların adeziv bağlanmayı olumsuz etkileyebildiği bildirilmiştir (Feiz et al., 2011; Karadas & Demirbuga, 2019).

Pulpa odası dentini, dentin tübüllerinin yoğunluğu ve çapı bakımından yüzeyel koronal dentinden farklı özellikler göstermektedir (Brajdić et al., 2008). Bu yapısal farklılıklar nedeniyle yüzeyel veya orta koronal dentin üzerinde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen bağlanma dayanımı sonuçlarının pulpa odası dentinine doğrudan genellenmesi uygun değildir. Dolayısıyla devital dişlerde beyazlatma sonrasında uygulanacak adeziv işlemler değerlendirilirken hem beyazlatma protokolünün hem de bağlanmanın gerçekleştirildiği dentin bölgesinin dikkate alınması gerekmektedir.

Antioksidanların Etki Mekanizmaları

Antioksidanlar, serbest radikalleri nötralize ederek veya radikal zincir reaksiyonlarını sınırlandırarak oksidatif süreçleri kontrol altında tutan bileşiklerdir (Lobo et al., 2010). Bu etki çoğunlukla reaktif türlere elektron veya hidrojen atomu aktarılmasıyla gerçekleşir. Elektron veren antioksidanın kendisi de radikal hâline gelebilmekle birlikte, oluşan ürün genellikle rezonans

yoluyla stabilize olduğundan daha düşük reaktivite gösterir ve zincir reaksiyonunun devam etmesini sınırlar (Patel et al., 2015; Qi et al., 2022).

Antioksidanların etkileri yalnızca doğrudan radikal nötralizasyonuyla sınırlı değildir. Radikal zincir reaksiyonlarının sonlandırılması, tekli oksijenin etkisizleştirilmesi, hidroperoksitlerin daha kararlı bileşiklere indirgenmesi, pro-oksidan enzimlerin baskılanması ve oksidatif reaksiyonları kolaylaştıran metal iyonlarının şelatlanması da tanımlanan mekanizmalar arasındadır. Bazı antioksidanlar ise birden fazla mekanizma üzerinden etki gösterebilir veya diğer antioksidanlarla birlikte sinerjik davranabilir (Chaudhary et al., 2023; Gulcin, 2025; Heim et al., 2002; Kostyuk & Potapovich, 2009; Min & Boff, 2002; Pokorný, 2007).

Beyazlatılmış dentinde antioksidan kullanımının araştırılmasının temel amacı, adeziv uygulama öncesinde oksidatif ortamın bağlanma üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaktır. Bununla birlikte, antioksidanların kimyasal yapıları ve etki mekanizmaları farklılık gösterdiğinden, tüm ajanların aynı koşullarda benzer sonuçlar vermesi beklenmemelidir. Bu nedenle beyazlatma sonrası bağlanma dayanımını iyileştirme potansiyelleri, her antioksidanın özellikleri ve uygulama koşulları çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Sodyum Askorbat

Sodyum askorbat (SA), beyazlatma sonrasında azalan adeziv bağlanma dayanımını iyileştirmek amacıyla en sık araştırılan antioksidanlardan biridir (Türkün et al., 2009; Zaki et al., 2023). Suda kolay çözünebilmesi, düşük maliyeti ve erişilebilirliği, bu ajanın uygulama açısından avantajları arasındadır. Bununla birlikte, sulu çözeltilerinin hava ve ışığa maruz kaldığında oksidasyona uğrayarak etkinliğini kaybedebilmesi, hazırlama ve saklama koşullarını önemli hâle getirmektedir. Bu nedenle uygulama

öncesinde taze hazırlanması önerilmektedir (Briso et al., 2014; Garcia et al., 2012; Wagner & Buettner, 2023).

Beyazlatılmış diş dokusunda gerçekleştirilen çalışmalarda, özellikle %10'luk sodyum askorbat çözeltisinin uygulanmasıyla bağlanma dayanımında anlamlı iyileşmeler elde edildiği bildirilmiştir (Anil et al., 2015; Bulut et al., 2006; Torres et al., 2006). Ancak bu olumlu sonuçlar, uygulamanın diğer etkilerinden bağımsız değerlendirilmemelidir. Nitekim beyazlatma sonrasında sodyum askorbat kullanımının, bağlanma dayanımının yanı sıra beyazlatmayla elde edilen renk değişimini de etkileyebildiği belirtilmiştir (Mena-Serrano et al., 2023).

Sodyum askorbatın etkinliği değerlendirilirken çözeltinin konsantrasyonu ve uygulama süresinin yanı sıra, işlem sonrasında dentin yüzeyinde kalabilecek artıkların adeziv uygulamaya olası etkileri de dikkate alınmalıdır. Yüzeyde kalan kalıntılar, adezivin yüzeyi ıslatmasını, dentine infiltrasyonunu veya polimerizasyonunu etkileyebilir. Bu nedenle sodyum askorbat uygulamasının sonuçları yalnızca antioksidan özelliği üzerinden değil, kullanılan protokolün bütünü içerisinde değerlendirilmelidir (Hansen et al., 2014).

Diğer Antioksidanlar

Sodyum askorbat dışında, beyazlatma sonrasında adeziv bağlanmayı iyileştirmek amacıyla farklı kimyasal özelliklere sahip antioksidanlar da araştırılmıştır. Bunlar arasında alfa-tokoferol ve katalaz, etki biçimleri bakımından birbirinden ayrılmaktadır (Rotstein, 1993; Traber & Atkinson, 2007). Yağda çözünen bir vitamin olan alfa-tokoferolün, bazı çalışmalarda azalan bağlanma dayanımını sodyum askorbata benzer düzeyde iyileştirebildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte etkinliği, uygulama süresi ve kullanılan çözücüye bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca hidrofobik yapısı nedeniyle dentin yüzeyinde bırakabileceği film tabakasının adezivin yüzeyi ıslatmasını olumsuz etkileme olasılığı bulunmaktadır (Harrison et al., 2019; Srivastava & Yeluri, 2021).

Katalaz ise hidrojen peroksitin su ve oksijene ayrışmasını katalizleyen bir enzimdir. Düşük konsantrasyonlarda ve kısa uygulama sürelerinde etkili olabilmesi, beyazlatma sonrası kullanım açısından dikkat çekmektedir (Guasso et al., 2016; Kum et al., 2004; Salome et al., 2012). Ancak enzim aktivitesinin sıcaklık, pH ve metal iyonları gibi çevresel koşullardan etkilenmesi, sınırlı raf ömrü ve maliyeti, klinik kullanımının önündeki başlıca güçlüklerdir (Czechowska et al., 2018; Hromic-Jahjefendic, 2022).

Bitkisel kaynaklı antioksidanlar arasında ise polifenoller, dentin kollajeniyle etkileşim gösterebilme potansiyelleri nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir (Suneetha et al., 2014). Üzüm çekirdeği ve çam kabuğu özütleri, başlıca proantosiyanidin içerikleriyle öne çıkmaktadır. Bu bileşiklerin yapısındaki çok sayıda hidroksil grubu, serbest radikallerin stabilize edilmesinde rol oynarken çam kabuğu özütündeki bileşenlerin metal iyonlarını şelatlama özelliği de antioksidan etkinliğe katkıda bulunabilir (Jayaprakasha et al., 2003; Rice-Evans et al., 1996).

Kızılcık ekstraktında bulunan A-tipi proantosiyanidinlerin ise matriks metalloproteinaz (MMP) aktivitesini baskılayarak dentin kollajeninin korunmasına katkı sağlayabileceği ileri sürülmüştür (La et al., 2009).

Yeşil çayın önemli kateşinlerinden biri olan epigallokateşin-3-gallat (EGCG), serbest radikallere karşı antioksidan etkinliğinin yanı sıra MMP inhibisyonuyla da araştırılmıştır (El Baz & Aboulenien, 2018; Huang et al., 2019; Sun & Ho, 2001). Bu özellikleri, EGCG'nin yalnızca beyazlatma sonrasında başlangıç bağlanma dayanımını iyileştirme potansiyeli açısından değil, rezin-dentin arayüzünün zaman içerisindeki dayanıklılığı bakımından da değerlendirilmesine neden olmuştur. Beyazlatılmış dokuya uygulandığında bağlanma dayanımını artırdığı çeşitli in vitro çalışmalarda bildirilmiştir (Khamverdi et al., 2015) (Nallagatla et al., 2025).

Bu ajanların yanı sıra aloe vera, nar kabuğu özütü, resveratrol, biberiye, likopen ve propolis gibi doğal bileşikler de araştırılmıştır. Resveratrol ve propolisin hibrit tabakadaki kollajenin korunmasına katkı sağlayabileceği, aloe vera, nar kabuğu özütü ve biberiye uygulamalarının ise bazı deneysel koşullarda bağlanma dayanımını iyileştirebildiği bildirilmiştir. Likopenin bu alandaki etkilerine ilişkin araştırmalar ise daha sınırlıdır (Arslan et al., 2023; Arumugam et al., 2014; Cengiz-Yanardag & Karakaya, 2024; Gündoğdu & Yılmaz, 2020; Sharafeddin & Farshad, 2015; Suratno et al., 2021).

Doğal antioksidanlara ilişkin bulgular umut verici olmakla birlikte, mevcut kanıtların büyük bölümü laboratuvar çalışmalarına dayanmaktadır. Özütlerin hazırlanma yöntemlerindeki farklılıklar, içeriklerinin standardizasyonundaki güçlükler ve doğal pigmentlere bağlı renklenme olasılığı, bu ajanların klinik uygulamaya aktarılmasında dikkate alınması gereken sınırlılıklardır (Rodríguez-Barragué et al., 2021; Suneetha et al., 2014).

Klinik Aktarımı Sınırlayan Etkenler

Beyazlatma sonrasında antioksidan uygulamalarının adeziv bağlanma dayanımını iyileştirebildiği bildirilmekle birlikte, araştırmalar arasındaki yöntemsel farklılıklar sonuçların klinik uygulamaya aktarılmasını güçleştirmektedir. Antioksidan türü, konsantrasyonu, uygulama süresi ve kullanılan adeziv sistem gibi değişkenler, elde edilen sonuçları etkileyebilmektedir (Feiz et al., 2017; Olmedo et al., 2021).

Mevcut kanıtların büyük ölçüde in vitro çalışmalara dayanması da önemli bir sınırlılıktır. Rodríguez-Barragué ve ark. (2021) doğal antioksidanların beyazlatılmış minede başlangıç bağlanma dayanımını iyileştirebildiğini, ancak çalışmaların yanlılık riski taşıdığını bildirilmiştir. Ayrıca mine ve dentinin farklı yapısal özellikleri nedeniyle, mine üzerinde elde edilen sonuçların dentine doğrudan genellenmesi uygun değildir. Bu nedenle antioksidanların

rutin klinik kullanımının önerilebilmesi için standart uygulama protokollerine ve uzun dönem klinik çalışmalara ihtiyaç vardır (Rodríguez-Barragué et al., 2021).

Uygulama Süresi ve Çözücünün Rolü

Antioksidanların beyazlatma sonrası bağlanma dayanımı üzerindeki etkileri, uygulama süresine bağlı olarak değişebilmektedir. Sodyum askorbatla gerçekleştirilen çalışmalarda farklı temas süreleriyle olumlu sonuçlar elde edilmiş olsa da etkin sürenin kullanılan beyazlatma protokolüne göre değişebildiği bildirilmiştir (Karadas & Demirbuga, 2019; Olmedo et al., 2021). Bu nedenle tüm antioksidanlar için geçerli tek bir uygulama süresi belirlemek mümkün değildir.

Çözücü seçimi ise özellikle polifenolik bileşiklerin dentin yüzeyine uygulanmasında önem taşımaktadır. Dimetil sülfoksit (DMSO), dentin-adeziv arayüzünün özelliklerini değiştirebilmesi nedeniyle araştırılmıştır (Mehtälä et al., 2017; Stape et al., 2015; Stape et al., 2016). EGCG'nin DMSO ile uygulanmasının, beyazlatılmamış dentinde bağlanma stabilitesini iyileştirebildiği bildirilmiştir (Zhang et al., 2020). Bununla birlikte, beyazlatılmış dentinde EGCG ve sodyum askorbatın distile su veya DMSO içerisinde uygulanmasını karşılaştıran bir çalışmada, çözücü türünün bağlanma dayanımı, polimerizasyon derecesi ve nanosızıntı üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır (Yıldırım & Karadas, 2026). Bu bulgular, çözücü kullanımının olası avantajlarının dentin substratı ve uygulama koşulları çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Adeziv Sistemler: Etch-and-Rinse, Self-Etch ve Universal Yaklaşımlar

Adeziv sistemlerin dentinle etkileşimi, uygulanan bağlanma stratejisine göre farklılık göstermektedir. Etch-and-rinse (E&R) yaklaşımında fosforik asit uygulamasıyla smear tabakası uzaklaştırılır ve demineralize dentin yüzeyindeki kollajen ağı açığa

çıkarılır. Self-etch (SE) yaklaşımında ise asidik fonksiyonel monomerler, demineralizasyon ve rezin infiltrasyonunu eş zamanlı olarak gerçekleştirir. Her iki modda da kullanılabilen universal adezivlerin bağlanma performansı, materyalin bileşimine ve uygulama stratejisine bağlı olarak değişebilmektedir (Cuevas-Suárez et al., 2019).

Universal adezivlerin değerlendirildiği sistematik derleme ve meta-analizlerde, dentinde E&R uygulamasının SE moduna göre her zaman daha yüksek bağlanma dayanımı sağlamadığı bildirilmiştir (Chen et al., 2022; Rosa et al., 2015). Bununla birlikte, beyazlatılmış dentinde antioksidan uygulaması ile adeziv strateji arasında etkileşim görülebilmektedir. Güncel bir çalışmada antioksidan uygulanan gruplarda E&R modunun SE moduna kıyasla daha yüksek bağlanma dayanımı sağladığı bildirilmiştir (Yıldırım & Karadas, 2026). Bu nedenle beyazlatma sonrası antioksidanların etkinliği değerlendirilirken kullanılan adeziv sistem ve uygulama modu birlikte dikkate alınmalıdır.

Hibrit Tabaka, Kollajen Matriksi ve Arayüz Stabilitesi

Hibrit tabaka, adeziv rezinin demineralize dentin matriksine infiltrasyonu sonucunda oluşur ve rezin-dentin bağlantısının temelini oluşturur. Bu yapının uzun dönem stabilitesi hem polimerize rezinin hem de kollajen matriksinin bütünlüğünün korunmasına bağlıdır. Zaman içerisinde su emilimi ve hidroliz nedeniyle rezin bileşenlerde bozulma meydana gelebilirken, yeterince rezinle infiltre olmamış kollajen fibrilleri matriks metalloproteinazlar (MMP) ve sistein katepsinler tarafından yıkıma uğrayabilir (Tjäderhane et al., 2013a; Tjäderhane et al., 2013b).

Rezin-dentin arayüzünün dayanıklılığını artırmak amacıyla klorheksidin gibi proteaz inhibitörleri, proantosiyanidinler ve karbodiimit gibi kollajen çapraz bağlayıcı ajanlar ile etanol ıslak bağlama tekniği araştırılmıştır (Liu et al., 2011; Tjäderhane et al., 2013b). Kollajen çapraz bağlayıcıların değerlendirildiği bir

sistematik derleme ve meta-analizde, EGCG ve karbodiimit gibi ajanların belirli uygulama koşullarında yaşlandırma sonrası bağlanma dayanımını iyileştirebildiği bildirilmiştir (Hardan et al., 2022).

Bununla birlikte, bu yaklaşımlara ilişkin bulguların önemli bir bölümü beyazlatılmamış dentinden elde edilmiştir. Kollajen matriksinin korunması ile beyazlatma sonrasında rezin polimerizasyonunun iyileştirilmesi farklı süreçler olduğundan, antioksidanların uzun dönem bağlanma stabilitesine katkısı yalnızca başlangıç bağlanma dayanımı üzerinden değerlendirilmemelidir.

Yaşlandırma ve Bağlanma Dayanıklılığı

Adeziv bağlanmanın uzun dönem dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla laboratuvar çalışmalarında su depolama, termal döngü ve mekanik yükleme gibi yapay yaşlandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Su depolama, rezin-dentin arayüzünün nemli ortamda zamanla uğradığı değişimleri incelemeye olanak tanırken termal döngü, sıcaklık değişimlerinin oluşturduğu genleşme ve büzülme gerilimlerini taklit etmeyi amaçlar. Mekanik yükleme ise tekrarlayan kuvvetlerin bağlanma arayüzü üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılır. Bununla birlikte, bu yöntemlerin hiçbiri ağız ortamındaki koşulları tek başına bütünüyle yansıtamamaktadır (De Munck et al., 2005).

Başlangıçta yüksek bağlanma dayanımı elde edilmesi, bu dayanımın uzun dönemde korunacağını garanti etmemektedir. Bu nedenle yaşlandırma sonrasında bağlanma dayanımının yeniden ölçülmesi, adeziv arayüzün stabilitesinin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır (Breschi et al., 2008). Ayrıca nanosızıntı ve polimerizasyon derecesi gibi tamamlayıcı analizler, bağlanma dayanımındaki değişikliklerin yorumlanmasına katkı sağlayabilir. Beyazlatılmış dentinde antioksidanların etkinliği değerlendirilirken de yalnızca başlangıç sonuçlarının değil, yaşlandırma sonrasındaki bağlanma performansının dikkate alınması gerekmektedir.

Gelecek Araştırmalar

Beyazlatılmış dentinde antioksidan uygulamalarına yönelik gelecekteki araştırmaların, başlangıç bağlanma dayanımının ötesinde uzun dönem adeziv stabiliteye odaklanması önem taşımaktadır. Bu kapsamda yaşlandırma sonrası bağlanma dayanımı, polimerizasyon derecesi ve nanosızıntı gibi parametrelerin birlikte değerlendirilmesi, antioksidanların bağlanma arayüzü üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı anlaşılmasını sağlayabilir.

Ayrıca antioksidan konsantrasyonu, uygulama süresi, çözücü türü ve adeziv stratejinin kontrollü deney tasarımlarıyla karşılaştırılması, etkin uygulama protokollerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Özellikle dentin dokusuna odaklanan çalışmaların artırılması ve laboratuvar bulgularının uzun dönem klinik araştırmalarla desteklenmesi, bu yaklaşımların klinik kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi açısından gereklidir.

Sonuç

Diş beyazlatma işlemleri, dentinde adeziv bağlanma dayanımını olumsuz etkileyebilmekte ve restoratif işlemlerin zamanlamasını önemli hâle getirmektedir. Beyazlatma sonrasında belirli bir süre beklenmesi, bağlanma dayanımının yeniden kazanılmasında etkili bir yaklaşım olmakla birlikte, restorasyonun ertelenemediği durumlarda antioksidan uygulamaları alternatif bir seçenek olarak araştırılmaktadır.

Sodyum askorbat başta olmak üzere çeşitli antioksidanların bağlanma dayanımını iyileştirebildiği gösterilmiştir. Özellikle EGCG gibi polifenolik bileşikler, antioksidan özelliklerinin yanı sıra dentin kollajenini koruma potansiyelleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, başlangıç bağlanma dayanımındaki iyileşmenin uzun dönem adeziv stabiliteye katkısı henüz yeterince açıklığa kavuşmamıştır. Mevcut bulgular, antioksidanların beyazlatılmış dentinde umut verici bir yaklaşım olduğunu

göstermekle birlikte, rutin klinik kullanımları için daha kapsamlı deneysel ve klinik kanıtlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynakça

Alqahtani, M. Q. (2014). Tooth-bleaching procedures and their controversial effects: A literature review. *Saudi Dent J*, *26*(2), 33-46. https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2014.02.002

Anil, M., Ponnappa, K. C., Nitin, M., Ramesh, S., Sharanappa, K., & Nishant, A. (2015). Effect of 10% Sodium Ascorbate on Shear Bond Strength of Bleached Teeth - An in-vitro Study. *J Clin Diagn Res*, *9*(7), Zc31-33. https://doi.org/10.7860/jcdr/2015/12303.6194

Arends, J., Jongebloed, W. L., Goldberg, M., & Schuthof, J. (1984). Interaction of urea and human enamel. *Caries Res*, *18*(1), 17-24. https://doi.org/10.1159/000260742

Arslan, S., Balkaya, H., Durukan, S. M., & Silici, S. (2023). The effect of propolis on the bond strength of composite resin to enamel after intracoronal bleaching with different bleaching agents. *Aust Endod J*, *49 Suppl 1*, 366-373. https://doi.org/10.1111/aej.12750

Arumugam, M., Nesamani, R., Kittappa, K., Sanjeev, K., & Sekar, M. (2014). Effect of various antioxidants on the shear bond strength of composite resin to bleached enamel: An in vitro study [Article]. *Journal of Conservative Dentistry*, *17*(1), 22-26. https://doi.org/10.4103/0972-0707.124113

Bagchi, D., Bagchi, M., Stohs, S. J., Das, D. K., Ray, S. D., Kuszynski, C. A., Joshi, S. S., & Pruess, H. G. (2000). Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: importance in human health and disease prevention. *Toxicology*, *148*(2-3), 187-197. https://doi.org/10.1016/s0300-483x(00)00210-9

Barcellos, D. C., Benetti, P., Fernandes, V. V., Jr., & Valera, M. C. (2010). Effect of carbamide peroxide bleaching gel concentration on the bond strength of dental substrates and resin composite. *Oper Dent*, *35*(4), 463-469. https://doi.org/10.2341/09-242-l

Barghi, N. (1998). Making a clinical decision for vital tooth bleaching: at-home or in-office? *Compend Contin Educ Dent*, *19*(8), 831-838; quiz 840.

Bitter, N. C. (1992). A scanning electron microscopy study of the effect of bleaching agents on enamel: a preliminary report. *J Prosthet Dent*, *67*(6), 852-855. https://doi.org/10.1016/0022-3913(92)90600-f

Brajdić, D., Krznarić, O. M., Azinović, Z., Macan, D., & Baranović, M. (2008). Biological bases of dentin hybridization. *Coll Antropol*, *32*(3), 901-906.

Breschi, L., Mazzoni, A., Ruggeri, A., Cadenaro, M., Di Lenarda, R., & De Stefano Dorigo, E. (2008). Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater*, *24*(1), 90-101. https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.02.009

Briso, A., Rahal, V., Sundfeld, R., Santos, P. d., & Alexandre, R. (2014). Effect of Sodium Ascorbate on Dentin Bonding After Two Bleaching Techniques. *Operative Dentistry*, *39*(2), 195-203. https://doi.org/10.2341/12-054-l

Bulut, H., Turkun, M., & Kaya, A. D. (2006). Effect of an antioxidizing agent on the shear bond strength of brackets bonded to bleached human enamel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, *129*(2), 266-272. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.03.043

Cavalli, V., Giannini, M., & Carvalho, R. M. (2004). Effect of carbamide peroxide bleaching agents on tensile strength of human enamel. *Dent Mater*, *20*(8), 733-739. https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.10.007

Cavalli, V., Reis, A. F., Giannini, M., & Ambrosano, G. M. (2001). The effect of elapsed time following bleaching on enamel bond strength of resin composite. *Oper Dent*, *26*(6), 597-602.

Cengiz-Yanardag, E., & Karakaya, I. (2024). The effect of resveratrol application on the micro-shear bond strength of adhesive to bleached enamel. *Scientific Reports*, *14*(1), 24201. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75024-w

Chaudhary, P., Janmeda, P., Docea, A. O., Yeskaliyeva, B., Abdull Razis, A. F., Modu, B., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2023). Oxidative stress, free radicals and antioxidants: potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases [Review]. *Frontiers in Chemistry*, *Volume 11 - 2023*. https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1158198

Chen, H., Feng, S., Jin, Y., Hou, Y., & Zhu, S. (2022). Comparison of bond strength of universal adhesives using different etching modes: A systematic review and meta-analysis. *Dent Mater J*, *41*(1), 1-10. https://doi.org/10.4012/dmj.2021-111

Cuevas-Suárez, C. E., da Rosa, W. L. O., Lund, R. G., da Silva, A. F., & Piva, E. (2019). Bonding Performance of Universal Adhesives: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *J Adhes Dent*, *21*(1), 7-26. https://doi.org/10.3290/j.jad.a41975

Czechowska, E., Ranoszek-Soliwoda, K., Tomaszewska, E., Pudlarz, A., Celichowski, G., Gralak, D., Szemraj, J., & Grobelny, J. (2018). Comparison of the antioxidant activity of catalase immobilized on gold nanoparticles via specific and non-specific adsorption. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *171*. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.07.036

Dahl, J. E., & Pallesen, U. (2003). Tooth bleaching--a critical review of the biological aspects. *Crit Rev Oral Biol Med*, *14*(4), 292-304. https://doi.org/10.1177/154411130301400406

De Munck, J., Van Landuyt, K., Peumans, M., Poitevin, A., Lambrechts, P., Braem, M., & Van Meerbeek, B. (2005). A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res*, *84*(2), 118-132. https://doi.org/10.1177/154405910508400204

Dishman, M. V., Covey, D. A., & Baughan, L. W. (1994). The effects of peroxide bleaching on composite to enamel bond strength. *Dent Mater*, *10*(1), 33-36. https://doi.org/10.1016/0109-5641(94)90019-1

El Baz, M. A., & Aboulenien, K. (2018). THE EFFECT OF GREEN TEA EXTRACT AS A MATRIX METALLOPROTEINASE INHIBITOR ON THE BOND STRENGTH OF RESIN COMPOSITE. *Egyptian Dental Journal*, *64*(Issue 3 - July (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics)), 2807-2817. https://doi.org/10.21608/edj.2018.78470

Faraoni-Romano, J. J., Turssi, C. P., & Serra, M. C. (2009). Effect of a 10% carbamide peroxide on wear resistance of enamel

and dentine: in situ study. *J Dent*, *37*(4), 273-278. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2008.12.001

Fasanaro, T. S. (1992). Bleaching teeth: history, chemicals, and methods used for common tooth discolorations. *J Esthet Dent*, *4*(3), 71-78. https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.1992.tb00666.x

Feiz, A., Khoroushi, M., & Gheisarifar, M. (2011). Bond strength of composite resin to bleached dentin: effect of using antioxidant versus buffering agent. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, *8*(2), 60.

Feiz, A., Mosleh, H., & Nazeri, R. (2017). Evaluating the effect of antioxidant agents on shear bond strength of tooth-colored restorative materials after bleaching: A systematic review. *J Mech Behav Biomed Mater*, *71*, 156-164. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.03.010

Garcia, E. J., Oldoni, T. L., Alencar, S. M., Reis, A., Loguercio, A. D., & Grande, R. H. (2012). Antioxidant activity by DPPH assay of potential solutions to be applied on bleached teeth. *Braz Dent J*, *23*(1), 22-27. https://doi.org/10.1590/s0103-64402012000100004

Gelmini, J., Rodríguez, J., Borghini, I., Gómez, M., & Piva, E. (2021). Shear bond strength of an experimental adhesive containing grape seed extract to human enamel immediately after bleaching. *Publicación semestral*, *9*, 33-41.

Guasso, B., Salomone, P., Nascimento, P. C., & Pozzobon, R. T. (2016). Release time of residual oxygen after dental bleaching with 35% hydrogen peroxide: effect of a catalase-based neutralizing agent. *Gen Dent*, *64*(3), 56-59.

Gulcin, İ. (2025). Antioxidants: a comprehensive review. *Archives of Toxicology*, *99*(5), 1893-1997. https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2

Gündoğdu, S., & Yılmaz, N. A. (2020). The Antioxidant Effect of Green Tea, Rosemary, and Their Combination on Resin Bond Strength to Bleach Tooth Structures. *Meandros Medical And Dental Journal*, *21*(3), 204-214. https://doi.org/10.4274/meandros.galenos.2020.94914

Halabi, S., Matsui, N., Nikaido, T., Abdo, A., Burrow, M. F., & Tagami, J. (2020). Effect of two bleaching regimens on

enamel bonding performance. *Dent Mater J*, *39*(6), 984-991. https://doi.org/10.4012/dmj.2019-239

Hansen, J. R., Frick, K. J., & Walker, M. P. (2014). Effect of 35% sodium ascorbate treatment on microtensile bond strength after nonvital bleaching. *J Endod*, *40*(10), 1668-1670. https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.06.001

Hardan, L., Daood, U., Bourgi, R., Cuevas-Suárez, C. E., Devoto, W., Zarow, M., Jakubowicz, N., Zamarripa-Calderón, J. E., Radwanski, M., Orsini, G., & Lukomska-Szymanska, M. (2022). Effect of Collagen Crosslinkers on Dentin Bond Strength of Adhesive Systems: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cells*, *11*(15). https://doi.org/10.3390/cells11152417

Harrison, M. S., Wang, Y., Frick, K. J., Moniz, J., & Walker, M. P. (2019). Effects of Alpha-tocopherol Antioxidant on Dentin-composite Microtensile Bond Strength after Sodium Perborate Bleaching. *J Endod*, *45*(8), 1053-1059. https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.04.013

Haywood, V. B., & Heymann, H. O. (1989). Nightguard vital bleaching. *Quintessence Int*, *20*(3), 173-176.

Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., & Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J Nutr Biochem*, *13*(10), 572-584. https://doi.org/10.1016/s0955-2863(02)00208-5

Hromic-Jahjefendic, A. (2022). Testing temperature and pH stability of the catalase enzyme in the presence of inhibitors. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, *10*(2), 18-29.

Huang, A., Honda, Y., Li, P., Tanaka, T., & Baba, S. (2019). Integration of Epigallocatechin Gallate in Gelatin Sponges Attenuates Matrix Metalloproteinase-Dependent Degradation and Increases Bone Formation. *Int J Mol Sci*, *20*(23). https://doi.org/10.3390/ijms20236042

Jayaprakasha, G. K., Selvi, T., & Sakariah, K. K. (2003). Antibacterial and antioxidant activities of grape (Vitis vinifera) seed extracts. *Food Research International*, *36*(2), 117-122. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00116-3

Karadas, M., & Demirbuga, S. (2019). Influence of a short-time antioxidant application on the dentin bond strength after intracoronal bleaching. *Microsc Res Tech*, *82*(10), 1720-1727. https://doi.org/10.1002/jemt.23337

Khamverdi, Z., Rezaei-Soufi, L., & Rostamzadeh, T. (2015). The Effect of Epigallocatechin Gallate on the Dentin Bond Durability of Two Self-etch Adhesives. *J Dent (Shiraz)*, *16*(2), 68-74.

Klarić Sever, E., Tarle, A., Soče, M., & Grego, T. (2021). Direct Radiotherapy-Induced Effects on Dental Hard Tissue in Combination With Bleaching Procedure [Original Research]. *Frontiers in Dental Medicine*, *Volume 2 - 2021*. https://doi.org/10.3389/fdmed.2021.714400

Kostyuk, V. A., & Potapovich, A. I. (2009). Mechanisms of the suppression of free radical overproduction by antioxidants. *Front Biosci (Elite Ed)*, *1*(1), 179-188. https://doi.org/10.2741/e17

Kum, K. Y., Lim, K. R., Lee, C. Y., Park, K. H., Safavi, K. E., Fouad, A. F., & Spångberg, L. S. (2004). Effects of removing residual peroxide and other oxygen radicals on the shear bond strength and failure modes at resin-tooth interface after tooth bleaching. *Am J Dent*, *17*(4), 267-270.

La, V., Howell, A., & Grenier, D. (2009). Cranberry proanthocyanidins inhibit MMP production and activity. *Journal of dental research*, *88*(7), 627-632.

Lewinstein, I., Fuhrer, N., Churaru, N., & Cardash, H. (2004). Effect of different peroxide bleaching regimens and subsequent fluoridation on the hardness of human enamel and dentin. *J Prosthet Dent*, *92*(4), 337-342. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.07.019

Liu, Y., Tjäderhane, L., Breschi, L., Mazzoni, A., Li, N., Mao, J., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2011). Limitations in bonding to dentin and experimental strategies to prevent bond degradation. *J Dent Res*, *90*(8), 953-968. https://doi.org/10.1177/0022034510391799

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health.

Pharmacogn Rev, *4*(8), 118-126. https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902

Mazaheri, H., Khoroushi, M., Shafiei, E., Ghorbanipour, R., & Majdzade, F. (2011). Bond strength of composite-resin and resin-modified glass ionomer to bleached enamel: delay bonding versus an antioxidant agent. *Indian J Dent Res*, *22*(3), 432-435. https://doi.org/10.4103/0970-9290.87066

Mehtälä, P., Pashley, D. H., & Tjäderhane, L. (2017). Effect of dimethyl sulfoxide on dentin collagen. *Dent Mater*, *33*(8), 915-922. https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.04.018

Mena-Serrano, A., Granda-Albuja, M. G., Naranjo, J., Fierro, E. A., Favoreto, M. W., Loguercio, A. D., & Reis, A. (2023). Effects of the application of sodium ascorbate after in-office bleaching on the penetration of hydrogen peroxide, color change, and microtensile bond strength. *Braz Dent J*, *34*(5), 87-94. https://doi.org/10.1590/0103-6440202305214

Min, D. B., & Boff, J. M. (2002). Chemistry and Reaction of Singlet Oxygen in Foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, *1*(2), 58-72. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00007.x

Moharam, L. M., Salem, H. N., & Hassan, S. N. (2022). Effect of açai berry extract application on the bond strength to the bleached enamel using an experimental etch-and-rinse adhesive. *J Clin Exp Dent*, *14*(12), e1015-e1023. https://doi.org/10.4317/jced.59758

Nallagatla, V. K., Vijayakumar, M. D., Kumar, C. S., Kumar, S. S., Chandrababu, K. S., & Bharathisuma, R. (2025). Restoring the bond strength of composite resin to bleached enamel with Epigallocatechin-3-gallate, Hypericin, and Resveratrol. *Journal of Dental Materials and Techniques*, 174-179.

Olmedo, D., Kury, M., Resende, B. A., & Cavalli, V. (2021). Use of antioxidants to restore bond strength after tooth bleaching with peroxides. *Eur J Oral Sci*, *129*(2), e12773. https://doi.org/10.1111/eos.12773

Patel, S., Hans, M. K., Chander, S., & Ahluwalia, A. S. (2015). Antioxidants in Endodontics: A Strategic Review. *J Clin Diagn Res*, *9*(5), Ze12-15. https://doi.org/10.7860/jcdr/2015/12903.5944

Patusco, V. C., Montenegro, G., Lenza, M. A., & Alves de Carvalho, A. (2009). Bond Strength of Metallic Brackets After Dental Bleaching. *The Angle Orthodontist*, *79*(1), 122-126. https://doi.org/10.2319/072507-345.1

Pokorný, J. (2007). Are natural antioxidants better – and safer – than synthetic antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology*, *109*(6), 629-642. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ejlt.200700064

Qi, F., Huang, H., Wang, M., Rong, W., & Wang, J. (2022). Applications of Antioxidants in Dental Procedures. *Antioxidants*, *11*(12), 2492. https://www.mdpi.com/2076-3921/11/12/2492

Rahul, M., Anil Kumar, P., Nair, A., Mathew, S., Amaladas, A., & Ommen, A. (2017). Effects of At-home and In-office Bleaching Agents on the Shear Bond Strength of Metal, Ceramic, and Composite Brackets to Enamel. *Indian Journal of Dental Research*, *28*(5), 566-573. https://doi.org/10.4103/ijdr.IJDR_13_17

Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic Biol Med*, *20*(7), 933-956. https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9

Rodríguez-Barragué, J., Vola-Gelmini, J., Skuras-Siedemburg, M., Rivera-Gonzaga, J. A., & Cuevas-Suarez, C. E. (2021). Natural antioxidants to restore immediate bond strength to bleached enamel: Systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Esthet Restor Dent*, *33*(5), 702-712. https://doi.org/10.1111/jerd.12743

Rosa, W. L., Piva, E., & Silva, A. F. (2015). Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*, *43*(7), 765-776. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.04.003

Rotstein, I. (1993). Role of catalase in the elimination of residual hydrogen peroxide following tooth bleaching. *J Endod*, *19*(11), 567-569. https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)81288-4

Salome, P., Bueno, R. P., Nascimento, P. C., & Pozzobon, R. T. (2012). Residual oxygen releasing time from dental structure

after carbamide peroxide exposure: study of the effects of a neutralizer gel. *Gen Dent*, *60*(2), 147-150.

Sasaki, R. T., Flório, F. M., & Basting, R. T. (2009). Effect of 10% sodium ascorbate and 10% alpha-tocopherol in different formulations on the shear bond strength of enamel and dentin submitted to a home-use bleaching treatment. *Oper Dent*, *34*(6), 746-752.

Savian, T., Oling, J., Soares, F., & Rocha, R. (2021). Vital Bleaching Influences the Bond Strength of Adhesive Systems to Enamel and Dentin: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. *Operative Dentistry*, *46*(2), E80-E97. https://doi.org/10.2341/20-035-lit

Seto, T. H., Grymak, A., Mudliar, V., & Choi, J. J. E. (2022). Effect of Enamel Bleaching on the Bond Strength of Ceramic—A Systematic Review. *Oral*, *2*(2), 182-197. https://www.mdpi.com/2673-6373/2/2/18

Sharafeddin, F., & Farshad, F. (2015). The Effect of Aloe Vera, Pomegranate Peel, Grape Seed Extract, Green Tea, and Sodium Ascorbate as Antioxidants on the Shear Bond Strength of Composite Resin to Home-bleached Enamel. *J Dent (Shiraz)*, *16*(4), 296-301.

Srivastava, M., & Yeluri, R. (2021). The effect of 10% alpha-tocopherol solution and 5% grape seed extract on the microhardness and shear bond strength to bleached dentin. *Dent Res J (Isfahan)*, *18*, 54.

Stape, T. H., Tjäderhane, L., Marques, M. R., Aguiar, F. H., & Martins, L. R. (2015). Effect of dimethyl sulfoxide wet-bonding technique on hybrid layer quality and dentin bond strength. *Dent Mater*, *31*(6), 676-683. https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.03.008

Stape, T. H., Tjäderhane, L., Tezvergil-Mutluay, A., Yanikian, C. R., Szesz, A. L., Loguercio, A. D., & Martins, L. R. (2016). Dentin bond optimization using the dimethyl sulfoxide-wet bonding strategy: A 2-year in vitro study. *Dent Mater*, *32*(12), 1472-1481. https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.015

Sulieman, M., Addy, M., Macdonald, E., & Rees, J. S. (2004). A safety study in vitro for the effects of an in-office bleaching

system on the integrity of enamel and dentine. *J Dent*, *32*(7), 581-590. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.06.003

Sun, T., & Ho, C.-T. (2001). ANTIRADICAL EFFICIENCY OF TEA COMPONENTS. *Journal of Food Lipids*, *8*(3), 231-238. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2001.tb00198.x

Suneetha, R., Pavithra, S., Thomas, J., Nanga, G. S., Shiromany, A., & Shivrayan, A. (2014). An In Vitro Comparative Study of Shear Bond Strength of Composite Resin to Bleached Enamel using Synthetic and Herbal Antioxidants. *J Int Oral Health*, *6*(6), 77-81.

Suratno, I. R., Dwiandhono, I., & Purnama, R. B. (2021). Pomegranate (Punica granatum L.) gel extract as an antioxidant on the shear bond strength of a resin composite post-bleaching application with 40% hydrogen peroxide. *Dental Journal (Majalah Kedokteran Gigi)*, *54*(2), 87-91. https://doi.org/10.20473/j.djmkg.v54.i2.p87-91

Tjäderhane, L., Nascimento, F. D., Breschi, L., Mazzoni, A., Tersariol, I. L., Geraldeli, S., Tezvergil-Mutluay, A., Carrilho, M., Carvalho, R. M., Tay, F. R., & Pashley, D. H. (2013a). Strategies to prevent hydrolytic degradation of the hybrid layer-A review. *Dent Mater*, *29*(10), 999-1011. https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.07.016

Tjäderhane, L., Nascimento, F. D., Breschi, L., Mazzoni, A., Tersariol, I. L., Geraldeli, S., Tezvergil-Mutluay, A., Carrilho, M. R., Carvalho, R. M., Tay, F. R., & Pashley, D. H. (2013b). Optimizing dentin bond durability: control of collagen degradation by matrix metalloproteinases and cysteine cathepsins. *Dent Mater*, *29*(1), 116-135. https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.08.004

Torres, C., Koga, A., & Borges, A. (2006). The effects of anti-oxidant agents as neutralizers of bleaching agents on enamel bond strength. *Brazilian Journal of Oral Sciences (ISSN: 1677-3217) Vol 5 Num 16*, *5*. https://doi.org/10.20396/bjos.v5i16.8641877

Traber, M. G., & Atkinson, J. (2007). Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radic Biol Med*, *43*(1), 4-15. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.03.024

Türkün, M., Celik, E. U., Kaya, A. D., & Arici, M. (2009). Can the hydrogel form of sodium ascorbate be used to reverse compromised bond strength after bleaching? *J Adhes Dent*, *11*(1), 35-40.

Türkün, M., & Kaya, A. D. (2004). Effect of 10% sodium ascorbate on the shear bond strength of composite resin to bleached bovine enamel. *J Oral Rehabil*, *31*(12), 1184-1191. https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2004.01369.x

Unlu, N., Cobankara, F. K., & Ozer, F. (2008). Effect of elapsed time following bleaching on the shear bond strength of composite resin to enamel. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, *84*(2), 363-368. https://doi.org/10.1002/jbm.b.30879

van der Vyver, P. J., Lewis, S. B., & Marais, J. T. (1997). The effect of bleaching agent on composite/enamel bonding. *J Dent Assoc S Afr*, *52*(10), 601-603.

Vidhya, S., Srinivasulu, S., Sujatha, M., & Mahalaxmi, S. (2011). Effect of grape seed extract on the bond strength of bleached enamel. *Oper Dent*, *36*(4), 433-438. https://doi.org/10.2341/10-228-l

Wagner, B. A., & Buettner, G. R. (2023). Stability of aqueous solutions of ascorbate for basic research and for intravenous administration. *Adv Redox Res*, *9*. https://doi.org/10.1016/j.arres.2023.100077

Wandera, A., Feigal, R. J., Douglas, W. H., & Pintado, M. R. (1994). Home-use tooth bleaching agents: an in vitro study on quantitative effects on enamel, dentin, and cementum. *Quintessence Int*, *25*(8), 541-546.

Yıldırım, C., & Karadas, M. (2026). Influence of epigallocatechin-3-gallate on bonding stability of a universal adhesive to bleached dentin. *International journal of adhesion and adhesives*, *151*, 104405. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2026.104405

Zaki, S. S., Ghorab, S. M., Tawfik, M. A., & Shamaa, M. S. (2023). Can antioxidant treatment replace delay in bracket bonding? An in vitro study. *BMC Oral Health*, *23*(1), 197. https://doi.org/10.1186/s12903-023-02894-3

Zhang, Z., Yu, J., Yao, C., Yang, H., & Huang, C. (2020). New perspective to improve dentin-adhesive interface stability by using dimethyl sulfoxide wet-bonding and epigallocatechin-3-gallate. *Dent Mater*, *36*(11), 1452-1463. https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.08.009

Zimmerli, B., Jeger, F., & Lussi, A. (2010). Bleaching of nonvital teeth. A clinically relevant literature review. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, *120*(4), 306-320.

BÖLÜM 5

ULTRASONOGRAFİDE ARTEFAKTLAR: FİZİKSEL TEMELLER VE GÖRÜNÜMLER

MELEK RUTBİL[1]
MELİH ÖZDEDE[2]

Giriş

Ultrasonografi (USG); iyonize radyasyon içermemesi, gerçek zamanlı, taşınabilir ve nispeten düşük maliyetli olması nedenleriyle tanısal görüntülemenin yaygın kullanılan yöntemlerinden biridir (Prabhu et al., 2014). Bir USG görüntüsünün oluşumu; ultrason darbesinin üretilmesi, sesin dokuda yayılması, yansıtıcı arayüzlerle etkileşimi ve yankıların algılanıp işlenmesi gibi fiziksel süreçlere dayanır. Cihaz, algıladığı her yankının konumunu ve şiddetini atayabilmek için bir dizi fiziksel varsayımda bulunur (Feldman et al., 2009). Feldman et al. (2009) tarafından sıralanan bu varsayımlar şunlardır:

[1]Arş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0005-6461-1729

[2]Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-8783-802X

- Yankılar ana hüzme içinden gelmektedir.
- Her yankı tek bir yansımanın ardından transdüsere döner.
- Bir nesnenin derinliği darbenin gidiş-dönüş süresiyle doğru orantılıdır.
- Dokuda ses hızı sabittir (1540 m/s).
- Ses dalgası ve yankısı doğrusal bir yol izler.
- Akustik enerji homojen biçimde zayıflar.

Bu varsayımların ihlal edildiği durumlarda yankılar hatalı gösterilir ve artefakt adı verilen bulgular ortaya çıkar (Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013).

Artefaktların bir kısmı uygunsuz tarama tekniğinden kaynaklanır ve önlenebilir; bir kısmı ise yöntemin fiziksel sınırlamalarından doğar (Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013). Bazı artefaktlar yalnızca kaçınılmaz olmakla kalmaz, doku bileşimine ilişkin değerli ipuçları sağlayarak tanıya da katkıda bulunur (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013). Bu bölümde, klinik pratikte karşılaşılan artefaktların tümü fiziksel mekanizmalarıyla ele alınmış; her artefaktın görünümü, oluşum nedeni ve yönetim ilkeleri açıklanmıştır.

Artefaktların Sınıflandırılması

Artefaktlar için fiziksel mekanizmaya dayanan çeşitli sınıflandırmalar önerilmiştir. Feldman et al. (2009) artefaktları; hüzme karakteristiğine bağlı hatalar, çoklu yankı yolları, hız hataları ve atenüasyon hataları olarak dört temel kaynak altında ele alır. Baad et al. (2017) gri-skala artefaktlarını; hüzme ve rezolüsyon ile ilgili, lokasyon (yol ve hız) ile ilgili ve atenüasyon ile ilgili artefaktlar olarak gruplandırır. Prabhu et al. (2014) ise artefaktları önce B-mod

ve Doppler olarak ayırır, ardından her birini yapıyla ilişkili ve hüzme özellikleri ile işlemeyle ilişkili alt gruplara böler. Bu bölümde fiziksel mekanizma temelli bütünleşik bir yaklaşım benimsenmiştir.

Hüzme ve Rezolüsyon ile İlgili Artefaktlar

Ultrason hüzmesi transdüserden yaklaşık transdüser genişliğinde çıkar, odak bölgesine doğru daralır ve odak bölgesinin ötesinde yeniden genişler (Feldman et al., 2009). Genişleyen hüzme bölgesindeki güçlü bir yansıtıcıdan gelen yankılar, cihaz tarafından dar görüntüleme düzleminden geliyormuş gibi algılanır ve hatalı konumlandırılır; buna hüzme kalınlığı (*beam-width*) artefaktı denir (Feldman et al., 2009). Bu artefakt lateral rezolüsyonun bir yansımasıdır; lateral rezolüsyon odak bölgesinde en iyi, yakın ve uzak alanda en düşüktür (Baad et al., 2017). Anekoik olması beklenen yapıların içinde yalancı ekolar şeklinde fark edilir; odağın ilgilenilen derinliğe ayarlanması ve transdüserin hedefin merkezine yerleştirilmesi artefaktı azaltır (Feldman et al., 2009). Odak hedef yapıya ayarlanmadığında bir yapının sınırları bulanıklaşabilir; odağın doğru derinliğe getirilmesiyle yapı belirginleşir (Wu et al., 2020).

Görüntüleme düzlemine dik yönde (elevasyon) çözünürlüğün sınırlılığı kesit kalınlığı (*section-thickness*) artefaktına yol açar; bu artefakt anekoik yapıların içinde düşük düzeyli ekolar olarak görülür ve gerçek debris izlenimi verebilir (Baad et al., 2017). Benek (*speckle*) ise dokudaki çözünürlük sınırının altındaki saçıcılardan yansıyan dalgaların yapıcı ve yıkıcı girişimi sonucu oluşan granüler bir görünümdür; gerçek doku yapısını yansıtmaz, kontrastı ve küçük lezyonların seçilebilirliğini azaltır (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013). Benek azaltma görüntüleme (*speckle reduction imaging*, SRI), uzaysal bileşik görüntüleme (*spatial compounding*) ve doku harmonik görüntüleme benek görünümünü azaltabilir (Baad et al., 2017).

Piezoelektrik elemanların radyal genişlemesi nedeniyle ana hüzme dışına yönelen düşük enerjili yan loblar (*side lobe*) ve ızgara lobları (*grating lobe*) oluşur (Feldman et al., 2009). Bu loblardan güçlü bir yansıtıcıya çarpan dalgalar, cihaz tarafından ana hüzmeye aitmiş gibi algılanır ve gerçek olmayan ekojeniteler oluşturur; bu artefakt da en kolay anekoik yapıların içinde tanınır (Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013; Quien & Saric, 2018). Tarama açısının değiştirilmesi, kazancın azaltılması ve farklı pencerelerden değerlendirme ayırıcı tanıda yardımcıdır; doku harmonik görüntüleme bu artefaktı belirgin biçimde azaltır (Baad et al., 2017; Quien & Saric, 2018).

Propagasyon (Yol) ile İlgili Artefaktlar

Reverberasyon artefaktı, ses dalgasının iki paralel ve güçlü yansıtıcı arayüz arasında birden çok kez yansıması sonucu oluşur; yansıtıcılardan biri çoğu kez transdüser yüzeyinin kendisidir (Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013). Geç dönen yankılar daha derinde yorumlanır ve ekranda eşit aralıklı, giderek zayıflayan paralel çizgiler olarak görülür (Feldman et al., 2009). Genellikle istenmeyen bir bulgu olmakla birlikte anormal gaz koleksiyonlarının tanınmasında yararlı olabilir (Baad et al., 2017). Doku harmonik görüntüleme, özellikle yakın alanda reverberasyonu azaltır (Baad et al., 2017).

Kuyruklu yıldız (*comet tail*) artefaktı reverberasyonun özel bir alt tipidir: çok yakın aralıklı, ayrı ayrı ayırt edilemeyen yansıtıcılardan kaynaklanır ve atenüasyon nedeniyle giderek daralan, konik bir görünüm oluşturur (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009). Kolesterol kristalleri, kalsifikasyonlar, metalik cisimler ve cerrahi klipsler tipik kaynaklarıdır (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013). Burada terminolojide bir ayrım dikkati çeker: Feldman et al. (2009), Baad et al. (2017) ve Hindi et al. (2013) kuyruklu yıldız ile *ring-down* artefaktını fiziksel mekanizması farklı

iki ayrı antite olarak ele alırken, Prabhu et al. (2014) kuyruklu yıldızı doğrudan *ring-down* ile eş anlamlı kullanır; Quien ve Saric (2018) ise kuyruklu yıldızı "kompleks reverberasyon" olarak adlandırır.

Ring-down artefaktı ise, Feldman et al. (2009) ile Baad et al. (2017) tarafından açıklanan modele göre, dört hava kabarcığından oluşan bir tetrahedron arasında sıkışan sıvının ultrason darbesiyle uyarılarak sürekli bir ses dalgası yaymasından kaynaklanır ve gaz koleksiyonunun distalinde bir çizgi ya da paralel bantlar dizisi olarak görülür. Bu mekanizma kuyruklu yıldızın temelindeki yakın aralıklı reverberasyondan farklıdır; *ring-down* tanımı gereği metal veya kalsifikasyonla değil gazla ilişkilidir (Baad et al., 2017; Wu et al., 2020).

Ayna (*mirror image*) artefaktı da tek yansıma varsayımının ihlaline dayanır: Ana hüzme güçlü bir yansıtıcıya çarptıktan sonra bir hedefe ulaşır ve gecikmeli olarak döner; bu durumda hedefin bir kopyası, yansıtıcının diğer tarafında ve daha derinde gösterilir (Feldman et al., 2009; Quien & Saric, 2018). Güçlü yansıtıcı kemik, plevra veya hava-doku arayüzleri olabilir; kopya yapı yansıtıcının derininde, simetrik konumda izlenir (Feldman et al., 2009). Renkli Doppler'de bu artefakt damar duplikasyonuna yol açabilir; kazancın azaltılması veya açının değiştirilmesi artefaktı azaltır (Hindi et al., 2013; Quien & Saric, 2018).

Refraksiyon (kırılma) artefaktı, ses dalgasının farklı ses hızlarına sahip iki doku arasındaki arayüze dik olmayan bir açıyla çarptığında yön değiştirmesiyle oluşur; ilişki Snell yasasıyla tanımlanır (Feldman et al., 2009). Cihaz doğrusal yol varsaydığından yankıları gerçek konumlarının yanına yerleştirir; bu, yapıların yan yana iki kopya halinde görülmesine (*ghosting*/duplikasyon) yol açabilir (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013). Refraksiyon ayrıca yuvarlak yapıların kenarlarında kenar gölgelenmesine (*edge shadowing*) neden olur (Baad et al., 2017;

Hindi et al., 2013). İğnenin farklı ses hızına sahip iki dokuyu (örneğin kas ile yağı) geçtiği girişimlerde, kastaki (~1580 m/s) ve yağdaki (~1450 m/s) hız farkı nedeniyle iğne gövdesi bükülmüş gibi görünebilir (Wu et al., 2020).

Ses hızı sapması (*speed displacement*) artefaktı, cihazın tüm dokularda 1540 m/s varsaymasından kaynaklanır. Ses hızının daha düşük olduğu yağ dokusunda (~1450 m/s) yankı daha geç döner ve yapı olduğundan daha derinde gösterilir; ses hızının daha yüksek olduğu kasta ise yapı daha yüzeyel görüntülenir (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009; Prabhu et al., 2014). Bu hata, fokal yağ alanlarında bir arayüzün konturunun süreksiz görünmesi şeklinde izlenebilir (Feldman et al., 2009; Wu et al., 2020).

Mesafe belirsizliği (*range ambiguity*) artefaktı, tüm yankıların en son gönderilen darbeden kaynaklandığı varsayımının ihlalidir: Darbe tekrarlama frekansı (*pulse repetition frequency*, PRF) yüksek olduğunda derin bir yapıdan gelen geç yankı, bir sonraki darbe gönderildikten sonra döner ve hatalı biçimde daha yüzeyel bir konuma yerleştirilir (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013; Prabhu et al., 2014). Büyük sıvı dolu yapılarda yalancı kist içi septalar şeklinde görülebilir; PRF'nin düşürülmesi artefaktı azaltır (Baad et al., 2017; Wu et al., 2020).

Atenüasyon ile İlgili Artefaktlar

Akustik gölgelenme (*shadowing*), ses dalgasının yüksek atenüasyonlu veya güçlü yansıtıcı bir yapıyla (kalsifikasyon, taş, kemik, gaz) karşılaşması sonucu distaldeki dokulara yeterli enerji ulaşamamasıyla oluşur ve karanlık bir bant şeklinde görülür (Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013). Gölgelenme; temiz (*clean*), kısmi (*partial*) ve kirli (*dirty*) olarak sınıflandırılır (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013). Büyük kalsifikasyon ve taşların ardında enerjinin çoğu absorbe edildiğinden net sınırlı, anekoik "temiz"

gölge oluşur; gaz arayüzlerinde ise çoklu sekonder yansımalar düşük düzeyli ekolar yaratarak "kirli" gölgeye yol açar (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013; Wu et al., 2020).

Posterior akustik güçlenme (*posterior acoustic enhancement / increased through-transmission*), düşük atenüasyonlu bir yapının (kist, sıvı koleksiyonu) ardındaki dokuların komşu alanlara göre daha ekojen görünmesidir; zaman-kazanç kompanzasyonunun aşırı düzeltmesi olarak düşünülebilir (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009). Kistik yapıların solid lezyonlardan ayırt edilmesinde en güvenilir yardımcı bulgulardan biridir; ancak komşu dokudan daha az atenüasyonlu homojen solid lezyonların da bu bulguyu verebileceği unutulmamalıdır (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013; Wu et al., 2020).

Anizotropi, tendon, ligament, kas ve sinir gibi paralel fibriler yapıların ultrason hüzmesine göre açısına bağlı olarak ekojenitesinin değişmesidir; hüzme yapıya dik olduğunda hiperekoik, dik olmadığında ise hipoekoik görünür (Hindi et al., 2013; Wu et al., 2020). Bu durum hüzme yapının uzun eksenine göre yalnızca birkaç derece açılandığında bile ortaya çıkabilir ve patolojik kalınlaşma veya yırtık görünümünü taklit edebilir (Hindi et al., 2013). Çiğneme kasları ve baş-boyun yumuşak dokularının değerlendirilmesinde önemlidir; probu hedef yapıya dik tutacak biçimde konumlandırmak artefaktı ortadan kaldırır (Wu et al., 2020).

Doppler Artefaktları

Doppler görüntülemede B-mod artefaktlarının bir kısmı izlenmekle birlikte yönteme özgü artefaktlar da bulunur (Hindi et al., 2013; Prabhu et al., 2014). *Aliasing*, renkli ve spektral Doppler'de en sık karşılaşılan artefakttır: PRF'nin yarısı olan Nyquist limitini aşan frekans kaymaları spektrumun ters tarafına "sarılarak" (*wrap-around*) yansır ve renkli Doppler'de akış yönünün aniden tersine

döndüğü izlenimini verir (Hindi et al., 2013; Prabhu et al., 2014; Quien & Saric, 2018). Gerçek akış tersine dönüşünde hız sıfırdan geçerek kademeli değişirken *aliasing*'de bu siyah ara bant görülmez; PRF/hız ölçeğinin artırılması, Doppler açısının düzeltilmesi veya daha düşük frekanslı transdüser kullanılması artefaktı azaltır (Hindi et al., 2013).

Spektral genişleme (*spectral broadening*), spektrumun normalde dar olması beklenen bandının yayvanlaşmasıdır; türbülanslı akışta fizyolojik olabileceği gibi geniş örnek hacmi, yüksek kazanç, damar duvarına yakın örnekleme veya 90°'ye yakın Doppler açısı gibi teknik nedenlerle de yalancı olarak ortaya çıkabilir (Hindi et al., 2013; Prabhu et al., 2014). Yönsel belirsizlik (*directional ambiguity*), hüzmenin damarı 90°'ye yakın açıyla kesmesi nedeniyle Doppler kaymasının saptanamaması ve sinyalin sıfır çizgisinin hem üstünde hem altında görüntülenmesidir; açının 60°'nin altına indirilmesiyle düzeltilir (Hindi et al., 2013; Prabhu et al., 2014).

Twinkling (parıldama) artefaktı, renkli Doppler'de pürüzlü yüzeyli güçlü yansıtıcıların (özellikle taşların) ardında hızlı renk değişimleri olarak görülür; mekanizması tam aydınlatılmamış olmakla birlikte taş yüzeyinden yansıyan dalgalardaki faz değişikliklerine bağlanır ve yüzey ne kadar pürüzlüyse artefakt o kadar belirgindir (Hindi et al., 2013; Prabhu et al., 2014). İyi gölge vermeyen taşların saptanmasında B-mod'a yardımcı olur (Prabhu et al., 2014). Hareket/*flash* artefaktı, hasta veya prob hareketinin gerçek akış olmadan yalancı renk sinyali oluşturmasıdır ve özellikle hipoekoik/anekoik yapılarda görülür (Hindi et al., 2013). Spektral Doppler'de *cross-talk* (spektral ayna görüntüsü) artefaktı, kazancın aşırı yüksek olduğu durumlarda spektrumun sıfır çizgisinin karşı tarafında yalancı bir kopya olarak izlenir (Hindi et al., 2013).

Güncel Teknolojiler ve Artefakt Yönetimi

Doku harmonik görüntüleme (THI), temel frekansın harmoniklerini kullanarak yan lob ve reverberasyon artefaktlarını azaltır ve ızgara loblarını baskılar; kuyruklu yıldız artefaktının görünürlüğünü keskinleştirebilir (Baad et al., 2017; Prabhu et al., 2014; Quien & Saric, 2018). Uzaysal bileşik görüntüleme, aynı kesitin birden çok açıdan taranıp birleştirilmesiyle benek görünümünü, yan lob artefaktlarını ve gölgelenmeyi azaltır; ancak gölgeyi, kuyruklu yıldız ve *ring-down* artefaktlarını da zayıflattığından bu artefaktlardan tanısal olarak yararlanılmak istendiğinde kapatılması önerilir (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013). SRI ise görüntü işleme algoritmalarıyla benek görünümünü azaltır (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013). Bu yöntemlerin artefakt yükünü azaltırken bazı tanısal artefaktları örtebileceği akılda tutulmalıdır (Baad et al., 2017).

Artefaktlardan Tanısal Yararlanma

Artefaktlar yalnızca kaçınılması gereken hatalar değil, doku bileşimine ilişkin değerli ipuçlarıdır (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009). Akustik gölgelenme; taş ve kalsifikasyonların tanısında temel bulgudur ve hareketli, gölge veren taşların; hareketsiz, gölge vermeyen yapılardan ayırt edilmesini sağlar (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013). Posterior akustik güçlenme, kistik yapıların solid lezyonlardan ayırt edilmesinde en güvenilir işaretlerden biridir (Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013). Kuyruklu yıldız artefaktı kolesterol kristalleri ve kalsifikasyonların tanınmasında yardımcıdır (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009). *Twinkling* artefaktı, gri-skalada belirsiz görünen veya iyi gölge vermeyen taşların saptanmasını kolaylaştırır (Hindi et al., 2013; Prabhu et al., 2014). Anizotropinin tanınması ise fibriler yapıların yalancı patoloji olarak yorumlanmasını önler (Wu et al., 2020). Atenüasyon farklarının yorumlanması, örneğin akustik güçlenme gösteren bir lezyonun

kistik, gölge veren bir lezyonun ise solid olarak değerlendirilmesi gibi, ayırıcı tanıyı daraltmaya yardımcı olur (Feldman et al., 2009).

Sonuç

Ultrasonografide artefaktlar, yöntemin dayandığı fiziksel varsayımların ihlalinden doğan, rutin pratikte kaçınılmaz bulgulardır (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009). Her artefaktın altında yatan fiziksel mekanizmanın anlaşılması; önlenebilir artefaktların azaltılması, yanlış tanının engellenmesi ve uygun olduğunda artefaktların tanısal amaçla kullanılması açısından kritik öneme sahiptir (Baad et al., 2017; Feldman et al., 2009; Hindi et al., 2013).

Klinik pratikte temel ilkeler şöyle özetlenebilir:

1. Her artefakt bir hata değildir, bazıları değerli tanısal ipuçları sağlar.
2. Artefaktı tanımak yanlış tanıyı önlemenin ilk adımıdır.
3. Prob pozisyonunu, açısını ve tarama penceresini değiştirmek çoğu artefaktın ayırıcı tanısında en basit ve etkili yöntemdir.
4. Cihaz ayarlarının (frekans, odak, PRF, kazanç, harmonik görüntüleme) optimize edilmesi önlenebilir artefaktların büyük kısmını ortadan kaldırır.
5. Güncel teknolojiler artefakt yükünü azaltmakla birlikte bazı tanısal artefaktları örtebilir (Baad et al., 2017; Hindi et al., 2013).

Anahtar Kelimeler: Ultrasonografi, görüntüleme artefaktı, akustik gölgelenme, anizotropi, Doppler ultrasonografi

Kaynakça/References

Baad, M., Lu, Z. F., Reiser, I., & Paushter, D. (2017). Clinical significance of US artifacts. *RadioGraphics*, *37*(5), 1408–1423. https://doi.org/10.1148/rg.2017160175

Feldman, M. K., Katyal, S., & Blackwood, M. S. (2009). US artifacts. *RadioGraphics*, *29*(4), 1179–1189. https://doi.org/10.1148/rg.294085199

Hindi, A., Peterson, C., & Barr, R. G. (2013). Artifacts in diagnostic ultrasound. *Reports in Medical Imaging*, *6*, 29–48. https://doi.org/10.2147/RMI.S33464

Prabhu, S. J., Kanal, K., Bhargava, P., Vaidya, S., & Dighe, M. K. (2014). Ultrasound artifacts: Classification, applied physics with illustrations, and imaging appearances. *Ultrasound Quarterly*, *30*(2), 145–157. https://doi.org/10.1097/RUQ.0b013e3182a80d34

Quien, M. M., & Saric, M. (2018). Ultrasound imaging artifacts: How to recognize them and how to avoid them. *Echocardiography*, *35*(9), 1388–1401. https://doi.org/10.1111/echo.14116

Wu, W.-T., Chang, K.-V., Hsu, Y.-C., Hsu, P.-C., Ricci, V., & Özçakar, L. (2020). Artifacts in musculoskeletal ultrasonography: From physics to clinics. *Diagnostics*, *10*(9), 645. https://doi.org/10.3390/diagnostics10090645

BÖLÜM 6
ZİRKONYUM VE DENTAL İMPLANTLAR: TEMEL ÖZELLİKLER, KLİNİK KULLANIM VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Delil DOĞAN[1] Merve GÜNEY [2]

Giriş

Zirkonyum ve zirkonya esaslı yapılar, sahip oldukları fiziksel ve yapısal özellikler nedeniyle farklı endüstriyel ve biyomedikal alanlarda uzun süredir kullanılmaktadır. Zirkonyanın tarihsel gelişimi refrakter seramiklerden yapısal ve fonksiyonel seramiklere kadar uzanırken, biyomedikal alandaki kullanımı özellikle ortopedik uygulamalarla önem kazanmıştır. Bu gelişim, zirkonyanın zaman içerisinde diş hekimliğinde de alternatif bir seçenek olarak değerlendirilmesine zemin hazırlamıştır.(Alqutaibi et al., 2024; Fedorov & Yarotskaya, 2021)

Dental implantolojide uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan titanyum, mekanik özellikleri ve biyolojik uyumluluğu nedeniyle temel implant materyallerinden biri olmuştur. Bununla birlikte peri-implant yumuşak dokularda meydana gelebilen renk değişiklikleri, aşırı duyarlılık reaksiyonları ve özellikle estetik bölgelerde titanyumun gri renginin ince peri-implant mukozadan yansıyabilmesi alternatif implant seçeneklerine olan ilgiyi artırmıştır.(Zhang & Chen, 2019)

Zirkonyum esaslı implantların geliştirilmesinde özellikle estetik gereksinimler önemli rol oynamıştır. Diş rengine yakın görünümü sayesinde zirkonya, peri-implant yumuşak dokularla daha doğal bir görsel uyum sağlayabilmektedir. Bunun yanında zirkonyum implantların titanyum ile benzer biyouyumluluk göstermesi ve plak birikimine karşı daha düşük eğilim sergilemesi, bu implantların metal içermeyen alternatifler arasında değerlendirilmesini sağlamıştır.(Kniha et al., 2019)

Zirkonyumun dental implantolojideki kullanımının değerlendirilmesi yalnızca estetik özellikleriyle sınırlı değildir. Zirkonyanın farklı fazları ve

[1] Uzman Diş Hekimi, Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, dlldgn23@gmail.com, ORCID iD: 0009-0003-5606-2817
[2] Uzman Diş Hekimi, Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, merveguney2535@gmail.com, ORCID iD: 0009-0007-1392-7509

stabilizasyon biçimleri ile zirkonyum implantların fiziksel, mekanik ve klinik özellikleri kullanım alanlarının belirlenmesinde önem taşımaktadır. Bu bölümde zirkonyumun temel özellikleri ve sınıflandırılması ele alınarak, zirkonyum implantların özellikleri, klinik kullanım alanları, endikasyonları, kontrendikasyonları, avantajları ve sınırlılıkları değerlendirilecektir.

Zirkonyumun Tarihsel Gelişimi ve Kullanım Alanları

Zirkonya (ZrO_2) ilk kez 1789 yılında sentezlenmiş ve zaman içerisinde refrakter seramiklerden yapısal ve fonksiyonel seramiklere kadar geniş bir kullanım alanı kazanmıştır. Biyomedikal alandaki kullanımı ise 1969 yılında özellikle kalça protezlerinde alternatif olarak değerlendirilmesiyle başlamış, ilerleyen dönemde çeşitli cerrahi uygulamalarda da yer bulmuştur.(Patil & Kandasubramanian, 2020)

Diş hekimliğinde artan estetik beklentiler ve titanyum implantların koyu renginin özellikle ince veya çekilmiş peri-implant yumuşak dokularda oluşturabileceği estetik sorunlar, zirkonyaya olan ilgiyi artırmıştır. Doğal diş rengine yakın görünümü ve yumuşak dokularla estetik uyumu sayesinde zirkonya, 2005 yılından itibaren dental implantolojide kullanılmaya başlanmıştır.(Kniha et al., 2019)

Titanyum ve Zirkonyum

Titanyum, yüksek mekanik dayanıklılığı, düşük yoğunluğu ve biyouyumluluğu nedeniyle dental implant üretiminde en yaygın kullanılan materyallerden biridir. Özellikle Grade 4 saf titanyum ve Ti-6Al-4V olarak bilinen Grade 5 titanyum alaşımı implantolojide yaygın kullanım alanına sahiptir. Bununla birlikte titanyum alaşımlarından salınabilecek elementlere ilişkin biyolojik kaygılar ile peri-implant yumuşak dokularda görülebilen renk değişiklikleri ve aşırı duyarlılık reaksiyonları, alternatif implant materyallerinin geliştirilmesine yönelik ilgiyi artırmıştır.(Elias et al., 2019; Klein, 2019)

Bu doğrultuda zirkonyum, metal içermeyen bir implant alternatifi olarak ön plana çıkmıştır. İlk dönemlerde tek parçalı olarak tasarlanan zirkonyum implantların zamanla iki parçalı sistemleri de geliştirilmiştir. Zirkonyum implantların estetik avantajlarının yanı sıra titanyuma benzer biyouyumluluk göstermeleri ve plak birikimine karşı daha düşük eğilim sergilemeleri klinik açıdan dikkat çeken özellikleri arasındadır.(Wafula & Steed, 2024)

Zirkonyumun Sınıflandırılması

Zirkonya, sıcaklığa bağlı olarak monoklinik, tetragonal ve kübik olmak üzere farklı kristal fazlarda bulunabilmektedir. Saf zirkonyada meydana gelen faz dönüşümleri ve buna eşlik eden hacim değişiklikleri kullanımını sınırlandırırken, yapıya CaO, MgO ve Y_2O_3 gibi stabilize edici oksitlerin eklenmesi faz kararlılığının ve mekanik özelliklerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu doğrultuda zirkonya; stabil olmayan saf zirkonyum, parsiyel stabilize zirkonyum (PSZ) ve tam stabilize zirkonyum (FSZ) olarak sınıflandırılmaktadır.(Bapat et al., 2022)

Zirkonyum İmplantlar

Titanyum, uzun yıllardır dental implantolojide yaygın olarak kullanılmasına rağmen bazı klinik ve estetik sınırlılıklara sahiptir. Özellikle ince gingival fenotipe sahip hastalarda titanyumun koyu gri renginin peri-implant mukozadan yansıması estetik sonucu olumsuz etkileyebilmektedir. Bunun yanında peri-implantitis, korozyon, implantta meydana gelebilecek çatlaklar ve titanyuma karşı gelişebilen alerjik reaksiyonlar da alternatif implant materyallerine yönelik araştırmaların artmasına neden olmuştur. Bu gereksinimler doğrultusunda zirkonyum implantlar, özellikle estetik beklentinin yüksek olduğu durumlarda titanyuma alternatif bir seçenek olarak geliştirilmiştir.(Kordbacheh Changi et al., 2019; Wang et al., 2019)

Zirkonyum implantların dental implantolojide kullanımı 2000'li yılların başlarında Avrupa'da başlamış, 2011 yılında FDA onayının alınmasıyla Amerika Birleşik Devletleri'nde de yaygınlaşmıştır. Zirkonyum implantların diş rengine yakın görünümü, özellikle estetik bölgelerde ve ince peri-implant yumuşak dokuların bulunduğu olgularda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Zirkonyum implant sistemleri başlangıçta tek parçalı olarak tasarlanmış olmakla birlikte, tek parçalı sistemlerin beraberinde getirdiği bazı kısıtlamaların aşılması amacıyla zaman içerisinde iki parçalı implant sistemleri de geliştirilmiştir.(Zhang et al., 2020)

Zirkonyum implantların klinik açıdan önem kazanmasında yalnızca estetik özellikleri değil, biyolojik özellikleri de etkili olmuştur. Zirkonyum implantların titanyum implantlarla benzer biyouyumluluk göstermesi ve plak birikimine karşı daha düşük eğilim sergilemesi, bu sistemlerin metal

içermeyen implant rehabilitasyonlarında değerlendirilmesini desteklemektedir. Bununla birlikte zirkonyum implantların mekanik ve fiziksel davranışları; materyalin bileşimi, kristal yapısı, monoklinik ve tetragonal faz oranları, kullanılan stabilize edici oksitler, yaşlanma süreci, implantın makro ve mikro tasarımı ve maruz kaldığı oklüzal yükler gibi çok sayıda faktörden etkilenmektedir.(Webber et al., 2021)

Zirkonyum İmplantların Özellikleri

Zirkonyum implantların dikkat çeken özelliklerinden biri estetik performanslarıdır. Yüksek opasite, kırılma indisi ve yoğunluk ile düşük porozite gibi optik özellikleri sayesinde koyu renkli alt yapıları maskeleyebilmekte ve peri-implant bölgede doğal diş dokularına daha yakın bir görünüm sağlayabilmektedir. Zirkonyum implantların fiziksel ve mekanik davranışları ise kristal yapı, monoklinik ve tetragonal fazların oranı, kullanılan stabilize edici oksitler, yaşlanma süreci, implant tasarımı ve maruz kalınan oklüzal yük gibi birçok faktörden etkilenmektedir.(Webber et al., 2021)

Zirkonyum implant yüzeyleri de biyolojik yanıtın geliştirilmesi amacıyla çeşitli işlemlere tabi tutulabilmektedir. Kumlama, asitle aşındırma, selektif infiltrasyon, parlatma, lazer ve ultraviyole uygulamaları bu amaçla kullanılan yöntemler arasındadır. Bu yüzey düzenlemeleri implantın mekanik ve biyolojik özelliklerinin yanı sıra bakteri tutunması, aşınma ve kırılma dayanımı gibi özelliklerini de etkileyebilmektedir.(Kligman et al., 2021; Xue et al., 2020)

Zirkonyum implantların peri-implant yumuşak dokularla ilişkisi de önemli bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Çalışmalarda zirkonya yüzeylerde fibroblastların çoğalması ve dağılımının desteklendiği, kollajen ve ekstrasellüler matriks proteinlerinin salınımının arttığı bildirilmiştir. Ayrıca düşük biyofilm birikimi eğilimi ve peri-implant dokularla uyumlu biyolojik yanıtı, zirkonyum implantların yumuşak doku sağlığının korunması açısından potansiyel avantajları arasında değerlendirilmektedir.(Kniha et al., 2021)

Zirkonyum İmplantların Endikasyonları ve Kontrendikasyonları

Zirkonyum implantlar özellikle estetik beklentinin yüksek olduğu anterior bölgelerde ve ince gingival fenotipe sahip hastalarda tercih edilebilmektedir. Doğal diş rengine yakın görünümü, peri-implant

yumuşak dokular altında estetik avantaj sağlamaktadır. Ayrıca metal alerjisi bulunan hastalarda yüksek biyouyumluluğu nedeniyle alternatif bir seçenek oluşturabilmektedir. Düşük bakteriyel birikim eğilimi ise peri-implantitis öyküsü bulunan hastalarda zirkonyum implantların tercih edilmesini destekleyen özelliklerden biri olarak değerlendirilmektedir.(Roehling et al., 2019)

Buna karşılık zirkonyum implantların titanyuma kıyasla daha kırılgan yapıda olması, yoğun çiğneme kuvvetlerine maruz kalan hastalarda kullanımını sınırlandırabilmektedir. Tezde ayrıca osteoporoz ve osteopeni, zirkonyaya karşı alerji, ileri düzey periodontal problemler, yetersiz kemik desteği, ileri yaş, genel sağlık sorunları ve yetersiz ağız hijyeni kontrendikasyonlar arasında belirtilmiştir. Bu nedenle zirkonyum implantların kullanımında hasta özelliklerinin ve klinik koşulların ayrıntılı olarak değerlendirilmesi önem taşımaktadır.(Bordenave, 2021)

Zirkonyum İmplantların Avantaj ve Dezavantajları

Zirkonyum implantların başlıca avantajlarından biri üstün estetik özellikleridir. Doğal diş ve çevre dokuların görünümünü taklit edebilmesi, özellikle estetik beklentinin yüksek olduğu bölgelerde önemli bir üstünlük sağlamaktadır. Bunun yanında yüksek aşınma direnci, biyolojik dokularla uyumluluğu ve yüksek kimyasal inersiyonu zirkonyumun önemli özellikleri arasındadır. Kimyasal olarak stabil yapısı korozyon ve oksidasyona karşı direnç sağlarken, çevre dokularla biyolojik uyumu implant uygulamalarında kullanımını desteklemektedir.(Bollen et al., 2024)

Zirkonyum implantların en önemli dezavantajlarından biri ise kırılgan yapılarıdır. Yoğun mekanik stres altında çatlama veya kırılma riski bulunması, yüksek dayanıklılık gerektiren klinik durumlarda kullanımını sınırlayabilmektedir. Ayrıca zirkonyanın karmaşık geometrilerde işlenmesinin güç olması implant tasarımını kısıtlayabilmekte, üretim maliyetini artırabilmekte ve üretim sürecini uzatabilmektedir. Bu nedenle zirkonyum implant tercihinde estetik ve biyolojik avantajların yanı sıra mekanik sınırlılıkların da dikkate alınması gerekmektedir.(Dorovskikh et al., 2021)

Zirkonyum İmplantların Klinik Başarısı

Zirkonyum implantların klinik başarısını değerlendiren çalışmalarda, bu implantların metal içermeyen bir alternatif olarak kullanılabileceğini destekleyen sonuçlar bildirilmiştir. Hashim ve arkadaşlarının en az bir yıllık takip süresine sahip 14 klinik çalışmayı değerlendirdiği sistematik incelemede, zirkonya implantların bir yıllık genel ağızda kalma oranı %92 olarak rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, zirkonyum implantların klinik kullanım açısından potansiyel taşıdığını göstermekle birlikte, başarılarının değerlendirilmesinde takip süresi ve çalışma özelliklerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.(Hashim et al., 2016)

Deneysel çalışmaların değerlendirildiği bir başka sistematik incelemede ise zirkonyum ve titanyum implantların kemik ile ilişkisi karşılaştırılmıştır. Zirkonyum implantlarda kemik-implant temasının titanyuma göre bir miktar daha düşük olduğu bildirilmesine karşın, çıkarma torku değerleri bakımından iki implant materyali arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. Ayrıca implant yüzey pürüzlülüğü ve yükleme koşullarının sonuçlar üzerinde etkili olabileceği belirtilmiştir.(Pieralli et al., 2018)

Sonuç

Zirkonyum, sahip olduğu fiziksel, mekanik ve biyolojik özellikler sayesinde dental implantolojide dikkat çeken alternatiflerden biri haline gelmiştir. Özellikle doğal diş rengine yakın görünümü, estetik gereksinimin yüksek olduğu bölgelerde titanyuma kıyasla önemli bir avantaj sağlayabilmektedir. Bunun yanında yüksek biyouyumluluğu, kimyasal stabilitesi ve korozyona karşı direnci, zirkonyumun implant uygulamalarında tercih edilmesini destekleyen özellikler arasındadır. Peri-implant yumuşak dokularla uyumlu biyolojik yanıt ve düşük biyofilm birikimi eğilimi de zirkonyum implantların klinik açıdan önemini artırmaktadır.

Zirkonyum implantların sağladığı avantajlara karşın, mekanik özelliklerine ilişkin bazı sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle kırılgan yapıları nedeniyle yoğun mekanik yükler altında çatlama veya kırılma riski bulunması, hasta seçiminde dikkatli olunmasını gerektirmektedir. Ayrıca materyalin işlenmesindeki güçlükler ve üretim maliyetleri klinik kullanımını sınırlayabilmektedir. Bu nedenle implant seçiminde kemik desteği, yumuşak doku özellikleri, ağız hijyeni ve

mekanik yükler gibi hastaya özgü faktörlerin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Mevcut klinik ve deneysel veriler, zirkonyum implantların dental implantolojide alternatif bir seçenek olduğunu desteklemektedir. Klinik çalışmalarda olumlu ağızda kalma sonuçları bildirilirken, deneysel karşılaştırmalarda zirkonyum ve titanyum implantlar arasında çıkarma torku açısından anlamlı farklılık bulunmadığı gösterilmiştir. Bununla birlikte yüzey özellikleri, yükleme koşulları ve takip süresi sonuçları etkileyebilmektedir. Dolayısıyla zirkonyum implantların, hasta özellikleri ve klinik gereksinimler doğrultusunda değerlendirilmesi uygun görünmektedir.

Kaynaklar

Alqutaibi, A. Y., Allam, H., & Almuzaini, S. A. (2024). Immediate implant placement with a simultaneous bone augmentation of the gap-filling sites can potentially decrease bone loss compared with augmented sites exhibiting gaps with bony defects. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, *24*(1), 101959.

Bapat, R., Yang, H., Chaubal, T., Dharmadhikari, S., Abdulla, A., Arora, S., Rawal, S., & Kesharwani, P. (2022). Review on synthesis, properties and multifarious therapeutic applications of nanostructured zirconia in dentistry. *RSC advances*, *12*, 12773-12793. https://doi.org/10.1039/d2ra00006g

Bollen, C., Hakobayan, G., & Jörgens, M. (2024). One-piece versus two-piece ceramic dental implants. *Br Dent J*, *236*(5), 383-387. https://doi.org/10.1038/s41415-024-7123-3

Bordenave, J. M. G. (2021). Zirconia Implants vs Titanium Implants.

Dorovskikh, S. I., Vikulova, E. S., Chepeleva, E. V., Vasilieva, M. B., Nasimov, D. A., Maksimovskii, E. A., Tsygankova, A. R., Basova, T. V., Sergeevichev, D. S., & Morozova, N. B. (2021). Noble Metals for Modern Implant Materials: MOCVD of Film Structures and Cytotoxical, Antibacterial, and Histological Studies. *Biomedicines*, *9*(8). https://doi.org/10.3390/biomedicines9080851

Elias, C. N., Fernandes, D. J., de Souza, F. M., dos Santos Monteiro, E., & de Biasi, R. S. (2019). Mechanical and clinical properties of titanium and titanium-based alloys (Ti G2, Ti G4 cold worked nanostructured and Ti G5) for biomedical applications. *Journal of Materials Research and Technology*, *8*(1), 1060-1069.

Fedorov, P. P., & Yarotskaya, E. G. (2021). Zirconium dioxide. Review. *Конденсированные среды и межфазные границы*, *23*(2 (eng)), 170-188.

Hashim, D., Cionca, N., Courvoisier, D. S., & Mombelli, A. (2016). A systematic review of the clinical survival of zirconia implants. *Clinical oral investigations*, *20*, 1403-1417.

Klein, G. L. (2019). Aluminum toxicity to bone: A multisystem effect? *Osteoporosis and sarcopenia*, *5*(1), 2-5.

Kligman, S., Ren, Z., Chung, C.-H., Perillo, M. A., Chang, Y.-C., Koo, H., Zheng, Z., & Li, C. (2021). The impact of dental implant surface modifications on osseointegration and biofilm formation. *Journal of clinical medicine*, *10*(8), 1641.

Kniha, K., Heussen, N., Modabber, A., Hölzle, F., & Möhlhenrich, S. (2021). The effect of zirconia and titanium surfaces on biofilm formation and on host-derived immunological parameters.

International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, *50*(10), 1361-1374.

Kniha, K., Kniha, H., Grunert, I., Edelhoff, D., Hölzle, F., & Modabber, A. (2019). Esthetic Evaluation of Maxillary Single-Tooth Zirconia Implants in the Esthetic Zone. *Int J Periodontics Restorative Dent*, *39*(5), e195–e201. https://doi.org/10.11607/prd.3282

Kordbacheh Changi, K., Finkelstein, J., & Papapanou, P. N. (2019). Peri-implantitis prevalence, incidence rate, and risk factors: A study of electronic health records at a US dental school. *Clinical Oral Implants Research*, *30*(4), 306-314.

Patil, N. A., & Kandasubramanian, B. (2020). Biological and mechanical enhancement of zirconium dioxide for medical applications. *Ceramics International*, *46*(4), 4041-4057. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.10.220

Pieralli, S., Kohal, R.-J., Hernandez, E. L., Doerken, S., & Spies, B. C. (2018). Osseointegration of zirconia dental implants in animal investigations: A systematic review and meta-analysis. *Dental Materials*, *34*(2), 171-182.

Roehling, S., Schlegel, K. A., Woelfler, H., & Gahlert, M. (2019). Zirconia compared to titanium dental implants in preclinical studies—A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, *30*(5), 365-395. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/clr.13425

Wafula, J., & Steed, C. (2024). Suitability of titanium alloys as dental implant material - a review. *MATEC Web of Conferences*, *406*, 03015. https://doi.org/10.1051/matecconf/202440603015

Wang, T., Wang, L., Lu, Q., & Fan, Z. (2019). Changes in the esthetic, physical, and biological properties of a titanium alloy abutment treated by anodic oxidation. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, *121*(1), 156-165.

Webber, L. P., Chan, H.-L., & Wang, H.-L. (2021). Will Zirconia Implants Replace Titanium Implants? *Applied Sciences*, *11*(15).

Xue, T., Attarilar, S., Liu, S., Liu, J., Song, X., Li, L., Zhao, B., & Tang, Y. (2020). Surface Modification Techniques of Titanium and its Alloys to Functionally Optimize Their Biomedical Properties: Thematic Review. *Front Bioeng Biotechnol*, *8*, 603072. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.603072

Zhang, L. C., & Chen, L. Y. (2019). A review on biomedical titanium alloys: recent progress and prospect. *Advanced Engineering Materials*, *21*(4), 1801215.

Zhang, T., Ou, P., Ruan, J., & Yang, H. (2020). Nb-Ti-Zr alloys for orthopedic implants. *Journal of Biomaterials Applications*, *35*(10), 1284-1293. https://doi.org/10.1177/0885328220970756

BÖLÜM 7
DENTAL İMPLANTLARDA STABİLİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ: KLİNİK VE DENEYSEL YÖNTEMLER

Delil DOĞAN[1] Merve GÜNEY [2]

Giriş

Dental implant tedavileri, eksik dişlerin fonksiyonel ve estetik rehabilitasyonunda öngörülebilir sonuçlar sağlayan önemli tedavi seçeneklerinden biridir. İmplant tedavisinin uzun dönem başarısında, implant ile çevre kemik dokusu arasında gelişen osseointegrasyon kadar implantın yeterli stabiliteye sahip olması da önemli bir rol oynamaktadır. İmplant stabilitesi, kemik-implant ilişkisinin mekanik ve biyolojik özelliklerini yansıtan temel parametrelerden biri olup osseointegrasyon sürecinin değerlendirilmesinde önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir.(Sailer et al., 2023; Wang et al., 2016)

Dental implantların uzun dönemli başarısı açısından primer ve sekonder stabilitenin sağlanması gerekmektedir. Primer stabilite temel olarak implantın yerleştirilmesi sırasında kemik içerisinde elde edilen mekanik tutuculuğu ifade ederken, iyileşme sürecinde kemik oluşumu ve yeniden şekillenmenin ilerlemesiyle biyolojik karakterde sekonder stabilite gelişmektedir. Bu nedenle implant stabilitesi yalnızca cerrahi işlem sırasında elde edilen mekanik tutuculukla sınırlı olmayıp, osseointegrasyon süreci boyunca değişim gösteren dinamik bir özellik olarak değerlendirilmelidir.(Elson et al., 2022)

İmplant stabilitesinin değerlendirilmesi; tedavi planlaması, iyileşme sürecinin izlenmesi, implant-kemik ilişkisinin değerlendirilmesi ve prognozun belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Stabilitenin objektif ve tekrarlanabilir yöntemlerle değerlendirilmesi, özellikle implantın farklı iyileşme dönemlerindeki durumunun takip edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla klinik ve deneysel uygulamalarda implant

[1] Uzman Diş Hekimi, Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, dlldgn23@gmail.com, ORCID iD: 0009-0003-5606-2817
[2] Uzman Diş Hekimi, Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, merveguney2535@gmail.com, ORCID iD: 0009-0007-1392-7509

stabilitesinin farklı özelliklerini değerlendiren çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. (Rittel et al., 2019)

Dental implant stabilitesini değerlendirmek amacıyla kullanılan yöntemler genel olarak girişimsel ve girişimsel olmayan yöntemler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Girişimsel olmayan yöntemler klinik uygulamalarda implantın stabilitesinin ve çevre dokularla ilişkisinin değerlendirilmesine olanak sağlarken, girişimsel yöntemler özellikle deneysel çalışmalarda kemik-implant bağlantısının biyomekanik veya histolojik özelliklerinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Bu bölümde dental implantlarda stabilitenin değerlendirilmesinde kullanılan başlıca klinik ve deneysel yöntemler ele alınacaktır.

Dental İmplantlarda Stabilite Kavramı

Dental implant stabilitesi, implantın çevre kemik dokusu içerisinde hareket göstermeden fonksiyonel yükleri karşılayabilme kapasitesini ifade etmekte ve osseointegrasyon sürecinin başarısında önemli bir rol oynamaktadır. İmplant stabilitesi genel olarak **primer ve sekonder stabilite** olmak üzere iki aşamada değerlendirilmektedir. Primer stabilite implantın yerleştirilmesi sırasında elde edilen mekanik stabiliteyi, sekonder stabilite ise iyileşme sürecinde kemik-implant arayüzünde meydana gelen biyolojik olaylar sonucunda gelişen stabiliteyi ifade etmektedir.(Wang et al., 2016)

Primer stabilite, implantın cerrahi olarak yerleştirilmesinin hemen ardından kemik ile implant yüzeyi arasında oluşan mekanik bağlantıya dayanmaktadır. Bu başlangıç stabilitesi, özellikle implantın iyileşmenin erken döneminde aşırı mikromobiliteye maruz kalmasının önlenmesi açısından önem taşımaktadır. İmplantın geometrisi ve boyutları ile çevre kemiğin yoğunluğu gibi faktörler implantın stabilitesi ve mikromobilitesi üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle implant yerleştirilmesi sırasında elde edilen stabilite, sonraki dönemlerde gerçekleştirilecek ölçümler için başlangıç değerinin belirlenmesine de olanak sağlamaktadır.(Heimes et al., 2023; Parmar et al., 2024)

Sekonder stabilite ise implant yerleştirildikten sonra gerçekleşen biyolojik iyileşme ve osseointegrasyon süreciyle ilişkilidir. İmplant çevresinde yeni kemik oluşumunun başlaması ve bunu takip eden modelleme ve yeniden şekillenme süreçleri, kemik-implant arayüzünün zaman içerisinde biyolojik olarak güçlenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu

süreçte osteoblastlar ekstrasellüler kemik matriksinin oluşumunda görev alırken, osteoklastlar kemik dokusunun modelleme ve yeniden şekillenmesinde rol oynamaktadır. Böylece başlangıçta mekanik özelliklerin ön planda olduğu stabilite, iyileşmenin ilerlemesiyle birlikte biyolojik bir nitelik kazanmaktadır.(Elson et al., 2022; Razaghi et al., 2025)

Primer ve sekonder stabilitenin birbirini takip eden süreçler olması, implant stabilitesinin farklı zamanlarda değerlendirilmesini önemli hale getirmektedir. İmplantın yerleştirilme anında elde edilen değerlerin iyileşme dönemindeki ölçümlerle karşılaştırılması, stabilitede meydana gelen değişikliklerin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla implant stabilitesini ve kemik-implant arayüzünü farklı prensiplere dayanarak değerlendiren çeşitli klinik ve deneysel yöntemler kullanılmaktadır.(Mello et al., 2023)

Girişimsel Olmayan Stabilite Değerlendirme Yöntemleri

Dental implant stabilitesinin değerlendirilmesinde kullanılan girişimsel olmayan yöntemler, kemik-implant bağlantısına zarar vermeden stabilite hakkında bilgi sağlamaları nedeniyle özellikle klinik takip açısından önem taşımaktadır. Bu yöntemler implantın yerleştirilmesi sırasında veya iyileşmenin farklı dönemlerinde uygulanabilmekte ve stabilitedeki değişimlerin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Rezonans frekans analizi, radyografik analiz, Periotest, perküsyon testi ve yerleştirme torku ölçümü bu kapsamda değerlendirilen başlıca yöntemlerdir.

Rezonans Frekans Analizi (RFA)

Rezonans frekans analizi (RFA), dental implant stabilitesinin değerlendirilmesinde kullanılan girişimsel olmayan yöntemlerden biridir. Yöntem, implant-kemik kompleksinin titreşim ve yapısal analiz prensiplerine dayalı olarak değerlendirilmesini esas almaktadır. İmplantın rezonans frekansının belirlenmesiyle kemik-implant bağlantısının stabilitesi hakkında nicel bilgi elde edilebilmektedir. Yüksek rezonans frekansı değerleri, genel olarak implant ile çevre kemik arasındaki bağlantının daha güçlü olduğuna işaret etmektedir.(Rittel et al., 2019)

RFA ölçümünde implant veya abutmente bağlanan bir transdüser kullanılmaktadır. Transdüser içerisinde yer alan seramik eleman sinüzoidal sinyallerle uyarılmakta ve implant kademeli olarak artan frekanslarda

titreştirilmektedir. Sistemin rezonansa ulaştığı frekansın belirlenmesi sonucunda implant-kemik yapısının mekanik özellikleri değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, implant stabilitesinin farklı iyileşme dönemlerinde tekrarlanan ölçümlerle takip edilmesine olanak sağlamaktadır. (Rittel et al., 2019)

RFA sonuçlarının klinik olarak ifade edilmesinde yaygın biçimde **İmplant Stabilite Katsayısı (Implant Stability Quotient, ISQ)** kullanılmaktadır. ISQ, implant stabilitesini nicel olarak ifade eden bir parametre olup implantın erken iyileşme sürecindeki değişimlerinin izlenmesinde kullanılabilmektedir. Bu değerler aynı zamanda çevre kemiğin özelliklerinin rezonans frekansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine de yardımcı olmaktadır.(Mello et al., 2023; Parmar et al., 2024)

RFA prensibiyle çalışan sistemlerden biri Osstell cihazıdır. Bu sistemde implanta bağlanan SmartPeg'in rezonans frekansı değerlendirilerek implant stabilitesi **1 ile 100 arasında değişen ISQ değeri** ile ifade edilmektedir. Ölçümler implantın yerleştirildiği anda gerçekleştirilebildiği gibi iyileşmenin ilerleyen dönemlerinde de tekrarlanabilmektedir. Böylece başlangıç stabilitesi referans alınarak implant stabilitesinde zaman içerisinde meydana gelen değişikliklerin izlenmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte elde edilen değerler implant geometrisi ve boyutları, kemik yoğunluğu ve osseointegrasyon derecesi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir.(Mello et al., 2023; Parmar et al., 2024)

Radyografik Analiz

Radyografik analiz, dental implantların ve çevre kemik dokusunun değerlendirilmesinde kullanılan girişimsel olmayan yöntemlerden biridir. Cerrahi sonrası iyileşmenin farklı dönemlerinde uygulanabilmesi, kemik-implant ilişkisinin zaman içerisinde takip edilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle implant çevresindeki kemik seviyelerinin değerlendirilmesi ve meydana gelebilecek değişikliklerin izlenmesi açısından radyografik incelemeler klinik takipte önemli bir yere sahiptir.(Di Stefano et al., 2021)

Bununla birlikte radyografik değerlendirmenin implant stabilitesini doğrudan ölçen bir yöntem olmadığı ve bazı sınırlılıklara sahip olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Görüntülerin çözünürlüğüne bağlı olarak erken veya sınırlı kemik kayıplarının belirlenmesi güçleşebilmekte, ayrıca kemik kalitesi ve yoğunluğu hakkında doğrudan bilgi elde edilememektedir.

Kemik seviyelerindeki değişikliklerin nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla çeşitli hesaplama yöntemlerinden yararlanılabilse de bu işlemler zaman alıcı olabilmektedir. Bu nedenle radyografik analiz, implant stabilitesinin tek başına belirlenmesinden çok implant ve çevre kemiğin mevcut durumunun değerlendirilmesinde tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılmaktadır.(Singh et al., 2024)

Periotest Yöntemi

Periotest, dental implant stabilitesinin değerlendirilmesinde kullanılan girişimsel olmayan yöntemlerden biridir. İlk olarak Schulte tarafından tanıtılan yöntem, implant çevresindeki dokuların kontrollü bir darbe yüküne verdiği yanıtın nicel olarak değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Sistemde elektromanyetik olarak hareket ettirilen ve elektronik olarak kontrol edilen metal bir çubuk kullanılmakta, implanta uygulanan darbe sonrasında oluşan yanıt cihazın başlığında bulunan ivmeölçer aracılığıyla kaydedilmektedir.(Zanetti et al., 2018)

İmplant stabilitesinin azalması, çubuk ile implant arasındaki temas süresinin uzamasına ve daha yüksek Periotest değerlerinin elde edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle Periotest değerleri implantın stabilitesi hakkında nicel bilgi sağlayabilmektedir. Yöntem cerrahi sırasında ve iyileşme döneminde kullanılabilmekle birlikte, düşük hassasiyeti nedeniyle güvenilirliği konusunda bazı sınırlılıklar bulunmaktadır.(Semenzin Rodrigues et al., 2024)

Perküsyon Testi Yöntemi

Perküsyon testi, dental implantlarda osseointegrasyon düzeyinin değerlendirilmesinde kullanılan basit ve girişimsel olmayan yöntemlerden biridir. Yöntem, vibrasyonel akustik algılama ve yanıt prensibine dayanmakta; implanta metal bir aletle vurulmasının ardından ortaya çıkan ses özellikleri değerlendirilmektedir. Zayıf veya boğuk bir ses yetersiz osseointegrasyonla ilişkilendirilirken, net ve çınlayan bir ses iyi düzeyde osseointegrasyonun göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte yöntemin değerlendirilmesi büyük ölçüde klinisyenin deneyimine bağlıdır ve standartlaştırılmış bir ölçüm yönteminin bulunmaması testin güvenilirliğini sınırlandırmaktadır.(Peeraprasompong et al., 2024)

Yerleştirme Torku Ölçüm Yöntemi

Yerleştirme torku ölçümü, implant stabilitesinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde implantın cerrahi olarak yerleştirilmesinin ardından implanta tork uygulanarak implant-kemik bağlantısının mekanik direnci değerlendirilmektedir. Bununla birlikte uygulanan torkun implant-kemik arayüzü üzerinde yıkıcı etki oluşturabileceği ve yüksek değerlerde başarısızlığa yol açabileceği bildirilmiştir. Ayrıca elde edilen değerler implantın tipi ve geometrisinin yanı sıra kemik yoğunluğu ve kalitesinden de etkilenebildiğinden, yöntem osseointegrasyon derecesini doğrudan göstermemektedir.(Nascimento et al., 2023; Seidel et al., 2025)

Girişimsel Stabilite Değerlendirme Yöntemleri

Girişimsel stabilite değerlendirme yöntemleri, kemik-implant arayüzünün mekanik veya biyolojik özelliklerinin doğrudan değerlendirilmesine dayanan yöntemleri kapsamaktadır. Bu grupta itme/çekme testi, gerilim testi, geri çevirme tork ölçümü ve histolojik-histomorfometrik değerlendirme yöntemleri yer almaktadır. Bu yöntemler kemik-implant bağlantısı hakkında ayrıntılı bilgi sağlayabilmekle birlikte girişimsel özellikleri nedeniyle daha çok deneysel araştırmalarda kullanılmaktadır.

İtme/Çekme Testi Yöntemi

İtme/çekme testi, kemik-implant arayüzündeki iyileşmenin ve mekanik bağlantının değerlendirilmesinde kullanılan girişimsel bir yöntemdir. Test sırasında implant-kemik arayüzüne implantın uzunluğu boyunca yük uygulanmakta ve silindirik implantın eksenel yönde kemikten ayrılması için gerekli kuvvet ölçülmektedir. Böylece kemik-implant bağlantısının maksimum yük taşıma kapasitesi değerlendirilebilmektedir. Bununla birlikte yöntemin temel dezavantajı, özellikle vida dişli olmayan implantlar için uygun olması ve sonuçların uygulayıcının tekniği ile becerisinden etkilenebilmesidir.(Mandal et al., 2023)

Gerilim Testi Yöntemi

Gerilim testi, kemik-implant bağlantısının mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla kullanılan girişimsel yöntemlerden biridir. İlk uygulamalarda implantın destekleyici kemikten ayrılması esasına dayanan yöntem, daha sonra Brånemark tarafından kemik-implant bağlantısına yatay yönde yük uygulanacak şekilde modifiye edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen sonuçların bağımsız mekanik özelliklere dönüştürülmesindeki güçlük, yöntemin pratik kullanımını önemli ölçüde sınırlandırmaktadır.(Pandey et al., 2022)

Geri Çevirme Tork Ölçüm Yöntemi

Geri çevirme tork ölçümü, implantın kemik içerisinden çıkarılması için gerekli sökme torkunun belirlenmesi yoluyla kemik-implant bağlantısının mekanik stabilitesini değerlendiren girişimsel bir yöntemdir. Tezde esas alınan kaynağa göre sökme torkunun 20 N·cm'nin üzerinde olması implantın stabil olduğunun göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte yöntemin destrüktif özellik göstermesi ve uygulanan tork sırasında implant yüzeyinde hasar veya kırılma meydana gelebilmesi önemli dezavantajları arasındadır. Bu özellikleri nedeniyle geri çevirme tork analizi klinik takipten ziyade deneysel çalışmalarda kemik-implant bağlantısının biyomekanik olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.(Comuzzi et al., 2022)

Histolojik-Histomorfometrik Değerlendirme Yöntemi

Histolojik ve histomorfometrik değerlendirme, kemik-implant arayüzünün ve peri-implant kemik dokusunun mikroskobik düzeyde incelenmesine olanak sağlayan girişimsel bir yöntemdir. Histomorfometrik analiz ile dokuların şekil ve yapısal özellikleri nicel olarak değerlendirilebilmekte ve kemik kalitesi hakkında önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Değerlendirme amacıyla hazırlanan kemik kesitleri çeşitli boyama yöntemleri kullanılarak incelenmekte ve kemik-implant arayüzündeki dokusal özellikler analiz edilmektedir. Bununla birlikte yöntemin destrüktif olması klinik kullanımını sınırlandırmakta ve bu nedenle histolojik-histomorfometrik değerlendirmeler ağırlıklı olarak deneysel araştırmalarda kullanılmaktadır.(İzgi & Şimşek, 2020; Tanrisever et al., 2025)

Stabilite Değerlendirme Yöntemlerinin Klinik ve Deneysel Açıdan Karşılaştırılması

Dental implant stabilitesinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler, ölçüm prensipleri ve kullanım alanları açısından farklılık göstermektedir. Klinik uygulamalarda girişimsel olmayan yöntemler, implant-kemik bağlantısına zarar vermeden değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle RFA, ISQ değerleri aracılığıyla stabilitenin nicel olarak değerlendirilmesini ve zaman içerisindeki değişimin izlenmesini mümkün kılmaktadır.(Kittur et al., 2021; Rittel et al., 2019)

Radyografik analiz, Periotest ve perküsyon testi de girişimsel olmayan değerlendirme yöntemleri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte

radyografik analizin stabiliteyi doğrudan ölçmemesi, Periotest'in hassasiyetindeki sınırlılıklar ve perküsyon testinin klinisyen deneyiminden etkilenmesi sonuçların yorumlanmasında dikkate alınmalıdır. Girişimsel yöntemler ise kemik-implant bağlantısının mekanik özelliklerinin daha doğrudan değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. İtme/çekme, gerilim ve geri çevirme tork testleri bu amaçla kullanılmakla birlikte destrüktif özellikleri nedeniyle daha çok deneysel araştırmalarda tercih edilmektedir.(Mandal et al., 2023; Peeraprasompong et al., 2024)

Histolojik-histomorfometrik analizler peri-implant kemik dokusunun yapısal özelliklerinin değerlendirilmesini sağlarken, destrüktif olmaları klinik kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle stabilite değerlendirme yönteminin seçiminde klinik veya deneysel amaç göz önünde bulundurulmalı ve yöntemin avantajları ile sınırlılıkları birlikte değerlendirilmelidir.(İzgi & Şimşek, 2020; Kittur et al., 2021)

Sonuç

Dental implantların uzun dönem başarısında primer ve sekonder stabilitenin sağlanması önemli bir rol oynamaktadır. Stabilitenin doğru şekilde değerlendirilmesi, implant-kemik ilişkisinin belirlenmesine ve osseointegrasyon sürecinin izlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu amaçla kullanılan yöntemler, girişimsel olmayan ve girişimsel yöntemler olmak üzere farklı ölçüm prensiplerine dayanmaktadır.

Girişimsel olmayan yöntemler, implant-kemik bağlantısına zarar vermeden değerlendirme yapılabilmesi nedeniyle klinik uygulamalarda önemli avantajlar sağlamaktadır. Buna karşılık girişimsel yöntemler, kemik-implant arayüzünün mekanik ve yapısal özelliklerinin daha doğrudan değerlendirilmesine olanak sağlamakta ve özellikle deneysel araştırmalarda kullanılmaktadır. Her yöntemin kendine özgü avantaj ve sınırlılıklarının bulunması, elde edilen sonuçların kullanılan yöntemin özellikleri dikkate alınarak yorumlanmasını gerektirmektedir.

Sonuç olarak, dental implant stabilitesinin değerlendirilmesinde tek bir yöntemin tüm gereksinimleri karşılaması mümkün değildir. Klinik veya deneysel amaca uygun yöntemin seçilmesi ve gerektiğinde farklı değerlendirme yöntemlerinden elde edilen bulguların birlikte ele alınması, implant stabilitesi ve osseointegrasyon hakkında daha kapsamlı bir değerlendirme sağlayabilir. Bu yaklaşım, implant tedavilerinin başarısının

öngörülmesi ve osseointegrasyonun bilimsel olarak değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Kaynaklar

Comuzzi, L., Tumedei, M., Romasco, T., Petrini, M., Afrashtehfar, K. I., Inchingolo, F., Piattelli, A., & Di Pietro, N. (2022). Insertion torque, removal torque, and resonance frequency analysis values of ultrashort, short, and standard dental implants: an in vitro study on polyurethane foam sheets. *Journal of functional biomaterials*, *14*(1), 10.

Di Stefano, D. A., Arosio, P., Capparè, P., Barbon, S., & Gherlone, E. F. (2021). Stability of dental implants and thickness of cortical bone: clinical research and future perspectives. A systematic review. *Materials*, *14*(23), 7183.

Elson, A., Anuj, A., Barnea-Zohar, M., & Reuven, N. (2022). The origins and formation of bone-resorbing osteoclasts. *Bone*, *164*, 116538.

Heimes, D., Becker, P., Pabst, A., Smeets, R., Kraus, A., Hartmann, A., Sagheb, K., & Kämmerer, P. W. (2023). How does dental implant macrogeometry affect primary implant stability? A narrative review. *International Journal of Implant Dentistry*, *9*(1), 20.

İzgi, E., & Şimşek, M. (2020). Dental implantlarda stabilite ölçüm yöntemleri: Derleme [The methods of dental implant stability measurement: A review]. *Turkish Journal of Clinics and Laboratory*, *11*(2), 77-84. https://doi.org/10.18663/tjcl.619650

Kittur, N., Oak, R., Dekate, D., Jadhav, S., & Dhatrak, P. (2021). Dental implant stability and its measurements to improve osseointegration at the bone-implant interface: A review. *Materials Today: Proceedings*, *43*, 1064-1070. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.243

Mandal, P., Karmakar, A., Sen, U. K., Pahari, S., Taraphdar, S., & Mukhopadhyay, N. (2023). Bridge to integration and implant stability: A review. *J Orofac Rehabil*, *3*(2), 9-16.

Mello, B. F., De Carvalho Formiga, M., Bianchini, M. A., Borges Jr, I., Coura, G., Tumedei, M., Fuller, R., Petrini, M., Romasco, T., & Vaz, P. (2023). Insertion torque (IT) and implant stability quotient (ISQ) assessment in dental implants with and without healing

chambers: a polyurethane in vitro study. *Applied Sciences*, *13*(18), 10215.

Nascimento, L. R. X. C., Torelly, G. M., & Elias, C. N. (2023). Analysis of bone stress and primary stability of a dental implant using strain and torque measurements. *The Saudi Dental Journal*, *35*(3), 263-269.

Pandey, C., Rokaya, D., & Bhattarai, B. P. (2022). Contemporary Concepts in Osseointegration of Dental Implants: A Review. *BioMed Research International*, *2022*(1), 6170452. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/6170452

Parmar, V., Elhammali, N. A., Mohammed, O. B. A., Chauhan, M., Gupta, P., Manas, A., Raj, A., & Chetani, H. (2024). Dependability of Osstell ISQ's for measuring implant stability. *Bioinformation*, *20*(8), 921.

Peeraprasompong, W., Aunmeungtong, W., & Khongkhunthian, P. (2024). Correlation between implant stability quotient and percussion sound frequency. *Clinical and Experimental Dental Research*, *10*(4), e917.

Razaghi, N., Gill, T., Patankar, A., Petrie, A., & Shahdad, S. (2025). Significance of Primary Stability in Nonimmediately Loaded Dental Implants: A Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Prosthodont*, *38*(4), 457-482. https://doi.org/10.11607/ijp.9115

Rittel, D., Dorogoy, A., Haiat, G., & Shemtov-Yona, K. (2019). Resonant frequency analysis of dental implants. *Medical Engineering & Physics*, *66*, 65-74.

Sailer, I., Barbato, L., Mojon, P., Pagliaro, U., Serni, L., Karasan, D., & Cairo, F. (2023). Single and partial tooth replacement with fixed dental prostheses supported by dental implants: A systematic review of outcomes and outcome measures used in clinical trials in the last 10 years. *J Clin Periodontol*, *50 Suppl 25*, 22-37. https://doi.org/10.1111/jcpe.13612

Seidel, D., Neugebauer, J., Dhom, G., Weinhold, O., Zimmermann, K. P., Sader, R., Weigl, P., & Gehrke, P. (2025). A Comparative Evaluation of the Primary and Secondary Stability of Dental Implants with Progressive and Conventional Thread Designs: A Prospective Non-Interventional Study of 100 Implants in 62 Patients. *J Clin Med*, *14*(9). https://doi.org/10.3390/jcm14093040

Semenzin Rodrigues, A., de Moraes Melo Neto, C. L., Santos Januzzi, M., Dos Santos, D. M., & Goiato, M. C. (2024). Correlation between Periotest value and implant stability quotient: a systematic review. *Biomed Tech (Berl)*, *69*(1), 1-10. https://doi.org/10.1515/bmt-2023-0194

Singh, N., Rajesh, N., & Ramesh, A. (2024). Assessment of implant stability with resonance frequency analysis and changes in the thickness of keratinized tissue and crestal bone level using cone-beam computed tomography in two-stage implants: A three-dimensional clinicoradiographic study. *J Indian Soc Periodontol*, *28*(3), 368-375. https://doi.org/10.4103/jisp.jisp_122_23

Tanrisever, M., Tekin, B., Can, U. K., Istek, O., Ozcan, E. C., Ozercan, I. H., Gelic, T., & Dundar, S. (2025). The Effect of Local Melatonin Application on Bone Fracture Healing in Rat Tibias. *Medicina*, *61*(1).

Wang, Y., Zhang, Y., & Miron, R. J. (2016). Health, maintenance, and recovery of soft tissues around implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, *18*(3), 618-634.

Zanetti, E. M., Pascoletti, G., Calì, M., Bignardi, C., & Franceschini, G. (2018). Clinical assessment of dental implant stability during follow-up: what is actually measured, and perspectives. *Biosensors*, *8*(3), 68.

BÖLÜM 8

ŞEFFAF PLAK TEDAVİSİNDE BİYOMEKANİK VE ÖNGÖRÜLEBİLİRLİK: GÜNCEL KANITLAR

Emine KILIÇ[1]

Giriş

Şeffaf plak tedavisinin tarihsel gelişimi, Kesling tarafından 1945 yılında tanımlanan ve dişlerin konumlandırılmasını amaçlayan “tooth positioning appliance” yaklaşımına kadar uzanmaktadır (Kesling, 1945). Ardışık hareketli plak yaklaşımının gelişmesi ve bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) teknolojilerinin ortodontiye entegrasyonu, 1990'ların sonunda Invisalign sisteminin kullanıma sunulmasına zemin hazırlamıştır (Borzabadi-Farahani, 2026). Invisalign sisteminin erken dönem klinik uygulamaları Boyd et al. (2000) ve Haouili et al. (2020) tarafından bildirilmiştir. İzleyen yıllarda dijital teknolojiler, materyal bilimi ve üretim yöntemlerindeki gelişmeler, şeffaf plak sistemlerinin hızla ilerlemesini ve daha geniş bir klinik uygulama alanına sahip olmasını sağlamıştır (Li et al., 2024). Günümüzde şeffaf plaklar, başlangıçta daha sınırlı diş hareketleri için kullanılan bir tedavi yaklaşımından kapsamlı ortodontik tedavilerde kullanılabilen bir aparey sistemine dönüşmüştür (Bichu et al., 2024).

[1] Uzm. Dt., Şanlıurfa Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi, Ortodonti Kliniği, ORCID: 0009-0007-0698-2390

Bu gelişmelere karşın, dijital tedavi planında öngörülen diş hareketleri ile klinik olarak gerçekleşen hareketler arasındaki uyumsuzluk şeffaf plak tedavisinin temel sorunlarından biri olmaya devam etmektedir (Bichu et al., 2024). Bu alandaki öncü prospektif çalışmalardan birinde, anterior dişlerde planlanan hareketlerin ortalama yaklaşık %41'inin gerçekleştiği bildirilmiştir (Kravitz et al., 2009). Yaklaşık on yıl sonra, yeni materyal ve sistem özelliklerinin kullanıldığı bir izlem çalışmasında genel hareket doğruluğunun %50'ye yükseldiği gösterilmiş; ancak farklı diş hareketlerinin göreceli olarak güçlü ve zayıf yönlerinin büyük ölçüde devam ettiği belirtilmiştir (Haouili et al., 2020). Daha güncel kanıtlar da planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki farkın tamamen ortadan kalkmadığını göstermektedir (Borzabadi-Farahani, 2026).

Planlanan hareketlerin tam olarak gerçekleşmemesi, ek plak serilerine veya düzeltme aşamalarına gereksinim duyulmasına ve tedavi süresinin uzamasına neden olabilmektedir. Ayrıca bu durum hasta tükenmişliği ve relaps potansiyeli gibi klinik sorunlarla ilişkilendirilmektedir (Bichu et al., 2024). Güncel bir kapsam derlemesinde vakaların yarısından fazlasında ek düzeltme (refinement) gerektiği bildirilmiş (Borzabadi-Farahani, 2026); sınırlı sayıdaki çalışmaya dayanan verilere göre ise hastaların %17,2'sinde sabit apareye geçilmiştir (Borzabadi-Farahani, 2026; Kravitz et al., 2023). Bununla birlikte, dijital olarak planlanan hareket ile klinik olarak gerçekleşen hareket arasındaki yüzdesel uyumun tek başına tedavinin genel klinik başarısını temsil etmediği göz önünde bulundurulmalıdır.

Şeffaf plaklarla elde edilen hareketlerin öngörülebilirliği, hareket türüne, hareket ettirilen dişe ve klinik koşullara göre değişmektedir. Prospektif klinik veriler, bukkal-lingual kron devrilmesi gibi bazı hareketlerin daha yüksek doğrulukla gerçekleşebildiğini, rotasyon gibi hareketlerin ise daha düşük öngörülebilirlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır (Haouili et al.,

2020). Benzer şekilde güncel derlemelerde rotasyon, tork, intrüzyon ve diğer kompleks hareketlerde planlanan hareketin klinik olarak tam ifade edilemediği bildirilmektedir (Borzabadi-Farahani, 2026). Ancak mevcut kanıtların önemli bir bölümünün retrospektif çalışmalardan oluşması, kullanılan yöntemlerin heterojenliği ve literatürün büyük ölçüde tek bir ticari şeffaf plak sistemi üzerine yoğunlaşması nedeniyle bildirilen doğruluk değerlerinin evrensel klinik ölçütler olarak yorumlanması uygun değildir (Borzabadi-Farahani, 2026). Mevcut sistematik derlemelerin metodolojik kalitesine ilişkin değerlendirmeler, şeffaf plakların öngörülebilirliği konusunda yüksek kesinlikte kanıtların halen sınırlı olduğunu göstermektedir (Bichu et al., 2024).

Farklı diş hareketlerinde gözlenen bu değişkenliğin anlaşılmasında biyomekanik temel bir çerçeve sunmaktadır. Sabit ortodontik apareylerden farklı olarak şeffaf plaklarda kuvvet, aktive edilmiş polimer plağın diş ve çevre dokularla etkileşimi sonucunda oluşmaktadır. Plak-diş temasının geometrisi, materyalin mekanik özellikleri, planlanan aktivasyon miktarı ve yönü ile ataşmanlar ve diğer yardımcı tasarım öğeleri oluşan kuvvet ve moment sistemlerini etkileyebilmektedir (Li et al., 2024). Bu nedenle şeffaf plaklarla gerçekleştirilen diş hareketlerinin öngörülebilirliği yalnızca dijital tedavi planlamasına değil, planlanan hareketin biyomekanik olarak ne ölçüde ifade edilebildiğine de bağlıdır.

Bu bölümün amacı, şeffaf plak tedavisinde kuvvet oluşumu ve iletimini belirleyen temel biyomekanik ilkeleri güncel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmek; materyal özellikleri, plak geometrisi, ataşmanlar ve klinik planlama stratejilerinin diş hareketleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Ayrıca farklı diş hareketlerinin öngörülebilirliği, dijital olarak planlanan ve klinik olarak gerçekleşen hareketler arasındaki farklılıklar temelinde ele alınacak ve mevcut kanıtların klinik uygulamaya yansımaları, kanıt

düzeyi ve metodolojik sınırlılıklar göz önünde bulundurularak tartışılacaktır.

ŞEFFAF PLAK TEDAVİSİNİN BİYOMEKANİK TEMELLERİ

Plak-Diş Etkileşimi ve Kuvvet Sistemleri

Sabit apareylerde ortodontik kuvvet esas olarak ark tellerinin elastik özellikleri aracılığıyla oluşturulurken, şeffaf plaklarda kuvvet polimer plağın deformasyonu ve şekil geri kazanımı sonucunda meydana gelir (Cao et al., 2025). Her tedavi aşamasında plak ile dişin mevcut konumu arasında önceden planlanmış geometrik bir uyumsuzluk oluşturulur. Plak ağıza yerleştirildiğinde bu uyumsuzluk nedeniyle elastik olarak deforme olur ve oluşan mekanik etkileşim dişe bir kuvvet sistemi olarak aktarılır (Castroflorio et al., 2024; Gomez et al., 2015). Kuvvet doğrudan kron yüzeyine veya plak-ataşman teması aracılığıyla iletilebilir. Etkin kuvvet iletimi, plağın diş yüzeyleriyle yeterli temasının sağlanmasına bağlıdır (Li et al., 2024).

Plak-diş etkileşiminde oluşan kuvvetin büyüklüğü ve yönü; aktivasyon miktarı, temas yüzeylerinin geometrisi, kron morfolojisi ve plak materyalinin mekanik özellikleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Ataşmanlar doğrudan kuvvet üreten elemanlar olmayıp, deforme olan plağın kuvvet iletebileceği ek aktif yüzeyler oluşturarak ortaya çıkan kuvvet sistemini değiştirmektedir (Castroflorio et al., 2024). Kron morfolojisinin önemi deneysel çalışmalarda da gösterilmiştir. Üst santral kesicinin uzun ekseni çevresinde rotasyonunun incelendiği bir in vitro çalışmada saf bir rotasyon momenti yerine, rotasyona değişken yatay kuvvetlerin eşlik ettiği belirlenmiş; bu durum kronun vestibüler ve palatinal yüzey geometrileri arasındaki farklılıklarla ilişkilendirilmiştir (Hahn et al., 2010). Plak ve diş yüzeyleri arasındaki sürtünme ile hastaya özgü

kron morfolojisi de temas ilişkilerini ve dolayısıyla kuvvet iletimini etkileyebilmektedir (Li et al., 2024).

Ortodontik hareketin niteliği, oluşan bileşke kuvvetin yönü ve etki çizgisinin dişin direnç merkeziyle ilişkisi tarafından belirlenir. Şeffaf plaklarda kuvvetin uygulama noktalarının kesin olarak tanımlanması, plak-diş geometrisindeki karmaşık temas ilişkileri nedeniyle güçtür. Direnç merkezinin konumu; kök morfolojisi, periodontal ligamentin özellikleri ve çevre alveoler kemik gibi hastaya özgü anatomik faktörlerden etkilenmektedir (Li et al., 2024). Kuvvetin etki çizgisinin direnç merkezinden geçmemesi moment oluşturduğundan, kuvvet-moment ilişkisinin üç boyutlu olarak değerlendirilmesi kontrollü diş hareketinin temelini oluşturur (Castroflorio et al., 2024). Bu bağlamda moment/kuvvet oranı, özellikle devrilme ile translasyon arasındaki hareket karakterinin değerlendirilmesinde önemli bir biyomekanik parametredir (Iliadi et al., 2019).

Şeffaf plakların geometrik özellikleri nedeniyle basit devrilme ve bazı intrüziv hareketlerin oluşturulması görece kolayken, translasyon ve kök kontrolü gerektiren hareketlerde daha karmaşık kuvvet sistemlerine gereksinim duyulmaktadır (Li et al., 2024). Bu durum Gomez et al. (2015) tarafından gerçekleştirilen bir sonlu elemanlar analiziyle de gösterilmiştir. Üst kaninin distal hareketinin modellendiği çalışmada, ataşmansız model kontrolsüz distal kron devrilmesi eğilimi gösterirken, kompozit ataşmanın eklenmesiyle oluşan karşı moment daha gövdesel bir distal hareket eğilimi meydana getirmiştir. Bu sonuçlar gerçekleşmiş klinik diş hareketini değil, modelin belirli bir aktivasyon altında öngördüğü başlangıç mekanik yanıtını temsil etmektedir (Gomez et al., 2015).

Şeffaf plakların oluşturduğu kuvvet sistemlerinin değerlendirilmesinde periodontal ligamentteki stres dağılımı da önem taşımaktadır. Sonlu elemanlar analizlerine dayanan çalışmalar, farklı hareketlerde PDL içerisinde homojen olmayan stres

dağılımlarının oluşabildiğini ve bunların istenmeyen hareket eğilimleriyle ilişkili olabileceğini göstermektedir (Cao et al., 2025). Ancak FEA çalışmaları klinik diş hareketini doğrudan göstermemekte; plağın yerleştirilmesini izleyen başlangıç mekanik yanıtını, stres dağılımını ve yer değiştirme eğilimlerini modellemektedir. Mevcut modellerde kullanılan materyal özellikleri, PDL parametreleri, plak kalınlığı ve temas koşulları bakımından önemli metodolojik farklılıklar bulunmakta ve biyolojik yeniden şekillenme süreçleri çoğunlukla modellenememektedir (Cao et al., 2025; Li et al., 2024). Benzer şekilde in vitro kuvvet ölçümleri de biyolojik ortamı tam olarak yansıtmadığından, elde edilen değerlerin doğrudan klinik diş hareketine aktarılması uygun değildir (Hahn et al., 2010; Iliadi et al., 2019; Kohda et al., 2013).

İstenen hareketle birlikte ortaya çıkan istenmeyen kuvvet ve momentler şeffaf plak biyomekaniğinin önemli bir özelliğidir. Üst santral kesicinin rotasyonunun değerlendirildiği in vitro çalışmada, rotasyon momentine intrüzif bir kuvvetin eşlik ettiği gösterilmiştir (Hahn et al., 2010). Benzer şekilde sayısal modellerde rotasyon, retraksiyon ve boşluk kapatma sırasında hedeflenen hareketlere ek olarak devrilme, intrüzyon veya ekstrüzyon eğilimlerinin oluşabildiği bildirilmiştir (Castroflorio et al., 2024; Li et al., 2024). Bu bulgular, şeffaf plaklarla gerçekleştirilen diş hareketinin yalnızca hedef dişin planlanan yer değiştirmesi üzerinden değil, tüm arkta oluşan üç boyutlu kuvvet ve moment sistemi üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Staging ve Aktivasyon Miktarı

Şeffaf plak tedavisinde toplam planlanan diş hareketi, birbirini izleyen plaklara bölünerek aşamalı biçimde gerçekleştirilir. Her aşamada programlanan hareket miktarı, plak ile diş arasındaki geometrik uyumsuzluğu ve buna bağlı oluşan kuvvet sistemini etkiler (Castroflorio et al., 2024). Bu yüzden staging yalnızca dijital

tedavi planının zamansal olarak bölünmesi değil, aynı zamanda her aşamada ortaya çıkacak biyomekanik koşulların belirlenmesinde rol oynayan bir planlama değişkenidir.

Aktivasyon miktarı ile oluşan kuvvet ve moment arasındaki ilişki basit ve doğrusal değildir. Üst santral kesici rotasyonunun değerlendirildiği in vitro çalışmada farklı aktivasyon düzeylerinde oluşan momentlerin değiştiği ve daha büyük aktivasyonların daha yüksek momentlerle ilişkili olabildiği gösterilmiştir. Öte yandan test edilen aktivasyon miktarları deneysel koşulları temsil etmekte olup ideal veya önerilen klinik staging değerleri olarak değerlendirilmemelidir (Hahn et al., 2010). Benzer şekilde gövdesel hareketin incelendiği başka bir in vitro çalışmada 1,0 mm aktivasyonun çoğu materyalde 0,5 mm aktivasyondan daha düşük başlangıç kuvveti oluşturduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar bu beklenmedik sonucu plakta oluşabilecek kalıcı deformasyon ve uyum kaybı gibi faktörlerle ilişkilendirmiştir (Kohda et al., 2013). Bu bulgular, aktivasyon miktarının artırılmasının her durumda kuvvette orantılı bir artış oluşturmayacağını göstermektedir.

Staging miktarının klinik hareketin gerçekleşmesi üzerindeki etkisine ilişkin kanıtlar ise sınırlıdır. Simon et al. (2014), premolar derotasyonunda daha fazla toplam rotasyon ve daha büyük aşama başına hareket planlanan gruplarda hareket doğruluğunun azaldığını bildirmiştir. Çalışmada kullanılan 15° toplam rotasyon ve 1,5°/plak değerleri grupların oluşturulmasında kullanılan kesme noktaları olup, doğrulanmış klinik eşikler olarak değerlendirilmemelidir. Ayrıca ilgili analizlerin sınırlı sayıda premolar hareketine dayanması, sonuçların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır (Simon et al., 2014).

FEA çalışmaları ve anlatı derlemeleri de rotasyon gibi kontrolü güç hareketlerde daha küçük aşamaların daha kontrollü kuvvet sistemleri oluşturabileceğini düşündürmektedir. Bildirilen değerler farklı dişler, materyaller, hareket tipleri ve araştırma

tasarımlarından elde edildiğinden doğrudan karşılaştırılmaları güçtür (Cao et al., 2025; Castroflorio et al., 2024; Iliadi et al., 2019). Bu nedenle mevcut kanıtlar, tüm klinik durumlar için geçerli tek bir ideal mm/plak veya derece/plak değerinin belirlenmesine olanak vermemektedir. Staging miktarının; hedeflenen hareketin türü, diş morfolojisi, plak materyali, ataşman kullanımı ve diğer biyomekanik değişkenlerle birlikte değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir. Her aşamada oluşan kuvvet sistemini ve bunun gerçek klinik diş hareketine yansımasını doğrudan inceleyen prospektif çalışmalara gereksinim devam etmektedir (Caruso et al., 2024).

Materyal Özellikleri ve Kuvvet İletimi

Şeffaf plağın dişe ilettiği kuvvet, aktivasyon miktarının yanı sıra materyalin mekanik özelliklerinden de etkilenmektedir. Termoplastik materyaller kısa süreli yüklenmede büyük ölçüde elastik, uzun süreli yüklenmede ise viskoelastik davranış gösterir (Li et al., 2024). Viskoelastik materyallerde sabit yük altında deformasyonun zamanla artması sürünme (creep), sabit deformasyon altında stresin zamanla azalması ise stres gevşemesi (stress relaxation) olarak tanımlanır. Dolayısıyla plak ağıza yerleştirildikten sonra, diş hareketinden bağımsız olarak da başlangıçta oluşturduğu kuvvetin bir bölümünü zaman içerisinde kaybedebilir (Lombardo et al., 2017).

Başlangıç kuvvetinin büyüklüğünde materyalin rijitliği ve kalınlığı önemli rol oynamaktadır. Kohda et al. (2013), farklı termoplastik materyal ve kalınlıkların değerlendirildiği in vitro çalışmalarında, elastik modülü ve sertliği daha düşük materyalin çoğu koşulda daha düşük kuvvet oluşturduğunu; daha kalın plakların ise aynı materyalin daha ince örneklerine göre daha yüksek başlangıç kuvveti uyguladığını göstermiştir. Yine de deneysel düzeneklerin ağız ortamını ve periodontal ligamentin biyolojik yanıtını tam olarak yansıtmaması nedeniyle bu sonuçlardan klinik

açıdan ideal bir materyal kalınlığı veya kuvvet düzeyi çıkarılamaz. Öte yandan Iliadi et al. (2019) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede, incelenen laboratuvar koşullarında plak kalınlığının oluşan kuvvet ve momentler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi gösterilememiştir. Bu bulgu, materyal kalınlığı ile kuvvet iletimi arasındaki ilişkinin farklı deneysel koşullar ve çalışma tasarımları bağlamında değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Şeffaf plaklarda kullanılan termoplastik materyallerin mekanik davranışları da birbirinden farklıdır. Tek ve çok katmanlı materyallerin rijitlik ve stres gevşemesi özellikleri arasında farklılıklar gösterilmiş olmakla birlikte, bu farklılıklar yalnız materyalin genel sınıfıyla açıklanamamaktadır (Albertini et al., 2022; Lombardo et al., 2017). Sistematik derleme bulguları da poliüretan ve PETG esaslı materyallerin sertlik, rijitlik, sürünme ve stres gevşemesi açısından farklı davranabildiğini, ancak çalışmalar arasındaki metodolojik heterojenliğin materyaller arasında kesin bir üstünlük sıralaması yapılmasını engellediğini göstermektedir (Srinivasan et al., 2024).

Stres gevşemesi, kuvvet iletiminin zaman içerisindeki değişimi açısından özellikle önemlidir. Lombardo et al. (2017), farklı aligner materyallerinin sabit deformasyon altında ilk saatlerde belirgin stres kaybı gösterdiğini ve daha sonraki dönemde azalmanın yavaşladığını bildirmiştir. Daha uzun süreli davranışı inceleyen Albertini et al. (2022) de stres koruma kapasitesinin materyaller arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte bu çalışmalar termoform işleminden önceki materyal örnekleri üzerinde ve kontrollü laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen stres kaybı değerlerinin ağız içindeki gerçek kuvvet azalmasını doğrudan temsil ettiği kabul edilmemelidir.

Materyalin başlangıçtaki mekanik özellikleri üretim ve kullanım sürecinde de değişebilmektedir. Sistematik derlemeler,

termoform işleminin plak kalınlığı ve sertlik, rijitlik veya elastik modül gibi mekanik özellikler üzerinde değişiklik oluşturabildiğini; ancak değişimin büyüklüğü ve yönünün materyaller ve deney protokolleri arasında tutarlı olmadığını göstermektedir (Li et al., 2024; Srinivasan et al., 2024). Bu durum, termoform öncesi düz levhalarda belirlenen materyal özelliklerinin klinikte kullanılan nihai plağın davranışını her zaman doğrudan yansıtmayabileceğini göstermektedir.

Ağız içi ortam da plak materyalinin özelliklerini zaman içerisinde değiştirebilir. Güncel sistematik derleme kanıtları; tükürük, sıcaklık değişimleri, beslenme ürünleri ve fonksiyonel mekanik yüklenmenin materyallerde fiziksel, mekanik ve morfolojik değişikliklerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Değişimin yönü ve büyüklüğü materyale ve deney koşullarına göre farklılaşmakta, çalışmalar arasındaki yüksek heterojenlik nicel sonuçların genellenmesini sınırlandırmaktadır (Almotairy et al., 2026). Ağız içi kullanım sonrası mekanik özellikleri değerlendiren daha eski bir meta-analizde de bazı sertlik ve modül ölçümlerinde azalma bildirilmiş, ancak kanıtın yalnız sınırlı sayıda çalışmaya ve belirli materyallere dayanması nedeniyle sonuçların tüm şeffaf plak materyallerine genellenemeyeceği belirtilmiştir (Bakdach et al., 2022).

ATAŞMANLARIN BİYOMEKANİK ROLÜ

Ataşman Tasarımı ve Konumu

Ataşmanlar kendi başlarına kuvvet üreten elemanlar olmayıp, plak ile diş arasındaki temas geometrisini değiştirerek plağın kuvvet iletebileceği ek yüzeyler oluşturur. Böylece plak tarafından oluşturulan kuvvet ve moment sisteminin yönü ve büyüklüğü modifiye edilebilir (Li et al., 2024). Ataşmanların biyomekanik katkısı yalnız aktif diş hareketiyle sınırlı değildir; plak retansiyonunun artırılması ve ankraj sağlayan dişlerde istenmeyen

hareketlerin kontrolü de önemli işlevleri arasındadır (Jedliński et al., 2023). Bununla birlikte bu etkiler plağın ataşmana yeterli uyum göstermesine bağlıdır ve plak-ataşman uyumsuzluğu hedeflenen kuvvet sisteminin değişmesine neden olabilir (Li et al., 2024).

Ataşmanın geometrisi, plağın kuvvet uyguladığı aktif yüzeylerin büyüklüğünü ve yönelimini belirlediğinden biyomekanik davranışı etkileyebilir. Dikdörtgen, elipsoid veya eğimli yüzeylere sahip tasarımların farklı retansiyon ve kuvvet sistemleri oluşturabildiği bildirilmiştir. Ancak mevcut kanıtlar belirli bir geometrinin tüm hareketlerde üstün olduğunu göstermemektedir. Nitekim ataşmanları değerlendiren sistematik derlemede şekil ve yönelimin etkisinin hareket türüne göre değiştiği, kanıtların önemli bölümünün FEA ve in vitro çalışmalardan elde edildiği belirtilmiştir (Jedliński et al., 2023). Bu nedenle laboratuvar ortamında belirli bir tasarımın oluşturduğu daha uygun stres dağılımı veya kuvvet sistemi, doğrudan daha yüksek klinik hareket doğruluğu olarak yorumlanmamalıdır.

Ataşmanın diş üzerindeki konumu da oluşan kuvvet sistemini etkileyen bir diğer değişkendir. Ataşmanın direnç merkezine göre konumu ve aktif yüzeylerinin yönelimi, oluşturulan momenti ve istenmeyen hareket bileşenlerini değiştirebilir (Jedliński et al., 2023; Li et al., 2024). Bu durum, ataşman seçiminde yalnız şeklin değil, hedeflenen hareket doğrultusuna göre diş üzerindeki yerleşimin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Farklı konumların üstünlüğüne ilişkin kanıtların önemli bölümü sayısal veya laboratuvar modellerine dayandığından klinik genelleme yapılırken dikkatli olunmalıdır.

Ataşmanların kuvvet sistemini nasıl değiştirebildiği Gomez et al. (2015) tarafından gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizinde gösterilmiştir. Üst kaninin distal hareketinin modellendiği çalışmada, ataşmansız durumda distal kron devrilmesi eğilimi görülürken, kompozit ataşmanın aktif yüzeylerinde oluşan kuvvetler

devrilme momentine karşı bir karşı-moment meydana getirmiş ve daha gövdesel bir hareket eğilimi oluşturmuştur. Ancak bu bulgu gerçekleşmiş klinik translasyonu değil, modelde belirli bir aktivasyon altında oluşan başlangıç kuvvet sistemini ve yer değiştirme eğilimini göstermektedir (Gomez et al., 2015).

Klinik kanıtlar ise ataşman kullanımının her durumda daha yüksek hareket doğruluğu sağlamadığını göstermektedir. Simon et al. (2014), değerlendirdikleri bazı hareketlerde ataşman kullanılan ve kullanılmayan gruplar arasında sayısal olarak benzer doğruluk değerleri bildirmiştir. Öte yandan gruplar arasında doğrudan istatistiksel karşılaştırma yapılmadığından, bu bulgular ataşman kullanımının hareket doğruluğu üzerinde etkisiz olduğunu göstermemektedir. Çalışmanın retrospektif tasarımı ve küçük alt grupları sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Benzer şekilde optimize ve konvansiyonel ataşmanları karşılaştıran güncel sistematik derleme ve meta-analizde, belirli hareketlerde optimize tasarımlar lehine sayısal farklılıklar bulunmasına rağmen genel olarak anlamlı ve tutarlı bir üstünlük gösterilememiştir (Muthuswamy Pandian et al., 2025). Yardımcı elemanları değerlendiren ağ meta-analizi de hareket türüne göre değişen ve bazı durumlarda tutarsız sonuçlar bildirmiştir (Alam et al., 2024).

Ataşmanın biyomekanik etkisi; şekli, boyutu, yönelimi, diş üzerindeki konumu ve plakla uyumu tarafından belirlenir. Ancak mevcut kanıtlar, tek bir geometrinin ya da optimize tasarımların tüm klinik durumlarda üstün olduğunu göstermemektedir.

Harekete Özgü Ataşmanlar

Farklı diş hareketleri farklı kuvvet ve moment gereksinimleri gösterdiğinden, ataşmandan beklenen biyomekanik işlev de harekete göre değişmektedir. Bu yüzden belirli bir ataşman tasarımının bir harekette sağladığı avantaj başka hareketlere doğrudan genellenemez. Deneysel modellerde daha elverişli bir kuvvet

sisteminin elde edilmesi, aynı avantajın klinik olarak aynı ölçüde gerçekleşeceği anlamına gelmemektedir (Castroflorio et al., 2024).

Rotasyon kontrolü, yuvarlak kron morfolojisine sahip premolar ve kaninlerde plak-diş temasının sınırlı olması nedeniyle güçleşebilir. Ataşmanlar bu durumda plağın kavrayabileceği ek yüzeyler oluşturarak rotasyon momentinin iletimine katkıda bulunabilir. Cortona et al. (2020), mandibular ikinci premolar rotasyonunu değerlendirdikleri FEA çalışmasında ataşman kullanımının hedef dişteki rotasyonel yer değiştirmeyi artırabildiğini göstermiştir. Yine de daha yüksek aktivasyon ve farklı ataşman düzenleri periodontal ligament stresini ve komşu dişlerdeki istenmeyen hareketleri de değiştirmiştir. Bu bulgular, ataşman kullanımının tek başına yeterli olmadığını; ataşman konfigürasyonu ile staging miktarının birlikte değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir. Ancak FEA'da hesaplanan yer değiştirme klinik rotasyon doğruluğu olarak yorumlanamaz.

Klinik veriler de biyomekanik avantajın her zaman daha yüksek doğruluğa dönüşmediğini göstermektedir. Simon et al. (2014), premolar derotasyonunda optimize ataşman kullanılan ve yardımcı eleman kullanılmayan gruplarda birbirine yakın hareket doğruluğu değerleri bildirmiştir. Ancak gruplar arasında doğrudan istatistiksel karşılaştırma yapılmadığından, bu sonuç iki yaklaşımın eşdeğer etkinliğe sahip olduğunu göstermemektedir. Benzer şekilde güncel meta-analizde kanin derotasyon doğruluğu konvansiyonel ataşmanlarda %61,2, optimize ataşmanlarda %71,5 olarak bildirilmiş; ancak fark istatistiksel anlamlılığa ulaşmamıştır (p=0,06). Ayrıca analiz yalnız iki çalışmaya dayanmakta ve kanıtın kesinliği sınırlı bulunmaktadır (Muthuswamy Pandian et al., 2025). Dolayısıyla optimize tasarımlar lehine gözlenen sayısal farklılık, klinik üstünlük olarak değerlendirilmemelidir.

Ekstrüzyonda ataşmanların temel biyomekanik işlevlerinden biri, plağın aksiyel yönde kuvvet aktarabileceği ek temas yüzeyleri

oluşturmaktır. Rossini et al. (2021), üst kesicilerin ekstrüzyonunu modelledikleri FEA çalışmasında farklı ataşman konfigürasyonlarının plak üzerindeki basınç dağılımını değiştirdiğini göstermiştir. Kesicilerde ataşman bulunmadığında belirli bölgelerde plak-diş uyumunun azalması ve istenmeyen hareket eğilimleri gözlenirken, yatay dikdörtgen ataşmanların eklenmesi basıncın ataşman yüzeylerine aktarılmasını sağlamıştır. Bununla birlikte farklı konfigürasyonlarda istenmeyen anterior ve posterior hareket bileşenlerinin tamamen ortadan kalkmaması, ekstrüzyon mekaniğinde yalnız hedef dişin değil ankraj ünitesinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu sonuçlar klinik ekstrüzyon başarısını değil, modelde oluşan başlangıç kuvvet sistemini yansıtmaktadır.

Klinik kanıtlar ekstrüzyonda da belirli bir ataşman tasarımının açık üstünlüğünü desteklememektedir. Muthuswamy Pandian et al. (2025) tarafından gerçekleştirilen meta-analizde anterior ekstrüzyon doğruluğu konvansiyonel ve optimize ataşmanlarda sırasıyla %57,5 ve %62,4 olarak bulunmuş, ancak gruplar arasındaki fark anlamlı olmamıştır (p=0,60). Analizdeki yüksek heterojenlik de sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Bu bulgular, biyomekanik olarak özelleştirilmiş bir ataşman tasarımının klinik olarak mutlaka daha yüksek hareket doğruluğu sağlamadığını göstermektedir.

Tork ve kök kontrolünde amaç, kron ve kök hareketi arasındaki ilişkinin kontrol edilebilmesini sağlayacak uygun moment–kuvvet sisteminin oluşturulmasıdır. Ataşmanlar, plak-diş temas geometrisini değiştirerek gerekli momentlerin oluşturulmasına katkıda bulunabilecek ek temas yüzeyleri sağlayabilir (Jedliński et al., 2023; Li et al., 2024). Bu alandaki mekanik kanıtların önemli bölümü FEA ve in vitro çalışmalara dayanmaktadır. Simon et al. (2014), üst santral kesici torkunda ataşman ve power ridge kullanılan gruplarda benzer hareket

doğruluğu değerleri bildirmiştir. Ancak gruplar arasında doğrudan istatistiksel karşılaştırma yapılmaması ve retrospektif çalışmadaki alt grupların sınırlı büyüklüğü nedeniyle, bu bulgular iki yaklaşımın klinik etkinliğinin eşdeğer olduğunu göstermemektedir.

İntrüzyon, distalizasyon ve diğer hareketlerde ise ataşmanlar yalnız aktif hareketin iletilmesi için değil, ankrajın güçlendirilmesi ve istenmeyen hareketlerin sınırlandırılması amacıyla da kullanılabilir (Jedliński et al., 2023). Bununla birlikte ataşmanın katkısı hareket türüne ve tedavi mekaniklerine bağlıdır. Örneğin Simon et al. (2014), belirli koşullarda molar distalizasyon doğruluğunun ataşman kullanımından bağımsız olarak yüksek olabileceğini bildirmiştir. Farklı yardımcı elemanları birlikte değerlendiren ağ meta-analizlerinde de hareket kontrolü ve posterior ankraj açısından olumlu etkiler bildirilmekle birlikte, bu çalışmalar yalnız ataşmanları değerlendirmediğinden sonuçların doğrudan ataşman etkisi olarak yorumlanması uygun değildir (Alam et al., 2024).

Deneysel olarak daha uygun bir kuvvet sisteminin elde edilmesi, klinik hareketin aynı doğrulukla gerçekleşeceğini garanti etmez; rotasyon ve ekstrüzyona ilişkin klinik veriler de optimize tasarımların tutarlı bir üstünlüğünü ortaya koymamaktadır.

ŞEFFAF PLAKLARLA DİŞ HAREKETLERİNİN ÖNGÖRÜLEBİLİRLİĞİ

Tipping ve Translasyon

Tipping, kronun köke göre daha fazla yer değiştirdiği ve dişin uzun eksen eğiminin değiştiği bir hareketken, translasyon veya gövdesel hareket kron ve kökün kontrollü biçimde birlikte yer değiştirmesini gerektirir. Bu nedenle translasyonun öngörülebilirliği yalnız kronun doğrusal yer değiştirmesi üzerinden değil, kök hareketinin de planlanan hareketi izleyip izlemediği dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Güncel kanıtlar tipping hareketlerini genel

olarak görece öngörülebilir hareketler arasında değerlendirmekle birlikte, hareketin yönü ve büyüklüğü sonuçları önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Borzabadi-Farahani, 2026).

Hoe et al. (2025), 87 erişkinin 174 maksiller santral kesicisinde planlanan ve gerçekleşen meziodistal tipping miktarlarını karşılaştırmıştır. Meziyal kök tippinginde planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki fark küçük ve istatistiksel olarak anlamsızken, distal kök tippinginde belirgin eksik ekspresyon saptanmıştır. Meziodistal tipping hareketlerinin genel ekspresyonu yaklaşık %53 olarak bildirilmiştir. Bazı kesicilerde planlanan hareketin ters yönünde tipping meydana gelmesi, hareketin yalnız miktarının değil yönünün de öngörülebilirliği etkileyebileceğini göstermektedir. Bu örneklemde ataşman varlığı ve plak değiştirme protokolü hareket etkinliğiyle anlamlı ilişki göstermemiştir; ancak retrospektif tasarım nedeniyle bu sonuçlar genel bir klinik kural olarak yorumlanmamalıdır (Hoe et al., 2025). Anterior dişlerin horizontal hareketlerini değerlendiren daha eski bir retrospektif çalışmada planlanan ve gerçekleşen kron hareketleri arasındaki farkların görece küçük olduğu bildirilmiştir (Charalampakis et al., 2018). Ölçümlerin kron düzeyinde yapılması ve örneklemin yalnız refinement gerektiren hastalardan oluşması, bu sonuçların kök hareketi veya gerçek translasyon açısından yorumlanmasını sınırlandırmaktadır.

Posterior dişlerin meziodistal hareketlerine ilişkin veriler, kron hareketi ile gerçek gövdesel hareket arasındaki ayrımın önemini daha belirgin hale getirmektedir. García-Marín et al. (2025), yardımcı mekanikler olmaksızın gerçekleştirilen molar hareketlerini değerlendiren altı klinik çalışmayı içeren sistematik derlemelerinde, maksiller molarların distal hareketi için ortalama öngörülebilirliği %61,1 ± 9,1 olarak bildirmiştir. Değerlendirilen planlanan hareket miktarları 0,45–3,2 mm arasında değişmiştir. Molar mezial hareketinde daha yüksek, mandibular molar distalizasyonunda ise

daha düşük öngörülebilirlik değerleri bildirilmiştir. Ancak çalışmaların ölçüm yöntemleri, hareket miktarları ve protokolleri arasında önemli farklılıklar bulunmuş ve kanıt kesinliği çok düşük olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca mandibular molar distalizasyonunu değerlendiren bazı görüntüleme temelli çalışmalar, distal hareketin belirli ölçüde tipping bileşeni içerebildiğini göstermektedir. Dolayısıyla kronun distal yer değiştirmesine dayanan öngörülebilirlik oranları gerçek gövdesel hareketin doğruluğunu doğrudan temsil etmez ve diğer diş veya hareketlere genellenemez (García-Marín et al., 2025).

Translasyon ve kök kontrolündeki sınırlılıklar özellikle çekim boşluklarının kapatılmasında belirginleşmektedir. Abu Arqub et al. (2026), premolar çekimli olgularda 536 şeffaf plak hastasını içeren 20 çalışmanın sistematik derleme ve meta-analizinde planlanan ve gerçekleşen hareketler arasında anlamlı farklılıklar bildirmiştir. Maksiller birinci molarlarda planlanandan ortalama 6,08° daha fazla mezial tipping ve anterior bölgede yaklaşık 1,93 mm yetersiz retraksiyon saptanmış; kök diverjansı ve ankraj kaybının da sık görüldüğü bildirilmiştir. Sabit apareylerle yapılan karşılaştırmalarda şeffaf plaklar kök kontrolü açısından daha sınırlı sonuçlar göstermiştir. Öte yandan dahil edilen çalışmaların çoğunun retrospektif olması nedeniyle genel yanlılık riski orta düzeyde değerlendirilmiştir. Bu bulgular premolar çekimli olgulara özgüdür ve çekimsiz tedavilere doğrudan genellenmemelidir.

Kron düzeyinde planlanan yer değiştirmenin gerçekleşmesi, gerçek translasyonun da sağlandığı anlamına gelmez. Daha büyük meziodistal hareketlerde ve çekim boşluklarının kapatılmasında kök hareketi kronun gerisinde kalabilirken, tipping hareketinin kendisi de yönüne ve büyüklüğüne göre değişken bir ekspresyon gösterebilir.

Rotasyon

Şeffaf plaklarla rotasyon hareketinin öngörülebilirliğini değerlendiren güncel sistematik derlemede 12 klinik çalışma incelenmiş ve bildirilen rotasyon doğruluğunun yaklaşık %36–85 arasında değiştiği gösterilmiştir (Benedetti et al., 2025). Çalışmalar arasında kullanılan plak sistemi, diş tipleri, ölçüm yöntemleri, yardımcı mekanikler ve sonuç tanımlarının farklı olması bu geniş aralığın önemli nedenlerindendir. Çalışmaların büyük bölümü randomize olmayan tasarıma sahip olup kanıtın kesinliği düşük-orta düzeydedir. Rotasyon için tek bir evrensel doğruluk oranı tanımlamak mümkün değildir. Çalışmalarda yüzde doğruluk, düzeltme eksikliği ve ortalama mutlak hata gibi farklı sonuç ölçütlerinin kullanılması da bildirilen değerlerin doğrudan karşılaştırılmasını sınırlandırmaktadır.

Rotasyon öngörülebilirliği diş tipine ve kron morfolojisine göre değişebilmektedir. Sistematik derlemede birçok çalışmada kesici ve molarlar daha yüksek, özellikle maksiller kanin ve premolarlar ise daha düşük öngörülebilirlik göstermiştir; ancak bu eğilim bütün çalışmalar için tutarlı değildir (Benedetti et al., 2025). Yuvarlağa yakın kron morfolojisinin plak-diş temasını ve rotasyon hareketinin iletimini sınırlandırabileceği düşünülmektedir. Nitekim kronun meziodistal ve bukkolingual boyutları arasındaki ilişkinin bazı diş gruplarında planlanan ve gerçekleşen rotasyon arasındaki farkla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Wen et al., 2025).

D’Antò et al. (2024), 45 erişkine ait 390 dişte planlanan ve gerçekleşen rotasyonu üç boyutlu dijital model süperimpozisyonuyla karşılaştırmış ve genel rotasyon doğruluğunu mandibular arkta %78,6, maksiller arkta %75,0 olarak bildirmiştir. Diş tipleri arasında belirgin farklılıklar görülmüş ve ortalama doğruluk değerlerinin hareketin gerçek dağılımını her zaman yansıtmadığı gösterilmiştir. Bazı dişlerde yüksek ortalama doğruluk, planlanan hareketi aşan rotasyonlardan etkilenirken, görece yüksek ortalamaya sahip bazı gruplarda bireysel dişlerin önemli bölümünde

planlanan hareket eksik kalmıştır. Ayrıca çalışma tek bir ticari sistemle tedavi edilen çekimsiz olguları değerlendirdiğinden sonuçların diğer plak sistemlerine veya farklı klinik koşullara doğrudan genellenmesi uygun değildir.

Rotasyon öngörülebilirliğini etkileyen faktörler Wen et al. (2025) tarafından 44 hastaya ait 461 rotasyonlu diş üzerinde değerlendirilmiştir. Planlanan rotasyon miktarı ile gerçekleşen hareket arasındaki ilişki diş grubuna göre farklılık göstermiş; maksiller dişler ve mandibular kesicilerde planlanan hareket arttıkça planlanan ve gerçekleşen değerler arasındaki farkın artabildiği bildirilmiştir. Kron morfolojisi, mevcut boşluk, rotasyon yönü ve bazı tedaviye özgü değişkenlerin de sonuçlarla ilişkili olabileceği gösterilmiştir. Buna karşılık kanin ve premolarlarda konvansiyonel ve optimize ataşmanlar arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu sonuçlar, rotasyon öngörülebilirliğinin tek bir mekanik veya klinik değişkenle açıklanamayacağını düşündürmektedir. Aynı çalışmada diş tipine özgü aşırı düzeltme oranları da önerilmiş olmakla birlikte, bu değerlerin tek merkezli retrospektif verilerden türetilmiş olması nedeniyle evrensel klinik protokol olarak kabul edilmesi uygun değildir.

Rotasyon şeffaf plaklarla gerçekleştirilebilir; ancak öngörülebilirliği diş tipi, kron morfolojisi, planlanan miktar, hareket yönü ve mevcut boşluğa göre değişir. Heterojen ve büyük ölçüde gözlemsel kanıtlar, belirli bir diş için sabit bir doğruluk ya da aşırı düzeltme oranı tanımlamaya izin vermemektedir.

Tork ve Kök Kontrolü

Tork, özellikle kesici dişlerde estetik sonuç, insizal ilişkiler ve köklerin alveoler kemik içindeki konumu açısından önemli bir harekettir. Klinikte tork çoğunlukla kron inklinasyonundaki değişim üzerinden değerlendirilse de kronun labiolingual eğiminin değişmesi, kökün planlanan yönde ve miktarda hareket ettiği

anlamına gelmez. Bu nedenle tork, tipping ile eş anlamlı değildir ve gerçek kök kontrolünün değerlendirilmesi kron ile kökün üç boyutlu ilişkisinin birlikte ele alınmasını gerektirir.

Miao et al. (2026), Invisalign ile çekimsiz tedavi edilen 50 erişkine ait 144 maksiller kesicide planlanan ve gerçekleşen kron torkunu karşılaştırmıştır. Genel tork ekspresyon oranı %48,1 olarak bulunmuş; gerçekleşen tork değişimi planlanandan ortalama 4,25° daha düşük kalmış ve kesicilerin %77,1'inde planlanan torkun eksik ekspresyonu gözlenmiştir. Planlanan kron torku miktarı ve vertikal iskeletsel patern, tork ekspresyonuyla ilişkili faktörler olarak belirlenmiştir. Yine de çalışma tek merkezli ve retrospektif olup yalnızca maksiller kesicileri ve çekimsiz Invisalign olgularını kapsamaktadır. Değerlendirme dijital modeller üzerinden kron torkuna dayandığından gerçek kök hareketi doğrudan ölçülmemiştir. Bu yüzden bildirilen %48,1'lik oran, şeffaf plaklarla tork hareketinin genel öngörülebilirlik değeri olarak yorumlanmamalıdır.

Tepedino et al. (2018) ise Nuvola sistemiyle tedavi edilen 39 erişkinde anterior dişlerin planlanan ve gerçekleşen tork hareketleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptamamış; ortalama farkların 0,03°–1,86° arasında değiştiğini bildirmiştir. Bununla birlikte çalışma hafif-orta düzeyde anterior çapraşıklığa sahip çekimsiz olguları içermekte ve yalnızca ilk 12 plaklık tedavi fazını değerlendirmektedir. Ayrıca tork, dijital modellerde kron inklinasyonu üzerinden ölçülmüştür. Nitekim dijital modelleri konik ışınlı bilgisayarlı tomografi görüntüleriyle birlikte değerlendiren bir çalışmada, anterior dişlerde kronda belirgin hareket gözlenirken kökte daha sınırlı hareket saptanmıştır (Tepedino et al., 2018; Zhang et al., 2015). Bu nedenle bulgular şeffaf plaklarla kök torkunun bütünüyle öngörülebilir olduğu şeklinde yorumlanamaz. Miao et al. (2026) ile Tepedino et al. (2018) arasındaki farklı sonuçlar; hasta seçimi, kullanılan plak sistemi, planlanan hareket miktarı,

değerlendirme süresi ve ölçüm yöntemindeki farklılıkların tork öngörülebilirliğini etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Daha geniş kanıt çerçevesinde, güncel literatür tork ekspresyonunun çalışmalara göre değişkenlik gösterdiğini ve planlanan hareketin eksik ekspresyonunun sık karşılaşılan bir durum olduğunu göstermektedir (Borzabadi-Farahani, 2026). Farklı sistem, diş grubu ve değerlendirme yöntemlerinden elde edilen sonuçların heterojenliği nedeniyle literatürde bildirilen oranların tek bir klinik başarı değeri şeklinde yorumlanması uygun değildir.

Kök kontrolünün klinik önemi çekim boşluklarının kapatılması sırasında artmaktadır. Premolar çekimli olguları değerlendiren güncel bir sistematik derleme ve meta-analizde kök diverjansı ve ankraj kaybının görülebildiği, ayrıca şeffaf plakların sabit apareylere kıyasla kök kontrolü açısından daha sınırlı sonuçlar gösterebildiği bildirilmiştir (Abu Arqub et al., 2026). Çekim bölgesine komşu dişlerde kök diverjansının planlanandan fazla, konverjansın ise eksik ifade edildiği de bildirilmektedir (Borzabadi-Farahani, 2026; Thilagalavanian et al., 2024, 2025). Bununla birlikte bu bulgular çekim tedavilerine özgüdür ve çekimsiz olgulardaki kök kontrolüne doğrudan genellenmemelidir.

Tork ve kök kontrolü şeffaf plaklarla sağlanabilmekle birlikte planlanan torkun tam ekspresyonu garanti değildir; kron inklinasyonuna dayalı ölçümler de gerçek kök hareketi hakkında sınırlı bilgi sunar.

Ekstrüzyon

Güncel kanıtlar, ekstrüzyonun şeffaf plaklarla görece düşük ve değişken öngörülebilirlik gösteren hareketler arasında yer aldığını ortaya koymaktadır. Bu durum, ekstrüzyonun gerçekleştirilemeyeceği anlamına gelmez. Daha doğru bir yorum, planlanan miktarın klinikte çoğu zaman tam olarak ifade edilmediğidir (Groody et al., 2023; Paquet et al., 2026).

Bu alandaki en yüksek düzeyli primer kanıtı Groody et al. (2023) sunmaktadır. Çalışma çok merkezli, tek kör, randomize bir klinik araştırmadır. Invisalign ile tedavi edilen ve ilk plak serisinde en az 0,3 mm ekstrüzyon planlanan maksiller lateral kesiciler değerlendirilmiştir. Çalışmaya 40 hastaya ait 74 diş alınmış, 38 hastaya ait 71 diş çalışmayı tamamlamıştır. Gerçekleşen ekstrüzyon planlananın ortalama %73'ü düzeyinde kalmış ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ataşman tasarımına göre değerlendirildiğinde, optimize ataşman grubunda planlanan ekstrüzyonun yaklaşık %62'si, horizontal ataşman gruplarında ise yaklaşık %78–79'u gerçekleşmiştir. Bu örneklemde horizontal tasarımlar optimize ataşmanlardan anlamlı düzeyde daha etkili bulunmuştur. Ancak bu sonuç, ortalama 0,84 mm gibi küçük ekstrüzyon miktarlarıyla, lateral kesicilerle ve hastaların kendi bildirdiği uyumla sınırlıdır. Dolayısıyla horizontal ataşmanların ekstrüzyonda evrensel üstünlüğü biçiminde yorumlanmamalıdır (Groody et al., 2023).

Paquet et al. (2026) ise retrospektif bir çalışmada, üç klinikte tedavi edilen 61 hastaya ait 447 maksiller dişi değerlendirmiştir. Dişler, ilk plak setinde en az 0,5 mm ekstrüzyon planlanan çekimsiz Invisalign olgularından oluşmaktadır. Maksiller kesici ekstrüzyonunda medyan öngörülebilirlik %29,4 bulunmuş ve ekstrüzyon değerlendirilen hareketler arasında en düşük değeri göstermiştir. Santral ve lateral kesiciler arasında da anlamlı fark bildirilmiştir. Konvansiyonel ve optimize ataşmanlar arasında ise ekstrüzyon açısından anlamlı fark saptanmamıştır (Paquet et al., 2026).

İki çalışmanın sonuçları arasındaki belirgin farklılık, birinin diğerini çürüttüğü biçiminde yorumlanmamalıdır. Bu farklılık daha çok yöntemsel ayrılıkların önemini göstermektedir. Çalışmalar örneklem özellikleri, diş grubu, planlanan hareket miktarı, tedavi protokolü ve ölçüm yöntemi bakımından ayrışmaktadır. Paquet et al.

(2026)'da santral ve lateral kesiciler için planlanan medyan ekstrüzyon 1,25–1,75 mm düzeyindedir. Öngörülebilirlik hesaplama biçimleri de farklıdır: Groody et al. (2023) gerçekleşen hareketin planlanana oranını ortalama olarak sunarken, Paquet et al. (2026) planlanan ile gerçekleşen arasındaki mutlak farka dayalı bir formülden hesaplanan medyan değerleri bildirmektedir. Borzabadi-Farahani (2026) de anterior ekstrüzyon doğruluğunun erken ve daha yeni prospektif çalışmalarda %29,6 ile %56,4 arasında değiştiğini aktarmaktadır. Bu aralık, ekstrüzyon öngörülebilirliğinin çalışmalar arasında değişken kaldığını göstermektedir.

Ekstrüzyon şeffaf plaklarla gerçekleştirilebilir, ancak anterior dişlerde planlanan miktarın belirgin bir bölümü klinikte ifade edilmeyebilir. Elde edilen hareket diş tipi, planlanan miktar, ataşman tasarımı ve değerlendirme yöntemine göre değişmekte olup bu bulgular posterior dişlere genellenemez.

İntrüzyon

Mandibular kesici intrüzyonu, şeffaf plaklarla gerçekleştirilebilmekle birlikte öngörülebilirliği değişkenlik gösteren vertikal hareketlerden biridir. Güncel literatür, planlanan intrüzyon miktarının klinikte her zaman bütünüyle gerçekleşmediğini ve bildirilen sonuçların çalışmalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır (Borzabadi-Farahani, 2026; Fracchia et al., 2025).

Fracchia et al. (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemeye mandibular kesici intrüzyonunu değerlendiren sekiz klinik çalışma dahil edilmiştir. Çalışmalarda gerçekleşen ortalama intrüzyon yaklaşık 0,4–1,5 mm, bildirilen öngörülebilirlik ise %35–65 arasında değişmiştir. Ancak bu değerler mandibular kesici intrüzyonu için evrensel bir doğruluk aralığı olarak yorumlanmamalıdır. Çalışmalar; ölçüm yöntemleri, kullanılan plak sistemleri, tedavi protokolleri, planlanan intrüzyon miktarları,

yardımcı mekanikler ve refinement uygulamaları açısından belirgin heterojenlik göstermiştir. Bu farklılıklar meta-analiz yapılmasını engellemiş; ayrıca dahil edilen sekiz çalışmanın yedisinde ciddi yanlılık riski saptanmış ve genel kanıt kesinliği orta-düşük düzeyde değerlendirilmiştir (Fracchia et al., 2025).

Planlanan hareket miktarı da intrüzyonun öngörülebilirliğini etkileyebilecek faktörlerden biridir. Derlemede yer alan bazı çalışmalar, daha sınırlı intrüzyon miktarlarında planlanan hareketin daha yüksek oranda gerçekleşebildiğini, daha büyük hareketlerin ise daha fazla eksik ekspresyon gösterebildiğini bildirmiştir (Fracchia et al., 2025). Öte yandan çalışmalar arasındaki yöntemsel farklılıklar ve yanlılık riski nedeniyle mevcut verilerden kesin bir milimetrik klinik sınır çıkarmak uygun değildir. Benzer şekilde ataşmanlar, yardımcı mekanikler ve refinement uygulamaları sonuçları etkileyebilmekle birlikte, mevcut kanıtlar belirli bir protokol veya ataşman tasarımının üstünlüğünü kesin olarak ortaya koymamaktadır.

İntrüzyonun değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm yöntemi de sonuçların yorumlanması açısından önemlidir. Dijital modellerde veya kron referanslı yöntemlerle saptanan vertikal yer değiştirme, gerçek apikal veya kök intrüzyonunu doğrudan göstermeyebilir. Eş zamanlı kesici inklinasyonu değişiklikleri de kronun vertikal konumunu etkileyerek ölçülen intrüzyon miktarını değiştirebilir. Nitekim sonlu elemanlar çalışmaları, intrüziv aktivasyon eklendiğinde dahi kesicilerde “bowing” etkisinin sürebildiğini ve vertikal kontrolün sınırlanabildiğini göstermektedir (Fracchia et al., 2025; Zhu et al., 2021). Farklı görüntüleme ve ölçüm yöntemlerinden elde edilen sonuçların doğrudan karşılaştırılması dikkat gerektirir (Borzabadi-Farahani, 2026; Fracchia et al., 2025). İntrüzyon miktarı derin kapanışın genel tedavi başarısıyla eş anlamlı değildir ve mandibular kesicilerden elde edilen bulgular maksiller kesicilere veya posterior dişlere doğrudan genellenmemelidir.

Mandibular kesici intrüzyonunda da planlanan hareketin tamamının gerçekleşmesi beklenmemelidir; çalışmaların heterojenliği ve yanlılık riski, belirli bir doğruluk oranı ya da hareket sınırı tanımlamaya olanak vermemektedir.

Ekspansiyon

Şeffaf plaklarla planlanan transversal ekspansiyonun klinik öngörülebilirliğine ilişkin güncel sistematik derleme ve meta-analizde, daimi dentisyondaki 23 çalışma ve 1391 hasta değerlendirilmiş, 21 çalışma meta-analize dahil edilmiştir. Gerçekleşen genişlemenin planlanan genişlemeye oranı olarak hesaplanan havuzlanmış öngörülebilirlik maksillada %75,5, mandibulada %80,6 olarak bildirilmiştir (Serafin et al., 2026). Çalışmalar arasında belirgin heterojenlik bulunmuş, tahmin aralıkları geniş olmuş ve genel kanıt kesinliği çok düşük olarak değerlendirilmiştir. Bölgesel olarak premolar segmentler genellikle daha yüksek, posterior molar segmentler ise daha düşük ve değişken öngörülebilirlik göstermiştir. Bu nedenle havuzlanmış değerler bireysel hastalarda beklenen ekspansiyonu gösteren evrensel başarı oranları olarak yorumlanmamalıdır.

Ekspansiyonun niteliğinin değerlendirilmesinde ölçüm düzeyi özellikle önemlidir. Hem tüberkül tepesi hem de gingival marjin düzeyinde ölçüm yapan çalışmalarda, gingival düzeydeki ekspansiyonun daha düşük olduğu bildirilmiştir (Serafin et al., 2026). Bu farklılık, transversal genişlemenin önemli bir bölümüne bukkal kron tippinginin katkıda bulunduğunu ve tüberkül düzeyinde ölçülen genişliğin gövdesel diş hareketini doğrudan temsil etmediğini göstermektedir. Yine de şeffaf plaklarla elde edilen ekspansiyonun tamamen tipping hareketinden oluştuğu da söylenemez; klinik değişiklik tipping ve gövdesel hareketin farklı oranlardaki bileşimlerini içerebilir (Hou et al., 2026).

Erişkin maksiller arkı değerlendiren Hou et al. (2026), altı retrospektif çalışma ve 233 hastayı içeren meta-analizlerinde bölgelere göre yaklaşık %72–81 arasında değişen öngörülebilirlik değerleri bildirmiştir. Premolar bölgelerde daha yüksek, kanin ve birinci molar bölgelerinde ise daha düşük değerler gözlenmiştir. Bununla birlikte bölgesel heterojenlik ve kanıt kesinliğindeki sınırlılıklar nedeniyle bu oranların belirli dişler için sabit klinik beklentiler şeklinde kullanılması uygun değildir. Ayrıca bulgular erişkinlerde maksiller Invisalign tedavilerine dayandığından farklı sistemlere ve hasta gruplarına genellenirken dikkatli olunmalıdır.

Bu bulguların yorumlanmasında dental ark ekspansiyonu ile iskeletsel ekspansiyon arasındaki ayrım korunmalıdır. Erişkinlerde şeffaf plaklarla bildirilen transversal değişiklikler esas olarak dentoalveoler düzeydedir ve bukkal kron tippingi bu değişime önemli ölçüde katkıda bulunabilir (Hou et al., 2026; Serafin et al., 2026). Dolayısıyla interkanin, interpremolar veya intermolar genişlikteki artış midpalatal sütur açılması ya da bazal maksiller genişleme ile eş anlamlı değildir. Benzer şekilde tüberkül tepelerinden ölçülen genişlik, gingival veya kök düzeyindeki transversal değişimi olduğundan daha fazla yansıtabilir.

Dentoalveoler transversal ekspansiyonun önemli bir bölümü klinikte elde edilebilir. Ancak bu genişlemeye bukkal kron tippingi belirgin katkıda bulunduğundan, dijital kurulumdaki ark genişliği artışı gövdesel hareket veya iskeletsel ekspansiyon olarak yorumlanmamalıdır.

Molar Distalizasyonu

Maksiller molar distalizasyonunun şeffaf plaklarla öngörülebilirliğini değerlendiren güncel sistematik derlemede 16 çalışma ve toplam 461 hasta incelenmiştir. Çalışmalarda gerçekleşen hareketin planlanan harekete oranı olarak tanımlanan distalizasyon öngörülebilirliği %31,1–88,4 arasında değişmiştir (Badía i Martí et

al., 2026). Bu geniş aralık, klinik bir başarı aralığından çok çalışmalar arasındaki belirgin heterojenliği yansıtmaktadır. Kullanılan aligner sistemi, staging protokolü, planlanan hareket miktarı, yardımcı mekanikler ve ölçüm yöntemleri çalışmalar arasında farklılık göstermiş; heterojenlik nedeniyle meta-analiz yapılamamış ve kanıt kesinliği çok düşük olarak değerlendirilmiştir. Daha büyük distalizasyon miktarlarının planlandığı çalışmalarda gerçekleşen hareketin planlananın gerisinde kalma eğilimi bildirilmekle birlikte, mevcut kanıtlar kesin bir milimetrik klinik sınır tanımlamaya yeterli değildir.

Sekansiyel distalizasyonu inceleyen 28 klinik çalışmanın sistematik derleme ve meta-analizinde ise gerçekleşen ortalama distalizasyon maksiller birinci molarda 1,72 mm, ikinci molarda 1,76 mm olarak bildirilmiştir (Baxmann et al., 2026). Bu değerler mevcut örneklemlerde gözlenen ortalama hareket miktarlarını göstermekte olup maksimum distalizasyon sınırı olarak yorumlanmamalıdır. Aynı analizde birinci molarda ortalama 5,33° distal tipping saptanması, distal kron hareketinin her zaman eşdeğer kök hareketiyle birlikte gerçekleşmediğini göstermektedir. Distalizasyonun bütünüyle tipping hareketinden oluştuğu da söylenemez; çalışmalar arasında hareket paterni değişkenlik göstermekte ve gövdesel translasyon ile distal tipping farklı oranlarda birlikte görülebilmektedir.

Distalizasyon sırasında ankraj kontrolü de klinik sonucu etkileyebilir. Sekansiyel staging uygulanmasına rağmen anterior segmentte kesici proklinasyonu, overjet artışı ve kanin mezializasyonu gibi istenmeyen resiprokal etkiler bildirilmiştir (Baxmann et al., 2026). Bu etkilerin kontrolü amacıyla elastikler, ataşmanlar veya iskeletsel ankraj gibi yardımcı mekaniklerden yararlanılabilmektedir (Badía i Martí et al., 2026). Bununla birlikte mevcut kanıtlar belirli bir yardımcı mekanik veya distalizasyon protokolünün evrensel üstünlüğünü göstermek için yeterli değildir.

Elde edilen molar distalizasyon miktarı, Sınıf II maloklüzyonun genel tedavi başarısıyla eş anlamlı değildir.

Maksiller molar distalizasyonunda çalışmalar yaklaşık 1–2 mm düzeyinde posterior hareket bildirmektedir. Planlanan miktar arttıkça eksik ekspresyon görülebilmekte, gerçekleşen hareket de gövdesel translasyon ile distal tippingin farklı bileşimlerini içerebilmektedir.

ÖNGÖRÜLEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Planlanan ve Gerçekleşen Hareket Arasındaki Fark

Şeffaf plak tedavisinde dijital setup, hedeflenen diş konumlarını ve bu konumlara ulaşmak için planlanan hareket dizisini gösterir; ancak klinik sonucun birebir karşılığı değildir. Dijital simülasyonlar planlanan hareketleri temsil etmekle birlikte, bu hareketlerin klinik ekspresyonu materyal özellikleri, biyomekanik koşullar, bireysel biyolojik yanıt ve hasta uyumu gibi faktörlerden etkilenmektedir (Borzabadi-Farahani, 2026). Bu yüzden planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki farklılık, şeffaf plak tedavisine ilişkin literatürde yaygın olarak bildirilen bir durumdur (Naoum & Lee, 2026). Dijital planın kesin bir sonuç tahmininden çok, klinik ekspresyonu tedavi süresince değerlendirilmesi gereken bir tedavi hedefi olarak ele alınması daha uygun görünmektedir.

Öngörülebilirlik, genel olarak planlanan hareket ile klinikte gerçekleşen hareket arasındaki uyumu ifade etmektedir. Bu uyumun değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler literatürde standart değildir. Çalışmalarda ağız içi taramaların süperimpozisyonu, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi ile üç boyutlu analiz veya iki boyutlu sefalometrik ölçümler kullanılabilmekte; referans noktaları, koordinat sistemleri, süperimpozisyon teknikleri ve doğruluk hesaplama yöntemleri de farklılık gösterebilmektedir (Borzabadi-Farahani, 2026). Dolayısıyla farklı yöntemlerle elde edilen

öngörülebilirlik yüzdelerinin doğrudan karşılaştırılması yanıltıcı olabilir ve bildirilen değerlerin kendi yöntemsel bağlamları içinde değerlendirilmesi gerekir.

Planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki fark yalnızca plak materyalinin veya planlama yazılımının bir hatası olarak değerlendirilmemelidir. Hareketin tipi ve miktarı, diş morfolojisi, kök kontrolü, periodontal ve alveoler sınırlar, ankraj gereksinimi, staging, ataşmanlar ve yardımcı mekanikler, hasta uyumu ve bireysel biyolojik yanıt bu farklılığa katkıda bulunabilir (Borzabadi-Farahani, 2026; Naoum & Lee, 2026). Özellikle karmaşık hareketlerin sıralanması, hareket miktarının aşamalara bölünmesi ve uygun yardımcı mekaniklerin kullanılması klinik ekspresyonu etkileyebilecek planlama değişkenleri arasındadır. Bu durum, öngörülebilirliğin tek bir materyal veya yazılım özelliğinden çok, biyolojik ve biyomekanik faktörlerin etkileşiminin sonucu olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda kron hareketi ile kök hareketinin birbirinden ayrılması önemlidir. Dijital modellerde kron düzeyinde planlanan konuma yakın bir sonuç elde edilmesi, kökün de aynı ölçüde hareket ettiğini veya gerçek gövdesel translasyonun gerçekleştiğini tek başına göstermez. Benzer şekilde planlanan–gerçekleşen sapmanın yönü ve büyüklüğü hareket tipine ve klinik koşullara göre değişebilir. Çekimli olgularda anterior retraksiyon, kök kontrolü ve posterior ankraj açısından planlanan sonuçlardan sapmaların daha belirgin olabileceği bildirilmiştir (Abu Arqub et al., 2026). Bu nedenle şeffaf plakların planlanan hareketin sabit bir oranını gerçekleştirdiğini varsayan genel bir yaklaşım uygun değildir. Tedavi süresince klinik hareket ekspresyonunun izlenmesi ve gerektiğinde tedavi planının yeniden değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Dijital setup bu açıdan kesin bir sonuç tahmini değil, klinik ve biyolojik yanıta göre izlenmesi ve gerektiğinde uyarlanması

gereken bir tedavi planıdır. Öngörülebilirlik değerlendirilirken hareketin miktarı kadar niteliği, kök kontrolü, ankraj ve ölçüm yöntemi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Overcorrection ve Refinement

Overcorrection ve refinement, planlanan ile gerçekleşen hareket arasındaki farkı yönetmeye yönelik iki farklı yaklaşımdır ve eş anlamlı kullanılmamalıdır. Overcorrection, belirli bir hareketin eksik ekspresyon gösterebileceği öngörülerek başlangıçtaki dijital tedavi planına hedeflenen konumun ötesinde planlı ek hareket dahil edilmesidir. Refinement ise ilk plak serisinin sonunda veya tedavi sırasında planlanan ve gerçekleşen sonuç değerlendirildikten sonra yeni kayıtların alınması, tedavinin yeniden planlanması ve ek plak serisinin uygulanmasıdır. Dolayısıyla overcorrection başlangıçtan planlanan ileriye dönük bir telafi stratejisi iken refinement, gerçekleşen klinik sonuca göre yapılan adaptif bir yeniden planlamadır.

Refinement ile ilişkili faktörleri değerlendiren güncel sistematik derlemede 20 klinik çalışma incelenmiştir (Nogueira Matos et al., 2026). Derleme, refinement ile ilişkili sonuçların literatürde standart biçimde tanımlanmadığını ve “refinement”, “additional aligners”, “finishing aligners” ve “midcourse correction” gibi klinik olarak tam olarak eşdeğer olmayan terimlerin kullanıldığını göstermiştir. Çalışmaların tasarım ve örneklem özelliklerindeki farklılıklar da dikkate alındığında, bildirilen refinement sıklıklarının doğrudan karşılaştırılması güçtür. Mevcut kanıtlar refinement gereksiniminin maloklüzyonun karmaşıklığı, çekimli tedavi, interproksimal redüksiyon stratejileri, belirgin diastemalar, daha kapsamlı hareket dizileri ve harekete özgü öngörülebilirlik sınırlılıkları gibi çok sayıda faktörle ilişkili olabileceğini göstermektedir (Nogueira Matos et al., 2026).

Refinement gereksiniminin diş ve hareket düzeyinde de farklılaşabileceği bildirilmiştir. Maksiller anterior bölgede 116 hastaya ait 696 dişi değerlendiren retrospektif çalışmada, refinement ile ilişkili faktörlerin diş tipine ve planlanan harekete göre değişebildiği gösterilmiştir (Haliloğlu Özkan, 2025; Nogueira Matos et al., 2026). Ancak yalnız maksiller anterior dişlerden elde edilen bu bulguların posterior dişlere veya farklı şeffaf plak sistemlerine doğrudan genellenmesi uygun değildir. Refinement gereksinimi de otomatik olarak tedavi başarısızlığı şeklinde yorumlanmamalıdır. Aksine refinement; olgu karmaşıklığı, diş hareketinin biyolojik ve biyomekanik özellikleri ile klinik planlama kararlarının etkileşiminden kaynaklanan çok faktörlü bir süreç olarak değerlendirilmelidir (Nogueira Matos et al., 2026).

Overcorrection ise sistematik olarak eksik ekspresyon gösterme eğilimindeki hareketlerin başlangıç planında telafi edilmesini amaçlamaktadır. Çeşitli hareketler için farklı overcorrection miktarları önerilmiş olmakla birlikte, bu öneriler heterojen ve büyük ölçüde retrospektif, Invisalign ağırlıklı literatüre dayanmaktadır (Borzabadi-Farahani, 2026). Dolayısıyla bildirilen değerlerin doğrulanmış ve evrensel klinik protokoller olarak kullanılması uygun değildir. Ayrıca planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki sapmanın büyüklüğü ve yönü klinik koşullara göre değişebildiğinden, overcorrection her hareket veya hasta için rutin olarak uygulanması gereken bir yaklaşım olarak değerlendirilmemelidir.

Kısacası overcorrection beklenen eksik ekspresyonu baştan telafi etmeye, refinement ise gerçekleşen sonuca göre planı yeniden düzenlemeye yöneliktir; her iki yaklaşım için de harekete özgü standart ölçütler henüz bulunmamaktadır.

Hasta Uyumu

Şeffaf plaklar hasta tarafından takılıp çıkarılabilen apareyler olduğundan, planlanan hareketlerin klinik ekspresyonu hastanın kullanım protokolüne uyumundan etkilenmektedir. Hasta uyumu şeffaf plak tedavisinin klinik sonucunu etkileyebilen temel değişkenlerden biri olarak kabul edilmekte; dijital olarak planlanan hareketlerin gerçekleşmesi materyal ve biyomekanik özelliklerin yanı sıra bireysel biyoloji ve hasta uyumuyla da ilişkilendirilmektedir (Borzabadi-Farahani, 2026; Li et al., 2024). Günlük kullanım süresinin yetersiz olması veya plakların öngörülen değişim programına uygun kullanılmaması, plak-diş uyumunun bozulmasına ve planlanan hareket dizisinin klinik ekspresyonunun aksamasına katkıda bulunabilir.

Literatürde optimal kullanım için plakların genellikle günde yaklaşık 20–22 saat kullanılması önerilmektedir (Li et al., 2024). Öte yandan bu süre, belirli bir diş hareketinin gerçekleşmesini veya belirli bir öngörülebilirlik düzeyini garanti eden biyolojik olarak doğrulanmış kesin bir eşik olarak değerlendirilmemelidir. Nitekim farklı günlük kullanım protokollerini karşılaştıran randomize bir klinik çalışmada, 22 saatlik protokolün mandibular düzensizliğin düzeltilmesinde daha etkin olduğu, buna karşılık çok hafif çapraşıklığı olan maksiller olgularda 12 saatlik protokolün de yeterli düzeyde düzelme sağladığı bildirilmiştir (Borzabadi-Farahani, 2026; Fialho et al., 2025). Klinik çalışmaların önemli bir bölümünde hasta uyumunun objektif olarak ölçülmemesi veya kullanım süresinin hasta beyanına dayanması, uyum ile gerçekleşen diş hareketi arasındaki ilişkinin nicel olarak değerlendirilmesini güçleştirmektedir (Groody et al., 2023). Uyumla ilgili araştırmaların önemli bir bölümü uyumu etkileyen faktörlere ve uzaktan izleme yaklaşımlarına odaklanmaktadır (Li et al., 2024; Timm et al., 2021). Mevcut literatürde uyumun biyomekanik sonuçlarını doğrudan değerlendiren çalışmaların sınırlı olması da bu ilişkinin kesin olarak

ortaya konmasını zorlaştırmaktadır (Borzabadi-Farahani, 2026; Li et al., 2024).

Tedavi protokolüne uyum yalnızca günlük kullanım süresinden ibaret değildir; plakların önerilen sıra ve süreyle kullanılması ve tedavi kontrollerinin sürdürülmesi de bu sürecin parçalarıdır. Hasta uyumu ile bir hareketin biyomekanik öngörülebilirliği birbirinden ayrılmalıdır. Belirli bir hareketin düşük öngörülebilirlik göstermesi doğrudan yetersiz hasta uyumuna bağlanamaz. Buna karşılık yetersiz kullanım, planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki farkı artırabilecek ek bir değişken olabilir. Klinik hareket ekspresyonu aynı zamanda hareket tipi ve miktarı, kuvvet sistemi, staging, ataşmanlar, periodontal ve alveoler sınırlar ile bireysel biyolojik yanıttan da etkilenmektedir.

Hasta uyumu, klinik ekspresyonu etkileyen önemli ancak tek başına belirleyici olmayan bir faktördür ve belirli bir kullanım süresi ile öngörülebilirlik arasında nicel bir ilişki henüz tanımlanamamıştır.

Ataşman ve Staging Stratejileri

Ataşman seçimi ve hareketlerin staging'i, planlanan diş hareketinin klinik ekspresyonunu etkileyebilecek önemli planlama araçlarıdır. Yine de bu yaklaşımların biyomekanik avantajları ile klinik öngörülebilirliğe ilişkin kanıt düzeyi birbirinden ayrılmalıdır. Şeffaf plak ataşmanlarına ilişkin 115 çalışmayı değerlendiren kapsamlı derlemede çalışmaların %72,1'inin in vitro tasarımda olduğu bildirilmiştir (Boulakroune et al., 2026). Literatürün büyük ölçüde laboratuvar ve hesaplamalı çalışmalara dayanması, ataşmanların retansiyon, plak-diş temas geometrisi ve hareket kontrolüne ilişkin teorik avantajlarının doğrudan klinik üstünlük olarak yorumlanmasını sınırlandırmaktadır.

Klinik düzeyde Muthuswamy Pandian et al. (2025), optimize ve konvansiyonel ataşmanları karşılaştıran altı retrospektif kohort ve bir randomize klinik çalışmayı içeren sistematik derlemelerinde dört

çalışmayı meta-analize dahil etmiştir. Değerlendirilen hareketlerin çoğunda iki ataşman yaklaşımı arasında tutarlı bir klinik üstünlük gösterilememiştir. Bu sonuç ataşmanların etkisiz olduğu anlamına gelmemektedir. Daha uygun yorum, ataşmanların belirli hareketlerin biyomekanik kontrolüne katkıda bulunabilmesine karşın, tek bir ataşman tasarımının farklı hareketler için evrensel olarak üstün olduğunun mevcut klinik kanıtlarla doğrulanmamış olmasıdır.

Staging, toplam planlanan hareketin ardışık plaklara dağıtılmasını ve farklı diş hareketlerinin tedavi sürecindeki zamanlamasının düzenlenmesini ifade etmektedir. Dolayısıyla yalnızca her plakta planlanan milimetrik veya açısal hareket miktarından ibaret değildir; hangi dişlerin hangi aşamada hareket ettirileceği, hareketlerin birbirleriyle nasıl koordine edileceği ve ankraj gereksiniminin nasıl yönetileceği de staging stratejisinin kapsamındadır. Rotasyon çalışmalarını değerlendiren sistematik derlemede, staging protokolünü bildiren çalışmaların çoğunda plak başına yaklaşık 2° rotasyon planlandığı bildirilmiştir (Benedetti et al., 2025). Ancak bu değer sık kullanılan bir protokolü yansıtmakta olup kanıtlanmış optimal staging miktarı olarak değerlendirilmemelidir.

Hareketin daha küçük aşamalara bölünmesi plak-diş uyumunu ve hareket ekspresyonunu teorik olarak destekleyebilmekle birlikte, mevcut klinik kanıtlar harekete özgü ideal staging miktarlarını kesin olarak belirlemek için yeterli değildir. Rotasyon, tork, translasyon, intrüzyon ve distalizasyon gibi hareketlerin biyomekanik gereksinimleri farklı olduğundan staging'in hareket tipinden bağımsız tek bir değerle belirlenmesi uygun değildir. Ayrıca ataşman tasarımı ve staging; planlanan hareket miktarı ve sırası, ankraj gereksinimi ve gerektiğinde kullanılan yardımcı mekaniklerle birlikte değerlendirilmesi gereken planlama bileşenleridir.

Ataşman ve staging seçimleri, standart reçetelerden çok hedeflenen hareketin biyomekaniği, ankraj gereksinimi ve olgu özelliklerine göre bireyselleştirilmelidir.

KOMPLEKS HAREKETLERDE BİYOMEKANİK YAKLAŞIMLAR

Elastikler ve Yardımcı Mekanikler

Şeffaf plaklar kuvveti esas olarak diş kronunu saran termoplastik materyal aracılığıyla ilettiğinden, bazı kompleks hareketlerde plağın tek başına oluşturduğu kuvvet sistemi yeterli kontrolü sağlayamayabilir. Bu durumlarda elastikler ve diğer yardımcı mekanikler mevcut kuvvet sistemini modifiye etmek, ek kuvvet vektörleri oluşturmak veya ankraj kontrolünü desteklemek amacıyla kullanılabilir. Şeffaf plak biyomekaniğini inceleyen 29 sonlu elemanlar analizi (FEA) çalışmasının sistematik derlemesinde, ataşmanlar, power ridge'ler, divotlar ve intermaksiller elastikler gibi yardımcı tasarımların stres dağılımını ve başlangıçtaki diş hareket eğilimlerini değiştirebildiği gösterilmiştir (Cao et al., 2025).

İntermaksiller ve intramaksiller elastikler şeffaf plaklarla birlikte kullanılabilmekte ve dişe yapıştırılan butonlar veya plak üzerindeki uygun bağlantı bölgeleri aracılığıyla uygulanabilmektedir. Elastikler sagittal ilişkinin yönetimi, ankrajın desteklenmesi veya belirli hareketlerde kuvvet sisteminin modifiye edilmesi amacıyla kullanılabilir. Bununla birlikte elastiklerin biyomekanik etkisi yalnızca uygulanan kuvvetin büyüklüğüne değil, kuvvetin uygulama noktası ve yönüne de bağlıdır. Bu nedenle elastik eklenmesi yalnızca sisteme ilave bir kuvvet uygulanması olarak değerlendirilmemelidir; mevcut kuvvet ve moment dengesi de değişmektedir. Hedeflenen etkinin yanı sıra istenmeyen vertikal, sagittal veya transversal kuvvet ve moment bileşenleri ortaya çıkabileceğinden, planlamada dentisyonun tamamındaki kuvvet sistemi dikkate alınmalıdır (Cao et al., 2025).

FEA çalışmaları yardımcı mekaniklerin oluşturabileceği başlangıçtaki biyomekanik yanıtların anlaşılmasına önemli katkı sağlamakla birlikte, çoğunlukla kuvvet uygulamasının başlangıç koşullarını modellemektedir. Kullanılan modeller, sınır koşulları ve materyal kabulleri çalışmalar arasında farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden FEA ile gösterilen stres dağılımları ve başlangıç hareket eğilimleri, uzun dönemde gerçekleşen diş hareketi miktarı veya klinik tedavi başarısıyla doğrudan eşitlenmemelidir (Cao et al., 2025).

Klinik kanıt açısından, sekiz çalışmayı içeren sistematik derleme ve ağ meta-analizinde yardımcı elemanların bazı diş hareketlerinin kontrolünü destekleyebileceğine ilişkin bulgular bildirilmiş olmakla birlikte, sonuçların hareket türleri ve çalışmalar arasında tutarlı olmadığı görülmüştür (Alam et al., 2024). Bazı hareketler için kanıtların sınırlı veya yetersiz olması ve dahil edilen çalışmalar arasındaki metodolojik heterojenlik, yardımcı mekaniklerin öngörülebilirliği genel olarak artırdığı yönünde bir çıkarımı desteklememektedir. Elastiklerin yanı sıra power ridge, divot, bite ramp ve buton gibi tasarımlar da belirli biyomekanik amaçlarla kullanılabilmektedir. Bu yardımcıların klinik yararı hareket türüne ve oluşturulan kuvvet sistemine bağlıdır; rutin kullanımlarının her durumda daha yüksek hareket öngörülebilirliği sağladığı gösterilmiş değildir (Alam et al., 2024; Borzabadi-Farahani, 2026).

Elastikler ve diğer yardımcı mekanikler temel kuvvet sistemini tamamlayan ya da değiştiren araçlardır. Klinik yararları uygulama noktası ve yönüne, hedeflenen harekete ve ankraj gereksinimine bağlı olup öngörülebilirliğe katkılarına ilişkin genellenebilir klinik kanıt sınırlıdır.

İskeletsel Ankraj Desteği

Şeffaf plak tedavisinde ankraj çoğunlukla dentisyonun diğer bölümlerinden sağlanmaktadır. Etki-tepki ilkesi gereği hedef dişe uygulanan kuvvetler ankraj ünitesinde reaksiyon kuvvetleri oluşturduğundan, ankraj gereksinimi yüksek kompleks hareketlerde istenmeyen dental hareketler ortaya çıkabilir. Geçici iskeletsel ankraj cihazları (temporary anchorage devices; TAD'ler veya minividalar), reaksiyon kuvvetlerinin yalnızca dental ankraj üniteleri tarafından karşılanmasına olan bağımlılığı azaltabilecek bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte TAD'ler şeffaf plağın kuvvet sisteminden bağımsız düşünülmemelidir. TAD'nin konumu, kuvvetin uygulama noktası ve yönü, kullanılan bağlantı elemanları ve plak staging'i birlikte hibrit bir biyomekanik sistem oluşturmaktadır (Sawady et al., 2026).

Marinelli et al. (2025), başlangıçta belirlenen 458 kayıttan 14 çalışmayı sistematik derlemelerinin nitel sentezine dahil etmiştir. Mevcut çalışmalar, şeffaf plaklarla birlikte kullanılan iskeletsel ankrajın distalizasyon, intrüzyon ve diğer kompleks hareketlerde ankraj ve hareket kontrolünü destekleyebileceğine işaret etmektedir. Dahil edilen çalışmaların önemli bir bölümü retrospektif çalışmalar, olgu serileri ve olgu raporlarından oluşmakta; klinik endikasyonlar ve uygulanan mekanikler arasında belirgin heterojenlik bulunmaktadır. Bu nedenle bildirilen olumlu sonuçlar, TAD kullanımının şeffaf plak tedavisindeki hareket doğruluğunu genel olarak veya kesin biçimde artırdığı şeklinde yorumlanmamalıdır.

Benzer şekilde Sawady et al. (2026), TAD destekli şeffaf plak tedavisine ilişkin klinik literatürün büyük ölçüde düşük kanıt düzeyindeki çalışmalardan oluştuğunu ve randomize kontrollü çalışmaların bulunmadığını bildirmiştir. Mevcut karşılaştırmalı bulgular, iskeletsel ankrajın bazı uygulamalarda ankraj kaybı, istenmeyen tipping ve vertikal yan etkiler gibi reaksiyon hareketlerinin kontrolüne katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir. Ancak planlanan ve gerçekleşen hareket

arasındaki farklılıklar TAD desteğine rağmen tamamen ortadan kalkmamaktadır. Dolayısıyla iskeletsel ankrajın potansiyel yararı yalnızca elde edilen hareket miktarı üzerinden değil, istenmeyen reaksiyon hareketlerinin kontrolü açısından da değerlendirilmelidir (Sawady et al., 2026).

Biyomekanik açıdan TAD'lerin temel avantajı diş hareketini doğrudan artırmaktan çok, kuvvet sisteminin ankraj tarafını değiştirebilmesi ve dental reaksiyon kuvvetlerinin dağılımını modifiye edebilmesidir. Bu özellikleri nedeniyle molar distalizasyonu, posterior intrüzyon, anterior veya total ark retraksiyonu ve yüksek ankraj gereksinimi bulunan diğer kompleks hareketlerde şeffaf plaklarla birlikte kullanılabilmektedir (Sawady et al., 2026). Şeffaf plaklarla birlikte kullanılan mini vidalar interradiküler bölgeler, palatal kemik ve infrazigomatik krest gibi farklı bölgelere yerleştirilebilmektedir (Marinelli et al., 2025; Sawady et al., 2026). Yerleşim bölgesi, oluşturulabilecek kuvvet vektörünün yönünü ve dolayısıyla uygulanabilecek mekaniği etkileyebilir. Ayrıca TAD ile plak arasında çıkarılabilir elastik veya benzeri bağlantıların kullanıldığı protokollerde hasta uyumu önemini korumaktadır. İskeletsel ankraj periodontal ve alveoler sınırları ya da diş hareketinin biyolojik gerekliliklerini ortadan kaldırmamaktadır.

İskeletsel ankraj, yüksek ankraj gereksinimi olan olgularda reaksiyon hareketlerinin kontrolünü destekleyebilir; yine de TAD eklenmesi tek başına öngörülebilirliği garanti etmez ve farklı hareketlerdeki katkısının netleşmesi için karşılaştırmalı klinik çalışmalara gereksinim vardır.

Ekstraksiyon Olgularında Biyomekanik Kontrol

Premolar ekstraksiyonu sonrasında boşluk kapatılması, şeffaf plak tedavisinde biyomekanik açıdan kompleks bir süreçtir. Bu güçlük yalnızca kapatılması gereken mesafenin büyüklüğünden

kaynaklanmamaktadır. Boşluk kapanırken anterior retraksiyon sırasında kök kontrolünün sürdürülmesi, posterior ankrajın korunması, vertikal kontrolün sağlanması ve ekstraksiyon boşluğunun her iki tarafındaki dişlerin kontrollü hareketinin eş zamanlı olarak yönetilmesi gerekmektedir. Şeffaf plaklarda kuvvetlerin esas olarak kron yüzeyleri üzerinden iletilmesi nedeniyle, boşluk kapatma sırasında planlanan translasyon yerine anterior dişlerde lingual tipping, posterior dişlerde meziyal tipping, yetersiz kök kontrolü ve ankraj kaybı görülebilmektedir (Abu Arqub et al., 2026).

Abu Arqub et al. (2026) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analize 20 çalışma dahil edilmiş; bunlarda 536 hasta şeffaf plaklarla, 173 hasta ise sabit apareylerle tedavi edilmiştir. Meta-analizde planlanan hareketlere kıyasla maksiller birinci molarlarda ortalama yaklaşık 6,08° daha fazla meziyal tipping ve anterior bölgede yaklaşık 1,93 mm daha az retraksiyon bildirilmiştir. Anterior dişlerin vertikal kontrolü ve kök pozisyonlarına ilişkin sapmalar da rapor edilmiştir. Bu değerler dahil edilen çalışmaların havuzlanmış sonuçlarını temsil ettiğinden, her ekstraksiyon hastasında beklenen sabit sapma miktarları olarak değerlendirilmemelidir. Gerçekleşen hareket; uygulanan protokol, ölçüm yöntemi, olgu özellikleri ve planlanan hareket miktarı gibi değişkenlerden etkilenebilir. Sabit apareylerle yapılan karşılaştırmalarda bazı kök kontrolü ve oklüzal sonuçlar açısından farklılıklar bildirilmiş olmakla birlikte, çalışmaların çoğunun retrospektif ve heterojen olması bir tedavi yönteminin tüm olgularda üstün olduğu sonucuna varılmasını engellemektedir (Abu Arqub et al., 2026).

Bu noktada kron hareketi ile kök kontrolünün birbirinden ayrılması özellikle önemlidir. Ekstraksiyon boşluğunun dental modellerde veya klinik olarak kapanmış görünmesi, köklerin planlanan konumlara ulaştığını ya da yeterli kök paralelliğinin

sağlandığını tek başına göstermemektedir. Boşluk kapanmasının bir bölümü kronların tipping hareketiyle gerçekleşebilir. Dolayısıyla ekstraksiyon tedavisinde yalnızca boşluğun kapanma miktarının değerlendirilmesi, elde edilen hareketin biyomekanik niteliğini ortaya koymak için yeterli değildir.

Vicioni-Marques et al. (2025) tarafından 510 katılımcıyı içeren 14 çalışmanın değerlendirildiği sistematik derleme ve meta-analizde de benzer bir hareket örüntüsü bildirilmiştir. Planlanan hareketlerle karşılaştırıldığında anterior retraksiyonun daha az gerçekleştiği; anterior dişlerde daha fazla lingual tipping ve ekstrüzyon, kaninlerde distal tipping ve birinci molarlarda meziyal tipping görülebildiği bildirilmiştir. Öte yandan meta-analizlerin sınırlı sayıda çalışmaya dayanması, çalışmaların önemli bölümündeki yanlılık riski ve kanıt kesinliğinin düşük ile çok düşük arasında değerlendirilmesi dikkate alınmalıdır (Vicioni-Marques et al., 2025). Bu bulgular şeffaf plaklarla ekstraksiyon tedavisinin uygulanamayacağını değil, boşluk kapatma sırasında planlanan ve gerçekleşen hareketler arasında sistematik farklılıkların ortaya çıkabileceğini göstermektedir.

Anterior segmentte lingual tipping ve ekstrüzyon ile posterior segmentte meziyal tipping gibi hareketlerin birlikte ortaya çıkması, ekstraksiyon boşluğunun kapatılması sırasında literatürde bowing veya roller-coaster etkisi olarak tanımlanan istenmeyen sagittal ve vertikal hareket örüntüsüne katkıda bulunabilir (Cao et al., 2025; Castroflorio et al., 2024; Ojima et al., 2014). Bu durum her ekstraksiyon olgusunda kaçınılmaz değildir ve olgu özellikleri ile uygulanan mekaniğe göre değişebilir. Biyomekanik kontrol bu nedenle yalnızca ataşman kullanımına indirgenmemelidir. Anterior kök kontrolü, posterior ankraj, vertikal kontrol ve hareketlerin staging'i birlikte planlanmalı; gerekli durumlarda overcorrection, elastikler ve diğer yardımcı mekanikler veya seçilmiş olgularda iskeletsel ankraj değerlendirilebilmelidir. Yine de mevcut kanıtlar

belirli bir overcorrection miktarı veya optimal staging protokolü önermek için yeterli değildir (Abu Arqub et al., 2026).

Ekstraksiyon olgularında asıl güçlük, boşluk kapanırken anterior kök kontrolü, posterior ankraj ve vertikal kontrolün birlikte korunmasıdır; boşluğun klinik olarak kapanması bu kontrolün sağlandığını tek başına göstermez.

GÜNCEL KANITLARIN KLİNİK UYGULAMAYA YANSIMASI

Güncel kanıtların ortak mesajı, şeffaf plak tedavisinde dijital olarak planlanabilen bir hareket ile klinikte öngörülebilir biçimde gerçekleştirilebilen bir hareketin aynı olmadığıdır. Dijital setup, hedeflenen diş konumlarını ve bu konumlara ulaşmak için planlanan hareket sekansını tanımlamakla birlikte, biyolojik yanıtı veya hareketin klinik ekspresyonunu garanti etmemektedir. Dolayısıyla öngörülebilirlik, kullanılan plak sisteminin tek başına sahip olduğu sabit bir özellik olarak değerlendirilmemelidir. Klinik sonuç; hareketin tipi ve miktarı, diş morfolojisi, kök kontrolü gereksinimi, plak-diş etkileşimi, materyal özellikleri, ataşmanlar, staging, ankraj, yardımcı mekanikler, hasta uyumu ve bireysel biyolojik yanıtın ortak etkisiyle şekillenmektedir (Borzabadi-Farahani, 2026; Li et al., 2024).

Mevcut çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, görece basit kron hareketlerinin bazı koşullarda daha öngörülebilir olabildiği; buna karşılık belirgin kök kontrolü, kontrollü translasyon, büyük rotasyonlar, ekstrüzyon, kompleks vertikal kontrol veya yüksek ankraj gerektiren hareketlerde planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki farkın artabildiği görülmektedir. Klinik planlamada planlanan hareket miktarı ile beklenen klinik ekspresyon birbirinden ayrılmalıdır. Tedavi planı, dijital setup'taki hedef konumların aynen gerçekleşeceği varsayımından çok, hedeflenen hareketlerin

biyomekanik gereksinimlerinin değerlendirilmesine dayanmalıdır (Borzabadi-Farahani, 2026).

Bu değerlendirmede kron hareketi ile kök hareketinin birbirinden ayrılması önemlidir. Dental taramalarda veya klinik kron konumunda hedefe ulaşılması, kökün aynı doğrulukta hareket ettiği anlamına gelmeyebilir. Transversal ekspansiyonda gingival düzeydeki hareket ekspresyonunun tüberkül düzeyindekinden daha düşük olması, genişlemenin bir bölümünün bukkal kron tippingi ile gerçekleşebildiğine işaret etmektedir (Serafin et al., 2026). Benzer şekilde ekstraksiyon olgularında bildirilen kök kontrolü ve ankraj sorunları, boşluğun klinik olarak kapanmasının tek başına kontrollü kök hareketini göstermediğini ortaya koymaktadır (Abu Arqub et al., 2026). Bu ayrım özellikle tork, translasyon ve ekstraksiyon boşluk kapatma gibi kök kontrolünün klinik sonucun önemli bir bileşeni olduğu hareketlerde dikkate alınmalıdır.

Ataşmanlar, staging, overcorrection, elastikler ve iskeletsel ankraj gibi yaklaşımlar tek başlarına öngörülebilirliği artıran çözümler olarak değerlendirilmemelidir. Bunlar hedeflenen kuvvet sisteminin oluşturulması veya istenmeyen reaksiyon hareketlerinin kontrol edilmesi amacıyla kullanılan biyomekanik planlama araçlarıdır ve klinik değerleri hedeflenen hareketin gereksinimleriyle ne ölçüde uyumlu kullanıldıklarına bağlıdır. Benzer şekilde ek plak gereksinimi her zaman tedavi başarısızlığı anlamına gelmemektedir. Refinement, planlanan ve gerçekleşen hareketler arasındaki farklılıkların klinik olarak yeniden değerlendirilerek tedavi planının uyarlanmasına olanak sağlayabilir (Nogueira Matos et al., 2026). Bununla birlikte her hastada kaçınılmaz bir tedavi aşaması olarak görülmemelidir. Hasta uyumu da önemli bir değişken olmakla birlikte, tracking kaybı veya planlanan hareketin yetersiz gerçekleşmesi yalnızca hasta uyumsuzluğuna bağlanmamalıdır; hareketin biyomekanik güçlüğü, planlama kararları ve bireysel biyolojik yanıt da dikkate alınmalıdır.

Bu klinik çıkarımlar mevcut literatürün metodolojik sınırlılıkları çerçevesinde yorumlanmalıdır. Çalışmaların önemli bir bölümü retrospektiftir ve kanıtların büyük kısmı belirli ticari şeffaf plak sistemlerinden elde edilmiştir. Öngörülebilirlik farklı hesaplama yöntemleri ve birbirine eşdeğer olmayan sonuç ölçütleriyle değerlendirilmektedir. Staging ve ataşman protokolleri, hareket miktarları ve ölçüm yöntemleri çalışmalar arasında farklılık göstermektedir. Ölçümlerin önemli bir bölümünün kron veya dental model düzeyinde yapılması da kök hareketinin değerlendirilmesini sınırlandırmaktadır (Benedetti et al., 2025; Borzabadi-Farahani, 2026; Fracchia et al., 2025). Bazı hareketlere ilişkin kanıt kesinliğinin düşük veya çok düşük olması da sonuçların genellenebilirliğini sınırlamaktadır (Badía i Martí et al., 2026; Serafin et al., 2026). Bu nedenle farklı çalışmalarda bildirilen öngörülebilirlik oranlarının doğrudan karşılaştırılması veya bütün şeffaf plak sistemlerine genellenmesi uygun değildir.

Klinik açıdan dijital setup, kesin bir sonuç öngörüsünden çok biyomekanik açıdan değerlendirilmesi ve klinik yanıta göre gerektiğinde yeniden düzenlenmesi gereken dinamik bir tedavi planı olarak ele alınmalıdır. Başarılı planlama yalnızca dijital hedeflerin belirlenmesine değil, öngörülebilirliği sınırlayabilecek hareketlerin önceden tanınmasına ve kuvvet sistemi, ankraj, staging ve yardımcı mekaniklerin olguya göre bireyselleştirilmesine dayanmalıdır. Klinik izlem sırasında planlanan ve gerçekleşen hareket arasındaki farklılıkların erken fark edilmesi ve gerektiğinde tedavi planının yeniden düzenlenmesi, şeffaf plak tedavisinin adaptif yapısının bir parçası olarak değerlendirilmelidir.

GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Dijital planlama sistemleri, şeffaf plak tedavisinde hedeflenen diş hareketlerinin görselleştirilmesine ve hareket sekanslarının oluşturulmasına olanak sağlamakla birlikte, bu

hareketlerin klinik ekspresyonunu kesin olarak öngörememektedir. Mevcut yaklaşımların materyal özellikleri, bireysel biyolojik yanıt ve hasta uyumu gibi değişkenleri yeterli doğrulukla temsil edememesi, daha kapsamlı ve hastaya özgü planlama modellerine duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır (Borzabadi-Farahani, 2026). Gelecekte diş morfolojisi, kök konumu, periodontal destek, alveoler sınırlar ve planlanan hareketin biyomekanik gereksinimlerini birlikte değerlendiren sistemlerin geliştirilmesi önem kazanabilir. Bu değişkenlerin tümünün mevcut dijital planlama yazılımlarında güvenilir biçimde modellenebildiğini gösteren yeterli klinik kanıt bulunmamaktadır.

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri, planlanan ve gerçekleşen diş hareketlerine ilişkin klinik verilerin analiz edilmesi yoluyla hareket öngörülerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilecek yaklaşımlar arasındadır (Li et al., 2024). Ancak bu modellerin klinik kullanım değerinin belirlenebilmesi için bağımsız veri setlerinde doğrulanmaları ve farklı hasta gruplarındaki genellenebilirliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Nitekim büyük bir hasta örnekleminde refinement riskini öngörmek için geliştirilen makine öğrenmesi modellerinin yalnızca orta düzeyde ayırt edicilik gösterdiği ve bağımsız dış doğrulamadan yoksun olduğu bildirilmiştir (Nogueira Matos et al., 2026; Wolf et al., 2024). Hastaya özgü biyomekanik modelleme ve sonlu elemanlar analizi de plak-diş etkileşiminin ve oluşan kuvvet sistemlerinin anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Bununla birlikte sonlu elemanlar modellerinde kullanılan materyal, temas ve doku özelliklerine ilişkin varsayımlar gerçek klinik koşulları bütünüyle yansıtmayabilir. Bu yüzden modelleme sonuçlarının klinik hareket doğruluğunun doğrudan göstergesi olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir (Li et al., 2024). Gelecekte kuvvet iletimini ve plak kullanımını daha objektif biçimde değerlendirebilen izleme teknolojileri de araştırma açısından önem taşıyabilir (Li et al., 2024).

Materyal bilimi ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler, şeffaf plak biyomekaniğinin gelecekteki araştırma alanlarından bir diğerini oluşturmaktadır. Termoplastik materyallerin viskoelastik davranışı, gerilme gevşemesi ve zamana bağlı kuvvet değişimleri, tedavi sırasında oluşan kuvvet sistemlerini etkileyebilmektedir (Li et al., 2024; Lombardo et al., 2017). Doğrudan üç boyutlu baskıyla üretilen şeffaf plaklar ise materyal seçimi, geometrik tasarım ve üretim sürecinin bireyselleştirilmesi açısından araştırılmaktadır (Jorge et al., 2026; Li et al., 2024). Laboratuvar çalışmalarında doğrudan baskı ve termoform plaklar arasında geometrik doğruluk, adaptasyon ve mekanik özellikler bakımından farklılıklar bildirilmekle birlikte, bu sonuçlar kullanılan polimerlerin özelliklerinden bağımsız değerlendirilmemelidir. Mevcut laboratuvar bulguları, doğrudan baskıyla üretilen plakların klinik hareket doğruluğu veya tedavi başarısı açısından termoform plaklardan üstün olduğunu göstermek için yeterli değildir (Jorge et al., 2026).

Gelecekteki klinik araştırmaların önceliklerinden biri, şeffaf plak tedavisinde öngörülebilirliğin değerlendirilmesine yönelik metodolojik standartların geliştirilmesi olmalıdır. Prospektif ve randomize karşılaştırmalı çalışmaların artırılması, planlanan ve gerçekleşen hareketlerin ortak ölçüm yöntemleriyle değerlendirilmesi ve kron hareketi ile kök hareketinin ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Farklı şeffaf plak sistemlerinin, ataşman tasarımlarının ve staging yaklaşımlarının karşılaştırılması; hasta uyumunun mümkün olduğunda objektif yöntemlerle değerlendirilmesi ve tedavi sonuçlarının uzun dönem stabilite açısından incelenmesi de önemli araştırma alanlarıdır (Borzabadi-Farahani, 2026). Ayrıca hareket doğruluğunun tek başına yeterli bir klinik başarı ölçütü olmadığı dikkate alınarak tedavi kalitesi, periodontal güvenlik ve hasta ile ilişkili sonuçların da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şeffaf plak tedavisinin geleceği, yalnızca daha gelişmiş yazılımlara veya yeni materyallere değil, dijital planlama ile klinik biyomekanik yanıt arasındaki ilişkinin daha güvenilir biçimde ortaya konmasına bağlıdır. Yeni teknolojilerin klinik değeri ise ancak bağımsız ve yüksek kaliteli karşılaştırmalı çalışmalarla belirlenebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Şeffaf plak tedavisinde öngörülebilirlik, yalnızca kullanılan materyalin özelliklerine veya dijital planlama yazılımına bağlı değildir. Klinik sonuçlar; hareketin tipi ve miktarı, plak-diş etkileşimi, oluşturulan kuvvet sistemi, ataşman tasarımı, staging, ankraj gereksinimi, hasta uyumu ve bireysel biyolojik yanıtın ortak etkisiyle şekillenmektedir. Bu nedenle şeffaf plak tedavisinin biyomekanik etkinliği, söz konusu değişkenlerin birbirinden bağımsız değil, bütüncül biçimde değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Mevcut klinik kanıtlar, planlanan ve gerçekleşen diş hareketleri arasındaki farklılıkların hareket türüne göre değiştiğini göstermektedir. Özellikle kontrollü translasyon, tork, rotasyon, ekstrüzyon ve yüksek ankraj gerektiren kompleks hareketlerde öngörülebilirlik sınırlanabilmektedir. Bu hareketlerde kuvvetin büyüklüğü kadar uygulama noktası, kuvvet-moment ilişkisi, kök kontrolü gereksinimi ve istenmeyen reaksiyon hareketlerinin yönetimi de önem taşımaktadır. Dolayısıyla bütün diş hareketlerinin aynı öngörülebilirlik düzeyinde değerlendirilmesi uygun değildir.

Klinik uygulamada dijital setup, kesin bir tedavi sonucu olarak değil, biyomekanik açıdan değerlendirilmesi gereken bir plan olarak ele alınmalıdır. Ataşmanlar, staging, overcorrection ve yardımcı mekanikler, hedeflenen hareketin özellikleri ve olgunun ankraj gereksinimleri doğrultusunda bireyselleştirilmelidir. Tedavi süresince plak-diş uyumu, ankraj kontrolü ve gerçekleşen

hareketlerin düzenli olarak değerlendirilmesi, planlanan hareketlerden sapmaların erken dönemde belirlenmesine yardımcı olabilir. Gerektiğinde uygulanan refinement ise tedavi başarısızlığının doğrudan göstergesi olarak değil, klinik yanıta göre planın yeniden düzenlenmesine olanak sağlayan bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir.

Mevcut literatürün önemli bir bölümünün retrospektif çalışmalardan oluşması, kullanılan sistemlerin ve ölçüm yöntemlerinin heterojenliği ve bazı hareketlere ilişkin kanıt kesinliğinin sınırlı olması, bulguların genellenebilirliğini azaltmaktadır. Gelecekte standart ölçüm yöntemleri kullanan, kron ve kök hareketlerini ayrı değerlendiren ve farklı şeffaf plak sistemlerini karşılaştıran yüksek kaliteli prospektif klinik araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Şeffaf plak tedavisinde öngörülebilirlik, dijital planın tek başına bir özelliği değil; doğru biyomekanik planlama, bireyselleştirilmiş kuvvet kontrolü ve klinik yanıtın sürekli değerlendirilmesiyle şekillenen bir sonuçtur.

Kaynakça

Abu Arqub, S., Chheda, H., Crumpton, J., Yang, X., Farha, P., & Upadhyay, M. (2026). Clear aligners in extraction-based orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research, 29*, 12–29. https://doi.org/10.1111/ocr.70052

Alam, M. K., Hajeer, M. Y., Shqaidef, A., Alswairki, H. J., Alfawzan, A. A., Shrivastava, D., Srivastava, K. C., Cicciù, M., & Minervini, G. (2024). Impact of various aligner auxiliaries on orthodontic activity: A systematic review and network meta-analysis. *The Saudi Dental Journal, 36*, 199–207. https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.10.013

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

Almotairy, N., Aleisa, F., & Alshammari, A. K. (2026). Ageing effects on chemical, physical, mechanical, and morphological properties of clear aligners: A systematic review. *Progress in Orthodontics, 27*, 40. https://doi.org/10.1186/s40510-026-00642-1

Badía i Martí, P., Bellot-Arcís, C., Tarazona-Álvarez, B., Paredes-Gallardo, V., & Zamora-Martínez, N. (2026). Assessment of the effectiveness and predictability of maxillary molar distalization with clear aligner systems: A systematic review of the literature. *Journal of Clinical Medicine, 15*(14), 5568. https://doi.org/10.3390/jcm15145568

Bakdach, W. M. M., Haiba, M., & Hadad, R. (2022). Changes in surface morphology, chemical and mechanical properties of

clear aligners during intraoral usage: A systematic review and meta-analysis. *International Orthodontics, 20*, 100610. https://doi.org/10.1016/j.ortho.2022.100610

Baxmann, M., Zsoldos, M., & Kárpáti, K. (2026). Clinical outcomes of sequential distalization with clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Dentistry Journal, 14*(9), 611. https://doi.org/10.3390/dj14090611

Benedetti, G., Sicca, N., Lopponi, G., Dettori, C., Verdecchia, A., & Spinas, E. (2025). Evaluating the clinical success of clear aligners for rotational tooth movements in adult patients: A systematic review. *Dentistry Journal, 13*(10), 440. https://doi.org/10.3390/dj13100440

Bichu, Y. M., Weir, T., Zou, B., Adel, S., & Vaid, N. R. (2024). Clear aligner therapy concerns: Addressing discrepancies between digitally anticipated outcomes and clinical ground realities. *Turkish Journal of Orthodontics, 37*(2), 130–139. https://doi.org/10.4274/TurkJOrthod.2024.2024.4

Borzabadi-Farahani, A. (2026). Clear aligner therapy: A scoping review of treatment prediction, clinical effectiveness, and limitations. *Frontiers in Dental Medicine, 7*, 1864529. https://doi.org/10.3389/fdmed.2026.1864529

Boulakroune, R., Wang, J., Wen, S., Flores-Mir, C., Han, X., Lai, W., & Long, H. (2026). Clear aligner attachments: A scoping review. *Orthodontics & Craniofacial Research*. Advance online publication. https://doi.org/10.1111/ocr.70153

Boyd, R. L., Miller, R. J., & Vlaskalic, V. (2000). The Invisalign system in adult orthodontics: Mild crowding and space closure cases. *Journal of Clinical Orthodontics, 34*(4), 203–212.

Cao, H., Hua, X., Yang, L., Aoki, K., Shang, S., & Lin, D. (2025). A systematic review of biomechanics of clear aligners by finite element analysis. *BMC Oral Health, 25*, 1026. https://doi.org/10.1186/s12903-025-06295-6

Caruso, S., De Felice, M. E., Valenti, C., Pagano, S., Caruso, S., Gatto, R., & Lombardo, G. (2024). An evaluation of the Invisalign® aligner technique and consideration of the force system: A systematic review. *Systematic Reviews, 13*, 43. https://doi.org/10.1186/s13643-023-02437-5

Castroflorio, T., Parrini, S., & Rossini, G. (2024). Aligner biomechanics: Where we are now and where we are heading for. *Journal of the World Federation of Orthodontists, 13*, 57–64. https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2023.12.005

Charalampakis, O., Iliadi, A., Ueno, H., Oliver, D. R., & Kim, K. B. (2018). Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 154*, 47–54. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.11.028

Cortona, A., Rossini, G., Parrini, S., Deregibus, A., & Castroflorio, T. (2020). Clear aligner orthodontic therapy of rotated mandibular round-shaped teeth: A finite element study. *The Angle Orthodontist*, *90*, 247–254. https://doi.org/10.2319/020719-86.1

D'Antò, V., Rongo, R., Casaburo, S. D., Martina, S., Petrucci, P., Keraj, K., & Valletta, R. (2024). Predictability of tooth rotations in patients treated with clear aligners. *Scientific Reports, 14*, 11348. https://doi.org/10.1038/s41598-024-61594-2

Fialho, T., Angheben, C. Z., Ohira, E. T. B., Cotrin, P., Garib, D., Prado, E., Freitas, K. M. S., & Freitas, M. R. (2025).

Evaluation of the effectiveness of orthodontic treatment with Invisalign in different wear time protocols: Randomized clinical trial. *European Journal of Orthodontics, 47*(6), cjaf089. https://doi.org/10.1093/ejo/cjaf089

Fracchia, D. E., Bignotti, D., Lai, S., Battista, E., Verdecchia, A., & Spinas, E. (2025). Predictability of lower incisor intrusion with clear aligners: A systematic review of efficacy and influencing factors. *Journal of Clinical Medicine, 14*(17), 6339. https://doi.org/10.3390/jcm14176339

García-Marín, C., Otero-Pregigueiro, A., & Iglesias-Linares, A. (2025). Predictability of mesiodistal movement of upper and lower molars with clear aligners: A systematic review. *The Angle Orthodontist, 95*, 563–571. https://doi.org/10.2319/063024-507.1

Gomez, J. P., Peña, F. M., Martínez, V., Giraldo, D. C., & Cardona, C. I. (2015). Initial force systems during bodily tooth movement with plastic aligners and composite attachments: A three-dimensional finite element analysis. *The Angle Orthodontist, 85*, 454–460. https://doi.org/10.2319/050714-330.1

Groody, J. T., Lindauer, S. J., Kravitz, N. D., Carrico, C. K., Madurantakam, P., Shroff, B., Darkazanli, M., & Gardner, W. G. (2023). Effect of clear aligner attachment design on extrusion of maxillary lateral incisors: A multicenter, single-blind randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 164*, 618–627. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.07.011

Hahn, W., Engelke, B., Jung, K., Dathe, H., Fialka-Fricke, J., Kubein-Meesenburg, D., & Sadat-Khonsari, R. (2010). Initial forces and moments delivered by removable thermoplastic

appliances during rotation of an upper central incisor. *The Angle Orthodontist, 80,* 239–246. https://doi.org/10.2319/033009-181.1

Haliloğlu Özkan, T. (2025). Predictors of refinement in clear aligner therapy: A retrospective tooth-level study of maxillary anterior teeth. *Scientific Reports, 15*, 30641. https://doi.org/10.1038/s41598-025-10801-9

Haouili, N., Kravitz, N. D., Vaid, N. R., Ferguson, D. J., & Makki, L. (2020). Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 158*, 420–425. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.12.015

Hoe, A., Freer, E., Goh, P. K. T., Ong, D., Nguyen, H., & Weir, T. (2025). Predictability of mesiodistal tip of maxillary central incisors in clear aligner therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 167*, 568–577. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.12.005

Hou, X., Qin, J., Yang, J., Cao, Y., Liu, C., Guo, J., & Bai, M. (2026). Predictability of maxillary transverse changes with Invisalign in adults: A systematic review and meta-analysis. *Medicine*, *105*(30), e49772. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000049772

Iliadi, A., Koletsi, D., & Eliades, T. (2019). Forces and moments generated by aligner-type appliances for orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research, 22*, 248–258. https://doi.org/10.1111/ocr.12333

Jedliński, M., Mazur, M., Greco, M., Belfus, J., Grocholewicz, K., & Janiszewska-Olszowska, J. (2023). Attachments for the

orthodontic aligner treatment—State of the art—A comprehensive systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(5), 4481. https://doi.org/10.3390/ijerph20054481

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

Kohda, N., Iijima, M., Muguruma, T., Brantley, W. A., Ahluwalia, K. S., & Mizoguchi, I. (2013). Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. *The Angle Orthodontist, 83*, 476–483. https://doi.org/10.2319/052512-432.1

Kravitz, N. D., Dalloul, B., Aba Zaid, Y., Shah, C., & Vaid, N. R. (2023). What percentage of patients switch from Invisalign to braces? A retrospective study evaluating the conversion rate, number of refinement scans, and length of treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 163*(4), 526–530. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.03.016

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, 27–35. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.05.018

Li, J., Si, J., Xue, C., & Xu, H. (2024). Seeking orderness out of the orderless movements: An up-to-date review of the biomechanics in clear aligners. *Progress in Orthodontics, 25*, 44. https://doi.org/10.1186/s40510-024-00543-1

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*, 11–18. https://doi.org/10.2319/113015-813.1

Marinelli, G., Inchingolo, A. M., Inchingolo, A. D., Ferrante, L., Avantario, P., Campanelli, M., Palermo, A., Inchingolo, F., & Dipalma, G. (2025). Temporary anchorage devices in clear aligner therapy: A systematic review. *Bioengineering, 12*(5), 531. https://doi.org/10.3390/bioengineering12050531

Miao, Z., Li, M., Zheng, H., Shen, C.-L., Chen, Z., & Wei, X. (2026). Factors associated with maxillary incisor crown torque expression in non-extraction clear aligner treatment. *Orthodontics & Craniofacial Research*. Advance online publication. https://doi.org/10.1111/ocr.70149

Muthuswamy Pandian, S., Subramanian, A. K., & Vaiid, N. (2025). Comparison of efficacy and accuracy of tooth movements in optimized and conventional attachments of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research, 15*, 1123–1133. https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2025.07.019

Naoum, S., & Lee, R. (2026). The predictability of tooth movement with clear aligner systems. *Seminars in Orthodontics, 32*, 125–130. https://doi.org/10.1053/j.sodo.2025.06.003

Nogueira Matos, K., Belline da Silva, T., Matos de Faria Almeida, L., de Faria Almeida, M., & dos Santos Dantas Guimarães, H. H. (2026). Clinical, biomechanical, and digital factors associated with refinement after the first series of clear aligners: A systematic review. *International Orthodontics, 24*(4), 101211. https://doi.org/10.1016/j.ortho.2026.101211

Ojima, K., Dan, C., Nishiyama, R., Ohtsuka, S., & Schupp, W. (2014). Accelerated extraction treatment with Invisalign. *Journal of Clinical Orthodontics, 48*(8), 487–499.

Paquet, G., Nishio, C., Rompré, P., & Dorval, L. (2026). Predictability of movements achieved with Invisalign® clear aligners: A retrospective study. *Digital and Aligner Orthodontics, 1*, 10. https://doi.org/10.1007/s44525-026-00011-7

Rossini, G., Modica, S., Parrini, S., Deregibus, A., & Castroflorio, T. (2021). Incisors extrusion with clear aligners technique: A finite element analysis study. *Applied Sciences, 11*(3), 1167. https://doi.org/10.3390/app11031167

Sawady, M., Dhayihi, F. A., Al Dira, M. S., Arishi, L. M., Moafa, N. E., Abbas, A. M., Rajhi, A. Y., Abbas, T. S., Madkhali, R. H., & Jali, G. G. (2026). Temporary anchorage devices and clear aligner therapy: A systematic review. *Cureus, 18*(6), e110940. https://doi.org/10.7759/cureus.110940

Serafin, M., Boccalari, E., Calò, M., Zecca, P. A., & Caprioglio, A. (2026). Predicting transversal dental arch expansion outcomes with Invisalign aligners in permanent dentition: A systematic review and meta-analysis. *Progress in Orthodontics, 27*, 14. https://doi.org/10.1186/s40510-026-00618-1

Simon, M., Keilig, L., Schwarze, J., Jung, B. A., & Bourauel, C. (2014). Treatment outcome and efficacy of an aligner technique—Regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health, 14*, 68. https://doi.org/10.1186/1472-6831-14-68

Srinivasan, B., Padmanabhan, S., & Srinivasan, S. (2024). Comparative evaluation of physical and mechanical properties of clear aligners—A systematic review. *Evidence-Based Dentistry, 25*. https://doi.org/10.1038/s41432-023-00937-w

Tepedino, M., Paoloni, V., Cozza, P., & Chimenti, C. (2018). Movement of anterior teeth using clear aligners: A three-dimensional, retrospective evaluation. *Progress in Orthodontics, 19*, 9. https://doi.org/10.1186/s40510-018-0207-3

Thilagalavanian, A., Weir, T., & Meade, M. J. (2024). Analysis of predicted and achieved root angulation changes in teeth adjacent to maxillary premolar extraction sites in patients treated with the Invisalign appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 166*(5), 423–432. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.06.014

Thilagalavanian, A., Weir, T., & Meade, M. J. (2025). Evaluation of planned and achieved root angulation changes in teeth adjacent to mandibular premolar extraction sites in patients treated with Invisalign: A retrospective study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 167*(6), 681–689. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2025.01.011

Timm, L. H., Farrag, G., Baxmann, M., & Schwendicke, F. (2021). Factors influencing patient compliance during clear aligner therapy: A retrospective cohort study. *Journal of Clinical*

Medicine, 10(14), 3103. https://doi.org/10.3390/jcm10143103

Vicioni-Marques, F., Reis, C. L. B., de Almeida, A. P. V., de Melo, L. P. M. P., Romano, F. L., Matsumoto, M. A. N., & Stuani, M. B. S. (2025). Space closure after premolar extraction using clear aligners: A systematic review with meta-analysis. *Clinical Oral Investigations, 29*, 435. https://doi.org/10.1007/s00784-025-06475-2

Wen, S., Lin, D., Yuan, X., Wang, S., Yang, Y., Hu, G., Lai, W., & Long, H. (2025). Predictability of tooth derotation with clear aligners and its influencing factors: A retrospective study. *European Journal of Orthodontics, 47*, cjaf036. https://doi.org/10.1093/ejo/cjaf036

Wolf, D., Farrag, G., Flügge, T., & Timm, L. H. (2024). Predicting outcome in clear aligner treatment: A machine learning analysis. *Journal of Clinical Medicine, 13*(13), 3672. https://doi.org/10.3390/jcm13133672

Zhang, X.-J., He, L., Guo, H.-M., Tian, J., Bai, Y.-X., & Li, S. (2015). Integrated three-dimensional digital assessment of accuracy of anterior tooth movement using clear aligners. *Korean Journal of Orthodontics, 45*(6), 275–281. https://doi.org/10.4041/kjod.2015.45.6.275

Zhu, Y., Hu, W., & Li, S. (2021). Force changes associated with differential activation of en-masse retraction and/or intrusion with clear aligners. *Korean Journal of Orthodontics, 51*(1), 32–42. https://doi.org/10.4041/kjod.2021.51.1.32

BÖLÜM 9
ÇOCUK VE ADÖLESANLARDA MİNE DEFEKTLERİNİN MİNİMAL İNVAZİV ESTETİK TEDAVİSİ

1. **Zelal ALMAK**[1]
2. **Songül ÖZDÖGEN**[2]

GİRİŞ

Mine, insan vücudunun mineral içeriği en yüksek dokularından biridir. Bununla birlikte, mineyi oluşturan ameloblastların diş sürmesinden sonra ortadan kalkması nedeniyle gelişimsel dönemde meydana gelen yapısal defektler gerçek anlamda biyolojik olarak onarılamaz. Bu nedenle amelogenez sırasında meydana gelen bozukluklar, dişlerin sürmesinden sonra kalıcı renk, translusensi, kalınlık veya yüzey özelliklerindeki değişiklikler şeklinde ortaya çıkabilir (Collignon et al., 2022; Manton et al., 2020).

Çocuk diş hekimliğinde gelişimsel mine defektleri yalnızca yapısal anomaliler olarak değerlendirilmemelidir. Defektin tipi ve şiddetine bağlı olarak hipersensitivite, plak retansiyonu, posterüptif mine kaybı, artmış restoratif tedavi gereksinimi ve estetik sorunlar gelişebilir. Adölesanlarda gelişimsel mine defektleri ile dental çürük arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmalar, bu durumun klinik açıdan önemli bir problem olduğunu göstermiştir (Olczak-Kowalczyk et al., 2023).

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]*Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345*

Anterior bölgedeki opasiteler çocuk ve adölesanlarda önemli bir estetik sorun oluşturabilir. Dişlerin görünümü sosyal etkileşim sırasında kolaylıkla fark edildiğinden, belirgin beyaz, sarı veya kahverengi lekeler bazı çocuklarda estetik kaygıya neden olabilir. MIH bulunan çocuklarda dental estetik algısının olumsuz etkilenebildiği bildirilmiştir (Fragelli et al., 2021). Hastalığın ağız sağlığıyla ilişkili yaşam kalitesi üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar da klinik şiddet arttıkça günlük yaşam üzerindeki yükün artabileceğini düşündürmektedir (Awwad et al., 2023; Bekes et al., 2021; Gevert et al., 2024).

Çocuklarda estetik tedavi stratejilerinin geliştirilmesi erişkinlerden farklı bir yaklaşım gerektirir. Genç daimi dişlerde erken yaşlarda gerçekleştirilen geniş restoratif işlemler, hastanın yaşamı boyunca tekrarlayan restorasyon yenilemeleriyle karşılaşmasına neden olabilir. Bu nedenle modern çocuk diş hekimliğinin amacı, mümkün olan en düşük biyolojik maliyetle tatmin edici estetik ve fonksiyonel sonuçlar elde etmektir.

Minimal invaziv estetik yaklaşım; doğru tanı, koruyucu stratejiler, minimum doku uzaklaştırılması ve adeziv tekniklerin kullanılmasına dayanmaktadır. Mine mikroabrazyonu, rezin infiltrasyonu ve dikkatle seçilmiş hastalarda bunların diğer konservatif yöntemlerle birlikte kullanılması bu felsefenin önemli örnekleridir.

MİNE GELİŞİMİ VE GELİŞİMSEL MİNE DEFEKTLERİ

Mine oluşumu oldukça düzenli ve karmaşık bir süreçtir. Mine oluşumunun farklı aşamalarında ameloblast aktivitesinin bozulması, farklı klinik özelliklere sahip anomalilerin ortaya çıkmasına neden

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

olabilir. Mine matriksinin oluşumu sırasında meydana gelen bozukluklar genellikle mine miktarında azalma ile ilişkiliyken, mineralizasyon ve maturasyon süreçlerindeki bozukluklar minenin kalitatif özelliklerini etkileyebilir (Collignon et al., 2022; Manton et al., 2020).

Bu ayrım mine hipoplazisi ile hipomineralizasyon arasındaki temel farkı oluşturmaktadır. Hipoplazide mine dokusunda gerçek bir kantitatif eksiklik bulunmaktadır. Hipomineralizasyonda ise mine kalınlığı başlangıçta normal görünebilmesine rağmen dokunun mineralizasyon derecesi ve mekanik özellikleri sağlıklı mineden farklıdır.

Gelişimsel mine defektleri çeşitli nedenlere bağlı olarak ortaya çıkabilir. Prenatal, perinatal ve postnatal dönemlerde meydana gelen birçok sistemik ve çevresel faktörün mine gelişimiyle olası ilişkisi araştırılmıştır (Collignon et al., 2022; Guerra et al., 2014). Prematür doğum ile gelişimsel mine anomalileri arasındaki ilişkiyi değerlendiren sistematik derleme ve meta-analizler de bu hasta grubunda mine defektlerinin klinik önemine dikkat çekmektedir (Bensi et al., 2020).

Bununla birlikte belirli bir çocukta gözlenen mine defektini tek bir sistemik olaya bağlamak her zaman mümkün değildir. Özellikle MIH konusunda mevcut bilgiler multifaktöriyel bir etiyolojiyi desteklemektedir (Garot et al., 2022).

MİNE HİPOPLAZİSİ

Mine hipoplazisi, mine matriksinin oluşumundaki bozukluklardan kaynaklanan kantitatif bir gelişimsel defekttir. Klinik olarak küçük

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

çukurcuklar, transvers oluklar veya daha geniş mine eksikliği alanları şeklinde görülebilir.

Hipoplazinin estetik yönetiminde önemli noktalardan biri, sorunun yalnızca renk değişikliğinden ibaret olmadığının anlaşılmasıdır. Mine dokusunda gerçek bir kayıp vardır ve bu durum diş yüzeyinin konturunu ve morfolojisini etkiler. Bu nedenle rezin infiltrasyonu gibi esas olarak optik özellikleri değiştiren teknikler anatomik doku eksikliğini tek başına gideremez.

Küçük hipoplastik defektler mümkün olduğunda minimal preparasyonlu veya preparasyonsuz adeziv kompozitlerle tedavi edilebilir. Buradaki amaç sağlam mineyi uzaklaştırarak geleneksel bir kavite oluşturmak değil, eksik anatomiyi mümkün olan en konservatif biçimde tamamlamaktır.

MİNE HİPOMİNERALİZASYONU

Hipomineralizasyon mine oluşumunun kalitatif bir defektidir. Klinik olarak beyaz-krem, sarı veya kahverengi opasiteler görülebilir. Hipomineralize mine, mineral bileşimi ve mikroyapısal özellikleri bakımından sağlıklı mineden farklılık gösterir (Lygidakis et al., 2022; Manton et al., 2020).

Minenin poröz yapısı bu lezyonların estetik görünümünü önemli ölçüde etkiler. Sağlam mine ile poröz bölgedeki hava veya sıvı arasındaki optik farklılıklar ışık saçılımının artmasına neden olur. Bunun sonucunda hipomineralize alan çevredeki sağlıklı mineye göre daha beyaz ve daha opak görünebilir. Rezin infiltrasyonunun estetik maskeleme etkisi bu optik farklılığın azaltılması esasına dayanmaktadır (Dziaruddin & Zakaria, 2022).

MOLAR-KESİCİ HİPOMİNERALİZASYONU

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

Molar-kesici hipomineralizasyonu, bir veya daha fazla birinci daimi moları etkileyen ve bazı olgularda daimi kesicilerin de tutulduğu gelişimsel bir mine defektidir. Güncel EAPD rehberleri MIH'nın tanı ve tedavisine ilişkin klinisyenlere kapsamlı öneriler sunmaktadır (Lygidakis et al., 2022).

MIH'nın dünya genelinde çok sayıda çocuğu etkilediği bildirilmektedir. Schwendicke et al. (2018), MIH'nın küresel yükünü değerlendirerek bu durumun çocuklarda önemli bir ağız sağlığı problemi olduğunu ortaya koymuştur.

Klinik görünüm, hafif ve sınırları belirgin beyaz-krem opasitelerden sarı-kahverengi opasitelere ve posterüptif mine kaybına kadar değişebilir (Bekes et al., 2023; Lygidakis et al., 2022). Şiddetli olgularda hipersensitivite, dental çürük, artmış restoratif tedavi gereksinimi ve dental işlemler sırasında çocuğun kooperasyonunu olumsuz etkileyebilecek ağrı görülebilir.

MIH tedavisi tek bir terapötik yaklaşımla sınırlandırılamaz. Sistematik derlemeler tedavinin hastanın yaşı, lezyonun şiddeti, etkilenen diş, posterüptif mine kaybının varlığı ve hassasiyet gibi faktörlere göre seçilmesi gerektiğini göstermektedir (Somani et al., 2022). Würzburg konsepti de klinik şiddet ve tedavi gereksiniminin sistematik biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Bekes et al., 2023).

Retrospektif pediatrik klinik verilerde de tedavi yaklaşımlarında farklılıklar görülmektedir. Uzman çocuk diş hekimliği merkezlerinde MIH yönetimini değerlendiren çalışmalar, hastanın spesifik klinik gereksinimlerine göre koruyucu, restoratif ve diğer

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

tedavi yöntemlerinin uygulanabileceğini göstermektedir (Humphreys & Albadri, 2020).

ANTERİOR MIH VE ESTETİK SORUNLAR

Kesici dişlerdeki MIH opasiteleri, posterior dişlerde görülen lezyonlardan farklı bir klinik sorun oluşturabilir. Posterior dişlerde ağrı, çürük ve yapısal kayıp genellikle temel problemleri oluştururken, kesici dişlerde estetik görünüm daha önemli hâle gelebilir.

Fragelli et al. (2021), MIH bulunan çocuklarda dental estetik algısının etkilenebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte klinisyen tarafından belirgin bulunan her lezyonun çocuk açısından mutlaka problem oluşturduğu varsayılmamalıdır.

Estetik tedavi kararlarında çocuğun görüşü dikkate alınmalıdır. Çocuğu rahatsız etmeyen ve biyolojik bir risk oluşturmayan hafif bir opasiteye yalnızca ebeveynlerin talebi doğrultusunda geri dönüşümsüz işlem yapılması minimal invaziv tedavinin temel prensipleriyle uyumlu değildir.

Son yıllarda anterior MIH lezyonlarında mikroabrazyon ve rezin infiltrasyonu gibi konservatif yöntemlerin kullanımı giderek daha fazla araştırılmaktadır. Warner et al. (2022), çocuklarda minimal invaziv tedaviler sonrasında kesici diş opasitelerinin görünürlüğündeki değişiklikleri değerlendirmiş ve iyi seçilmiş vakalarda bu işlemlerin estetik görünümü iyileştirebileceğini bildirmiştir. MIH'dan etkilenen kesici dişlerin estetik tedavilerinde rezin infiltrasyonu ve diğer konservatif yaklaşımların etkili olabileceği bildirilmekle birlikte mevcut kanıtlar heterojendir (Mistry & Muwaquet Rodriguez, 2024; Sezer & Çarıkçıoğlu, 2024).

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]*Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345*

DENTAL FLOROZİS

Dental florozis, diş gelişimi sırasında aşırı sistemik florür alımına bağlı olarak ortaya çıkan gelişimsel bir mine defektidir. Klinik görünüm hafif beyaz çizgilerden daha geniş diffüz opasitelere, kahverengi renklenmelere ve şiddetli vakalarda yüzey düzensizliklerine kadar değişebilir.

Florozis ile MIH arasındaki ayırıcı tanı özellikle önemlidir. MIH opasiteleri daha belirgin sınırlara sahip olma eğilimindeyken, florozis genellikle daha diffüz ve simetrik görünüm gösterir. Beyaz mine lezyonları değerlendirilirken çürük, gelişimsel ve konjenital etiyolojiler birbirinden ayrılmalıdır (Jandu et al., 2021).

Florozisin estetik tedavisinde mikroabrazyon, beyazlatma, rezin infiltrasyonu ve bunların kombinasyonları araştırılmıştır. Sistematik değerlendirmeler tüm florozis olguları için tek bir yöntemin en iyi tedavi olduğunu destekleyen yeterli kanıt bulunmadığını göstermektedir (Di Giovanni et al., 2018). Bu nedenle tedavi florozisin şiddetine ve lezyonun anatomik özelliklerine göre planlanmalıdır.

Celik et al. (2013), florozisli dişlerin estetik yönetiminde mine mikroabrazyonu ile kombine tedavi yaklaşımını karşılaştırmıştır. Orta dereceli dental floroziste rezin infiltrasyonu ve remineralizasyon yöntemlerini değerlendiren klinik çalışma da infiltrasyonun bu alandaki potansiyel kullanımını ortaya koymuştur (Singhania et al., 2021).

BEYAZ MİNE LEZYONLARININ AYIRICI TANISI

Beyaz mine lezyonları tek bir hastalık grubunu temsil etmez. Başlangıç çürük lezyonları, florozis, molar-kesici

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

hipomineralizasyonu, hipoplazi, travmaya bağlı gelişimsel değişiklikler ve diğer mine defektleri benzer klinik renk değişikliklerine yol açabilir (de Lira & da Silva, 2020; Jandu et al., 2021).

Ayırıcı tanıda lezyonların dağılımı, sınırları, yüzey özellikleri, dişlerin sürme zamanı, çürük aktivitesi ve hastanın tıbbi ve dental öyküsü birlikte değerlendirilmelidir.

Beyaz nokta lezyonlarının tedavisinde remineralizasyon, mikroabrazyon ve rezin infiltrasyonu gibi yöntemler kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir (Puleio et al., 2022). Ancak çürük kaynaklı beyaz nokta lezyonlarına ilişkin sonuçlar doğrudan gelişimsel hipomineralizasyonlara aktarılmamalıdır. Lezyonlar arasındaki mikroyapısal farklılıklar tedaviye verilen yanıtı etkileyebilir.

MİNİMAL İNVAZİV TEDAVİ FELSEFESİ

Çocuk ve adölesanlarda minimal invaziv tedavinin temel amacı doğal diş dokusunu mümkün olan en uzun süre korumaktır. Erken yaşlarda yapılan restorasyonların zaman içerisinde yenilenmesi gerekebilir ve her restoratif döngü ilave diş dokusu kaybına yol açabilir.

Bu nedenle mine defektlerinin tedavisinde geniş restoratif işlemler ilk seçenek olmamalıdır. Öncelikle koruyucu ve minimal invaziv alternatifler tercih edilmelidir (Lygidakis et al., 2022; Somani et al., 2022).

Çocuklarda estetik diş hekimliğinin kendine özgü sorunları bulunmaktadır. Yaş, kooperasyon, devam eden büyüme ve gelişim,

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

dişlerin sürme düzeyi ve değişen estetik beklentiler tedavi seçimlerini etkileyebilir (Loy & Srinivasan, 2021).

REMİNERALİZASYON VE HİPERSENSİTİVİTE YÖNETİMİ

Gelişimsel hipomineralizasyonlarda remineralizasyon kavramı dikkatli değerlendirilmelidir. MIH mine oluşumu sırasında ortaya çıkan yapısal bir defekt olduğundan, remineralizasyon ajanlarının etkilenmiş dokuyu tamamen sağlıklı mine yapısına dönüştürmesi beklenmemelidir.

Bu uygulamaların temel amaçları hassasiyeti azaltmak, yüzey özelliklerini desteklemek ve çürük riskini kontrol altına almaktır.

MIH'da noninvaziv remineralizasyon ve hipersensitivite yönetimi yaklaşımlarını inceleyen sistematik derleme ve meta-analizler farklı ajanların potansiyel yararlarını değerlendirmiştir (Cavalcante et al., 2024). Hidroksiapatit içeren diş macununun MIH üzerindeki etkisini değerlendiren in-situ çalışmalar da bu koruyucu yaklaşıma yönelik bilimsel ilgiyi desteklemektedir (Amaechi et al., 2022).

Hipomineralize dişlerde hipersensitivitenin daha sık görüldüğü bildirilmiştir (de Castro et al., 2021). Hassasiyet, diş fırçalama alışkanlıklarını ve dental tedavi sırasındaki kooperasyonu olumsuz etkileyebileceğinden elektif estetik işlemlerden önce kontrol altına alınmalıdır.

MİNE MİKROABRAZYONU

Mine mikroabrazyonu, mine yüzeyindeki sınırlı defektlerin kontrollü biçimde uzaklaştırılmasına dayanan konservatif bir tedavi yöntemidir. Özellikle hafif florotik opasiteler ve bazı lokalize

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

renklenmelerde kullanılabilir (Celik et al., 2013; Di Giovanni et al., 2018).

Mikroabrazyonun etkinliğini belirleyen başlıca faktörlerden biri lezyonun derinliğidir. Yüzeysel lezyonlarda estetik iyileşme sağlanabilirken, daha derin lezyonların tamamen uzaklaştırılmaya çalışılması gereksiz mine kaybına neden olabilir.

Çocuk ve adölesanlarda mikroabrazyon aşamalı olarak gerçekleştirilmeli ve her aşamadan sonra sonuç yeniden değerlendirilmelidir. Kabul edilebilir estetik iyileşme elde edildiğinde işlem sonlandırılmalıdır.

Mikroabrazyonun minimal invaziv bir işlem olması tamamen risksiz olduğu anlamına gelmez. İşlem sırasında mine dokusu geri dönüşümsüz olarak uzaklaştırılır. Amelogenesis imperfectalı bir çocukta mikroabrazyon sonrasında olağandışı dışsal renklenme bildirilen olgu gibi yayınlar, uzun dönem yüzey özelliklerinin değerlendirilmesinin önemini göstermektedir (Rogers et al., 2016).

REZİN İNFİLTRASYONU

Rezin infiltrasyonu, düşük viskoziteli bir rezinin kapiller kuvvetler aracılığıyla poröz mine dokusuna penetre olmasına dayanan mikroinvaziv bir tekniktir.

Yöntem başlangıçta kavitasyonsuz çürük lezyonlarının ilerlemesini durdurmak amacıyla geliştirilmiş, daha sonra estetik maskeleme amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır.

Poröz lezyonlardaki hava veya sıvı ile sağlam mine arasındaki kırılma indisi farklılıkları ışığın saçılmasına ve lezyonun klinik olarak beyaz görünmesine neden olur. Bu poröz alanların infiltrant

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

rezinle doldurulması optik düzensizliği azaltabilir ve böylece lezyonun görünürlüğünü düşürebilir (Dziaruddin & Zakaria, 2022).

Rezin infiltrasyonunun çocuk hastalardaki önemli avantajlarından biri geniş mekanik preparasyon gerektirmemesidir. Bununla birlikte bütün beyaz mine lezyonlarının infiltrasyona aynı biçimde yanıt vermesi beklenmemelidir.

REZİN İNFİLTRASYONUNUN TEMEL KLİNİK PRENSİPLERİ

İşlem öncesinde lezyon doğru biçimde tanımlanmalı ve diş yüzeyi temizlenmelidir. Klinik fotoğraflar tedavi öncesi ve sonrasındaki görsel değişikliklerin değerlendirilmesine yardımcı olabilir.

İzolasyon sağlandıktan sonra lezyon yüzeyi uygun biçimde hazırlanır. Mineral içeriği daha yüksek yüzeyel bir tabakanın infiltrantın lezyon gövdesine ulaşmasını engelleyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kontrollü yüzey hazırlığından sonra düşük viskoziteli infiltrant uygulanarak poröz bölgelere penetrasyon sağlanması amaçlanır (Dziaruddin & Zakaria, 2022).

Fazla materyal uzaklaştırılır ve polimerizasyon gerçekleştirilir. İşlemin son aşamasında yüzey polisajı önemlidir. Yüzeyde kalan fazla rezin zaman içerisinde plak birikimine ve dışsal renklenmeye neden olabilir.

Beyaz nokta lezyonlarının tedavilerine ilişkin sistematik derlemelerde rezin infiltrasyonu estetik maskeleme açısından önemli bir konservatif seçenek olarak bildirilmiştir (Puleio et al., 2022). Bununla birlikte gelişimsel mine anomalileri başlangıç çürük lezyonlarıyla aynı kabul edilmemelidir.

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

MIH'DA REZİN İNFİLTRASYONU

MIH opasitelerinin mikroyapısı homojen değildir. Lezyonların porozitesi, derinliği ve yüzey özellikleri değişebildiğinden bütün MIH lezyonlarının standart bir infiltrasyon protokolüne aynı şekilde yanıt vermesi beklenmemelidir (Lygidakis et al., 2022; Somani et al., 2022).

Anterior MIH opasitelerinde infiltrasyonun temel avantajlarından biri, geniş mekanik preparasyon yapılmadan estetik iyileşme sağlanabilmesidir. Warner et al. (2022) tarafından pediatrik hastalarda yapılan çalışmada, minimal invaziv yaklaşımların kesici diş opasitelerinin görünürlüğünü azaltabileceği bildirilmiştir.

MIH'nın estetik tedavilerini karşılaştıran sistematik derlemelerde rezin infiltrasyonu uygulanabilir seçeneklerden biri olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte çalışmalar arasındaki heterojenlik ve uzun dönem verilerinin sınırlı olması nedeniyle sonuçlar dikkatli yorumlanmalıdır (Mistry & Muwaquet Rodriguez, 2024).

MIH'dan etkilenen kesici dişlere yönelik güncel tedavi değerlendirmeleri, lezyonun klinik özelliklerine bağlı olarak mikroabrazyon, infiltrasyon, beyazlatma ve restoratif tekniklerin farklı kombinasyonlarının kullanılabileceğini göstermektedir (Sezer & Çarıkçıoğlu, 2024).

BEYAZLATMA İŞLEMLERİNİN YERİ

Beyazlatma, minedeki yapısal defekti ortadan kaldırmaz. Çevredeki sağlam diş dokusunun renginin değiştirilmesi, lezyon ile çevre mine arasındaki kontrastın azaltılmasına yardımcı olabilir.

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

Çocuklarda beyazlatma, erişkinlerde olduğu gibi rutin bir kozmetik uygulama olarak değerlendirilmemelidir. Hastanın yaşı, pulpa yapısı, dişlerin sürme durumu, hassasiyet öyküsü ve mevcut estetik gereksinimleri dikkate alınmalıdır (Loy & Srinivasan, 2021).

Beyazlatma florozis gibi durumlarda diğer konservatif yöntemlerle birlikte kullanılabilir; ancak dikkatli vaka seçimi gereklidir.

KOMBİNE MİNİMAL İNVAZİV TEDAVİLER

Tek bir tekniğin mine defektini düzeltmede yeterli olmadığı durumlarda kombine bir yaklaşım düşünülebilir. Temel amaç tek bir yöntemi agresif biçimde uygulamak yerine farklı konservatif yöntemleri sınırlı ve kontrollü biçimde kullanmaktır.

Örneğin yüzey pigmentasyonunun eşlik ettiği belirgin bir opasitede kontrollü mikroabrazyon ve ardından rezin infiltrasyonu düşünülebilir. Bu yaklaşım lezyonu tamamen uzaklaştırmaya çalışırken oluşabilecek aşırı mine kaybını önleyebilir (Celik et al., 2013; Mistry & Muwaquet Rodriguez, 2024).

Hipoplastik bir lezyondaki renk farklılığı öncelikle mümkün olan en konservatif yöntemle azaltılabilir; ardından eksik anatomik kontur sınırlı miktarda kompozit rezin ilavesiyle tamamlanabilir.

Her tedavi aşamasından sonra klinik sonuç yeniden değerlendirilmelidir. Yeterli estetik sonuç elde edildiğinde daha invaziv bir sonraki aşamaya geçilmemelidir. Bu yaklaşım minimal invaziv tedavinin temel ilkelerinden biridir.

MİNİMAL İNVAZİV ADEZİV KOMPOZİT RESTORASYONLAR

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]*Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345*

Minimal invaziv diş hekimliği restoratif materyallerin tamamen kullanılmaması anlamına gelmez. Gerçek anatomik doku kaybının bulunduğu durumlarda restorasyon gerekebilir.

Kompozit rezinlerin adeziv özellikleri, geniş mekanik retansiyon preparasyonlarına gerek kalmadan eksik dokunun tamamlanmasını sağlayabilir. Hipoplazi veya posterüptif mine kaybında preparasyonsuz ya da minimal preparasyonlu kompozit uygulamaları düşünülebilir (Humphreys & Albadri, 2020; Sezer & Çarıkçıoğlu, 2024; Somani et al., 2022).

Kompozit restorasyonların çocuk ve adölesanlardaki bir diğer avantajı tamir edilebilir olmalarıdır. Restorasyonda lokalize bir problem meydana geldiğinde tüm restorasyon ve çevredeki sağlıklı diş dokusu uzaklaştırılmadan lokal tamir yapılabilir.

MİNE DEFEKTLERİ VE ÇÜRÜK RİSKİ

Mine defekti bulunan hastalarda estetik işlemler planlanırken çürük riski mutlaka dikkate alınmalıdır. Özellikle hipomineralize minenin yapısal bütünlüğü bozulduğunda plak birikimi ve posterüptif doku kaybı daha karmaşık klinik sorunlara yol açabilir (Gevert et al., 2024; Lygidakis et al., 2022).

Adölesanlarda gelişimsel mine defektleri ile dental çürük arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar, bu iki durumun birlikte değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır (Olczak-Kowalczyk et al., 2023).

Aktif çürüğü ve yetersiz oral hijyeni bulunan çocuklarda kozmetik tedaviden önce hastalık kontrolüne öncelik verilmelidir. Elektif estetik işlemler ancak oral hijyen iyileştirildikten ve çürük aktivitesi kontrol altına alındıktan sonra gerçekleştirilmelidir.

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

ÇOCUĞUN ESTETİK ALGISI VE YAŞAM KALİTESİ

Çocuk ve adölesanlarda mine defektlerinin estetik etkilerini değerlendirirken yalnızca klinisyenin değerlendirmesi yeterli değildir. Çocuğun kendi dental görünümüne ilişkin algısı tedavi kararının önemli bir bileşenidir.

MIH'nın ağız sağlığıyla ilişkili yaşam kalitesi üzerindeki etkisini inceleyen sistematik derlemeler, özellikle klinik şiddetin artmasıyla birlikte hastalığın çocuğun günlük yaşamını etkileyebildiğini göstermektedir (Awwad et al., 2023).

MIH'dan etkilenmiş hipersensitif molarların tedavisinin yaşam kalitesi üzerindeki etkisini değerlendiren araştırmalar da semptomların kontrol altına alınmasının çocuk açısından klinik önemini göstermektedir (Bekes et al., 2021).

Dolayısıyla estetik tedavinin başarısı yalnızca klinik fotoğraflardaki renk değişiklikleri üzerinden değerlendirilmemelidir. Dental görünümden duyulan memnuniyetin artması, hassasiyetin azalması ve günlük oral hijyen uygulamalarının daha rahat gerçekleştirilebilmesi de tedavi başarısının önemli bileşenleridir.

DAVRANIŞ YÖNETİMİ

Çocuklarda elektif estetik işlemlerin planlanmasında hastanın kooperasyonu önemli bir faktördür. Mikroabrazyon sırasında yumuşak dokuların korunması, rezin infiltrasyonu sırasında etkili izolasyonun sağlanması ve adeziv restoratif işlemlerde kontaminasyonun önlenmesi çocuğun kooperasyonuyla yakından ilişkilidir.

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

Minimal invaziv yöntemlerin lokal anestezi ve döner alet kullanımına olan gereksinimi azaltabilmesi pediatrik hastalar açısından avantaj sağlayabilir. Bununla birlikte işlem süresi ve izolasyon gereksinimleri de değerlendirilmelidir (Humphreys & Albadri, 2020; Loy & Srinivasan, 2021).

Estetik işlemler çocuğun psikolojik toleransını aşan olumsuz bir dental deneyime dönüştürülmemelidir. Bazı hastalarda acil olmayan tedavilerin kooperasyon gelişene kadar ertelenmesi daha uygun olabilir.

UZUN DÖNEM TAKİP VE PROGNOZ

Minimal invaziv estetik işlemlerin ardından düzenli klinik takip gereklidir. MIH'dan etkilenmiş dişlerde posterüptif mine kaybı zaman içerisinde ilerleyebilir ve restoratif gereksinimlerin değişmesine neden olabilir.

Rezin infiltrasyonu uygulanan dişlerde renk stabilitesi, yüzey özellikleri ve hasta memnuniyeti değerlendirilmelidir. Tekrarlayan mikroabrazyon uygulamaları konusunda dikkatli olunmalıdır; çünkü işlem sırasında kaybedilen mine dokusu geri kazanılamaz.

Kompozit restorasyonlarda marjinal bütünlük, renk uyumu ve yüzey özellikleri takip edilmelidir. Büyüme ve gelişim sürecinde gingival konturlar ve estetik beklentiler değişebilir.

Tedavi öncesinde ve kontrol seanslarında alınan standartlaştırılmış klinik fotoğraflar estetik değişikliklerin değerlendirilmesinde yararlı olabilir.

GELİŞİMSEL MİNE DEFEKTLERİNDE GENEL KLİNİK YAKLAŞIM

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

Gelişimsel mine defektlerinin yönetiminde tedaviden önce doğru tanı konulmalıdır. Klinik olarak birbirine benzeyen beyaz opasitelerin farklı etiyolojileri olabilir.

Tedavi planlamasında öncelikle yüzey bütünlüğü değerlendirilmelidir. Yüzeyi sağlam ve yüzeysel bir defekt mikroabrazyondan yarar görebilir. Kavitasyonsuz ve poröz bir opasite rezin infiltrasyonu için uygun olabilir. Buna karşılık anatomik doku kaybının bulunduğu hipoplastik bir lezyonda minimal invaziv adeziv restorasyon gerekebilir.

MIH bulunan çocuklarda herhangi bir estetik girişimden önce ağrı, hassasiyet ve çürük riski kontrol altına alınmalıdır (Cavalcante et al., 2024; de Castro et al., 2021; Lygidakis et al., 2022). Çocuk estetik açıdan rahatsızlık duymuyorsa yalnızca ebeveynlerin ısrarı nedeniyle geri dönüşümsüz işlemler uygulanmamalıdır.

Tedavi en az invaziv seçenekle başlamalıdır. İlk aşamadan sonra yeterli estetik iyileşme elde edilmişse daha invaziv bir işleme geçilmemelidir. Bu yaklaşım çocuğun yaşamı boyunca ihtiyaç duyacağı doğal diş dokusunun korunması açısından önemlidir.

SONUÇ

Çocuk ve adölesanlarda mine defektlerinin minimal invaziv estetik tedavisi yalnızca renk değişikliklerinin kozmetik olarak ortadan kaldırılmasıyla sınırlı değildir. Mine defektinin etiyolojisi ve biyolojik özellikleri; çocuğun yaşı, dental gelişim aşaması, hassasiyeti, çürük riski, kooperasyonu ve estetik beklentileriyle birlikte değerlendirilmelidir.

Mine hipoplazisi, hipomineralizasyon, MIH, dental florozis ve çürükle ilişkili beyaz nokta lezyonları klinik olarak benzer

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

görünebilmesine rağmen farklı patolojik mekanizmaları temsil eder. Bu nedenle doğru ayırıcı tanı başarılı tedavinin temel koşuludur.

Mikroabrazyon yüzeysel mine defektlerinin konservatif tedavisinde kullanılabilir. Rezin infiltrasyonu ise geniş mekanik preparasyona gerek kalmadan poröz ve kavitasyonsuz lezyonlarda optik maskeleme sağlayabilen mikroinvaziv bir tekniktir. Bu yöntemler anterior MIH'nın estetik yönetiminde umut verici sonuçlar sunmakla birlikte dikkatli vaka seçimi gereklidir.

Estetik işlemlerden önce hipersensitivitenin ve çürük riskinin kontrol altına alınması öncelikli olmalıdır (Amaechi et al., 2022; Cavalcante et al., 2024; de Castro et al., 2021; Gevert et al., 2024). Hipoplastik lezyonlarda olduğu gibi gerçek anatomik doku kaybının bulunduğu durumlarda minimal invaziv adeziv restorasyon gerekebilir.

Günümüzde mevcut bilimsel veriler, bütün mine defektlerinde ve bütün pediatrik hastalarda kullanılabilecek diğer yöntemlerden üstün tek bir estetik tedavi protokolünün bulunduğunu göstermemektedir (Di Giovanni et al., 2018; Lygidakis et al., 2022; Mistry & Muwaquet Rodriguez, 2024; Somani et al., 2022). Tedavi, lezyonun ve hastanın özelliklerine göre bireyselleştirilmeli; en az invaziv yöntemle başlanmalı ve her aşamadan sonra elde edilen sonuç yeniden değerlendirilmelidir.

Çocuk ve adölesanlarda minimal invaziv estetik işlemlerin temel amacı, ideal bir görünüm elde etmek uğruna sağlam diş dokusuna zarar vermek değil; hastanın fonksiyonel, biyolojik ve estetik gereksinimlerini mümkün olan en düşük biyolojik maliyetle karşılamak ve doğal diş dokularını yaşam boyu korumaktır.

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]*Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345*

Kaynakça

Amaechi, B. T., Farah, R., Liu, J. A., et al. (2022). Remineralization of molar incisor hypomineralization (MIH) with a hydroxyapatite toothpaste: An in-situ study. *BDJ Open, 8*(1), 33. https://doi.org/10.1038/s41405-022-00126-4

Awwad, A., Hamad, R., Schiffner, U., Splieth, C. H., et al. (2023). Effect of prevalence and severity of molar-incisor hypomineralization on oral health-related quality of life: A systematic review and meta-analysis.

Bekes, K., Amend, S., Priller, J., et al. (2021). Changes in oral health-related quality of life after treatment of hypersensitive molar incisor hypomineralization-affected molars with a sealing. *Clinical Oral Investigations, 25*(11), 6449–6454. https://doi.org/10.1007/s00784-021-03947-z

Bekes, K., Steffen, R., & Krämer, N. (2023). Update of the molar incisor hypomineralization: Würzburg concept. *European Archives of Paediatric Dentistry, 24*(6), 807–813. https://doi.org/10.1007/s40368-023-00848-5

Bensi, C., Costacurta, M., Belli, S., et al. (2020). Relationship between preterm birth and developmental defects of enamel: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Paediatric Dentistry.*

Cavalcante, B. G. N., Mlinkó, É., Szabó, B., et al. (2024). Non-invasive strategies for remineralization and hypersensitivity management in molar-incisor hypomineralization: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine, 13*(23),

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

7154. https://doi.org/10.3390/jcm13237154

Celik, E. U., Yıldız, G., & Yazkan, B. (2013). Comparison of enamel microabrasion with a combined approach to the esthetic management of fluorosed teeth. *Operative Dentistry, 38*(5), E134–E143. https://doi.org/10.2341/12-317-C

Collignon, A. M., Vergnes, J. N., Germa, A., Azogui, S., et al. (2022). Factors and mechanisms involved in acquired developmental defects of enamel: A scoping review. *Frontiers in Pediatrics, 10*, 836708. https://doi.org/10.3389/fped.2022.836708

de Castro, C. R. N., Lima, C. C. B., Costa, L. C., et al. (2021). Hypomineralized teeth have a higher frequency of dental hypersensitivity. *Pediatric Dentistry, 43*(3), 218–222.

de Lira, A. L. S., & da Silva, N. R. F. (2020). White spots on tooth enamel in mixed dentition. *Brazilian Dental Science.*

Di Giovanni, T., Eliades, T., & Papageorgiou, S. N. (2018). Interventions for dental fluorosis: A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 30*(6), 502–508. https://doi.org/10.1111/jerd.12408

Dziaruddin, N., & Zakaria, A. S. I. (2022). Resin infiltration of non-cavitated enamel lesions in paediatric dentistry: A narrative review. *Children, 9*(12), 1893. https://doi.org/10.3390/children9121893

Fragelli, C., Barbosa, T. S., Bussaneli, D. G., et al. (2021). Aesthetic perception in children with molar incisor hypomineralization. *European Archives of Paediatric Dentistry, 22*(2), 227–234. https://doi.org/10.1007/s40368-020-00541-x

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

Garot, E., Rouas, P., Somani, C., Taylor, G. D., Wong, F. S. L., & Lygidakis, N. A. (2022). An update of the aetiological factors involved in molar incisor hypomineralisation (MIH): A systematic review and meta-analysis. *European Archives of Paediatric Dentistry, 23*(1), 23–38.

Gevert, M. V., Wambier, L. M., Ito, L. Y., et al. (2024). Which are the clinical consequences of molar incisor hypomineralization (MIH) in children and adolescents? Systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations, 28*(7), 415.

Guerra, F., Mazur, M., Corridore, D., et al. (2014). Developmental defects of enamel: An increasing reality in everyday practice.

Humphreys, J., & Albadri, S. (2020). Management of molar incisor hypomineralisation (MIH): A 1-year retrospective study in a specialist secondary care centre in the UK. *Children, 7*(12), 252.

Jandu, J., Dzyuba, N., & Barry, S. (2021). White enamel lesions in children: Considering caries, chronological and congenital causes and their consequent care. *British Dental Journal, 230*(8), 523–527.

Loy, F., & Srinivasan, V. (2021). Aesthetic dental challenges for the paediatric patient. *Dental Update, 48*(10), 866.

Lygidakis, N. A., Garot, E., Somani, C., Taylor, G. D., Rouas, P., & Wong, F. S. L. (2022). Best clinical practice guidance for clinicians dealing with children presenting with molar-incisor-hypomineralisation (MIH): An updated European Academy of Paediatric Dentistry policy document. *European Archives of Paediatric Dentistry, 23*(1), 3–21.

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345

Manton, D. J., Crombie, F., & Schwendicke, F. (2020). Enamel defects. In *Oral epidemiology: A textbook on oral health conditions, research topics and methods*. Springer.

Mistry, N. S., & Muwaquet Rodriguez, S. (2024). Comparison of aesthetic treatments for molar-incisor hypomineralisation: Systematic review and meta-analysis. *The Saudi Dental Journal, 36*(2), 222–227.

Olczak-Kowalczyk, D., Krämer, N., Gozdowski, D., et al. (2023). Developmental enamel defects and their relationship with caries in adolescents aged 18 years. *Scientific Reports, 13*(1), 4932.

Puleio, F., Fiorillo, L., Gorassini, F., et al. (2022). Systematic review on white spot lesions treatments. *European Journal of Dentistry.*

Rogers, H. J., Yesudian, G., & Rodd, H. D. (2016). Unusual extrinsic staining following microabrasion in a girl with amelogenesis imperfecta. *European Archives of Paediatric Dentistry, 17*(4), 271–275.

Schwendicke, F., Elhennawy, K., Reda, S., Bekes, K., Manton, D. J., & Krois, J. (2018). Global burden of molar incisor hypomineralization. *Journal of Dentistry, 68*, 10–18.

Sezer, B., & Çarıkçıoğlu, B. (2024). Treatment strategies for incisors of children affected by molar incisor hypomineralization: A narrative review. *Oral, 4*(1).

Singhania, S., Nandlal, B., Shanbhog, R., et al. (2021). Resin infiltration and remineralization interventions in management of moderate dental fluorosis: A quantitative light-induced

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]*Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345*

fluorescence-based randomized clinical trial. *Indian Journal of Dental Research, 32*(3), 362–371.

Somani, C., Taylor, G. D., Garot, E., Rouas, P., Lygidakis, N. A., & Wong, F. S. L. (2022). An update of treatment modalities in children and adolescents with teeth affected by molar incisor hypomineralisation (MIH): A systematic review. *European Archives of Paediatric Dentistry, 23*(1), 39–64.

Warner, C., Hasmun, N. N., Elcock, C., Lawson, J. A., et al. (2022). Making white spots disappear! Do minimally invasive treatments improve incisor opacities in children with molar-incisor hypomineralisation? *International Journal of Paediatric Dentistry, 32*(4), 617–625.

[1] *Dr. Dt., Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti, 0000-0001-6031-427X*
[2]*Dr.Öğr.Üyesi, Harran Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi, 0009-0008-6952-1345*


BİDGE