

MODERN ORTODONTİDE DİJİTAL TEKNOLOJİLER VE MİNİMAL İNVAZİV YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR: DEMET SÜER TÜMEN



BİDGE Yayınları

Modern Ortodontide Dijital Teknolojiler ve Minimal İnvaziv Yaklaşımlar

Editör: DEMET SÜER TÜMEN

ISBN: 978-625-8995-56-5

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2026-03-25

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.

Güzeltpe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Son yıllarda dijital teknolojiler, diş hekimliği ve özellikle ortodonti alanında önemli bir dönüşüm yaratmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri, üç boyutlu görüntüleme yöntemleri ve eklemeli üretim teknolojilerinin klinik uygulamalara entegre edilmesi, ortodontik tanı, tedavi planlaması ve tedavi süreçlerinde yeni bir dönemin başlamasına olanak sağlamıştır.

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri, kişiye özel ortodontik apareylerin üretimini mümkün kılarken; dijital modelleme sistemleri ortodontik analizlerin daha hassas, hızlı ve tekrarlanabilir biçimde yapılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca estetik diş hekimliği ve ortodontinin kesişiminde yer alan dijital gülüş tasarımı, hasta beklentilerinin daha doğru analiz edilmesine ve tedavi sonuçlarının öngörülebilirliğinin artırılmasına katkı sağlayan çağdaş bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Ortodontideki bu dijital dönüşümün yanı sıra, kullanılan materyallerin biyolojik etkileri ve hasta güvenliği de modern klinik pratiğin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Bu kapsamda ortodontik materyallerin biyoyumluluğu, sitotoksik potansiyelleri ve hücresel düzeyde oluşturdukları yanıtların değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Bununla birlikte ortodontik tedavi planlamasında yer darlığının yönetiminde önemli bir yöntem olan interproksimal redüksiyon (air-rotor stripping) teknikleri, dijital planlama sistemleri ile birlikte daha kontrollü ve öngörülebilir şekilde uygulanabilmektedir.

“Modern Ortodontide Dijital Teknolojiler ve Minimal İnvaziv Yaklaşımlar” başlıklı bu kitapta; ortodontide giderek artan bir kullanım alanı bulan üç boyutlu yazıcı teknolojileri, dijital modelleme yöntemleri, dijital gülüş tasarımı ve interproksimal redüksiyon tekniklerinin yanı sıra ortodontik materyallerde sitotoksikite ve biyoyumluluk konuları güncel literatür ışığında ele alınmıştır. Bu kitabın, ortodonti alanında çalışan akademisyenler, klinisyenler, araştırmacılar ve uzmanlık öğrencileri için değerli bir kaynak olması ve modern ortodonti pratiğinde klinik karar verme süreçlerine katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Bu değerli bilimsel çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen tüm yazarlara teşekkür eder, kitabın ortodonti literatürü için faydalı ve kalıcı bir referans kaynak olmasını temenni ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Demet SÜER TÜMEN

Dicle Üniversitesi

[25.03.2026]

İÇİNDEKİLER

Ortodontide 3 Boyutlu Yazıcılar	1
<i>SANIYE MERVE CENGİZ, SIDIKA TEMEL</i>	
3 Boyutlu Modelleme	33
<i>ÖZGE ÜNLÜOĞLU, YAZGI AY ÜNÜVAR</i>	
Dijital Gülüş Tasarımı	52
<i>YAZGI AY ÜNÜVAR, AHMET AKİF ALDANMAZ</i>	
Air-Rotor Stripping (ARS)	79
<i>DELAL DARA KILINÇ</i>	
Ortodontide Sitotoksisite: Materyal Kaynaklı Hücreyel Yanıtlar ve Klinik Yansımaları	93
<i>ABDULLAH ARSLAN</i>	
BİFOSFONAT KULLANIMI OLAN HASTALARDA ORTODONTİK TEDAVİ YAKLAŞIMLARI	111
<i>ELSHAN MAMMADOV, TANER ÖZTÜRK</i>	
ORTODONTİK APAREYLERİN PERİODONTAL SAĞLIK VE ORAL FLORA İLE İLİŞKİSİ	140
<i>TUĞÇE TURAN ÇOLAK, GÜVENÇ BAŞARAN</i>	

BÖLÜM 1

ORTODONTİDE 3 BOYUTLU YAZICILAR

Saniye Merve CENGİZ¹
Sıdıka TEMEL²

Giriş

Genel bir tanımla, 3 boyutlu (3B) baskı; dijital ortamda oluşturulan 3B bir tasarımın fiziksel ve katı bir nesneye dönüştürülmesi sürecidir. Bu üretim işlemini gerçekleştiren sistemler ise 3 boyutlu yazıcılar olarak adlandırılmaktadır. Teknik literatürde eklemeli (additif) üretim olarak tanımlanan bu yöntemde, nesne üretimi çoğunlukla malzemenin ardışık katmanlar hâlinde üst üste eklenmesiyle sağlanır. Bu yaklaşım, malzemenin bir bloktan uzaklaştırılması esasına dayanan aşındırıcı (subtraktif) üretim teknolojilerinden temel olarak ayrılmaktadır (Astm, 2015). 1980'li yıllarda Charles Hull tarafından geliştirilen 3B yazdırma teknolojisi, katmanlı üretim yaklaşımına dayanan ilk 3B yazıcının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu teknoloji, geliştiricisi tarafından stereolitografi olarak adlandırılmış ve modern 3B yazdırma yöntemlerinin temelini oluşturmuştur (Dodziuk, 2016). Charles

¹ Dr. Öğr. Üye., Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Türkiye. Orcid: 0000-0003-0803-8735

² Arş. Gör., Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Türkiye. Orcid: 0009-0003-6434-5323

Hull'un geliştirdiği stereolitografi teknolojisini takiben, 1980'li yılların sonlarında Scott Crump tarafından eritilmiş biriktirme modellemesi yöntemi tanıtılmış ve 3B yazıcı teknolojilerinin çeşitlenmesi hız kazanmıştır (Ludwikowski, 2017).

3B baskı teknolojisi, düşük maliyet, yüksek üretim hassasiyeti ve karmaşık geometrilerin üretimine olanak sağlaması nedeniyle günümüzde geleneksel üretim yöntemlerine önemli bir alternatif hâline gelmiştir (Bhargav vd., 2018; Dodziuk, 2016; Liaw & Guvendiren, 2017; Ligon vd., 2017). Teknolojik gelişmeler, diş hekimliği alanında önemli değişimlere yol açmış olup, bu değişimlerin başında 3B yazıcıların ve additif üretim prensibinin klinik uygulamalara dâhil edilmesi gelmektedir. Additif üretime dayanan bu yaklaşım, subtraktif üretim yöntemlerinden farklı olarak, ürünün katmanlar hâlinde oluşturulmasına olanak tanımakta ve böylece daha hassas ve karmaşık yapıların üretimini mümkün kılmaktadır. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar, ortodonti alanında 3B yazıcıların kullanımına yönelik ilginin belirgin biçimde arttığını ve bu teknolojinin aparey üretiminde giderek daha yaygın hâle geldiğini ortaya koymaktadır (Ahamed vd., 2015). Günümüzde ortodonti alanında en sık kullanılan 3B yazıcı türleri arasında stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (digital light processing-DLP), eritilmiş biriktirme modellemesi (fused deposition modeling-FDM) ve eritilmiş filament üretimi (fused filament fabrication-FFF), polyjet fotopolimer (PPP) ve seçici lazer sinterleme (selective laser sintering-SLS) sistemleri yer almaktadır (Groth vd., 2014).

3 Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Sınıflandırılması

Stereolitografi (SLA) Teknolojisi

Stereolitografi (SLA), 3B baskı teknolojisinin kurucusu olarak kabul edilen Charles W. Hull tarafından 1986 yılında tanımlanan ve geliştirilen ilk 3B yazıcı teknolojisidir (Dodziuk, 2016). Stereolitografi yönteminde üretim süreci, ultraviyole (UV)

lazer ışınının fotoreaktif sıvı reçineyi seçici olarak polimerize etmesi ve katmanların ardışık olarak üst üste eklenmesi esasına dayanmaktadır (Chia & Wu, 2015; Ligon vd., 2017). Stereolitografi sistemlerinde, fotopolimer reçine ile dolu hazne içerisinde yer alan hareketli bir platform, her katmanın polimerizasyonundan sonra katman kalınlığı kadar aşağı hareket ederek bir sonraki katmanın oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Çelik vd., 2013) Stereolitografi ile üretilen yapılar, baskı tamamlandıktan sonra yüzeyde kalan polimerize olmamış reçinenin temizlenmesini ve malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ultraviyole ışık altında ek kütleme işlemine tabi tutulmaktadır (Chia & Wu, 2015). Bu teknoloji, yüksek çözünürlük sağlaması ve düzgün yüzey özelliklerine sahip nesnelerin üretimine olanak tanınması nedeniyle 3B baskı yöntemleri arasında öne çıkmaktadır (Chia & Wu, 2015; Ligon vd., 2017).

Dijital Işık İşleme (DLP) Teknolojisi

Bu yöntemde baskı materyali olarak fotopolimer özellik gösteren reçineler kullanılmaktadır (Osman vd., 2017; Taneva vd., 2015). DLP teknolojisinde kullanılan materyaller stereolitografi ile aynı olmakla birlikte, sertleştirme işlemi lazer yerine görünür ışık kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Jasveer & Jianbin, 2018). DLP yöntemini stereolitografiden ayıran temel fark, ışığın tüm katman yüzeyine aynı anda uygulanmasıdır (Osman vd., 2017; Taneva vd., 2015). Üretim süresini kısaltmak amacıyla DLP sistemlerinde stereolitografiye kıyasla daha sıkı bir reçine haznesi kullanılmaktadır. Bu yapısal özellik nedeniyle DLP teknolojisinde, stereolitografiye göre daha az miktarda atık oluştuğu bildirilmektedir (Jasveer & Jianbin, 2018). DLP yöntemi, stereolitografiye kıyasla daha hızlı üretim sağlamakta ve 30 µm'nin altında katman kalınlıklarıyla baskıya olanak tanımaktadır (Osman vd., 2017; Taneva vd., 2015).

Eritilmiş Biriktirme Modellemesi (FDM) ve Eritilmiş Filament Üretimi (FFF) Teknolojileri

Eritilmiş biriktirme modellemesi ve eritilmiş filament üretimi (FDM/FFF), günümüzde en yaygın kullanılan 3B yazdırma yöntemlerinden biridir (Ludwikowski, 2017). Üretim sürecinde termoplastik materyal, açılıp kapanabilen bir ekstrüzyon başlığına yönlendirilir ve erime noktasının hemen üzerindeki sıcaklığa kadar ısıtılır. Isıtılan başlık, yazılım tarafından sayısal olarak kontrol edilen mekanizma sayesinde yatay ve dikey eksenlerde hareket ederek erimiş materyali belirli bir desen doğrultusunda yapı platformu üzerine bırakır. Nozülde çıkan eriyik materyal kısa sürede katılır ve tabaka oluşumu gerçekleşir; katmanlar ardışık olarak birbiri üzerine inşa edilerek 3B nesne elde edilir (Chia & Wu, 2015; Çelik vd., 2013). Bu yöntemde, özellikle karmaşık geometrilere sahip yapılarda destek materyali kullanımı gereklidir ve bu amaçla sisteme ikinci bir ekstrüzyon başlığı entegre edilebilmektedir (Çelik vd., 2013). FDM/FFF teknolojisinin önemli avantajları arasında baskı sonrasında ek bir işlem gerektirmemesi ve yaklaşık 127 µm'ye kadar düşük katman kalınlıklarında üretim yapılabilmesi yer almaktadır. Bununla birlikte, sertleşme sırasında meydana gelen malzeme büzülmesi ve yeterli termal ile viskoplastik özelliklere sahip materyal gereksinimi bu yöntemin temel sınırlamaları arasında sayılmaktadır (Q. Liu vd., 2006). Ortodontik uygulamalarda örnek olarak gösterilen FDM yazıcılardan biri MakerBot Replicator 2 olup, üretici verilerine göre retainer ve aligner üretiminde kullanılabilir; ancak katmanlı üretime bağlı "stair-stepping" etkisi nedeniyle estetik kalitenin sınırlı olabileceği belirtilmektedir (Taneva vd., 2015).

Mürekkep Püskürtmeli (Inkjet) 3B Yazdırma Teknolojileri ve PolyJet (PPP) Teknolojileri

Malzeme püskürtme esasına dayanan eklemeli üretim yöntemi, literatürde inkjet 3B yazdırma teknolojisi olarak da tanımlanmaktadır (Yap vd., 2017). Üretim sürecinde, piezoelektrik bir baskı başlığı aracılığıyla sıvı fotopolimer damlacıkları yapı platformu üzerine püskürtülmekte ve bu damlacıklar UV ışık kaynakları yardımıyla anında sertleştirilmektedir (Yap vd., 2017). Bu işlem, hedeflenen 3B model elde edilene kadar ardışık katmanlar hâlinde devam etmektedir (Yalçın & Ergene, 2017). Inkjet tabanlı 3B yazıcılarda (örneğin MultiJet sistemleri), aynı üretim sürecinde farklı reçinelerin kullanılması mümkün olmakta ve destek yapıları otomatik olarak oluşturularak çok parçalı ve karmaşık geometrilere sahip yapıların üretimi kolaylaştırılmaktadır (Yap vd., 2017).

Seçici Lazer Sinterleme (SLS) Teknolojileri

Seçici lazer sinterleme (SLS) teknolojisi, 3B nesnelerin üretiminde toz formundaki materyallerin kullanıldığı eklemeli imalat yöntemlerinden biridir (Taneva vd., 2015). Bu yöntemde yüksek enerjili bir CO₂ lazer ışını, belirlenen desen doğrultusunda toz materyali cam geçiş sıcaklığının üzerine ısıtarak partiküllerin birbirine kaynaşmasını sağlar (Chia & Wu, 2015). SLS teknolojisinde, kısmen sinterlenmiş serbest toz partikülleri baskı sırasında doğal bir destek görevi gördüğünden, ek destek yapılarının tasarımı dahil edilmesine gerek duyulmamaktadır. SLS yönteminde kullanılan toz materyaller arasında poliamidler, polikaprolakton, hidroksiapatit, cam, seramikler ve paslanmaz çelik, titanyum ile kobalt-krom alaşımları gibi metal tozları yer almaktadır (Taneva vd., 2015). Bu yöntemde lazer ışını, metal tozlarını sinterlemek yerine tamamen ergiterek katmanlı yapı oluşumunu sağlar ve baskı tamamlandıktan sonra kullanılmayan toz materyal ortamdan uzaklaştırılır (Jasveer & Jianbin, 2018).

Diş Hekimliğinde 3 Boyutlu Yazıcı Uygulamaları

Radyoloji

İleri görüntüleme yöntemleri kullanılarak hasta anatomisini ve patolojik süreçleri doğru şekilde yansıtan 3B modellerin tasarlanması ve üretilmesi, radyologlar ile klinik hekimleri arasında yakın bir iş birliğini zorunlu kılmaktadır (Mitsouras vd., 2015). 3B baskı teknolojisi sayesinde görüntüleme verilerine üçüncü bir boyut eklenerek, bilgisayar ekranındaki iki boyutlu görüntüler fiziksel ve somut modeller hâline dönüştürülebilmektedir (Ballard vd., 2018). Anatomik yapıların 3B yazdırılabilmesi amacıyla, başlangıçta DICOM formatındaki tıbbi görüntüler uygun bir segmentasyon yazılımı kullanılarak işlenmekte ve elde edilen anatomik bölümler radyolog tarafından kontrol edilmektedir. Radyolog tarafından doğrulanan bu veriler daha sonra STL formatına dönüştürülerek 3B yazdırılabilir anatomik modeller elde edilmektedir (Mitsouras vd., 2015). Radyologlar, 3B yazdırılmış modellerin oluşturulmasında kullanılan tıbbi görüntülerin yorumlanmasından sorumlu olmaları nedeniyle, 3B baskı teknolojilerinin cerrahi planlamaya entegrasyonunda öncü bir rol üstlenmektedir (Ballard vd., 2018).

Dental İmplantoloji

3B yazıcılar sayesinde hastaya özel, yeterli boyutsal doğruluğa ve yüksek mekanik dayanıklılığa sahip implantların üretilmesi mümkün hâle gelmiştir (J. Chen vd., 2014). Bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılarak tasarlanan ve 3B yazıcılarla üretilen dental implantların, taze çekim soketlerine yerleştirilmesinden sonra implant ile çevre dokular arasında uyumsuzluk gözlenmediği ve radyolojik olarak herhangi bir radyolüseni saptanmadığı rapor edilmiştir (Figliuzzi vd., 2012). 3B baskı teknolojilerinin dental implantolojideki önemli kullanım alanlarından biri de cerrahi implant kılavuzlarının üretimidir. Bilgisayar destekli 3B üretim yöntemleriyle hazırlanan cerrahi

implant kılavuzlarının, implant yerleştirme doğruluğunu ve güvenilirliğini artırdığı klinik verilerle gösterilmiştir (Giacomo vd., 2005).

Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi

3B yazıcı teknolojileri, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi alanında cerrahi planlama ve uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılabilmektedir (Gerstle vd., 2014). 3B baskı ile üretilen anatomik modeller, cerrahın operasyon öncesinde karmaşık anatomik yapılara genel bir bakış elde etmesine olanak tanıyarak cerrahi planlama, simülasyon ve hekimler arası konsültasyon süreçlerini desteklemektedir (Aydın vd., 2017). Bu teknolojiler; plak bükme ve şekillendirme, kemik grefti şablonlarının hazırlanması, osteotomi kılavuzlarının tasarlanması ve intraoperatif oklüzal splintlerin oluşturulması gibi çeşitli cerrahi uygulamalarda kullanılabilir (Gerstle vd., 2014). 3B yazıcıların sunduğu önemli avantajlardan biri, cerrahi sürede sağladığı zaman tasarrufu olup, mandibula rekonstrüksiyon plaklarının ameliyat öncesinde 3B modeller üzerinde şekillendirilmesinin operasyon süresini anlamlı derecede kısalttığı gösterilmiştir (Hanasono & Skoracki, 2010). Ayrıca 3B yazıcı teknolojileri, cerrahi kılavuzların üretiminde de yaygın olarak kullanılmakta ve bu kılavuzlar sayesinde cerrahi işlemlerin doğruluğu ve etkinliği artırılabilir (Javaid & Haleem, 2019).

Protetik Diş Tedavisi

3B yazıcı teknolojilerinin ve ağız içi taramanın klinik kullanıma girmesiyle birlikte, protetik diş tedavisinde protez üretim süreçleri hastalar ve hekimler için daha kolay ve öngörülebilir hâle gelmiştir. 3B baskı ile üretilen sabit ve hareketli protezlerin, fiziksel özellikler açısından geleneksel yöntemlerle üretilen protezlere benzer olduğu ve klinikte güvenle uygulanabildiği bildirilmiştir (Gan vd., 2018). Seçici lazer eritme ve elektron ışını eritme gibi

eklemeli üretim teknikleri kullanılarak implant üstü protezlerin üretiminde 3B baskının başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Gan vd., 2018). Protetik tedavilerde hasta modelleri, ağız içi doku ve dişlerin ayrıntılı olarak yansıtılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Geleneksel ölçü yöntemlerine alternatif olarak, 3B yazıcı teknolojileri sayesinde kişiye özel ölçü kaşıkları ve çalışma modellerinin üretimi mümkün hâle gelmiştir. Yapılan çalışmalarda, 3B yazıcılar ile üretilen kişisel ölçü kaşıklarının el yapımı kaşıklara kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığı bildirilmiştir (H. Chen vd., 2016). Benzer şekilde, 3B yazıcılar kullanılarak elde edilen modellerin boyutsal doğruluğunun yüksek olduğu gösterilmiş ve bu durumun protetik restorasyonların başarısını olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Jeong vd., 2018). 3B baskı teknolojilerinin protetik diş tedavisindeki bir diğer kullanım alanı, geçici kron ve köprü protezlerinin üretimi olup, bu yöntemle kısa süreler içerisinde klinik olarak uygulanabilir restorasyonların elde edilebildiği rapor edilmiştir (X. Li vd., 2018). Geleneksel metal döküm tekniklerinin zaman alıcı ve zahmetli süreçler içermesine karşın, 3B yazıcılar sayesinde sabit ve hareketli bölümlü protezlerin metal alt yapılarının daha hızlı ve ekonomik şekilde üretilebildiği gösterilmiştir (Koutsoukis vd., 2015).

Endodonti

Endodontide eklemeli üretim teknolojileri, özellikle apikal rezeksiyon işlemlerinde ve endodontik kaviteğin kılavuz eşliğinde hazırlanmasında klinik uygulamalara entegre edilmiştir ve bu sayede işlem süresinde önemli ölçüde zaman tasarrufu sağlanabilmektedir (Connert vd., 2018). Konvansiyonel radyograflerin kök kanal sistemi hakkında yalnızca iki boyutlu bilgi sunması ve aksesuar ya da lateral kanalları çoğu zaman yeterli düzeyde gösterememesi nedeniyle, 3B baskı teknolojilerinin karmaşık kök kanal anatomisine sahip dişlerde endodontik tedaviye rehberlik edebileceği bildirilmektedir (Connert vd., 2018).

Periodontoloji

3B yazıcı teknolojilerinin kullanıldığı diş hekimliği alanlarından biri de periodontolojidir. 3B yazıcılar sayesinde hastaya özel cerrahi kılavuzlar oluşturulabilmekte ve bu kılavuzlar diş eti cerrahisi ile gülüş tasarımı gibi estetik ve fonksiyonel girişimlerde kullanılabilir. Bu cerrahi kılavuzların, yüksek doğruluk ve hassasiyet sunmalarının yanı sıra hastaya özgü olarak tasarlanmaları, periodontal cerrahi işlemlerin öngörülebilirliğini ve başarısını artıran önemli avantajlar arasında yer almaktadır (Z. Li vd., 2017).

Ortodontide 3 Boyutlu Yazıcı Uygulamaları

3B yazıcı teknolojileri, ortodontik tedavide kişiye özel yaklaşımların geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Normando, ortodontik tedavide braketlerin üretimi sırasında açılma, bükülme ve materyal seçimi gibi parametrelerin hastaya özgü olarak ayarlanmasının tedavi başarısını artırabileceğini ve bu amaçla 3B yazıcıların kullanılabilirliğini bildirmiştir (Normando D., 2014). 3B yazıcıların braket üretiminde kullanılması, tedavi sürecinde ortaya çıkabilecek değişikliklerin daha öngörülebilir hâle gelmesine katkı sağlamaktadır. Kişiye özel braketlerin yanı sıra, 3B yazıcılar günümüzde ortodontik splintlerin ve şeffaf plak tedavisinde kullanılan apareylerin üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ortodontide geleneksel olarak alçı modeller tercih edilmekle birlikte, bu modellerin teşhis, tedavi planlaması ve hekimler arası konsültasyon açısından pratik olduğu bilinmektedir (Yılmaz H vd., 2016). Bununla birlikte, dijital modellerin depolama kolaylığı, bilgilere yeniden erişim ve veri paylaşımı gibi avantajlar sunması, bu modelleri alçı modellere kıyasla üstün kılmaktadır. Yapılan çalışmalar, dijital modellerin ortodontik kayıtlarda başarılı bir alternatif olduğunu göstermiştir (Rheude vd., 2005). Ortodontik hareketli apareylerin ve braketlerin yerleştirilmesine rehberlik eden plakların 3B yazıcılar kullanılarak üretilebildiği bildirilmiştir

(Kumar & Ghafoor, 2016). 3B yazıcılarla üretilen ve indirekt braket yerleştirilmesinde kullanılan plakların, braketlerin daha kısa sürede ve daha doğru şekilde konumlandırılmasını sağlayarak klinisyene önemli ölçüde yardımcı olduğu gösterilmiştir (Ciuffolo vd., 2006). 3B baskı teknolojilerinin ortodontide başarısını kanıtlağığı bir diğer alan ise, hareketli ve şeffaf ortodontik hizalayıcıların üretimi olmuştur. Bu hizalayıcıların 3B yazıcılar ile günlük ortalama on binlerce adet üretilebilmesi, teknolojinin hem klinik hem de ticari açıdan önemli bir başarı sunduğunu göstermektedir (Mertz, 2013).

Ortodontik Tanı ve Modeller

Ortodontide konvansiyonel alçı modeller uzun yıllardır tanı ve tedavi planlamasında kullanılmaktadır; ancak depolama gereksinimi ve tekrar üretilememeleri önemli dezavantajlar oluşturmaktadır. Dijital modeller ise ark hizalaması ve diş hareketlerinin planlanmasına olanak tanıyarak klinik süreci kolaylaştırmaktadır. 3B yazıcılar sayesinde dijital modeller fiziksel modele dönüştürülebilme ve intraoral taramalar kullanılarak ölçü alma sürecindeki konfor artırılmaktadır (Zhang vd., 2019) Dijital modellerin teşhis amacıyla yüksek geçerlilik ve tekrarlanabilirlik gösterdiği bildirilmiştir (Fleming vd., 2011; Naidu & Freer, 2013). Baskı doğruluğu üzerine yapılan çalışmalarda katman kalınlığının ve kullanılan yazıcı teknolojisinin önemli olduğu gösterilmiştir (Favero vd., 2017). DLP ve PolyJet yazıcıların birçok çalışmada yüksek doğruluk sunduğu bildirilmiş olmakla birlikte (Dietrich vd., 2017; Kim vd., 2018), bazı araştırmalarda konvansiyonel alçı modellerin hacimsel değişim açısından daha stabil olduğu belirtilmiştir (Park & Shin, 2018). Aligner üretimi için her tedavi aşamasına ait ayrı model basılması gerektiğinden, model üretimindeki doğruluk klinik başarı açısından kritik öneme sahiptir (Malik vd., 2013; Phan & Ling, 2007). Bu nedenle 3B baskı teknolojilerinin ortodontik tanı ve tedavi planlamasında kullanımı, baskı parametreleri ve teknoloji seçimi dikkate alınarak değerlendirilmelidir (Etemad-Shahidi vd., 2020).

Şeffaf Plaklar (Alignerlar)

Son yıllarda estetik beklentilerin artmasıyla birlikte şeffaf plak tedavilerine olan talep belirgin şekilde yükselmiştir (Edelmann vd., 2020). Konvansiyonel olarak aligner üretimi, hastadan alınan ölçülerin alçı modele aktarılması ve ardından termoform yöntemiyle biyouyumlu termoplastik materyalin vakum altında şekillendirilmesi ile gerçekleştirilmektedir (Harikrishnan & Subramanian, 2023). Geleneksel termoform tekniğinde ısıya bağlı deformasyonlar ve model aşınmaları nedeniyle geometrik hatalar oluşabilmektedir (Jindal vd., 2019). Bu nedenle dijital modelleme ve doğrudan 3B yazdırma teknikleri geliştirilmiş olup, termoform aşamasının elimine edilmesiyle geometrik doğruluğun artırılabilirdiği gösterilmiştir (Jindal vd., 2019, 2020). Özellikle Dental LT rezininin, 3B yazıcılarla uyumlu bir alternatif materyal olarak kullanılabilirdiği bildirilmiştir (Jindal vd., 2020). FDM ve DLP teknolojileri kullanılarak üretilen modellerin klinik kullanım açısından uygun olduğu bildirilmiş olsa da model doğruluğunun aligner üretimini tek başına garanti etmediği vurgulanmıştır (Jaber vd., 2021). Ayrıca, baskı sonrası uygulanan kütleme işlemlerinin sitotoksiteyi azalttığı, doğrudan basılan aligner materyallerinin ise kabul edilebilir biyouyumluluk sınırları içerisinde olduğu belirtilmiştir (FayyazAhamed vd., 2020). Bununla birlikte, doğrudan 3B yazdırılan alignerların planlanan kalınlıktan daha fazla üretilebildiği ve bu durumun fonksiyonel etkinliği etkileyebileceği rapor edilmiştir (Edelmann vd., 2020). Baskı yöneliminin genel boyutsal doğruluk üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı bildirilmekle birlikte, pozisyonel farklılıkların dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir (Edelmann vd., 2020; McCarty vd., 2020).

Hareketli Apareyler

Hareketli ortodontik apareylerin bilgisayar destekli tasarım ve 3B baskı teknolojileri ile üretilmesine yönelik ilk çalışmalar

1990'lı yıllarda bildirilmiştir (Sassani vd., 1995). Bu erken dönem uygulamalarda akrilik kaide dijital ortamda üretilebilmiş; ancak tel ve vida gibi metal elemanların sanal tasarıma entegre edilmesi mümkün olmadığından bu bileşenler manuel olarak yerleştirilmiştir (Sassani vd., 1995). Stereolitografi (SLA) teknolojisi kullanılarak üretilen aktivatör ve uyku apnesi apareylerinde akrilik kaide dijital olarak tasarlanıp basılmış, labial ark gibi tel elemanlar ise konvansiyonel olarak bükülerek apareye entegre edilmiştir (Al Mortadi vd., 2012). Baskı sürecinin durdurulabilmesi tel elemanların doğru konumlandırılmasına olanak sağlamış ve klinik değerlendirmelerde apareylerin adaptasyonunun yeterli olduğu bildirilmiştir (Al Mortadi vd., 2012). Hawley retainer üretiminde intraoral taramalar kullanılarak konvansiyonel ölçü alma ve alçı model elde etme basamakları elimine edilmiş ve apareyin kaide kısmı stereolitografi ile üretilmiştir (Al Mortadi vd., 2015). Günümüzde Adams kroşe ve labial ark gibi metal elemanların da dijital ortamda tasarlanıp eklemeli üretim yöntemleriyle üretilebildiği rapor edilmektedir (Al Mortadi vd., 2015). Ayrıca stereolitografi ile üretilen kişiye özel silikon esaslı hareketli apareylerin klinik olarak tolere edilebilir olduğu ve üretim sürecinin hızlı ve tekrarlanabilir olduğu gösterilmiştir (Salmi vd., 2012). Bununla birlikte mevcut çalışmaların büyük ölçüde olgu sunumu niteliğinde olduğu ve maliyet ile uzun dönem klinik etkinlik açısından daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç bulunduğu belirtilmektedir (Salmi vd., 2012).

Hareketli Ortodontik Retansiyon Apareyleri

Ortodontik tedavi sonrasında retansiyon aşaması, elde edilen oklüzyonun korunması açısından kritik öneme sahiptir. 3B yazıcı teknolojileri sayesinde dijital modeller üzerinden kişiye özel hareketli retainer üretimi mümkün hâle gelmiş ve retainer kaybı ya da deformasyonu durumunda hızlı bir şekilde yeniden üretim yapılabilmesi önemli bir avantaj sağlamıştır. CBCT görüntülerinden

elde edilen dijital modeller kullanılarak sanal ortamda Essix retainer tasarımı yapılmış ve seçici lazer sinterleme (SLS) teknolojisi ile üretim gerçekleştirilmiştir (Nasef vd., 2014). Bu yöntemde poliamid esaslı materyaller kullanılmış olup, üretilen apareylerin uyumunun klinik kontrollerde yeterli olduğu bildirilmiştir (Nasef vd., 2014). Bununla birlikte, kullanılan materyalin opak beyaz renkli olması estetik açıdan dezavantaj olarak değerlendirilmiştir (Nasef vd., 2014). 3B yazıcı ile üretilen Essix retainerlar ile vakumla şekillendirilen konvansiyonel termoform retainerlar karşılaştırıldığında, iki yöntem arasında doğruluk açısından anlamlı bir fark bulunmadığı ve 3B baskılı retainerların klinik olarak güvenilir olduğu gösterilmiştir (Nasef vd., 2017). Benzer şekilde, 3B baskı ile üretilen retainerlar ile geleneksel vakumla üretilen retainerların uyumu karşılaştırılmış ve bazı noktalarda minimal sapmalar gözlenmiş olsa da genel sonuçların benzer olduğu bildirilmiştir (Cole vd., 2019). Eklemeli üretim teknolojilerinin sunduğu yenilikçi uygulamalardan biri de ilaç salınımlı retainer tasarımlarıdır. 3B yazıcı ile üretilen Essix retainerların belirli bir süre boyunca kontrollü ilaç salınımı sağlayabilecek şekilde tasarlanabildiği ve bu yaklaşımın gelecekte düzenli ilaç uygulamalarında potansiyel taşıdığı ifade edilmiştir (Jiang vd., 2019). Bununla birlikte, SLS teknolojisinin yüksek maliyet ve sınırlı erişilebilirlik gibi dezavantajları bulunduğu belirtilmiş ve farklı baskı teknolojileri ile daha estetik ve şeffaf materyallerin kullanılmasının mümkün olabileceği vurgulanmıştır (Nasef vd., 2014).

İndirekt Braketleme, Kişiyे Özel Lingual Braketler ve Herbst Apareyi

Ortodontide ideal diş konumunun elde edilmesinde braketlerin doğru yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Geleneksel indirekt braketleme yönteminde braketler çalışma modeli üzerine yerleştirilmekte ve silikon veya vakumla

şekillendirilmiş transfer plakları aracılığıyla ağıza aktarılmaktadır (Harikrishnan & Subramanian, 2023). Dijital iş akışının ve 3B baskı teknolojilerinin kullanılmasıyla birlikte, transfer plaklarının üretim süreci daha kontrollü ve tekrarlanabilir hâle gelmiştir. Dijital olarak tasarlanıp 3B yazıcı ile üretilen indirekt bonding plaklarının, konvansiyonel yöntemlere göre daha kısa aktif çalışma süresi gerektirdiği gösterilmiştir (Plattner vd., 2020). Ayrıca, 3B baskılı transfer plaklarının özellikle vertikal transfer dışında, konvansiyonel polivinil siloksan (PVS) plaklara göre daha yüksek konumlandırma doğruluğu sağladığı bildirilmiştir (Chaudhary vd., 2021; Niu vd., 2021). Lineer ölçümlerde (meziyodistal, bukkolingual ve oklüzogingival yönlerde) yüksek yerleştirme doğruluğu rapor edilmekle birlikte, tork, tip ve rotasyon gibi açısız aktarım doğruluğunun hâlen tartışmalı olduğu belirtilmektedir (Bachour vd., 2022). CAD-CAM teknolojisi kullanılarak geliştirilen rehberli bonding sistemlerinin, dijital ortamda planlanan braket pozisyonunun klinik ortama yüksek doğrulukla aktarılmasına olanak sağladığı gösterilmiştir (Xue vd., 2020). 3B baskı teknolojileri sabit ortodontik tedavi sistemlerinin üretiminde de kullanılmaktadır. Özellikle lingual ortodontik braketlerin kişiye özel üretiminde eklemeli imalat süreci önemli rol oynamaktadır. Her bir braketin lingual/palatinal diş yüzeyine tam uyum sağlayacak şekilde dijital ortamda tasarlanabilmesi, in-out değerleri, angulasyon ve tork gibi parametrelerin bireysel olarak ayarlanmasına imkân tanımaktadır. Tasarlanan braketler hızlı prototipleme yöntemiyle mum model hâline getirilmekte ve ardından döküm işlemi ile nihai ürün elde edilmektedir (Wiechmann vd., 2003). Lingual ortodontik tedavi ile birlikte Herbst apareyinin kombine edilebilmesi de 3B baskı teknolojileri sayesinde mümkün olmuştur. Bu amaçla bazı braket kaideleri bant şeklinde tasarlanmakta ve apareyin tüp ve pivot bileşenleri bu yapılara entegre edilmektedir. Dijital planlama ve prototipleme süreci, sabit fonksiyonel tedavinin lingual ortodonti ile

birlikte bireyselleştirilmiş şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır (Wiechmann vd., 2008).

Oklüzal Splintler

Oklüzal splintler, temporomandibular bozuklukların (TMD) tedavisinde yaygın olarak kullanılan apareylerdir. Konvansiyonel üretim sürecinde hastadan ölçü alınması, mum kapanış kaydı ve modellerin artikülatöre monte edilmesi gibi laboratuvar aşamaları yer almakta olup, bu süreç zaman ve iş gücü gerektirmektedir (Lauren & McIntyre, 2008). Dijital iş akışının ortodonti ve protetik uygulamalara entegrasyonu ile birlikte oklüzal splint üretiminde 3B baskı teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Stereolitografi (SLA) yöntemiyle üretilen splintlerin klinik değerlendirmelerinde, adaptasyonun yeterli olduğu, kas gerginliğinde azalma sağlandığı ve altı aylık kullanım süresince belirgin aşınma saptanmadığı bildirilmiştir. 3B yazıcı ile üretilen splintlerin boyutsal doğruluğu, dijital tasarım ile üst üste bindirme yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve keskin kenar bölgelerinde yaklaşık 1 mm'ye varan sapmalar gözlenmekle birlikte, diğer alanlarda sapmanın 0,3 mm'nin altında kaldığı rapor edilmiştir (Salmi vd., 2013). Bu bulgular, eklemeli üretim teknolojisinin oklüzal splint üretiminde klinik olarak kabul edilebilir doğruluk sağlayabileceğini göstermektedir (Antoszewska vd., 2009; Salmi vd., 2013). Ayrıca dijital olarak tasarlanan ve DLP teknolojisi ile üretilen splintlerin, offset modeller üzerinden elde edilen tasarımlar sayesinde dişlere daha iyi uyum gösterebildiği bildirilmiştir (Ye vd., 2019). 3B baskı teknolojileri yalnızca TMD tedavisinde değil, aynı zamanda ortognatik cerrahi planlamasında kullanılan ara ve final splintlerin üretiminde de kullanılmaktadır (Shaheen vd., 2017, 2018; Shqaidef vd., 2014). Geleneksel cerrahi splintler ile hızlı prototipleme yöntemiyle üretilen splintlerin karşılaştırıldığı çalışmalarda, hızlı prototipleme ile elde edilen splintlerin hata aralığının geniş olmakla birlikte klinik olarak kabul edilebilir düzeyde olduğu belirtilmiştir

(Shaheen vd., 2017; Shqaidef vd., 2014). Daha sonraki çalışmalarda ise 3B üretilen ara ve final ortognatik splintlerin kabul edilebilir klinik sonuçlar ve yüksek tekrarlanabilirlik sağladığı gösterilmiştir (Shaheen vd., 2017, 2018). Bununla birlikte, 3B baskı ile üretilen oklüzal splintlerin uzun dönem klinik performansı ve biyouyumluluğu konusunda daha kapsamlı bilimsel çalışmalara ihtiyaç bulunduğu vurgulanmaktadır (Antoszewska vd., 2009; Salmi vd., 2013).

Ortodontik Mini Vida ve Mini Plak Yerleştirilmesine Yönelik Cerrahi Kılavuzlar

Ortodontide geçici ankraj üniteleri olarak kullanılan mini vidalar ve mini plaklar, dişlere etki eden reaksiyon kuvvetlerini azaltarak daha kontrollü ve geniş kapsamlı diş hareketlerine olanak sağlamaktadır (Antoszewska vd., 2009). Ancak mini vida yerleştirilirken kök hasarı, maksiller sinüs perforasyonu veya nörovasküler yapıların zarar görmesi gibi riskler nedeniyle yerleştirme pozisyonunun dikkatli planlanması büyük önem taşımaktadır (Kravitz vd., 2007). Geleneksel yerleştirme tekniklerinin yeterli hassasiyet sağlamadığı bildirilmiş ve bu nedenle 3B baskı ile üretilen cerrahi kılavuzlar geliştirilmiştir (H. Liu vd., 2010; Suzuki & Suzuki, 2008). Wang ve arkadaşları tarafından tanımlanan yöntemde, CBCT verileri ile dijital diş taramaları üst üste bindirilerek CAD yazılımında sanal cerrahi şablon tasarlanmış ve FDM yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen cerrahi kılavuzun ağız içinde yeterli adaptasyon ve stabilite sağladığı, ortalama 0,3 mm boşluk değeri ile güvenli mini vida yerleştirilmesine olanak tanıdığı rapor edilmiştir. Bu tür kılavuzların üretiminde yüksek çözünürlüklü yazıcılar ve biyouyumlu materyallerin tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Wang vd., 2017). Benzer şekilde, CBCT verileri kullanılarak mini vida yerleştirme bölgeleri önceden belirlenmiş ve hızlı prototipleme yöntemiyle üretilen kılavuzların klinik olarak yeterli güvenilirlik sağladığı gösterilmiştir (H. Liu vd., 2010). 3B

baskı teknolojileri yalnızca mini vidaların değil, aynı zamanda mini plakların doğru konumlandırılmasında da kullanılmaktadır (Sherwood vd., 2003; Tsui vd., 2012). Mini plaklar, özellikle molar intrüzyonu, açık kapanış tedavisi ve maksiller distalizasyon gibi ortodontik mekaniklerde güçlü bir ankraj alternatifi sunmaktadır (Sherwood vd., 2003; Tsui vd., 2012). Hourfar ve arkadaşları tarafından tanımlanan yöntemde, CBCT verilerinden elde edilen kemik modelinin stereolitografi ile basılması ve mini plağın bu model üzerinde önceden adapte edilmesi sağlanmıştır. Nihai pozisyonu belirlenen mini plak, ağız içi transfer için hazırlanan bir jig aracılığıyla cerrahi sahaya taşınmış ve bu yaklaşımın operasyon süresini kısalttığı bildirilmiştir. Ayrıca plak ile kemik yüzeyi arasında maksimum temas sağlanmasının başarısızlık oranını azaltabileceği belirtilmektedir (Hourfar vd., 2014). 3B cerrahi şablonlar, yalnızca ortodontik ankraj sistemlerinde değil, aynı zamanda ortognatik cerrahi planlamasında osteotomi rehberleri, repositioning kılavuzları ve ara splintlerin üretiminde de kullanılmaktadır (Bai vd., 2012; Shqaidef vd., 2014). Dijital planlama ile hazırlanan repositioning kılavuzlarının, sanal cerrahi tasarımın ameliyat ortamına aktarılmasında geleneksel ara splintlere alternatif olabileceği bildirilmiştir (Bai vd., 2012; Kraeima vd., 2016). Bununla birlikte, dijital tasarım ve üretim sürecinin zaman ve maliyet açısından değerlendirilmesi gerektiği, rutin klinik uygulamada iş akışı planlamasının önem taşıdığı vurgulanmaktadır (Wang vd., 2017).

Nazoalveolar Şekillendirme Apareyleri (Nasoalveolar Moulding (NAM) Devices)

Dijital teknolojilerin gelişimi, dudak-damak yarığı bulunan hastalarda uygulanan presürjik ortopedik tedavi protokollerini de etkilemiştir. Özellikle dijital tarama sistemlerinin kullanılması, aspirasyon riskini azaltmakta ve klinisyenin daha kısa sürede, daha az iş gücü ile aparey üretmesine olanak sağlamaktadır. Grayson ve Cutting tarafından tanımlanan klasik NAM protokolüne uygun

olarak, Shen ve ark. CAD yazılımı kullanarak hastalardan elde edilen modeller üzerinden ortopedik plaklar tasarlamış ve bu plakları 3B yazıcılarla üretilen maksiller modeller üzerinde hazırlamıştır (Grayson & Cutting, 2001; Shen vd., 2015). Tasarlanan apareylerin haftada yaklaşık 1 mm alveoler segment yaklaşımı sağlayacak şekilde planlandığı ve elde edilen sonuçların konvansiyonel NAM tedavisi ile karşılaştırılabilir olduğu; buna karşın klinik ziyaret sayısı ve aparey uyum süresinin azaldığı bildirilmiştir (Shen vd., 2015). CAD/CAM teknolojisi ile geliştirilen Rapid-NAM sisteminde ise alveoler kreterler grafik arayüz yardımıyla otomatik olarak tanımlanmakta ve sağlıklı yenidoğan büyüme verileri esas alınarak plak tasarımı dakikalar içinde gerçekleştirilebilmektedir. Tedavi sonunda her iki yaklaşımın da yarık hattında daralma, alveoler segmentlerin hizalanması ve başarılı klinik sonuçlar sağladığı belirtilmiştir (Grill vd., 2018). Zheng ve ark. tarafından tanımlanan “split-type NAM” yaklaşımında ise nazal kanca ile plak yapısı birbirinden ayrılarak, nazal kıkırdak desteğinin alın bölgesinden desteklenen ayrı bir bant sistemi ile sağlanması hedeflenmiştir. CAD yazılımı ile tasarlanan ve 3B yazıcıdan üretilen bu apareylerde plaklar haftalık olarak değiştirilmiş, aylık klinik kontrollerle takip yapılmıştır. Bu yöntemle yarık mesafesinde azalma, ark formunda iyileşme ve nazal morfolojide belirgin düzelme sağlandığı rapor edilmiştir (Zheng vd., 2019). Son yıllarda şeffaf plak felsefesi ile presürjik infant ortopedisinin birleştirildiği yaklaşımlar da bildirilmiştir. Dijital ortamda alveoler segment hareketleri 1–1,5 mm’lik aşamalara bölünerek ardışık modeller oluşturulmuş ve her model için ince şeffaf plaklar üretilmiştir. Bu yöntemde segmentlerin başarılı şekilde yaklaştırıldığı, ancak bazı olgularda minör segmentin beklenenden daha mezial konumlandığı belirtilmiştir (Bous vd., 2020). Literatürde 3B yazıcıdan doğrudan üretilen NAM apareyelerine ilişkin çalışmalar da mevcuttur. Tam dijital iş akışının tedavi sürecini kolaylaştırdığı, klinik ziyaret sayısını azalttığı ve konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırılabilir başarılı sonuçlar

sunduğu bildirilmektedir (Abd El-Ghafour vd., 2020; Gong vd., 2020) .

Kaynakça

Abd El-Ghafour, M., Aboulhassan, M. A., Fayed, M. M. S., El-Beialy, A. R., Eid, F. H. K., Hegab, S. E.-D., ... Emara, D. (2020). Effectiveness of a novel 3D-printed nasoalveolar molding appliance (D-NAM) on improving the maxillary arch dimensions in unilateral cleft lip and palate infants: A randomized controlled trial. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 57(12), 1370–1381.

Ahamed, S. F., Kanna, A. S. A., & Kumar, R. K. V. (2015). 3D-printed orthodontic auxiliaries. *Journal of Clinical Orthodontics*, 49(5), 337–341.

Al Mortadi, N., Eggbeer, D., Lewis, J., & Williams, R. J. (2012). CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(5), 727–733.

Al Mortadi, N., Jones, Q., Eggbeer, D., Lewis, J., & Williams, R. J. (2015). Fabrication of a resin appliance with alloy components using digital technology without an analog impression. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148(5), 862–867.

Antoszewska, J., Papadopoulos, M. A., Park, H.-S., & Ludwig, B. (2009). Five-year experience with orthodontic miniscrew implants: A retrospective investigation of factors influencing success rates. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(2), 158.e1–159.

ASTM International. (2015). ASTM52900-15 standard terminology for additive manufacturing—General principles—Terminology. West Conshohocken, PA: Author.

Aydın, N., Kaya, İ., Hüsemoğlu, R. B., & Arslantaş, A. (2017). Torakal vertebra görüntülemesinde simülasyon ve üç

boyutlu modellemenin radyolojik tanı ve cerrahi öncesi planlama üzerinde etkileri. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 39(3), 58–61.

Bachour, P. C., Klabunde, R., & Grünheid, T. (2022). Transfer accuracy of 3D-printed trays for indirect bonding of orthodontic brackets. *The Angle Orthodontist*, 92(3), 372–379.

Bai, S., Shang, H., Liu, Y., Zhao, J., & Zhao, Y. (2012). Computer-aided design and computer-aided manufacturing locating guides accompanied with prebent titanium plates in orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(10), 2419–2426.

Ballard, D. H., Trace, A. P., Ali, S., Hodgdon, T., Zygmunt, M. E., DeBenedectis, C. M., ... Decker, S. J. (2018). Clinical applications of 3D printing: Primer for radiologists. *Academic Radiology*, 25(1), 52–65.

Bhargav, A., Sanjairaj, V., Rosa, V., Feng, L. W., & Fuh, J. Y. H. (2018). Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 106(5), 2058–2064.

Bous, R. M., Kochenour, N., & Valiathan, M. (2020). A novel method for fabricating nasoalveolar molding appliances for infants with cleft lip and palate using a three-dimensional workflow and clear aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 158(3), 452–458.

Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., & Duysak, A. (2013). Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, 31, 53–70.

Chaudhary, V., Batra, P., Sharma, K., Raghavan, S., Gandhi, V., & Srivastava, A. (2021). A comparative assessment of transfer accuracy of two indirect bonding techniques in patients undergoing

fixed mechanotherapy: A randomised clinical trial. *Journal of Orthodontics*, 48(1), 13–23.

Chen, H., Yang, X., Chen, L., Wang, Y., & Sun, Y. (2016). Application of FDM three-dimensional printing technology in the digital manufacture of custom edentulous mandible trays. *Scientific Reports*, 6(1), 19207.

Chen, J., Zhang, Z., Chen, X., Zhang, C., Zhang, G., & Xu, Z. (2014). Design and manufacture of customized dental implants by using reverse engineering and selective laser melting technology. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(5), 1088–1095.

Chia, H. N., & Wu, B. M. (2015). Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of Biological Engineering*, 9(1), 4.

Ciuffolo, F., Epifania, E., Duranti, G., De Luca, V., Raviglia, D., Rezza, S., & Festa, F. (2006). Rapid prototyping: A new method of preparing trays for indirect bonding. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(1), 75–77.

Cole, D., Bencharit, S., Carrico, C. K., Arias, A., & Tüfekçi, E. (2019). Evaluation of fit for 3D-printed retainers compared with thermoform retainers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 155(4), 592–599.

Connert, T., Zehnder, M. S., Amato, M., Weiger, R., Kühl, S., & Krastl, G. (2018). Microguided endodontics: A method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique. *International Endodontic Journal*, 51(2), 247–255.

Dietrich, C. A., Ender, A., Baumgartner, S., & Mehl, A. (2017). A validation study of reconstructed rapid prototyping models produced by two technologies. *The Angle Orthodontist*, 87(5), 782–787.

Dodziuk, H. (2016). Applications of 3D printing in healthcare. *Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska/Polish Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 13(3), 283–293.

Edelmann, A., English, J. D., Chen, S. J., & Kasper, F. K. (2020). Analysis of the thickness of 3-dimensional-printed orthodontic aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 158(5), e91–e98.

Etemad-Shahidi, Y., Qallandar, O. B., Evenden, J., Alifui-Segbaya, F., & Ahmed, K. E. (2020). Accuracy of 3-dimensionally printed full-arch dental models: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 9(10), 3357.

Favero, C. S., English, J. D., Cozad, B. E., Wirthlin, J. O., Short, M. M., & Kasper, F. K. (2017). Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(4), 557–565.

FayyazAhamed, S., Kumar, S., Vijayakumar, R. K., Aproskanna, A. S., & Indrapriyadharshini, K. (2020). Cytotoxic evaluation of directly 3D printed aligners and Invisalign. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(5), 1129–1140.

Figliuzzi, M., Mangano, F., & Mangano, C. (2012). A novel root analogue dental implant using CT scan and CAD/CAM: Selective laser melting technology. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 41(7), 858–862.

Fleming, P. S., Marinho, V., & Johal, A. (2011). Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 14(1), 1–16.

Gan, N., Ruan, Y., Sun, J., Xiong, Y., & Jiao, T. (2018). Comparison of adaptation between the major connectors fabricated

from intraoral digital impressions and extraoral digital impressions. *Scientific Reports*, 8(1), 529.

Gerstle, T. L., Ibrahim, A. M. S., Kim, P. S., Lee, B. T., & Lin, S. J. (2014). A plastic surgery application in evolution: Three-dimensional printing. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 133(2), 446–451.

Di Giacomo, G. A. P., Cury, P. R., de Araujo, N. S., Sendyk, W. R., & Sendyk, C. L. (2005). Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: Preliminary results. *Journal of Periodontology*, 76(4), 503–507.

Gong, X., Dang, R., Xu, T., Yu, Q., & Zheng, J. (2020). Full digital workflow of nasoalveolar molding treatment in infants with cleft lip and palate. *Journal of Craniofacial Surgery*, 31(2), 367–371.

Grayson, B. H., & Cutting, C. B. (2001). Presurgical nasoalveolar orthopedic molding in primary correction of the nose, lip, and alveolus of infants born with unilateral and bilateral clefts. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 38(3), 193–198.

Grill, F. D., Ritschl, L. M., Bauer, F. X., Rau, A., Gau, D., Roth, M., ... Loeffelbein, D. J. (2018). A semi-automated virtual workflow solution for the design and production of intraoral molding plates using additive manufacturing: The first clinical results of a pilot-study. *Scientific Reports*, 8(1), 11845.

Groth, C., Kravitz, N. D., Jones, P. E., Graham, J. W., & Redmond, W. R. (2014). Three-dimensional printing technology. *Journal of Clinical Orthodontics*, 48(8), 475–485.

Hanasono, M. M., & Skoracki, R. J. (2010). 117B: Improving the speed and accuracy of mandibular reconstruction using preoperative virtual planning and rapid prototype modeling. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 125(6), 80.

Harikrishnan, S., & Subramanian, A. K. (2023). 3D printing in orthodontics: A narrative review. *Journal of International Oral Health*, 15(1), 15–27.

Hourfar, J., Kanavakis, G., Goellner, P., & Ludwig, B. (2014). Fully customized placement of orthodontic miniplates: A novel clinical technique. *Head & Face Medicine*, 10(1), 14.

Jaber, S. T., Hajeer, M. Y., Khattab, T. Z., & Mahaini, L. (2021). Evaluation of the fused deposition modeling and the digital light processing techniques in terms of dimensional accuracy of printing dental models used for the fabrication of clear aligners. *Clinical and Experimental Dental Research*, 7(4), 591–600.

Jasveer, S., & Jianbin, X. (2018). Comparison of different types of 3D printing technologies. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8(4), 1–9.

Javaid, M., & Haleem, A. (2019). Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 9(3), 179–185.

Jeong, Y.-G., Lee, W.-S., & Lee, K.-B. (2018). Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 10(3), 245–251.

Jiang, H., Fu, J., Li, M., Wang, S., Zhuang, B., Sun, H., Ge, C., Feng, B., & Jin, Y. (2019). 3D-printed wearable personalized orthodontic retainers for sustained release of clonidine hydrochloride. *AAPS PharmSciTech*, 20(7), 260.

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

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

Kim, S.-Y., Shin, Y.-S., Jung, H.-D., Hwang, C.-J., Baik, H.-S., & Cha, J.-Y. (2018). Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(1), 144–153.

Koutsoukis, T., Zinelis, S., Eliades, G., Al-Wazzan, K., Al Rifaiy, M., & Al Jabbari, Y. S. (2015). Selective laser melting technique of Co-Cr dental alloys: A review of structure and properties and comparative analysis with other available techniques. *Journal of Prosthodontics*, 24(4), 303–312.

Kraeima, J., Jansma, J., & Schepers, R. H. (2016). Splintless surgery: Does patient-specific CAD-CAM osteosynthesis improve accuracy of Le Fort I osteotomy? *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 54(10), 1085–1089.

Kravitz, N. D., Kusnoto, B., & Hohlt, W. F. (2007). A simplified stent for anterior miniscrew insertion. *Journal of Clinical Orthodontics*, 41(4), 224–226.

Kumar, A., & Ghafoor, H. (2016). Rapid prototyping: A future in orthodontics. *Journal of Orthodontic Research*, 4(1), 1.

Lauren, M., & McIntyre, F. (2008). A new computer-assisted method for design and fabrication of occlusal splints. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(4), S130–S135.

Li, X., Xie, B., Jin, J., Chai, Y., & Chen, Y. (2018). 3D printing temporary crown and bridge by temperature controlled

mask image projection stereolithography. *Procedia Manufacturing*, 26, 1023–1033.

Li, Z., Liu, Y. S., Ye, H. Q., Hu, W. J., & Zhou, Y. S. (2017). Diagnosis and treatment of complicated anterior teeth esthetic defects by combination of whole-process digital esthetic rehabilitation with periodontic surgery. *Journal of Peking University. Health Sciences*, 49(1), 71–75.

Liaw, C.-Y., & Guvendiren, M. (2017). Current and emerging applications of 3D printing in medicine. *Biofabrication*, 9(2), 024102.

Ligon, S. C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr, M., & Mülhaupt, R. (2017). Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing. *Chemical Reviews*, 117(15), 10212–10290.

Liu, H., Liu, D., Wang, G., Wang, C., & Zhao, Z. (2010). Accuracy of surgical positioning of orthodontic miniscrews with a computer-aided design and manufacturing template. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(6), 728.e1–729.

Liu, Q., Leu, M. C., & Schmitt, S. M. (2006). Rapid prototyping in dentistry: Technology and application. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(3), 317–335.

Ludwikowski, F. (2017). Technologie druku 3D. *Elektronika Praktyczna*, 4, 65–67.

Malik, O. H., McMullin, A., & Waring, D. T. (2013). Invisible orthodontics part 1: Invisalign. *Dental Update*, 40(3), 203–215.

McCarty, M. C., Chen, S. J., English, J. D., & Kasper, F. K. (2020). Effect of print orientation and duration of ultraviolet curing on the dimensional accuracy of a 3-dimensionally printed

orthodontic clear aligner design. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 158(6), 889–897.

Mertz, L. (2013). New world of 3-D printing offers “completely new ways of thinking”: Q&A with author, engineer, and 3-D printing expert Hod Lipson. *IEEE Pulse*, 4(6), 12–14.

Mitsouras, D., Liacouras, P., Imanzadeh, A., Giannopoulos, A. A., Cai, T., Kumamaru, K. K., ... Pomahac, B. (2015). Medical 3D printing for the radiologist. *Radiographics*, 35(7), 1965–1988.

Naidu, D., & Freer, T. J. (2013). Validity, reliability, and reproducibility of the iOC intraoral scanner: A comparison of tooth widths and Bolton ratios. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(2), 304–310.

Nasef, A. A., El-Beialy, A. R., Eid, F. H. K., & Mostafa, Y. A. (2017). Accuracy of orthodontic 3D printed retainers versus thermoformed retainers. *Open Journal of Medical Imaging*, 7(4), 169–179.

Nasef, A. A., El-Beialy, A. R., & Mostafa, Y. A. (2014). Virtual techniques for designing and fabricating a retainer. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(3), 394–398.

Niu, Y., Zeng, Y., Zhang, Z., Xu, W., & Xiao, L. (2021). Comparison of the transfer accuracy of two digital indirect bonding trays for labial bracket bonding. *The Angle Orthodontist*, 91(1), 67–73.

Normando, D. (2014). 3D orthodontics—from Verne to Shaw. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 19(6), 12–13.

Osman, R. B., Alharbi, N., & Wismeijer, D. (2017). Build Angle: Does It Influence the Accuracy of 3D-Printed Dental Restorations Using Digital Light-Processing Technology? *The International journal of prosthodontics*, 30(2), 182–188.

Park, M.-E., & Shin, S.-Y. (2018). Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(5), 861.e1–861.e7.

Phan, X., & Ling, P. H. (2007). Clinical limitations of Invisalign. *Journal of the Canadian Dental Association*, 73(3), 263–266.

Plattner, J., Othman, A., Arnold, J., & von See, C. (2020). Comparative Study between the Overall Production Time of Digitally Versus Conventionally Produced Indirect Orthodontic Bonding Trays. *Turkish journal of orthodontics*, 33(4), 232–238.

Rheude, B., Sadowsky, P. L., Ferriera, A., & Jacobson, A. (2005). An evaluation of the use of digital study models in orthodontic diagnosis and treatment planning. *The Angle Orthodontist*, 75(3), 300–304.

Salmi, M., Paloheimo, K. S., Tuomi, J., Ingman, T., & Mäkitie, A. (2013). A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study. *Journal of the Royal Society, Interface*, 10(84), 20130203.

Salmi, M., Tuomi, J., Sirkkanen, R., Ingman, T., & Mäkitie, A. (2012). Rapid tooling method for soft customized removable oral appliances. *The open dentistry journal*, 6, 85–89.

Sassani, F., Elmajian, A. R. A., & Roberts, S. (1995). Computer-assisted fabrication of orthodontic appliances: Considering the possibilities. *The Journal of the American Dental Association*, 126(9), 1296–1300.

Shaheen, E., Coopman, R., Jacobs, R., & Politis, C. (2018). Optimized 3D virtually planned intermediate splints for bimaxillary orthognathic surgery: A clinical validation study in 20 patients. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 46(9), 1441–1447.

Shaheen, E., Sun, Y., Jacobs, R., & Politis, C. (2017). Three-dimensional printed final occlusal splint for orthognathic surgery: Design and validation. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(1), 67–71.

Shen, C., Yao, C. A., Magee, W., III, Chai, G., & Zhang, Y. (2015). Presurgical nasoalveolar molding for cleft lip and palate: The application of digitally designed molds. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 135(6), 1007e–1015e.

Sherwood, K. H., Burch, J., & Thompson, W. (2003). Intrusion of supererupted molars with titanium miniplate anchorage. *The Angle Orthodontist*, 73(5), 597–601.

Shqaidef, A., Ayoub, A. F., & Khambay, B. S. (2014). How accurate are rapid prototyped (RP) final orthognathic surgical wafers? A pilot study. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 52(7), 609–614.

Suzuki, E. Y., & Suzuki, B. (2008). Accuracy of miniscrew implant placement with a 3-dimensional surgical guide. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 66(6), 1245–1252.

Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). 3D scanning, imaging, and printing in orthodontics. In F. Bourzgui (Ed.), *Issues in contemporary orthodontics* (pp. 147–188). Intech.

Tsui, W. K., Chua, H. D. P., & Cheung, L. K. (2012). Bone anchor systems for orthodontic application: A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 41(11), 1427–1438.

Wang, Y.-T., Yu, J.-H., Lo, L.-J., Hsu, P.-H., & Lin, C.-L. (2017). Developing customized dental miniscrew surgical template from thermoplastic polymer material using image superimposition, CAD system, and 3D printing. *BioMed Research International*, 2017, 1906197.

Wiechmann, D., Rummel, V., Thalheim, A., Simon, J.-S., & Wiechmann, L. (2003). Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(5), 593–599.

Wiechmann, D., Schwestka-Polly, R., & Hohoff, A. (2008). Herbst appliance in lingual orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(3), 439–446.

Xue, C., Xu, H., Guo, Y., Xu, L., Dhami, Y., Wang, H., ... Bai, D. (2020). Accurate bracket placement using a computer-aided design and computer-aided manufacturing-guided bonding device: An in vivo study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 157(2), 269–277.

Yalçın, B., & Ergene, B. (2017). Endüstride yeni eğilim olan 3-D eklemeli imalat yöntemi ve metalurjisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(3), 65–88.

Yap, Y. L., Wang, C., Sing, S. L., Dikshit, V., Yeong, W. Y., & Wei, J. (2017). Material jetting additive manufacturing: An experimental study using designed metrological benchmarks. *Precision Engineering*, 50, 275–285.

Ye, N., Wu, T., Dong, T., Yuan, L., Fang, B., & Xia, L. (2019). Precision of 3D-printed splints with different dental model offsets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 155(5), 733–738.

Yılmaz, H., Bilgiç, F., Akıncı Sözer, Ö., & Küçük, E. B. (2016). Ortodontide kayıt: Radyografi ve model. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 15, 143–151.

Zhang, Z., Li, P., Chu, F., & Shen, G. (2019). Influence of the three-dimensional printing technique and printing layer thickness on model accuracy. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 80(4), 194–204.

Zheng, J., He, H., Kuang, W., & Yuan, W. (2019). Presurgical nasoalveolar molding with 3D printing for a patient with unilateral cleft lip, alveolus, and palate. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 156(3), 412–419.

BÖLÜM 2

3 BOYUTLU MODELLEME

Özge ÜNLÜOĞLU¹
Yazgı AY ÜNÜVAR²

Giriş

Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) sistemlerinin diş hekimliğinde kullanımı 1980'li yıllarda yaygınlık kazanmış olmakla birlikte, bu teknolojinin ilk uygulamalarının temelleri 1970'li yıllarda Duret ve Preston tarafından atılmıştır. CAD/CAM teknolojisinin gelişim sürecinde önemli bir ilerleme ise Mörmann ve Brandestini tarafından geliştirilen CEREC sisteminin tanıtılmasıyla gerçekleşmiştir. CAD/CAM sistemleri genel olarak üç temel bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen, dental yapıların ağız içi veya ağız dışı tarayıcılar aracılığıyla dijital olarak elde edilmesini kapsayan veri

¹Arş. Gör., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ozgeunluoglu@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-4124-3507

²Doç. Dr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, yazgiay@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1455-9855

toplama aşamasıdır. İkinci bileşen CAD aşaması olup, restorasyonların sanal ortamda üç boyutlu olarak planlanmasını ve tasarlanmasını mümkün kılar. Son bileşen olan CAM aşamasında ise dijital ortamda tasarlanan restorasyonlar üretim sürecine aktarılmakta ve fiziksel olarak üretilmektedir (Çelik ve ark., 2013).

CAD/CAM sistemleri aracılığıyla dental yapılar dijital olarak taranmakta ve elde edilen veriler bilgisayar yazılımlarına aktarılmaktadır. Bu yazılımlar kullanılarak restorasyonların üç boyutlu tasarımları oluşturulmaktadır. Oluşturulan dijital tasarımlar daha sonra üretim cihazlarına iletilmekte ve feldspatik seramik veya dökülebilir seramik gibi seramik blokların frezlenmesiyle restorasyonlar üretilmektedir. Frezeleme işleminin ardından oklüzal düzenlemeler yapılmakta, yüzey polisajı uygulanmakta ve restorasyonlar simantasyon aşamasıyla klinik olarak tamamlanmaktadır. CAD/CAM sistemleri diş hekimliğinde geniş bir klinik kullanım alanına sahiptir. Bu sistemler; inley ve onley restorasyonlarının, laminate veneerlerin, parsiyel ve tam kronların, köprü restorasyonlarının, hareketli protez altyapılarının, implant cerrahi stentlerinin ve maksillofasiyal protezlerin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca implant destekli protezlerin ve hibrit protetik restorasyonların hazırlanmasında da CAD/CAM teknolojilerinden yararlanılmaktadır (Tokgöz Cetindag & Meşe, 2016).

Dental CAD/CAM sistemleri üretim yöntemlerine göre üç ana grupta sınıflandırılmaktadır:

1. Doğrudan klinikte kullanılan sistemler: Bu sistemlerde diş preparasyonu ağız içi tarayıcılar aracılığıyla doğrudan dijital olarak taranmakta ve restorasyon klinik ortamda hazırlanmaktadır. Bu grupta yer alan başlıca sistemler CEREC ve E4D Dentist sistemleridir.

2. Laboratuvar ortamında kullanılan sistemler: Bu sistemlerde tarama işlemi genellikle alçı model veya ölçü üzerinden gerçekleştirilmektedir. Çoğu sistemde restorasyonun altyapısı üretilmekte, ardından teknisyen tarafından porselen ilavesi yapılarak restorasyonun karakterizasyonu tamamlanmaktadır. CEREC inLab, DCS Preci-fit, Cercon ve Everest sistemleri bu grupta yer almaktadır.

3. Üretim merkezli CAD/CAM sistemleri: Bu sistemlerde model laboratuvarda tarandıktan sonra elde edilen veriler internet aracılığıyla merkezi üretim birimine gönderilmektedir. Hazırlanan altyapı daha sonra porselen uygulamasının yapılabilmesi için laboratuvara geri gönderilmektedir. Tüm altyapıların aynı merkezde üretilmesi sayesinde optimal kalite kontrol sağlanabilmektedir. Procera ve Lava sistemleri bu prensiple çalışan CAD/CAM sistemlerine örnek olarak gösterilebilir (Tokgöz Cetindag & Meşe, 2016).

Dental modeller iki boyutlu olarak fotokopi (Champagne, 1992) ve fotoğraf (Nollet ve ark., 2004) yöntemleri kullanılarak elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra holografi (Buschang ve ark., 1990; Keating ve ark., 1984; Schwaninger ve ark., 1977) ve stereofotogrametri (Ayoub ve ark., 1997; Bell ve ark., 2003) gibi teknikler kullanılarak üç boyutlu dijital modeller de oluşturulabilmektedir. Günümüzde bilgisayar destekli yöntemler aracılığıyla dijital ortodontik modellerin ve dental modellerin elde edilmesi mümkün hale gelmiştir (Alcañiz ve ark., 1999; Hirogaki ve ark., 2001; Lu ve ark., 2000; Quimby ve ark., 2004; Santoro ve ark., 2003).

OrthoCAD dijital modelleme hizmeti ortodonti alanında ilk kez 1999 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ortodontistlerin

yaklaşık onda birinin bu sistemi kullandığını göstermektedir (Joffe, 2004). Foundation System kullanılarak elde edilen dijital modeller ile konvansiyonel modellerden elde edilen ölçümler karşılaştırılmış ve iki yöntem arasında 0,5 mm'den daha az fark olduğu bildirilmiştir (Asquith ve ark., 2007). Üç boyutlu dijital modeller, konvansiyonel alçı modellere olan gereksinimi ortadan kaldırmakta olup, lazer doğrusal tarama teknolojileri sayesinde gelecekte ticari olarak daha yaygın biçimde kullanılma potansiyeline sahiptir (Asquith ve ark., 2007). OrthoCAD sistemi, alçı modellerin dijital ortama aktarılmasına ve üç boyutlu gerçekçi modeller şeklinde yeniden oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, çalışma modellerinin saklanması ve farklı zamanlarda elde edilen modellerle karşılaştırılmasını önemli ölçüde kolaylaştırmakta, aynı zamanda verilere hızlı erişim ve güvenli depolama imkânı sağlamaktadır. Günümüzde giderek daha fazla yaygınlaşan bu dijital yaklaşım, dental tedavi süreçlerinin planlanmasını ve yönetimini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Zilberman ve ark., 2003).

Üç Boyutlu Baskı Nedir?

Bu cihazlar, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak oluşturulan elektronik verileri üç boyutlu yazıcıya aktararak, kalıp, model veya benzeri yardımcı araçlara ihtiyaç duymadan materyali katman katman eklemek suretiyle fiziksel bir model ya da ürün haline dönüştürmektedir. Yeni nesil küp formundaki yazıcılar olarak tanımlanan 3D yazıcılar, x-y-z eksenlerinde çalışarak üç boyutlu nesnelere, parçaların ve çeşitli cihazların üretimini gerçekleştirebilmektedir. Metal esaslı materyallerin eklemeli üretiminde (3D baskı) oldukça ince metal tozları kullanılmaktadır. Bu tozlar, katmanlar halinde eritme ve yeniden katılma süreçlerinden geçirilerek istenilen geometrik forma sahip parçaların üretimini mümkün kılmaktadır (Özmen & Ertek, 2022).

Eklemeleli üretim teknolojileri uzun yıllardır varlığını sürdürmesine rağmen, “3D baskı” terimi görece yeni olup kamuoyunda önemli ölçüde ilgi görmüştür. Bu teknoloji, geleneksel üretim yöntemlerini dönüştürme potansiyeline sahip yenilikçi bir yaklaşım olarak sıklıkla tanımlanmaktadır. Medyada, moda, mimari ve hatta silah üretimi gibi farklı alanlarda kullanımına ilişkin çeşitli örnekler yer almaktadır. Ancak bu uygulamaların büyük bir kısmı pratikte hâlen sınırlı düzeydedir ve işlevsel insan organlarının rutin olarak üretilmesi klinik açıdan henüz mümkün değildir. Buna karşın diş hekimliği ile ağız, çene ve yüz cerrahisi alanlarında 3D baskı teknolojileri uzun süredir klinik iş akışlarına başarıyla entegre edilmiştir. Bu alanlarda özellikle bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) gibi dijital üretim teknolojileri; doğruluğu artırma, kişiye özgü üretim imkânı sağlama ve tedavi süreçlerinin verimliliğini yükseltme gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Dawood ve ark., 2015).

Üç Boyutlu Baskı Nasıl Çalışır?

Eklemeleli üretim sürecinde, üç boyutlu CAD verileri kullanarak kalıp gereksinimi olmaksızın yüksek kalitede metal ve plastik parçalar katman katman üretilmektedir. Bu üretim süreci genellikle birkaç saat içerisinde tamamlanabilmekte olup, elde edilen parçalar hem model olarak hem de doğrudan nihai ürün olarak kullanılabilir. Bu yaklaşım literatürde **e-manufacturing (elektronik üretim)** olarak da adlandırılmaktadır. Metal esaslı üretim süreçlerinde sıklıkla **Direct Metal Laser Sintering (DMLS)** yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde çok ince metal tozları lazer ışını kullanılarak katmanlar halinde eritilmekte ve ardından hızla katılaştırılmaktadır. Böylece istenilen geometrik özelliklere sahip parçalar katmanlı üretim prensibiyle elde edilmektedir (Özmen & Ertek, 2022).

Sinterleme olarak adlandırılan sistem, toz halindeki materyal partiküllerinin ısıtılarak yumuşatılması veya eritilmesi ve ardından birbirlerine bağlanması prensibine dayanmaktadır. Diğer eklemeli üretim süreçlerinde olduğu gibi, bu yöntemde de öncelikle CAD verileri DMLS formatına uygun şekilde hazırlanmakta ve üretim için katmanlar tanımlanmaktadır. İlk katmanın oluşturulması aşamasında, çalışma platformu olarak görev yapan üretim alanı ince bir toz materyal tabakası ile kaplanmaktadır. Daha sonra, oluşturulacak katmanın kesitsel alanı lazer ışını yardımıyla taranmaktadır. Lazerin etkisiyle toz partikülleri yumuşamakta veya erimekte ve birbirleriyle birleşerek bağlanmaktadır. Bu bağlanma sonucunda sistemde tanımlanan ilk katman oluşturulmaktadır. Katmanlar, hareketli silindirik bir toz kütlesi içerisinde oluşturulmaktadır. Her katmanın tamamlanmasının ardından bu silindirik yapı piston yardımıyla bir katman aşağı indirilmektedir. Ardından kartuş sistemi aracılığıyla yeni bir toz tabakası beslenerek bir sonraki katmanın oluşturulması sağlanmaktadır. Bu işlemler, üretilmesi planlanan prototip veya ürün tamamlanıncaya kadar aynı şekilde tekrarlanmaktadır. Üretim süreci tamamlandığında, silindirik prizma içerisinde bulunan toz materyal, sertleşmiş bir ürün formuna dönüşmektedir. Son aşamada ise prototip veya ürün üzerinde kalan sertleşmemiş fazla toz materyal temizlenerek üretim süreci tamamlanmaktadır (Özmen & Ertek, 2022).

Dijital Dental Modeller

Dijital dental modeller, diş hekimliği ve ortodonti alanında üç boyutlu modelleme teknolojilerinin en önemli uygulamalarından birini oluşturmaktadır. Geleneksel olarak alçı modeller; tanı koyma, tedavi planlaması ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak alçı modeller; hasar görme riski taşımaları, geniş depolama alanı gerektirmeleri ve kayıtların

taşınması ile paylaşılmasında yaşanan güçlükler gibi çeşitli sınırlamalara sahiptir (Fleming ve ark., 2011).

Dijital modeller, doğru, tekrarlanabilir ve kolay erişilebilir kayıtlar sunarak bu sınırlamaların büyük ölçüde ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Yapılan birçok çalışma, dijital modellerden elde edilen ölçümlerin geleneksel alçı modellerden elde edilen ölçümlerle karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermiştir. Asquith ve ark., dijital ve konvansiyonel modeller arasındaki ölçüm farklarının 0,5 mm'den daha az olduğunu bildirmiş ve bu bulgunun dijital modellerin klinik açıdan güvenilir olduğunu ortaya koyduğunu belirtmiştir (Asquith ve ark., 2007).

Benzer şekilde Fleming ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, ortodontik ölçümler açısından dijital modeller ile alçı modeller arasında klinik olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı bildirilmiştir. Ayrıca dijital modeller; sanal oklüzyon analizi yapılabilmesi, tedavi simülasyonlarının gerçekleştirilebilmesi ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntüleri ile yüz taramaları gibi diğer dijital kayıtlarla entegre edilebilmesi gibi ek avantajlar da sunmaktadır (Fleming ve ark., 2011).

Dijital modeller, ortodontide tanı koyma, tedavi planlaması ve aparey üretimi amacıyla, geleneksel ölçü yöntemleriyle elde edilen modellerle karşılaştırılabilir doğrulukta kullanılabilir. Verilerin elektronik ortamda aktarılabilmesi ve üç boyutlu baskı teknolojileriyle entegre edilebilmesi, ortodontik apareylerin aynı gün içerisinde üretilmesine olanak tanıyarak klinik iş akışının verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, toplam tedavi süresi geleneksel yöntemlerle benzer düzeyde olmakla birlikte, mevcut teknolojilerle gerçekleştirilen dijital tarama işlemi klinik ortamda daha uzun süre gerektirebilmektedir (Grünheid ve ark., 2014).

Üç Boyutlu Baskının Temel Prensipleri

Üç boyutlu baskı, diğer bir ifadeyle eklemeli üretim, dijital model verileri kullanılarak nesnelerin katman katman oluşturulması esasına dayanan bir üretim yöntemidir. Bu yöntem, bir nesnenin elde edilmesi için katı bir bloktan materyalin çıkarıldığı geleneksel çıkarımsal (subtractive) üretim yöntemlerinden farklılık göstermektedir. Eklemeli üretim teknolojisi, karmaşık geometrilere sahip yapıların yüksek hassasiyetle üretilebilmesine olanak tanırken aynı zamanda materyal israfını da önemli ölçüde azaltmaktadır (Gibson ve ark., 2015).

Üç boyutlu baskı iş akışı, hastaya ait üç boyutlu model verilerinin CBCT, ağız içi tarama sistemleri veya laboratuvar ortamında kullanılan optik yüzey tarayıcıları aracılığıyla elde edilmesiyle başlamaktadır. Elde edilen hacimsel veriler genellikle DICOM veya OBJ gibi dosya formatlarında dışa aktarılmaktadır. Bir sonraki aşamada, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak dijital model ya da protetik yapı tasarlanmaktadır. Bu yazılımlar, nesnelerin sanal ortamda üç boyutlu olarak oluşturulmasına ve düzenlenmesine olanak tanımaktadır. Hazırlık aşamasında tasarım, yazılım içerisinde “slicing” adı verilen işlemle katmanlara ayrılmakta ve gerekli durumlarda destek yapıları eklenmektedir. Bu işlemler sonucunda üretim için uygun olan STL formatında bir dosya oluşturulmaktadır. Elde edilen katman verileri daha sonra üç boyutlu yazıcıya aktarılmakta ve materyalin katmanlar halinde eklenmesiyle fiziksel nesne üretilmektedir. Üretim tamamlandıktan sonra destek yapıların uzaklaştırılması, kumlama işlemi veya metal bileşenler için ısıtım işlemi uygulanması gibi son işlemler gerçekleştirilerek üretim süreci tamamlanmaktadır (Dawood ve ark., 2015).

Elde edilen nihai ürünün doğruluğu; kullanılan tarayıcının çözünürlüğü, CAD yazılımının doğruluk düzeyi ve tercih edilen üç boyutlu baskı teknolojisi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Diş Hekimliğinde Kullanılan Üç Boyutlu Baskı Teknolojileri

Diş hekimliği ve ortodonti alanında çeşitli eklemeli üretim teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Bu teknolojiler arasında stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP), ergiterek yığma modelleme (FDM) ve seçici lazer sinterleme (SLS) yer almaktadır (Dawood ve ark., 2015).

SLA ve DLP teknolojileri, yüksek doğruluk ve üstün yüzey kalitesi sağlamaları nedeniyle diş hekimliğinde en yaygın kullanılan üç boyutlu baskı yöntemleri arasında yer almaktadır. Bu teknolojilerde, fotopolimer reçineler ultraviyole ışık kullanılarak polimerize edilmekte ve böylece hassas dental modeller ile çeşitli apareylerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir. FDM teknolojisinde ise termoplastik materyaller eritilerek katman katman ekstrüde edilmekte ve bu şekilde nihai ürün oluşturulmaktadır. FDM yöntemi, SLA ve DLP teknolojilerine kıyasla daha düşük doğruluk sunmasına rağmen, maliyet açısından daha avantajlı olması nedeniyle eğitim ve araştırma amaçlı uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. SLS teknolojisinde ise metal veya naylon gibi toz halindeki materyaller lazer enerjisi kullanılarak birbirine kaynaştırılmaktadır. Bu teknoloji özellikle implant diş hekimliği ve protetik diş tedavileri alanında metal bileşenlerin üretiminde önemli bir kullanım alanına sahiptir (Gibson ve ark., 2015).

Ortodontide Üç Boyutlu Baskı Uygulamaları

Üç boyutlu baskı teknolojisi, modern ortodonti uygulamalarının önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu teknolojinin ortodontideki en önemli kullanım alanlarından biri ortodontik çalışma modellerinin üretilmesidir. Üç boyutlu yazıcılarla elde edilen modeller; tanı koyma, tedavi planlaması ve ortodontik aparatların hazırlanması gibi birçok klinik amaçla kullanılabilir (Grünheid ve ark., 2014).

Ortodontide üç boyutlu baskı teknolojisinin bir diğer önemli kullanım alanı şeffaf plak tedavisidir. Bu süreçte, dijital ölçüler kullanılarak sanal bir tedavi planı oluşturulmakta ve tedavinin farklı aşamalarını temsil eden bir dizi model üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla üretilmektedir. Daha sonra bu basılmış modeller üzerinde termoformlama teknikleri uygulanarak şeffaf plaklar hazırlanmakta ve tedavi sürecinde kullanılmaktadır (Rossini ve ark., 2015).

Üç boyutlu baskı teknolojisi, indirekt bonding plaklarının hazırlanmasında da kullanılmaktadır. Bu plaklar, ortodontik braketlerin dişler üzerine doğru ve hassas bir şekilde yerleştirilmesine olanak tanımakta, böylece tedavi sürecinin verimliliğini artırmakta ve klinik koltuk başı süresini azaltmaktadır (Grünheid ve ark., 2014).

Bunun yanı sıra, üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak ortodontik mini implant yerleştirilmesine yardımcı olan cerrahi rehberler ve ortognatik cerrahi planlamasında kullanılan kılavuzlar da üretilmektedir. Bu rehberler, cerrahi işlemlerin daha doğru ve öngörülebilir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır (Dawood ve ark., 2015).

Protetik Diş Tedavisi ve İmplant Diş Hekimliğinde Uygulamalar

Protetik diş tedavisi alanında üç boyutlu baskı teknolojisi; kronlar, köprüler, tam ve parsiyel protezler ile implant cerrahisi için kullanılan cerrahi rehberlerin üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyetle kişiye özgü protetik restorasyonların üretilmesi, klinik tedavi sonuçlarının iyileştirilmesine katkı sağlarken aynı zamanda laboratuvar üretim süresinin kısalmasına da olanak tanımaktadır (Joda ve ark., 2017).

Üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak üretilen cerrahi rehberler, sanal ortamda oluşturulan üç boyutlu tedavi planının doğrudan cerrahi alana aktarılmasını mümkün kılmakta ve böylece implant yerleştirme işlemlerinin doğruluğunu ve öngörülebilirliğini artırmaktadır. Bu teknoloji, özellikle anatomik olarak karmaşık vakalarda ayrıntılı preoperatif değerlendirme ve hassas cerrahi planlama yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca üç boyutlu baskı teknolojisi sayesinde cerrahi işlemler daha az invaziv, daha hızlı ve daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Klinik hataların en aza indirilebilmesi için yüksek çözünürlüklü yazıcıların ve uygun materyallerin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, üç boyutlu baskı ile üretilen cerrahi rehberler implant pozisyonlandırma doğruluğunu artırmakta ve komplikasyon riskini azaltarak daha az travmatik bir cerrahi sürece katkı sağlamaktadır (Dawood ve ark., 2015).

Üç Boyutlu Baskının Avantajları

Üç boyutlu baskı teknolojisi, geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar arasında artan doğruluk, kişiye özgü üretim imkânı ve üretim sürecinde sağlanan verimlilik yer almaktadır. Dijital iş akışları sayesinde klinisyenler, aparey ve protetik yapıların tasarımını ve üretimini geleneksel

yöntemlere göre daha hızlı ve daha hassas bir şekilde gerçekleştirebilmektedir (Dawood ve ark., 2015).

Hasta kayıtlarının dijital ortamda saklanabilmesi, fiziksel depolama alanına duyulan gereksinimi ortadan kaldırmakta ve verilere erişimi önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır. Ayrıca üç boyutlu baskı teknolojisi, kişiye özgü tedavi yaklaşımlarını destekleyerek klinisyenlerin her hastaya özel olarak tasarlanmış aparey ve tedavi materyalleri üretebilmesine olanak tanımaktadır (Dawood ve ark., 2015).

Tokgöz Çetindağ ve Meşe bu teknolojinin önemini şu şekilde ifade etmişlerdir (Tokgöz Cetindag & Meşe, 2016):

- Geleneksel ölçü alma yöntemlerine olan gereksinim ortadan kaldırılmıştır.
- Daha kısa sürede ve daha uyumlu restoratif materyaller elde edilebilmektedir.
- Bu sistemler sayesinde hata olasılığı önemli ölçüde azaltılmış ve indirekt restorasyonlardan kaynaklanabilecek potansiyel çapraz kontaminasyon riski önlenmiştir.
- Uygulamaların tek seansta gerçekleştirilebilmesi sayesinde hem hasta hem de hekim açısından zaman kaybı önlenmiştir.

Üç Boyutlu Yazıcıların Dezavantajları

Üç boyutlu baskı teknolojisinin sunduğu birçok avantaja rağmen bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Basılan modellerin doğruluğu, kullanılan baskı teknolojisine ve materyallere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğrulukta meydana gelebilecek sapmalar klinik sonuçları olumsuz etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra, kullanılan ekipman ve materyallerin başlangıç maliyetleri yüksek olabilmektedir. Ancak

teknolojide yaşanan sürekli gelişmelerin, gelecekte hem doğruluğun artırılmasına hem de maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlaması beklenmektedir (Tahayeri ve ark., 2018).

Eklemeli üretim süreçlerinde bazı geometrik yapılarda kırılma (çatlama) riski ortaya çıkabilmekte olup, bu risk ısı işlem uygulanmasıyla azaltılabilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ise büyük ölçüde üretilen parçanın geometrisine bağlıdır. İç bölgelerde gerilim noktaları oluşabilmekte ve bu durum çatlak ilerlemesine yol açabilmektedir. Bu nedenle üretim sürecinde teknik özelliklerin belirlenmesi daha karmaşık hale gelmekte ve yüzeylerin iyi bir şekilde polisajdan geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca eklemeli üretimde özellikle taban plakası ve destek noktalarında deformasyon riski gözlenebilmektedir. Gerilim giderme işlemleri ve ısı uygulamaları bu dezavantajların giderilmesine yardımcı olabilese de bu işlemlerin maliyeti artırması ek bir olumsuzluk olarak değerlendirilmektedir (Özmen & Ertek, 2022).

Sistemin bazı dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (Tokgöz Cetindag & Meşe, 2016):

- Bu uygulamalar henüz ekonomik açıdan yeterince avantajlı değildir.
- Kullanılan materyaller nedeniyle istenilen estetik sonuçlar her zaman elde edilemeyebilir.
- Restorasyon veya apaneyin uyumlu ve net bir şekilde üretilebilmesi için hassas bir ağız içi tarama gerekmektedir.

Üç Boyutlu Yazıcıların Gelişimi

Diş hekimliğinde üç boyutlu baskı teknolojileri ve dijital iş akışları, özellikle sabit protetik tedavilerde dönüştürücü bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar, tamamen dijital iş akışlarının

geleneksel veya karma yöntemlerle karşılaştırıldığında üretim süresini yarıdan fazla azaltabildiğini ve operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırabildiğini göstermektedir. Bu teknoloji, lityum disilikat, zirkonyum dioksit ve lösit ile güçlendirilmiş cam seramikler gibi gelişmiş materyaller kullanılarak diş ve implant destekli kronların yüksek hassasiyet ve estetikle üretilmesine olanak tanımaktadır. Teknolojik gelişmelerin mevcut durumda klinik kanıtlardan daha hızlı ilerlediği görülmekle birlikte, üç boyutlu baskı teknolojisinin fiziksel modellere olan gereksinimi ortadan kaldırması ve tamamen dijital bir ortamda hızlı üretim imkânı sunması sayesinde gelecekte maliyetlerin azaltılmasına ve verimliliğin artırılmasına önemli katkılar sağlayabileceği öngörülmektedir (Tahayeri ve ark., 2018).

Gelecek Perspektifleri

Diş hekimliğinde üç boyutlu baskı teknolojisinin geleceği oldukça umut verici olup, özellikle sabit protetik tedaviler alanında dönüştürücü bir teknoloji ve önemli bir yenilik olarak değerlendirilmektedir (Dawood ve ark., 2015; Joda ve ark., 2017). Ağız içi tarama sistemleri ile CAD/CAM teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde tamamen dijital iş akışları oluşturulabilmekte, bu sayede fiziksel modellere olan gereksinim ortadan kalkmakta, depolama ihtiyacı azalmakta ve üretim süreleri önemli ölçüde kısalmaktadır. Böylece klinik verimlilik artmakta ve hasta memnuniyeti olumlu yönde etkilenmektedir (Asquith ve ark., 2007; Fleming ve ark., 2011; Joda ve ark., 2017).

Ortodonti alanında dijital modeller, geleneksel alçı modellerle karşılaştırılabilir düzeyde doğruluk sunmakta ve “sanal hasta” kavramının gelişimini desteklemektedir. Bu yaklaşım; kapsamlı tanı, simülasyon ve tedavi planlamasının dijital ortamda gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Materyal bilimindeki ve

baskı teknolojilerindeki sürekli gelişmelerin, klinik uygulama alanlarını daha da genişletmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler arasında estetik seramik restorasyonların doğrudan üretimi ve akıllı yazılım sistemleri aracılığıyla metal üretim süreçlerinin optimize edilmesi gibi yenilikçi uygulamalar yer almaktadır (Asquith, ve ark., 2007; Fleming ve ark., 2011).

Bunun yanı sıra, biyobaskı teknolojilerinin gelecekte doku mühendisliği alanında biyolojik dokuların ve iskele (scaffold) yapıların üretimine olanak sağlayabileceği öngörülmektedir. Ancak teknolojik gelişmeler oldukça hızlı ilerlemesine rağmen, endüstriyel gelişmelerin mevcut durumda klinik kanıtların önünde olduğu görülmektedir. Bu nedenle, söz konusu teknolojilerin rutin klinik uygulamalara tam olarak entegre edilebilmesi için daha fazla uzun dönemli çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Dawood ve ark., 2015; Joda ve ark., 2017).

Kaynakça

- Alcañiz, M., Grau, V., Monserrat, C., Juan, C., & Albalat, S. (1999). A system for the simulation and planning of orthodontic treatment using a low cost 3D laser scanner for dental anatomy capturing. *Studies in Health Technology and Informatics*, 62, 8–14.
- Asquith, J., Gillgrass, T., & Mossey, P. (2007). Three-dimensional imaging of orthodontic models: A pilot study. *European Journal of Orthodontics*, 29(5), 517–522. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjm044>
- Ayoub, A. F., Wray, D., Moos, K. F., Jin, J., Niblett, T. B., Urquhart, C., Mowforth, P., & Siebert, P. (1997). A three-dimensional imaging system for archiving dental study casts: A preliminary report. *International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 12(1), 79–84.
- Bell, A., Ayoub, A. F., & Siebert, P. (2003). Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *Journal of Orthodontics*, 30(3), 219–223. <https://doi.org/10.1093/ortho/30.3.219>
- Buschang, P. H., Ceen, R. F., & Schroeder, J. N. (1990). Holographic storage of dental casts. *Journal of Clinical Orthodontics*, 24(5), 308–311.
- Çelik, G., Sarı, T., & Üşümez, A. (2013). Bilgisayar destekli diş hekimliği ve güncel CAD/CAM sistemleri. *Cumhuriyet Dental Journal*, 16(1). <https://doi.org/10.7126/cdj.2012.1545>
- Champage, M. (1992). Reliability of measurements from photocopies of study models. *Journal of Clinical Orthodontics*, 26(10), 648–650.
- Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219(11), 521–529. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>

- Fleming, P., Marinho, V., & Johal, A. (2011). Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2010.01503.x>
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). Additive manufacturing technologies. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- Grünheid, T., McCarthy, S. D., & Larson, B. E. (2014). Clinical use of a direct chairside oral scanner: An assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(5), 673–682. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.07.023>
- Hirogaki, Y., Sohmura, T., Satoh, H., Takahashi, J., & Takada, K. (2001). Complete 3-D reconstruction of dental cast shape using perceptual grouping. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 20(10), 1093–1101. <https://doi.org/10.1109/42.959306>
- Joda, T., Zarone, F., & Ferrari, M. (2017). The complete digital workflow in fixed prosthodontics: A systematic review. *BMC Oral Health*, 17(1), Article 124. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0415-0>
- Joffe, L. (2004). OrthoCAD: Digital models for a digital era. *Journal of Orthodontics*, 31(4), 344–347. <https://doi.org/10.1179/146531204225026679>
- Keating, P. J., Parker, R. A., Keane, D., & Wright, L. (1984). The holographic storage of study models. *British Journal of Orthodontics*, 11(3), 119–125. <https://doi.org/10.1179/bjo.11.3.119>
- Lu, P., Li, Z., Wang, Y., Chen, J., & Zhao, J. (2000). The research and development of noncontact 3-D laser dental model measuring and analyzing system. *Chinese Journal of Dental Research*, 3(3), 7–14.

- Nollet, P. J. P. M., Katsaros, C., van 't Hof, M. A., Bongaarts, C. A. M., Semb, G., Shaw, W. C., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2004). Photographs of study casts: An alternative medium for rating dental arch relationships in unilateral cleft lip and palate. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 41(6), 646–650. <https://doi.org/10.1597/03-101.1>
- Özmen, E., & Ertek, C. (2022). Eklemeli imalat teknolojilerinde kullanılan biyomalzemeler ve biyomedikal uygulamaları. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 10(4), 733–747. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1150799>
- Quimby, M. L., Vig, K. W. L., Rashid, R. G., & Firestone, A. R. (2004). The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *The Angle Orthodontist*, 74(3), 298–303. [https://doi.org/10.1043/00033219\(2004\)074<0298:TAAROM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/00033219(2004)074<0298:TAAROM>2.0.CO;2)
- Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A., & Debernardi, C. L. (2015). Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *The Angle Orthodontist*, 85(5), 881–889. <https://doi.org/10.2319/061614-436.1>
- Santoro, M., Galkin, S., Teredesai, M., Nicolay, O. F., & Cangialosi, T. J. (2003). Comparison of measurements made on digital and plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(1), 101–105. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00152-5](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00152-5)
- Schwaninger, B., Schmidt, R. L., & Hurst, R. V. V. (1977). Holography in dentistry. *Journal of the American Dental Association*, 95(4), 814–817. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1977.0508>

- Tahayeri, A., Morgan, M., Fugolin, A. P., Bompolaki, D., Athirasala, A., Pfeifer, C. S., Ferracane, J. L., & Bertassoni, L. E. (2018). 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*, 34(2), 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.10.003>
- Tokgöz Cetindag, M., & Meşe, A. (2016). Diş hekimliğinde kullanılan CAD/CAM (bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim) sistemleri ve materyaller. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 26(3), 524–533.
- Zilberman, O., Huggare, J. A. V., & Parikakis, K. A. (2003). Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *The Angle Orthodontist*, 73(3), 301–306. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2003\)073<0301:EOTVOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2003)073<0301:EOTVOT>2.0.CO;2)

BÖLÜM 3

DİJİTAL GÜLÜŞ TASARIMI

Ahmet Akif ALDANMAZ¹
Yazgı AY ÜNÜVAR²

Giriş

Estetik kavramı, kökenini Yunanca aisthesis sözcüğünden almakta olup duyuusal algı, hissetme ve güzelliğin değerlendirilmesi ile ilişkilendirilmektedir (Erturk, 2016). Günümüzde fiziksel görünüm, bireylerin sosyal ilişkileri ve kendilerini ifade etme biçimleri üzerinde belirgin etkiye sahiptir. Yüz estetiği, bu genel görünümün en önemli bileşenlerinden birini oluştururken, gülüş de yüz estetiğinin en dikkat çekici ve en dinamik unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir (Flores-Mir ve ark., 2004).

İletişim sürecinde bireylerin dikkatinin büyük ölçüde konuşmacının ağız ve göz bölgesine yöneldiği bildirilmektedir (Van

¹Arş. Gör., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, aaldanmaz@adu.ed.tr, ORCID ID: 0009-0000-7602-4584

²Doç. Dr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, yazgiay@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1455-9855

der Geld ve ark., 2007). Bu nedenle ağız çevresi ve gülüş, yalnızca estetik açıdan değil, aynı zamanda sosyal algı ve kişilerarası etkileşim açısından da belirleyici bir role sahiptir. Gülüş; bireyin dış görünüşünün değerlendirilmesinde, sosyal kabulünde ve kişiliğine ilişkin ilk izlenimlerin oluşmasında etkili olabilmektedir (Beall, 2007; Chang ve ark., 2011; Sarver, 2004).

Toplumsal estetik beklentilerin artması, medya ve dijital görsel kültürün etkisiyle daha da belirgin hâle gelmiştir. Bu gelişmeler, diş hekimliğinde estetik odaklı yaklaşımların yaygınlaşmasına katkı sağlamış ve “gülüş tasarımı” kavramını klinik pratiğin önemli bir parçası hâline getirmiştir (Chang ve ark., 2011). Günümüzde gülüş tasarımı yalnızca dişlerin şekli, boyutu ve rengi ile sınırlı değildir. Yüz, dudak, dişeti, fonksiyon ve hasta beklentisinin birlikte değerlendirildiği bütüncül bir planlama süreci olarak ele alınmaktadır. planlama sürecinde hasta beklentisi ile klinik gerçeklik arasında dengeli bir iletişim kurulmalıdır. Bu bütüncül yaklaşımın dijital teknolojiler ile desteklenmesi ise “dijital gülüş tasarımı” kavramını ortaya çıkarmıştır.

Gülümsemenin Önemi

Gülümseme, bireylerin duygularını ifade etmelerinde en güçlü yüz ifadelerinden biridir. Aynı zamanda yüz estetiğinin merkezinde yer alan dinamik bir bileşen olarak sosyal iletişimde önemli rol oynamaktadır. Fiziksel çekiciliğin; kişilerarası ilişkiler, sosyal kabul, özgüven ve bireyin kendini algılama biçimi üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir (Prasad ve ark., 2018). Bu bağlamda estetik bir gülüş, yalnızca dişlerin görünümü ile sınırlı olmayan, bireyin genel yüz ifadesine ve sosyal algısına katkı sağlayan önemli bir özelliktir.

Araştırmalar, yüz estetiği olumlu algılanan bireylerin sosyal çevre tarafından daha olumlu değerlendirilebildiğini göstermektedir. Estetik gülüş algısı; diş dizilimi, gingival görünürlük ve dental simetri gibi faktörlerden etkilenmektedir (Işıksal ve ark., 2006; Pinho ve ark., 2007). Gülüşün bu algıdaki payı büyüktür. Çekici bir gülüş; bireyin daha genç, sağlıklı, bakımlı ve kendine güvenli olarak değerlendirilmesine katkıda bulunabilmektedir (Al-Saleh ve ark., 2018). Bu nedenle estetik diş hekimliğinin temel hedeflerinden biri, bireye yalnızca fonksiyonel açıdan yeterli değil, aynı zamanda estetik açıdan da tatmin edici bir gülüş kazandırmaktır.

Gülüş estetiği; dişlerin konumu, boyutu, şekli ve rengi kadar, dudakların konumu, dişeti görünürlüğü, yüz simetrisi ve fonksiyonel ilişkiler gibi çok sayıda faktörün etkileşimi ile oluşur. Bu nedenle başarılı bir estetik değerlendirme, tek bir anatomik bileşene odaklanmak yerine tüm dentofasiyal yapının birlikte analiz edilmesini gerektirir (Donovan ve ark., 1985; Câmara, 2010).

Gülümseme Modelleri

Gülümseme, oluşum biçimine göre sosyal (poz) ve spontan (duygusal) gülümseme olarak iki grupta incelenir. Bu iki gülüş tipi, hem ortaya çıkış şekli hem de kas aktivitesi açısından birbirinden ayrılır. Klinik değerlendirmelerde bu ayrım önemlidir; çünkü estetik analiz ve tedavi planlaması sırasında hangi gülüş tipinin referans alınacağı, değerlendirme sonuçlarını doğrudan etkileyebilir (Walder ve ark., 2013).

Spontan gülümseme, bireyin duygusal durumuna bağlı olarak kendiliğinden ortaya çıkan doğal bir yüz ifadesidir. Sosyal gülümseme ise bilinçli biçimde oluşturulan, tekrarlanabilir ve daha kontrollü bir gülüş tipidir. Bu iki gülüş arasındaki fark yalnızca dudak çevresi kaslarına değil, aynı zamanda göz çevresindeki kas aktivitesine de bağlıdır. Spontan gülümsemede göz çevresindeki

kasların daha belirgin katılımı nedeniyle daha doğal ve duygusal bir ifade ortaya çıkmaktadır (Ackerman & Ackerman, 2002; Sarver & Ackerman, 2003).

Sosyal (Poz) gülümseme

Sosyal gülümseme, bireyin isteyerek oluşturduğu, sınırlı ve nispeten durağan bir yüz ifadesidir. Günlük yaşamda selamlaşma, fotoğraf çekimi veya sosyal etkileşim sırasında sıkça görülür. Tekrarlanabilir olması nedeniyle diş hekimliğinde estetik değerlendirmelerde sıklıkla standart referans gülümseme olarak kullanılmaktadır (Van der Geld ve ark., 2008).

Bu gülümseme sırasında dudak kaldırıcı kasların kontrollü aktivasyonu sonucunda üst dişler ve bazı durumlarda dişeti görünür hâle gelir. Tekrarlanabilir özelliği, sosyal gülümsemeyi fotoğraf ve video analizleri açısından klinik olarak daha kullanışlı kılmaktadır.

Spontan (Duygusal) gülümseme

Spontan gülümseme, duygusal uyaranlara bağlı olarak istemsiz şekilde oluşan bir yüz ifadesidir. Bu gülüş tipi, bireyin gerçek duygusal durumunu daha iyi yansıtır; ancak aynı biçimde yeniden oluşturulması güç olduğundan klinik analizlerde standardizasyonu zordur (Hatunoğlu, 2015).

Spontan gülümseme sırasında orbicularis oculi kasının aktivasyonu belirginleşmekte; nazolabial oluklar derinleşmekte, gözler hafifçe kısılmakta ve dudak çevresi kasları daha dinamik bir biçimde çalışmaktadır. Bu nedenle spontan gülümseme, sosyal gülümsemeye göre daha doğal ve daha simetrik algılanabilmektedir (Ackerman & Ackerman, 2002).

Gülüş Tasarımında Muayene ve Anamnez

Gülüş tasarımı, yalnızca görünür dişlerin estetik açıdan yeniden düzenlenmesi değil; yüz, dudak, diş, dişeti ve fonksiyon arasındaki ilişkinin kapsamlı biçimde değerlendirilmesini gerektiren

çok aşamalı bir planlama sürecidir. Bu sürecin en önemli basamağı ise ayrıntılı anamnez ve sistematik klinik muayenedir (Çelik ve ark., 2024).

Başarılı bir gülüş tasarımı için öncelikle hastanın beklentilerinin doğru anlaşılması gerekir. Estetik algı subjektif olduğundan, hekimin ideal kabul ettiği bir görünüm hasta açısından aynı şekilde değerlendirilmeyebilir. Bu nedenle planlama sürecinde hasta beklentisi ile klinik gerçeklik arasında dengeli bir uyum sağlanmalıdır. Nihai amaç, hasta ve hekimin ortak bir estetik hedefte uzlaşmasını sağlamaktır.

İlk muayene ve estetik ihtiyaçların belirlenmesi

Gülüş tasarımı sürecindeki ilk değerlendirme, yalnızca biyolojik ve oklüzal verilerin değil, aynı zamanda estetik ihtiyaçların da ortaya konduğu özel bir aşamadır. Estetik algının; bireyler, cinsiyetler, kültürel yapılar ve sosyal çevreler arasında değişkenlik gösterebildiği bilinmektedir (Mousavi ve ark., 2019). Bu nedenle ilk muayenede yalnızca standart estetik normlar değil, hastanın kendi algısı ve beklentileri de dikkate alınmalıdır.

Bu aşamada hastanın estetik açıdan rahatsız olduğu noktalar, tedaviden beklentileri, gülüşüyle ilgili öncelikleri ve kabul edebileceği sınırlar ayrıntılı biçimde sorgulanmalıdır. Böylece sonraki klinik değerlendirmeler daha sağlıklı biçimde yönlendirilebilir.

Anamnez

Anamnez, gülüş tasarımı sürecinin temelini oluşturmaktadır. Bu aşamada yalnızca estetik beklentiler değil, aynı zamanda uygulanacak tedaviyi etkileyebilecek sistemik hastalıklar, kullanılan ilaçlar, önceki dental tedaviler, fonksiyonel alışkanlıklar ve psikolojik beklentiler de değerlendirilmelidir (Çelik ve ark., 2024).

Bazı sistemik durumlar veya ilaç kullanımları, tedavi zamanlamasının değiştirilmesini ya da tedavi planının yeniden yapılandırılmasını gerektirebilir. Özellikle kemik metabolizmasını etkileyen ilaçlar, periodontal durumlar veya aktif medikal tedaviler, estetik ve ortodontik planlamada dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir.

Muayene

Klinik muayene sırasında hastanın yüz ve gülüş estetiği çok yönlü olarak değerlendirilmelidir. Bu kapsamda ağız içi ve ağız dışı fotoğraflar, radyografik kayıtlar, istirahat ve gülüş anındaki görüntüler ile gerektiğinde video kayıtları alınmalıdır. Estetik değerlendirmede yalnızca frontal görüntüler değil, oblik ve profil görüntüler de önem taşımaktadır (Çelik ve ark., 2024).

Özellikle dinamik gülüş analizinde video kayıtları önemli avantaj sağlar. Çünkü statik fotoğraflar çoğu zaman gülüşün doğal akışını ve dudakların hareketini tam olarak yansıtamaz. Bu nedenle mümkün olduğunda dinamik kayıtların kullanılması, daha gerçekçi bir estetik analiz yapılmasına katkı sağlar.

Gülüş Tasarımını Etkileyen Bileşenler ve Ortodontik Tedavinin Bu Bileşenlere Etkisi

Gülüş estetiği çok sayıda anatomik, fonksiyonel ve psikososyal bileşenin birlikte değerlendirilmesini gerektirir. Bu bileşenler genel olarak **yüz estetiği**, **gülüş estetiği**, **dental komponentler**, **gingival komponentler** ve **fonksiyonel analiz** başlıkları altında incelenebilir.

Yüz estetiği

Yüz estetiği, gülüş estetiğinin çerçevesini oluşturan makro bileşendir. Diş ve dişeti estetiği ne kadar başarılı olursa olsun, yüzün oranları, simetrisi ve yumuşak doku yapısı ile uyum göstermediği sürece estetik sonuç sınırlı kalabilmektedir (Çelik ve ark., 2024).

Büyüme gelişimi tamamlanmış bireylerde yüz estetiğini etkileyen iskeletsel parametrelerin ortodontik tedavi ile değiştirilmesi sınırlıdır. Bu nedenle bazı vakalarda yalnızca ortodontik müdahale yeterli olmayabilir ve ortognatik cerrahi gibi multidisipliner yaklaşımlar gündeme gelebilir.

Yüzdeki oranlar ve simetri

Yüzün genişlik ve yükseklik oranları ile sağ-sol simetrisi, gülüş estetiğinin algılanmasını doğrudan etkiler. Genel olarak yüz şekli geniş, normal ve dar olarak sınıflandırılmakta; bu yapı ile diş formu ve dental ark genişliği arasında ilişki kurulmaktadır (Çelik ve ark., 2024).

Yüz orta hattı, genellikle glabella ve filtrum referans alınarak belirlenir. Dental orta hattın bu referansla uyumlu olması estetik açıdan ideal kabul edilir. Ancak burun deviasyonu veya çene ucu asimetrisi gibi durumlarda tek bir referans hattına bağlı kalmak yanıltıcı olabileceğinden, bireysel değerlendirme yapılmalıdır.

Vertikal yüz oranları da estetik analiz açısından önemlidir. Trichion, glabella, subnazale ve menton noktaları arasındaki oranlar değerlendirilerek yüzün üst, orta ve alt üçlü dengesi incelenir. Bu oranlardaki belirgin sapmalar, yalnızca ortodontik tedavi ile düzeltilemeyebilir ve cerrahi planlamayı gerektirebilir (Çelik ve ark., 2024).

Çene belirginliği

Çene ucu belirginliği ve yüzün profil konveksitesi, hem yüz estetiğini hem de gülüşün genel görünümünü etkileyen önemli faktörlerdir. Hafif konveks profil ve daha dar çene yapısı kadınlarda daha estetik algılanabilirken, daha düz profil ve daha belirgin çene hattı erkeklerde daha estetik bulunabilmektedir (Çelik ve ark., 2024).

Ancak bu değerlendirmeler bireysel ve kültürel farklılıklardan etkilenmektedir. Bu nedenle profil analizi, standart

normlara göre değil, hastanın yüz tipi, cinsiyeti, yaşı ve estetik beklentileri ile birlikte ele alınmalıdır.

Burun

Burun yapısı, yüzün merkezinde yer alması nedeniyle gülüş estetiğini dolaylı biçimde etkiler. Burun deviasyonu, nazolabial aı ve profil dengesi; dental ve dudak ilişkilerinin algılanmasını değiştirebilir (elik ve ark., 2024).

Özellikle ekimli ortodontik tedavi planlanan hastalarda üst kesici dişlerin anteroposterior konumundaki değişiklikler nazolabial açıyı etkileyebileceğinden, tedavi planlaması sırasında burun ve dudak profili birlikte değerlendirilmelidir.

Gülüş estetiği

Gülüş estetiği, yüz estetiğinin daha dar çerçevede incelenen ve ortodontik ya da restoratif müdahalelerle daha fazla değiştirilebilen bileşenidir. Her bireyde kendine özgü olsa da, estetik gülüşün değerlendirilmesinde kullanılan temel parametreler benzerdir ve bu parametreler dudak konumu, diş görünürlüğü, gülüş arkı ve gingival kontur gibi birçok faktörü içermektedir (elik ve ark., 2024; Machado, 2014; Sarver, 2004).

Frontal oklüzal düzlem

Frontal oklüzal düzlem, üst sağ ve sol kanin cusp tepeleri arasındaki çizgi ile tanımlanır ve bu çizginin interpupiller düzleme paralel olması beklenir (elik ve ark., 2024). Oklüzal düzlemdeki eğim, gülüşün estetik algısını önemli ölçüde bozabilir.

Bu eğim dişlerin vertikal pozisyon farklılıklarından kaynaklanabileceği gibi yüz asimetrisi ile de ilişkili olabilir. Klinik değerlendirmede oklüzal kantın yalnızca dental değil, iskeletsel ve yumuşak doku kaynaklı olup olmadığı da ayırt edilmelidir.

Bukkal koridor

Bukkal koridor, gülüş sırasında dudak köşeleri ile posterior dişler arasında kalan karanlık boşluk olarak tanımlanır. Bu alanın genişliği, gülüşün dolgun ya da dar algılanmasında etkili olabilmektedir (Frush & Fisher, 1958; Moore ve ark., 2005).

Bukkal koridorların estetik etkisi konusunda literatürde farklı görüşler bulunmaktadır. Bazı yazarlar bu alanın belirleyici olmadığını ileri sürerken, bazıları özellikle geniş bukkal koridorların estetik algıyı olumsuz etkilediğini bildirmektedir (Ritter ve ark., 2006; Gracco ve ark., 2006). Bu nedenle bukkal koridor değerlendirmesi hasta bazında yapılmalı ve ark formu, kas tonusu, dişlerin torku ve maksiller genişlik ile birlikte ele alınmalıdır.

Üst dudak çizgisi ve kesici dişlerin görünürlüğü

Üst dudak çizgisi, gülüş sırasında üst dudak kenarının dişlerle ve dişeti ile olan ilişkisini belirler. Gülüş estetiğinde üst kesici dişlerin görünürlüğü kritik öneme sahiptir ve planlamada çoğu zaman ilk referans noktalarından biri olarak kabul edilir (Çelik ve ark., 2024).

Gülüş hattı düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılabilir. Yüksek gülüş hattında dişeti görünürlüğü artarken, düşük gülüş hattında üst kesici dişlerin yalnızca sınırlı bir kısmı görünür. Yaş ilerledikçe üst dudak uzaması ve kas tonusundaki değişiklikler nedeniyle üst kesici diş görünürlüğü azalmakta, alt kesici diş görünürlüğü ise artabilmektedir (Vig & Brundo, 1978).

Dişeti görünürlüğünün artması, özellikle 4 mm'den fazla olduğunda estetik açıdan istenmeyen bir görüntü oluşturabilir ve "gummy smile" olarak adlandırılır (Garber & Salama, 1996; Peck, Peck, & Kataja, 1992). Bu durumun etiyolojisinde vertikal maksiller fazlalık, kısa üst dudak, aşırı kas aktivitesi, altered passive eruption, dişeti büyümeleri veya dişlerin vertikal konum bozuklukları yer

alabilir. Bu nedenle tedavi, etiyojolojiye göre ortodontik, periodontal, restoratif ya da cerrahi yaklaşımları içerebilir.

Gülüş genişliği

Gülüş genişliği, gülüş sırasında hangi dişlerin görüldüğü ile ilişkilidir. Premolar bölgeye kadar uzanan dolgun bir gülüş genellikle daha estetik algılanırken, dar dental ark yapıları daha sınırlı bir gülüş görünümü oluşturabilir (Singla & Lehl, 2014).

Bu parametre; maksiller gelişim, ark formu, dişlerin torku ve dudak kaslarının hareketi ile ilişkilidir. Dolayısıyla gülüş genişliğinin değerlendirilmesi yalnızca dental arkın genişliği üzerinden değil, tüm dentolabial sistem üzerinden yapılmalıdır.

Gülüş çizgisi

Gülüş çizgisi ya da gülüş arki, üst ön dişlerin insizal kenarlarını birleştiren eğri ile alt dudak eğrisi arasındaki ilişkiyi ifade eder. Estetik açıdan ideal durumda bu iki eğrinin birbirine paralel olması beklenir (Kaya & Uyar, 2013).

Paralel gülüş arki genellikle en estetik form olarak kabul edilir. Düz veya ters gülüş arki ise estetik algıyı olumsuz etkileyebilir. Bu durum ortodontik diş hareketleri, insizal düzeltmeler veya restoratif işlemler ile düzenlenebilir. Gülüş arkının değerlendirilmesinde özellikle oblik görüntüler önemli bilgi sağlar.

Üst dudak kurvatürü

Üst dudak kurvatürü, ağız köşelerinin üst dudak merkezine göre konumu esas alınarak değerlendirilir. Yukarı yönlü veya düz dudak kurvatürleri estetik açıdan daha olumlu algılanırken, aşağı yönlü dudak kurvatürü daha az estetik bulunabilmektedir (Al-Johany ve ark., 2011; Liang ve ark., 2013).

Bu parametre çoğunlukla yumuşak doku karakteri ile ilişkilidir ve ortodontik tedavi ile sınırlı ölçüde değiştirilebilir. Bu

nedenle planlama sürecinde hastaya gerçekçi tedavi beklentileri sunulması önemlidir.

Gülüş simetrisi

Gülüş simetrisi, dudak komissuralarının ve gülüş hattının sağ ve sol tarafta benzer biçimde yükselmesi ile ilişkilidir. Komissural çizginin pupiller düzleme paralel olması beklenir (Benson & Laskin, 2001).

Asimetrik gülüşler kas fonksiyonuna, dudak hareketine, oklüzal kante ya da iskeletsel asimetriye bağlı olabilir. Bu nedenle asimetrinin kaynağı doğru belirlenmeli; gerekiyorsa dinamik video analizlerinden yararlanılmalıdır. Statik fotoğraflar çoğu zaman bu tür asimetrisi yeterince ortaya koymayabilir.

Spontan gülüşler, poz gülüşlere kıyasla genellikle daha simetriktir. Poz gülüşlerdeki asimetrinin nedeni, bu gülüşleri başlatan sinapsların beynin sağ yarım küresinde oluşmasıdır; bu nedenle asimetrik gülüşlerde genellikle sol taraf daha fazla kasılır (Upadhyay & Arqub, 2022).

Dental komponentler

Gülüş estetiğinin merkezinde yer alan dental komponentler; orta hat, diş şekli, boyutu, rengi, dizilimi, angulasyonu ve insizal embraşür gibi alt başlıklar altında değerlendirilebilir.

Orta hat: İdeal bir gülüşte dental orta hattın yüz orta hattı ile uyumlu ve santral kesiciler arasındaki temas hattının bu hatta paralel olması beklenir (Ackerman & Ackerman, 2002). Bununla birlikte literatürde, küçük miktardaki orta hat sapmalarının meslek dışı bireyler tarafından her zaman fark edilmediği bildirilmektedir (Sharma & Sharma, 2012; An ve ark., 2014).

Orta hat sapmalarının estetik etkisi kadar, santral keserlerin aksiyel eğimi de önemlidir. Dental asimetrisinin gülüş estetiği üzerindeki etkisi çeşitli çalışmalarda gösterilmiş olup, özellikle

anterior bölgede küçük asimetrilerin bile estetik algıyı etkileyebileceği bildirilmektedir (Pinho ve ark., 2007; Kokich ve ark., 1999).

Diş şekli ve boyutları: Dişlerin boyutları ve oranları, gülüş estetiğinin temel belirleyicilerindedir. Maksiller anterior dişlerin kendi aralarındaki oransal ilişkileri, görünür genişlikleri ve kron boy/en oranları estetik planlamada önemli rol oynar (Sterrett ve ark., 1999).

Altın oran ve RED oranı gibi kavramlar estetik planlamada yönlendirici olmakla birlikte, bunlar mutlak kurallar olarak değil, klinik rehberler olarak değerlendirilmelidir. Çünkü diş estetiği yalnızca matematiksel oranlara değil, yüz formu, dudak yapısı, yaş, cinsiyet ve bireysel tercihlere de bağlıdır (Lombardi, 1973).

Dişlerin rengi: Diş rengi, estetik algıyı doğrudan etkileyen önemli bir bileşendir. Renk; ışık koşulları, translüsensi, opasite, yüzey parlaklığı ve gözlemcinin algısı gibi birçok faktörden etkilenir. Bu nedenle renk değerlendirmesi statik ve mutlak bir süreç değildir (Çelik ve ark., 2024).

Anterior bölgede santral kesiciler genellikle en parlak ve en açık renkli dişler olarak algılanırken, kaninler daha doygun ve koyu görünme eğilimindedir (Gürel, 2004). Yaş ilerledikçe sekonder dentin birikimi ve mine aşınması gibi nedenlerle diş rengi koyulaşabilir.

Ortodontik tedavi diş rengini doğrudan değiştirmez; ancak dişlerin pozisyonundaki değişiklikler ışığın yansımalarını etkileyerek görünür renk algısını dolaylı olarak değiştirebilir. Bunun yanı sıra ortodontik apareylerin çevresinde biriken plaklar renklenme ve demineralizasyon açısından risk oluşturabilir.

Dişlerin dizilişi: Estetik bir dizilim için diş arkında belirgin çapraşıklık ya da diastema bulunmaması, sağ ve sol yarım ark

arasında uyum olması ve dişlerin mesiodistal ile labiolingual konumlarının dengeli olması gereklidir. Diş dizilimi yalnızca sıralanma değil, aynı zamanda simetri ve yüz ile uyum açısından da değerlendirilmelidir (Çelik ve ark., 2024).

Dişlerin angulasyonu: Maksiller anterior dişlerin uzun akslarının orta hattan posteriora doğru uyumlu bir eğim göstermesi estetik açıdan önemlidir. Özellikle santral kesiciler ve kaninlerde simetri belirgin rol oynarken, lateral kesicilerde hafif farklılıklar daha tolere edilebilir (Çelik ve ark., 2024).

Angulasyondaki bozulmalar, estetik görünümün yanı sıra ışık yansımaları ve dişlerin görünür genişliğini de etkileyebilir. Bu nedenle ortodontik tedavide angulasyon kontrolü estetik planlamanın ayrılmaz bir parçasıdır.

İnsizal embraşür: İnsizal embraşürler, anterior dişler arasındaki doğal ayrımı ve ışık oyunlarını belirleyen önemli estetik detaylardır. Santral kesiciden kanine doğru ilerledikçe embraşür hacmi kademeli olarak artmalıdır (Burstone, 2007).

Embraşürlerin yetersiz olması dişlerin tek blok hâlinde görünmesine, aşırı derin olması ise dişlerin sivri ve yapay görünmesine neden olabilir. Bu nedenle estetik planlamada embraşürler dikkatle değerlendirilmelidir (Bhuvaneshwaran, 2010; Foulger ve ark., 2010).

Maksiller ark tipi: Maksiller ark formu, bukkal koridorların genişliği ve gülüşün dolgunluğu üzerinde etkilidir. V şeklindeki ark yapısında daha belirgin bukkal koridorlar görülürken, daha geniş U formundaki ark yapılarında gülüş daha dolgun algılanabilir (Romano, 2005).

Ortodontik genişletme ve ark formunun yeniden düzenlenmesi ile bu parametreler belirli ölçüde değiştirilebilir.

Ancak yapılacak değişiklikler periodontal sınırlar ve oklüzal stabilite göz önünde bulundurularak planlanmalıdır.

Gingival Komponentler

Gülüş estetiğinde dişeti dokuları yalnızca sağlıklı olmakla kalmamalı, aynı zamanda simetrik ve dişlerle uyumlu konturlara sahip olmalıdır. Gingival komponentler; dişeti sağlığı, gingival marjinler ve interproksimal kontakt/papil ilişkileri açısından değerlendirilmelidir.

Gingiva sağlığı: Sağlıklı dişeti açık pembe renkte, sıkı kıvamlı ve mat yüzeyli olarak tanımlanır. Bununla birlikte estetik açıdan yalnızca renk ve yapı değil, simetri, zenith noktaları ve marjinal konturlar da önem taşır (Çelik ve ark., 2024).

Ortodontik tedavi sırasında plak kontrolü yetersiz olduğunda gingival inflamasyon gelişebilir ve bu durum estetik görünümü olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle estetik planlamada periodontal sağlık temel ön koşullardan biridir.

Dişeti marjini: Maksiller santral ve kaninlerin dişeti marjinlerinin benzer seviyede, lateral kesicilerin ise hafif daha koronal konumda olması estetik açıdan ideal kabul edilmektedir. Bu düzenleme, ön bölgede harmonik bir gingival kontur oluşturur (Bolivar, 2012).

Kron boylarındaki farklılıklar, aşınmalar veya dişlerin vertikal pozisyon bozuklukları gingival marjin asimetrisine yol açabilir. Bu nedenle ortodontik planlama ile periodontal veya restoratif işlemler birlikte değerlendirilmelidir.

İnterproksimal kontaklar ve siyah üçgenler: Anterior bölgede papilla eksikliğine bağlı oluşan siyah üçgenler, estetik açıdan önemli sorunlara neden olabilir. Bu boşluklar yalnızca estetik değil, aynı zamanda fonksiyonel ve periodontal açıdan da olumsuz sonuçlar doğurabilir (Kurth & Kokich, 2001; Hasanreisoglu ve ark., 2005).

Papilla varlığı; alveol kemiği seviyesi, temas noktasının konumu ve diş formu ile yakından ilişkilidir. Siyah üçgenlerin düzeltilmesi için ortodontik angulasyon düzeltmeleri, interproksimal aşındırma veya restoratif yaklaşımlar planlanabilir.

Fonksiyonel Analiz

Gülüş tasarımı yalnızca estetik parametreler üzerinden planlanmamalıdır. Dişlerin, restorasyonların ve çevre dokuların fonksiyonel kuvvetler altında uzun dönem stabil kalabilmesi için oklüzal ilişkilerin de dikkatle değerlendirilmesi gerekir (Erdemir, 2021).

Overjet, overbite, anterior rehberlik, kanin rehberliği, grup fonksiyonu, parafonksiyonel alışkanlıklar ve eksantrik hareketler bu değerlendirmede temel unsurlardır. Özellikle aşırı overjet, yetersiz overbite veya parafonksiyon varlığında yalnızca estetik odaklı planlama yapılması restorasyonların kırılması, aşınması veya başarısızlığı ile sonuçlanabilir.

Fonksiyonel analiz, restoratif materyal seçimi ve restore edilecek diş sayısının belirlenmesi açısından da yol göstericidir. Parafonksiyon öyküsü olan hastalarda tedavi sonrasında koruyucu splint kullanımı da değerlendirilmelidir (Erdemir, 2021).

Dijital Gülüş Tasarımı

Dijital gülüş tasarımı, yüz ve ağız yapılarının fotoğraf, video, dijital ölçüm ve gerektiğinde üç boyutlu veriler üzerinden analiz edilerek estetik tedavi planının sanal ortamda oluşturulmasını sağlayan bir planlama yöntemidir. Dinamik gülüş analizi, dudak hareketleri, diş görünürlüğü ve dentolabial ilişkilerin değerlendirilmesinde önemli bilgiler sunmakta ve estetik analizde statik görüntülere kıyasla daha kapsamlı veri sağlayabilmektedir (Sarver & Ackerman, 2003; Sarver, 2004). Bu yaklaşım, geleneksel

estetik planlamaya kıyasla daha sistematik, görsel ve hasta ile paylaşılabilir bir iş akışı sunmaktadır (Erdemir, 2021).

Dijital gülüş tasarımı; PowerPoint, Keynote veya Photoshop gibi genel yazılımlarla temel düzeyde yapılabildiği gibi, bu amaç için geliştirilmiş özel programlar ile daha ayrıntılı ve standardize biçimde de uygulanabilmektedir. Bu yazılımlar sayesinde fasiyal, dentolabial ve dental parametreler daha kontrollü biçimde analiz edilebilmekte; hasta, hekim ve teknisyen arasında iletişim kolaylaşmaktadır.

Dijital planlamanın en önemli avantajlarından biri, estetik sorunların çok nedenli yapısını hastaya görsel olarak gösterebilmesidir. Böylece hasta, önerilen tedavi planını daha iyi anlayabilmekte; olası sonuçlar hakkında daha gerçekçi beklentiler geliştirebilmektedir. Ayrıca bu süreç, multidisipliner ekip içi iletişimi de güçlendirmektedir (Erdemir, 2021).

Dijital kayıtlar; tedavinin farklı aşamalarında karşılaştırmalı analiz yapılmasına, planlanan hedeflerden sapmaların izlenmesine ve gerektiğinde planlamanın yeniden düzenlenmesine olanak sağlar. Bunun yanı sıra, arşivlenen dijital kayıtlar hem eğitim hem de medikolegal açıdan önemli veriler sunabilmektedir.

Dijital Gülüş Tasarımı Aşamaları

Fotoğraf/Video kaydı

Dijital gülüş tasarımının ilk aşaması, standart ve yüksek kaliteli kayıtların elde edilmesidir. Bu kapsamda en az istirahat hâlindeki portre, gülüş anındaki portre ve dudakların ekarte edildiği intraoral görüntülerin alınması önerilmektedir. Bunlara ek olarak video kayıtları da dinamik değerlendirme açısından önemli katkı sağlar (Erdemir, 2021).

Video görüntüleri, statik fotoğraflara kıyasla gülüşün doğal akışını ve dudak hareketlerini daha doğru yansıttığı için özellikle

spontan gülüş analizlerinde yararlıdır. Dinamik gülüş analizinin estetik değerlendirmede önemli bir araç olduğu ve statik görüntülere göre daha gerçekçi bilgiler sağlayabildiği literatürde vurgulanmıştır (Sarver & Ackerman, 2003; Walder ve ark., 2013).

Görüntünün hizalanması ve referans çizgilerinin belirlenmesi

Bu aşamada yatay referans olarak interpupiller çizgi, dikey referans olarak ise yüz orta hattı belirlenir. Portre fotoğrafı bu çizgilere göre hizalanarak estetik analiz için uygun hâle getirilir. Daha sonra ağız bölgesi büyütülerek gülüş ilişkileri detaylı biçimde incelenir (Erdemir, 2021).

Bu işlem, orta hat sapmaları, oklüzal kant ve diş-dudak ilişkilerinin daha doğru değerlendirilmesini sağlar.

Kalibrasyon

Dijital planlamanın klinik gerçeklikle uyumlu olabilmesi için görüntülerin kalibre edilmesi gerekir. Bunun için genellikle üst santral kesicilerin gerçek mezio-distal genişliği veya klinik kron uzunluğu ölçülerek dijital görüntüye aktarılır (Erdemir, 2021).

Kalibrasyon, sonraki aşamalarda yapılan dijital ölçümlerin klinik ölçülerle uyumlu olmasını sağlar ve özellikle restoratif planlamada büyük önem taşır.

İki boyutlu gülüş çerçevesinin oluşturulması

İki boyutlu gülüş çerçevesi, planlanan estetik sonucun dijital görüntü üzerinde şablon veya siluet biçiminde oluşturulmasıdır. Bu aşamada temel estetik parametreler dikkate alınarak ideal diş şekli, oranı, konumu ve gingival konturlar belirlenir (Erdemir, 2021).

Bu çerçeve oluşturulurken genellikle şu basamaklar izlenir:

1. Görüntünün hizalanması ve yüz-dental orta hat ilişkisinin değerlendirilmesi
2. Gülüş eğrisinin belirlenmesi

3. Dişler arası oransal ilişkinin değerlendirilmesi
4. Santral keserlerin boy/en oranlarının belirlenmesi
5. Gingival eğrinin oluşturulması
6. Papilla yüksekliğinin değerlendirilmesi
7. Vermillion eğrisi ile anterior dişlerin ilişkisi
8. Ark eğrisinin değerlendirilmesi

Bu basamaklar sayesinde dijital tasarım, yalnızca diş şekli çizmekten ibaret olmaktan çıkmakta ve bütüncül bir estetik çerçeveye dönüşmektedir.

İki boyutlu gülüş çerçevesinin üç boyutlu mock-up'a dönüştürülmesi

Dijital gülüş tasarımının klinik uygulanabilirliğini gösteren en kritik aşama, iki boyutlu planlamanın üç boyutlu mock-up'a dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm, analog wax-up, dijital wax-up veya tam dijital üretim yöntemleri ile gerçekleştirilebilir (Erdemir, 2021).

Geleneksel yöntemde dijital plan alçı modele aktarılır, teknisyen tarafından wax-up hazırlanır ve silikon indeks yardımıyla ağız içine mock-up uygulanır. Dijital yöntemde ise planlama doğrudan dijital model üzerinde yapılabilir ve üretilen rehberlerle ağız içine aktarılabilir.

Mock-up uygulaması, hem hekim hem de hasta açısından büyük avantaj sağlar. Çünkü planlanan estetik sonucun ağız içinde değerlendirilmesine ve gerektiğinde revize edilmesine olanak tanır.

Mock-up'ın daimi restorasyon tasarımına dönüştürülmesi

Gülüş tasarımı sürecinin son aşaması, geçici estetik planlamanın daimi restorasyona dönüştürülmesidir. Bu aşama geleneksel laboratuvar yöntemleri ile yapılabileceği gibi, dijital CAD/CAM sistemleri ile de yürütülebilir (Erdemir, 2021).

Dijital sistemlerin sağladığı en önemli avantajlardan biri, mock-up verilerinin taranarak nihai restorasyon tasarımına doğrudan aktarılabilmesidir. Böylece geçici estetik onay ile kalıcı restorasyon arasında daha yüksek uyum sağlanabilir.

Dijital Gülüş Tasarımının Avantajları

Dijital gülüş tasarımı, tanı ve tedavi planlamasında çeşitli avantajlar sunmaktadır. Öncelikle estetik analiz daha sistematik ve görsel hâle gelmektedir. İkinci olarak hasta-hekim iletişimini güçlendirmekte, tedavi hedeflerinin daha somut biçimde tartışılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca teknisyen ve diğer disiplinlerle koordinasyonu kolaylaştırmakta, multidisipliner planlamanın etkinliğini artırmaktadır (Erdemir, 2021).

Bunun yanı sıra dijital kayıtlar, tedavi öncesi ve sonrası karşılaştırmaların yapılmasını, süreç içindeki değişimlerin izlenmesini ve arşivlenmesini kolaylaştırır. Eğitim ve klinik dokümantasyon açısından da önemli yararlar sunar.

Dijital Gülüş Tasarımının Kısıtlılıkları

Dijital gülüş tasarımı önemli avantajlar sunmakla birlikte, sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle iki boyutlu planlama, üç boyutlu anatomik gerçekliği her zaman tam olarak yansıtmayabilir. Statik fotoğraflar üzerinden yapılan analizler, dudak dinamikleri, fonksiyon ve yüz hareketlerini tam olarak ortaya koyamayabilir.

Ayrıca dijital simülasyon ile klinik olarak elde edilecek nihai sonuç her zaman birebir örtüşmeyebilir. Yumuşak doku davranışı, biyolojik sınırlar, periodontal koşullar, oklüzal gereklilikler ve materyal özellikleri, dijital olarak öngörülen estetik sonucun klinikte birebir uygulanmasını sınırlayabilir.

Bir diğerk kısıtlılık, dijital planlamanın operatör deneyimine bağımlı olmasıdır. Fotoğraf standardizasyonundaki hatalar, yanlış kalibrasyon, referans çizgilerinin hatalı belirlenmesi veya estetik parametrelerin eksik yorumlanması, planlamanın doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Ayrıca yazılım maliyetleri, cihaz gereksinimleri ve öğrenme eğrisi de bu yöntemin kullanımını sınırlayabilecek unsurlar arasındadır.

Bu nedenle dijital gülüş tasarımı, klinik muayenenin ve biyolojik-fonksiyonel değerlendirmenin yerine geçen bir yöntem olarak değil; onları destekleyen güçlü bir planlama aracı olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç

Gülüş estetiği; yüz, dudak, diş, dişeti ve fonksiyonel ilişkilerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok faktörlü bir kavramdır. Bu nedenle başarılı bir gülüş tasarımı, yalnızca dişlerin şekil veya renginin değiştirilmesine dayanmamalı; hastanın yüz özellikleri, yumuşak doku yapısı, fonksiyonel gereksinimleri ve estetik beklentileri birlikte ele alınmalıdır.

Dijital gülüş tasarımı, bu çok boyutlu değerlendirmenin daha sistematik, görsel ve öngörülebilir şekilde yapılmasına olanak sağlayan önemli bir araçtır. Özellikle tanı, hasta-hekim iletişimi, laboratuvar koordinasyonu ve tedavi planının görselleştirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Bununla birlikte dijital sistemlerin sunduğu simülasyonlar, biyolojik ve fonksiyonel gerçeklik ile birlikte değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak dijital gülüş tasarımı, çağdaş estetik diş hekimliğinde güçlü bir planlama yaklaşımıdır; ancak başarılı klinik sonuç, yalnızca dijital araçların kullanımına değil, doğru tanıya, multidisipliner bakış açısına, hasta beklentisinin uygun yönetimine ve fonksiyon-estetik dengesinin korunmasına bağlıdır.

Kaynakça

- Ackerman, M. B., & Ackerman, J. L. (2002). Smile analysis and design in the digital era. *Journal of Clinical Orthodontics*, 36(4), 221–236.
- Al-Johany, S. S., Alqahtani, A. S., Alqahtani, F. Y., & Alzahrani, A. H. (2011). Evaluation of different esthetic smile criteria. *International Journal of Prosthodontics*, 24(1), 64–70.
- Al-Saleh, S., Abu-Raisi, S., Almajed, N., & Bukhary, F. (2018). Esthetic self-perception of smiles among a group of dental students. *International Journal of Esthetic Dentistry*, 13(2), 220–230.
- An, S.-M., Choi, S.-Y., Chung, Y.-W., Jang, T.-H., & Kang, K.-H. (2014). Comparing esthetic smile perceptions among laypersons with and without orthodontic treatment experience and dentists. *Korean Journal of Orthodontics*, 44(6), 294. <https://doi.org/10.4041/kjod.2014.44.6.294>
- Beall, A. E. (2007). Can a new smile make you look more intelligent and successful? *Dental Clinics of North America*, 51(2), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.02.002>
- Benson, K. J., & Laskin, D. M. (2001). Upper lip asymmetry in adults during smiling. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 59(4), 396–398. <https://doi.org/10.1053/joms.2001.21874>
- Bhuvaneswaran, M. (2010). Principles of smile design. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), 225–232. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.73387>
- Bolivar, M. L. (2012). The smile and its dimensions. *Odontología Universidad de Antioquia*.
- Burstone, C. J. (2007). Charles J. Burstone, DDS, MS. Part 1: Facial esthetics. Interview by Ravindra Nanda. *Journal of Clinical Orthodontics*, 41(2), 79–87.

- Câmara, C. A. (2010). Aesthetics in orthodontics: Six horizontal smile lines. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 15, 118–131.
- Çelik, A., Bala, O., & Akgül, S. (2024). Dijital gülüş tasarımı. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 13(1), 167–176. <https://doi.org/10.54617/adoklinikbilimler.1380599>
- Chang, C. A., Fields, H. W., Beck, F. M., Springer, N. C., Firestone, A. R., Rosenstiel, S., & Christensen, J. C. (2011). Smile esthetics from patients' perspectives for faces of varying attractiveness. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(4), e171–e180. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.03.022>
- Donovan, T. E., Gandara, B. K., & Nemetz, H. (1985). Review and survey of medicaments used with gingival retraction cords. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 53(4), 525–531. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90640-7](https://doi.org/10.1016/0022-3913(85)90640-7)
- Erdemir, U. (2021). *Estetik diş hekimliği akıl notları*. Güneş Tıp Kitabevleri.
- Erturk, N. (2016). Baumgarten's aesthetics as the science of sensitive cognition. *Ulakbilge Dergisi*, 4(7). <https://doi.org/10.7816/ulakbilge-04-07-07>
- Flores-Mir, C., Silva, E., Barriga, M. I., Lagravère, M. O., & Major, P. W. (2004). Lay person's perception of smile aesthetics in dental and facial views. *Journal of Orthodontics*, 31(3), 204–209. <https://doi.org/10.1179/146531204225022416>
- Foulger, T. E., Tredwin, C. J., Gill, D. S., & Moles, D. R. (2010). The influence of varying maxillary incisal edge embrasure space and interproximal contact area dimensions on perceived smile aesthetics. *British Dental Journal*, 209(3), E4. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2010.719>

- Frush, J. P., & Fisher, R. D. (1958). The dynesthetic interpretation of the dentogenic concept. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 8(4), 558–581. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(58\)90043-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(58)90043-X)
- Garber, D. A., & Salama, M. A. (1996). The aesthetic smile: Diagnosis and treatment. *Periodontology* 2000, 11(1), 18–28. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1996.tb00179.x>
- Gracco, A., Cozzani, M., D’Elia, L., Manfrini, M., Peverada, C., & Siciliani, G. (2006). The smile buccal corridors: Aesthetic value for dentists and laypersons. *Progress in Orthodontics*, 7(1), 56–65.
- Gürel, G. (2004). *The science and art of porcelain laminate veneers*. Quintessence Publishing.
- Hasanreisoglu, U., Berksun, S., Aras, K., & Arslan, I. (2005). An analysis of maxillary anterior teeth: Facial and dental proportions. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 94(6), 530–538. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.10.007>
- Hatunoğlu, R. B. (2015). Farklı maloklüzyonlara sahip Türk bireylerin istirahat ve gülümseme konumundaki yüz yumuşak doku normlarının üç boyutlu olarak değerlendirilmesi (Doktora tezi, İnönü Üniversitesi & Selçuk Üniversitesi Ortodonti ABD Ortak Doktora Programı). YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/125648>
- Işıksal, E., Hazar, S., & Akyalçın, S. (2006). Smile esthetics: Perception and comparison of treated and untreated smiles. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(1), 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.07.004>
- Kaya, B., & Uyar, R. (2013). Influence on smile attractiveness of the smile arc in conjunction with gingival display. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(4), 541–547. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.05.006>

- Kokich, V. O., Kiyak, H. A., & Shapiro, P. A. (1999). Comparing the perception of dentists and lay people to altered dental esthetics. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 11(6), 311–324. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.1999.tb00414.x>
- Kurth, J. R., & Kokich, V. G. (2001). Open gingival embrasures after orthodontic treatment in adults: Prevalence and etiology. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 120(2), 116–123. <https://doi.org/10.1067/mod.2001.114831>
- Liang, L.-Z., Hu, W.-J., Zhang, Y.-L., & Chung, K.-H. (2013). Analysis of dynamic smile and upper lip curvature in young Chinese. *International Journal of Oral Science*, 5(1), 49–53. <https://doi.org/10.1038/ijos.2013.17>
- Lombardi, R. E. (1973). The principles of visual perception and their clinical application to denture esthetics. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 29(4), 358–382. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(73\)80013-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(73)80013-7)
- Machado, A. W. (2014). 10 commandments of smile esthetics. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 19(4), 136–157. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.4.136-157.sar>
- Moore, T., Southard, K. A., Casco, J. S., Qian, F., & Southard, T. E. (2005). Buccal corridors and smile esthetics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 127(2), 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.11.027>
- Mousavi, S. M., Saeidi Ghorani, P., Deilamani, A., & Rakhshan, V. (2019). Effects of laterality on esthetic preferences of orthodontists, maxillofacial surgeons, and laypeople regarding the lip position and facial convexity: A psychometric clinical trial. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 23(4), 439–451. <https://doi.org/10.1007/s10006-019-00795-w>

- Peck, S., Peck, L., & Kataja, M. (1992). The gingival smile line. *Angle Orthodontist*, 62(2), 91–100. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1992\)062<0091:TGSL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1992)062<0091:TGSL>2.0.CO;2)
- Pinho, S., Ciriaco, C., Faber, J., & Lenza, M. A. (2007). Impact of dental asymmetries on the perception of smile esthetics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(6), 748–753. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.01.039>
- Prasad, K. N., Sabrish, S., Mathew, S., Shivamurthy, P. G., Pattabiraman, V., & Sagarkar, R. (2018). Comparison of the influence of dental and facial aesthetics in determining overall attractiveness. *International Orthodontics*, 16(4), 684–697. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2018.09.013>
- Ritter, D. E., Gandini, L. G., Pinto, A. D. S., & Locks, A. (2006). Esthetic influence of negative space in the buccal corridor during smiling. *Angle Orthodontist*, 76(2), 198–203. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2006\)076\[0198:EIONSI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2006)076[0198:EIONSI]2.0.CO;2)
- Romano, R. (2005). *The art of the smile: Integrating prosthodontics, orthodontics, periodontics, dental technology, and plastic surgery in esthetic dental treatment*. Quintessence Publishing.
- David M. Sarver & Mark B. Ackerman (2003). Dynamic smile visualization and quantification: Part 1. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(1), 4–12. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00306-4](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00306-4)
- Sarver, D. M. (2004). Principles of cosmetic dentistry in orthodontics: Part 1. Shape and proportionality of anterior teeth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 126(6), 749–753. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.07.034>

- Sharma, P. K., & Sharma, P. (2012). Dental smile esthetics: The assessment and creation of the ideal smile. *Seminars in Orthodontics*, 18(3), 193–201. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2012.04.004>
- Singla, S., & Lehl, G. (2014). Smile analysis in orthodontics. *Indian Journal of Oral Sciences*, 5(2), 49. <https://doi.org/10.4103/0976-6944.136836>
- Sterrett, J. D., Oliver, T., Robinson, F., Fortson, W., Knaak, B., & Russell, C. M. (1999). Width/length ratios of normal clinical crowns of the maxillary anterior dentition in man. *Journal of Clinical Periodontology*, 26(3), 153–157. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051X.1999.260304.x>
- Upadhyay, M., & Arqub, S. (2022). Biomechanics of clear aligners: Hidden truths and first principles. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 11, 12–21.
- Van der Geld, P., Oosterveld, P., Bergé, S. J., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2008). Tooth display and lip position during spontaneous and posed smiling in adults. *Acta Odontologica Scandinavica*, 66(4), 207–213. <https://doi.org/10.1080/00016350802060617>
- Van der Geld, P., Oosterveld, P., Van Heck, G., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2007). Smile attractiveness. *Angle Orthodontist*, 77(5), 759–765. <https://doi.org/10.2319/082606-349>
- Vig, R. G., & Brundo, G. C. (1978). The kinetics of anterior tooth display. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 39(5), 502–504. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(78\)80179-6](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(78)80179-6)

Walder, J. F., Freeman, K., Lipp, M. J., Nicolay, O. F., & Cisneros, G. J. (2013). Photographic and videographic assessment of the smile: Objective and subjective evaluations of posed and spontaneous smiles. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(6), 793–801. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.07.012>

BÖLÜM 4

AIR-ROTOR STRIPPING (ARS)

Delal Dara KILINÇ¹

Giriş

Charles H. Tweed, ortodontik tedavi felsefesini genel olarak; “yumuşak dokularla harmonik uyum içerisinde, sağlıklı, estetik, fonksiyonel ve stabil bir oklüzyon oluşturmak” şeklinde özetlemiştir (Vaden JL, 1996).

İskeletsel ve dental düzensizliklerin tedavisinde ortodontist, mevcut klinik ve sefalometrik veriler ışığında en uygun tedavi alternatiflerini değerlendirmektedir. Özellikle dental yer darlıklarının giderilmesine yönelik planlamalarda; hafif çapraşıklıklar, sınır vakalar ve Bolton uyumsuzlukları gibi durumlarda farklı tedavi seçenekleri arasında karar vermek çoğu zaman güçlük yaratmaktadır. Bu tür vakalarda başvuru yöntemlerinden biri olan geleneksel stripping uygulamaları, günümüzde yerini Air-Rotor Stripping (ARS) ve Interproximal Reduction (IPR) gibi daha kontrollü ve güncel yaklaşımlara bırakmaya başlamıştır (Sheridan JJ, 1985; Rossouw & Tortorella, 2003).

¹ Doç. Dr., Serbest Ortodontist, İstanbul-Türkiye, Orcid: 0000-0001-9009-6218, ddarakilinc@gmail.com

Sheridan tarafından geliştirilen ARS yönteminin; hemen hemen tüm diş gruplarına uygulanabildiği, yaklaşık 8–10 mm'ye kadar olan dental yer darlıklarında etkili bir alternatif sunduğu, diş çekimi ve ekspansiyon gereksinimini azaltabildiği bildirilmiştir. Ayrıca, önerilen protokoller doğrultusunda uygulandığında çürük riskini artırmadığı da vurgulanmaktadır (Sheridan JJ, 1985).

Klasik anlamda stripping; dental arkta yer kazanmak amacıyla, üst ve alt çenede kaninler arası bölgedeki keser dişlerin mezial ve distal yüzeylerinden, tek yüzlü veya çift yüzlü zımparalar yardımıyla her bir aproksimal yüzeyden yaklaşık 0,25 mm mine aşındırılması şeklinde uygulanmaktadır. Manuel stripping işlemi, yalnızca yer darlığının giderilmesi amacıyla değil, tedavi bitiminde retansiyonun artırılması amacıyla da tercih edilebilmektedir. Bu sayede dişlerin kontakt yüzeyleri daha retantif hâle gelmekte ve tedavi sonrası stabilite desteklenmektedir (Proffit WR, 2018).

Air-Rotor Stripping (ARS) ise; hafif ve orta dereceli çapraşıklıkların giderilmesinde, interproksimal mine dokusunun kontrollü biçimde azaltılmasını içeren klinik bir prosedürdür. Bu yöntemde, her bir aproksimal yüzeyden maksimum 0,5 mm mine uzaklaştırılması önerilmektedir (Sheridan JJ, 1985; Sheridan JJ, 1987; Sheridan & Ledoux, 1989; Sheridan JJ, 1997; Chudasama & Sheridan, 2007; Lapenaite & Lopatiene, 2014).

Ortodontik uygulamalarda stripping ve ARS işlemleri sırasında esas olarak ilgilenilen yapı mine dokusudur. Mine; yaklaşık %97 inorganik ve %3 organik bileşenden oluşmakta olup, insan vücudundaki en yüksek mineralizasyon derecesine sahip dokudur. Mine yapısının büyük kısmını kalsiyum ve fosfat tuzlarından oluşan hidroksiapatit kristalleri meydana getirir. Bu kristallerin çözünürlüğü; pH, sıcaklık ve kristal bağlarının iyonik gücüne bağlıdır. Bu parametrelerde meydana gelen değişiklikler, hidroksiapatit kristallerinin çözünmesine ve dolayısıyla mine bütünlüğünün etkilenmesine yol açabilmektedir.

1. Ortodontik Tedavi Planlamalarında Yer Kazanma Metodları

Ortodontik tedavi planlamasında yer kazanma gereksinimi, birçok hastada tedavi prognozunun temel belirleyicilerinden biridir. Dental arkta çapraşıklık gelişmemesi için diş boyutları ile bazal ark arasında dengeli bir ilişki bulunmalıdır. Bu dengenin bozulması durumunda, literatürde ark boyu sapması olarak tanımlanan tablo ortaya çıkmakta; klinik olarak diastemalar, çapraşıklıklar ya da dişlerin gömük kalması gibi durumlar gözlenebilmektedir.

Ortodontik tedavilerde yer darlıklarının giderilmesi amacıyla başvurulan başlıca yöntemler şunlardır (Proffit WR, 2018; Graber LW, 2016; De Felice ve ark., 2020):

- Diş çekimleri,
- Dentoalveolar ekspansiyon teknikleri (SME, RME, SARME, MARPE, vidalı hareketli apareyler ve benzeri mekanikler),
- Dentoalveolar kavsin sagittal yönde genişletilmesi (headgear, lip bumper, coil spring gibi sabit mekanikler),
- Posterior yer rezervlerinin (Leeway space) kullanımı,
- E-space'in değerlendirilmesi,
- Spee eğrisinin düzeltilmesi,
- Diş rotasyonlarının giderilmesi,
- Keser dişlerin protrüzyonu,
- Manuel stripping uygulamaları,
- Air-Rotor Stripping (ARS) ve Interproksimal Redüksiyon (IPR) teknikleri.

1.1. Mekanik Stripping

Klasik stripping; dental arkta yer kazanmak ve yer darlığını gidermek amacıyla, alt ve üst çenede kaninler arasındaki keser dişlerin mezial ve distal temas yüzeylerinden, tek yüzlü ya da çift yüzlü şerit zımparalar aracılığıyla her bir aproksimal yüzeyden yaklaşık 0,25 mm mine aşındırılması esasına dayanmaktadır (Proffit WR, 2018).

İnterproksimal minenin aşındırılması; literatürde slenderizing, enamel approximation veya interproximal reduction olarak da tanımlanmaktadır. Bu yöntem, yalnızca yer darlığının giderilmesini sağlamakla kalmayıp, tedavi sonunda kontak noktalarının kontak yüzeylere dönüştürülmesine katkı sağlayarak uzun dönem retansiyonu desteklemektedir (Betteridge, 1981).

Manuel stripping işlemi sonrasında, kullanılan zımparaların yüzey özelliklerine bağlı olarak aproksimal yüzeylerde 10–25 mikron derinliğinde olukların oluşabileceği bildirilmiştir. Bu durum, ağız hijyeni yetersiz olan bireylerde plak birikimi açısından risk oluşturabilmektedir (Joseph ve ark., 1992).

Bu nedenle interproksimal redüksiyonun; ağız hijyeni iyi olan, maksillofasiyal profili normal bireylerde, Angle Sınıf I ön bölge çapraşıklıklarında, büyümesi tamamlanmış minör Sınıf II vakalarda ve Bolton uyumsuzluğu bulunan hastalarda uygulanmasının uygun olduğu belirtilmiştir (Stroud ve ark., 1998).

1.2. Kimyasal Stripping

Kimyasal stripping, restoratif diş hekimliğinde özellikle white spot lezyonların (WSL) tedavisi amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikte, çok ince mine tabakalarının kimyasal ajanlar yardımıyla uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Kozmetik amaçlarla beyaz nokta lezyonlarının eliminasyonu için genellikle %18 hidroklorik asit (HCl) kullanımı önerilmektedir.

Ortodontik tedavi sonrasında mine renklenmelerinin giderilmesinde, yaklaşık 100 mikron derinliğe kadar etkili olacak şekilde hidroklorik asit tekniğinin uygulandığı bildirilmiştir. Kimyasal stripping uygulanan bölgelerde, yaklaşık 6 ay sonrasında minenin doğal self-healing mekanizmasının devreye girdiği ve remineralizasyon sürecinin başladığı gözlenmiştir. Bu yöntem, yüzeysel mine tabakalarının kontrollü biçimde uzaklaştırılmasını içeren ve restoratif diş hekimliğinde kullanılan bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Piacentini ve Sfondrini, 1996).

Bunun yanı sıra, literatürde %37 fosforik asit kullanılarak geliştirilen mekanik–kimyasal stripping protokollerinin, minenin yeniden mineralizasyon potansiyelini destekleyebileceği ileri sürülmüştür (Joseph ve ark., 1992).

1.3. Antropolojik Açıdan ARS

Air-Rotor Stripping (ARS), temel olarak posterior bölgede yer alan molar ve premolar dişlerin kontak yüzeylerindeki nispeten daha kalın mine dokusunun kontrollü biçimde azaltılması esasına dayanmaktadır. Bu bölgelerdeki mine kalınlığının, anterior dişlere kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla olduğu bilinmektedir (Shillingburg ve Grace, 1973).

Antropolojik açıdan değerlendirildiğinde, ARS yaklaşımı insanın evrimsel süreçte sert ve abraziv beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak geliştirdiği fizyolojik diş aşınmalarının klinik bir yansıması olarak kabul edilmektedir. İlkel insanlarda sert besinlerin uzun süre çiğnenmesi, oklüzal ve interproksimal yüzeylerde doğal aşınmalara neden olmuş; bu durum dentoalveolar sistem için adaptif bir kompanzasyon mekanizması oluşturmuştur.

Modern toplumlarda beslenme alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte bu doğal aşınma süreci büyük ölçüde ortadan kalkmış, buna bağlı olarak bazı bireylerde yer darlığı sorunları daha belirgin hâle gelmiştir. ARS, bu fizyolojik sürecin ölçülebilir ve

kontrollü bir klinik uygulaması olarak değerlendirilmektedir (Sheridan, 1985; Sheridan, 1987; Sheridan ve Ledoux 1989; Sheridan, 1997; Chudasama ve Sheridan 2007).

Sheridan, yaklaşık 8 mm'ye kadar olan yer darlıklarının, farklı diş gruplarında yapılacak uygun ARS uygulamaları ile çekimsiz olarak giderilebileceğini belirtmiş; bu sınırın üzerindeki vakalarda çekimin bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

1.4. ARS Fiziyojisi

Direct Bonding System (DBS)'in klinik uygulamalara girmesiyle birlikte, posterior dişlerin interproksimal yüzeyleri bantlarla kapatılmaktan çıkmış; bu yüzeyler erişilebilir ve değerlendirilebilir hâle gelmiştir. Bu gelişme, ARS uygulamalarının klinik olarak yaygınlaşmasına önemli katkı sağlamıştır.

ARS'nin ilk kez 1985 yılında tanımlanmasından sonra yayımlanan çalışmalar ve klinik gözlemler, interproksimal aşındırmaya diş dokularının non-patolojik yanıt verdiğini göstermiştir. Elde edilen veriler, ARS uygulanmış yüzeylerin çürük ve periodontal hastalıklara karşı, dokunulmamış mine yüzeylerine kıyasla daha dayanıklı olabileceğini ortaya koymaktadır (Sheridan, 1985; Sheridan, 1987; Sheridan ve Ledoux 1989; Sheridan, 1997; Chudasama ve Sheridan 2007).

Proksimal stripping uygulamalarına ilişkin patoloji gelişimi yönündeki endişeler uzun yıllardır tartışılrsa da, bu görüşleri destekleyen kesin klinik kanıtlar mevcut değildir. Aksine, ARS'nin fiziyojik temelleri; karioloji, ortodonti, periodontoloji ve antropoloji literatüründe yer alan gözlemlerle desteklenmektedir.

1.5. Periodontal Açıdan ARS

ARS ile oluşturulan yaklaşık 0,5 mm'lik boşluğun kapatılabilirliğine ilişkin tereddütler, ortodontik tedavilerde boşluk kapatma biyolojisi açısından daha geniş bir çerçevede ele alınmalıdır. Ortodontik boşlukların kapatılması sırasında olduğu gibi, ARS sonrası boşluğun kapatılmasında da interdental yumuşak dokular ve alveoler kemik dokusu kontrollü biçimde yeniden düzenlenmekte ve dokular azalan aralığa uyum göstermektedir. Bu bağlamda “çevresel değişimlere fizyolojik adaptasyon” olgusu, periodontal dokuların remodelling kapasitesini açıklayan temel bir biyolojik prensiptir.

Geçmiş dönem periodontal yaklaşımlarda, interradiküler dokuların sıkıştırılmasının periodontal riskleri artırabileceği yönünde varsayımlar ileri sürülmüş olsa da, bu görüşlerin yeterli veri olmaksızın eleştirisiz kabul edilmesi güncel bilgi düzeyiyle uyumlu değildir. ARS'ye bağlı mine redüksiyonu sonrasında interradiküler boşlukların azalmasına paralel olarak alveoler kemikte belirli bir “sıkışma” beklenebilse de, bunun periodontal hastalıkla doğrudan ilişkilendirilebileceğine dair kanıt bulunmadığı bildirilmiştir (Crain ve Sheridan 1990).

Tal, kemik içi ceplerin interproksimal aralıkla doğru orantılı olduğunu belirtmiştir (Tal, 1984). Heins ve Thomas, Tal'ın bulgularını değerlendirdikleri çalışmalarında, ince interradiküler boşlukların “yüksek periodontal risk” oluşturduğunu destekleyecek bulgular elde etmediklerini bildirmişlerdir (Heins ve Thomas, 1988). Heins ve Wieder ise 5–6 ve 6–7 numaralı dişler arasındaki interproksimal boşluklarda kök yüzeylerinin birbirine 0,3 mm'ye kadar yaklaştığı durumlarda kemiğin sağlıklı ve görülebilir olduğunu; kök yüzeylerinin daha da yakınlaştığı olgularda ise kemiğin gözlenemediğini ifade etmişlerdir (Heins ve Wieder, 1986).

Periodontal hastalıkların temel belirleyicileri genellikle yaş ve primer olarak plak kontrolü olup, interdental doku redüksiyonu veya kontak noktası değişiminden ziyade ağız hijyeni ile ilişkilidir. Bununla birlikte, ARS'nin uygun endikasyonla ve disiplinli biçimde uygulanmaması durumunda, aproksimal yüzeylerde plak retansiyonunu artırabilecek çizik ve çentiklerin oluşabileceği; dolayısıyla hijyen açısından risk yaratabileceği vurgulanmaktadır (Crain ve Sheridan, 1990).

1.6. Kariolojik Açıdan ARS

ARS uygulamalarının kariolojik etkileri, literatürde özellikle aproksimal mine yüzeylerinde oluşan çizik ve pürüzlülüklerin plak retansiyonunu artırma potansiyeli üzerinden tartışılmıştır. Radlanski ve ark., ARS sonrası posterior interdental mineyi incelemiş ve stripping ile oluşan çiziklerde diş ipiyle kaldırılamayacak plak akümüülasyonunun artabileceğini belirtmişlerdir. Bu değerlendirme, scanning electron mikroskop (SEM) bulgularına dayanmakta olup, ARS'nin olası çürük etkisine ilişkin bir risk tahmini niteliğindedir; çürüğün kesin olarak geliştiğini göstermemektedir.

Aynı araştırmacılar, takip eden çalışmalarında önceki değerlendirmelerini tersine revize etmiş; SEM analizlerinin suni olarak oluşturulan çiziklerde çürük insidansını göstermediğini bildirmişlerdir. Bu nedenle, özellikle gingival mine abrazyonundan kaçınıldığı durumlarda, interdental strippingin makul bir terapötik teknik olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir (Crain ve Sheridan, 1990).

El-Mangoury ve ark., posterior interproksimal mine redüksiyonunun mineyi çürüğe ilerleyen patolojik değişikliklere maruz bırakmadığını; ancak remineralizasyonla takip edilen sınırlı bir demineralizasyonun belirli ölçüde gerçekleşebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, ARS ile oluşturulan pürüzlü yüzeyin çürük

yatkınlığını artırmadığı ifade edilmiştir (El-Mangoury ve ark., 1991).

Brudevold, düz mine yüzeyi abrazyonunun başlangıçta hızlı bir demineralizasyona yol açtığını, bunu hızlanmış remineralizasyon için nükleasyon alanlarının açılmasının izlediğini bildirmiştir. Dakikalar içinde tükürük tampon sisteminin aşındırılan alanları nötralize ettiği ve yaklaşık bir saat içinde iyileştirici remineralizasyonun başladığı; süreç tamamlandığında remineralize mine yüzeyinin asit ataklarına daha dayanıklı hâle geldiği belirtilmiştir. Mekanik abrazyona bağlı intraoral mineralizasyonun erken dönemde hızla başlaması, demineralizasyona karşı koruyucu bir mekanizma oluşturmakta; (1) dokunulmamış mine yüzeyinin kaybı, (2) remineralizasyon için daha reaktif mine yüzeyinin açığa çıkması ve (3) yüzey porozitesinin artmasına bağlı olarak koruyucu/remineralize edici ajanlarla etkileşim alanlarının çoğalması ile açıklanmaktadır (Brudevold, 1982).

Günümüzde kullanılan ultra fine bitim frezlerinin, ARS sonrası oluşan çizik ve çentik derinliğini 15 mikron düzeyine kadar azaltabildiği bildirilmiştir. Radlanski ve ark., fonksiyonel etkilerin bu pürüzlülüğü daha da azaltabileceğini göstermiştir (Radlanski ve ark., 1988). Bu nedenle, doğru teknikle uygulanmış, uygun bitim işlemleri tamamlanmış ve düzenli florid desteği sağlanmış bir ARS yüzeyinin pürüzsüzlüğünün, dokunulmamış mine yüzeyi özelliklerine önemli ölçüde yaklaşabileceği belirtilmiştir (Crain ve Sheridan 1990).

Şeffaf Plak Tedavilerinde IPR ve ARS

Günümüz ortodonti pratiğinde, şeffaf plak tedavilerinde yer kazanımı amacıyla interproksimal redüksiyon (IPR) ve Air-Rotor Stripping (ARS) uygulamaları yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu tedavi yaklaşımında uygulanacak IPR veya ARS miktarı ile müdahale edilecek interproksimal alanlar, sanal yazılım tabanlı

tedavi planlama sistemleri aracılığıyla tedavi öncesinde ayrıntılı olarak belirlenmektedir.

Dijital tedavi planlaması sayesinde hekim; yer kazanımı sağlanacak bölgeleri, uzaklaştırılacak mine miktarını ve diş hareketlerinin hangi aşamalarda gerçekleştirileceğini aşamalı olarak planlayabilmektedir. Bu süreçte, yazılım ortamında öngörülen ve programlanan diş hareketlerinin klinik olarak öngörülebilir ve kontrollü biçimde elde edilebilmesi için, hasta başında uygulanacak stripping miktarlarının sanal ortamda hesaplanan alan, miktar ve zamanlama ile uyumlu olması büyük önem taşımaktadır. Klinik uygulama ile dijital planlama arasındaki bu uyum, şeffaf plak tedavilerinin başarısı ve tedavi prognozu açısından belirleyici bir faktör olarak kabul edilmektedir (De Felice ve ark., 2020).

Sonuç

Air-Rotor Stripping (ARS) uygulamalarının çürük gelişimi ile ilişkisi literatürde tartışmalı bir konu olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, 8 mm'nin altındaki yer darlıklarının tedavisinde, ekspansiyon veya diş çekimine alternatif olarak değerlendirilmesi gereken etkili ve uygulanabilir bir tedavi yaklaşımı olduğu görülmektedir. ARS, diş çekimi gerekliliğini tamamen ortadan kaldıran bir yöntem değildir; şiddetli yer darlığı vakalarında çekim, hâlen kaçınılmaz ve uygun bir seçenek olabilir. Ancak hafif ve orta düzeydeki yer darlıklarının çözümünde ARS'nin güçlü bir alternatif sunduğu kabul edilmektedir.

ARS uygulamaları, belirli bir klinik disiplin ve ölçülebilirlik gerektirmektedir. Oluşturulacak interproksimal boşluklar mutlaka ölçülmeli; posterior dişlerde her bir aproksimal yüzeyden yapılacak mine redüksiyonu 0,5 mm'yi aşmamalıdır. Elde edilen boşluklar uygun ankraj yöntemleriyle korunmalı; en önemli aşamalardan biri olan bitim işlemi, en ince grenli elmas bitim frezleri (surface smoothing burs) kullanılarak, doğal ve intakt mine fizyolojisine

uygun, mümkün olan en pürüzsüz yüzey elde edilecek Şekilde tamamlanmalıdır. Ayrıca, düzenli flor uygulamaları ile aŐındırılmıŐ mine yüzeylerinin remineralizasyonu desteklenmelidir (Sheridan, 1985; Sheridan, 1987; Sheridan ve Ledoux 1989; Sheridan, 1997; Chudasama ve Sheridan 2007; Gmez-Aguirre ve ark., 2022).

Kaynakça

- Betteridge, M. A. (1981). The effects of interdental stripping on the labial segments evaluated one year out of retention. *British Journal of Orthodontics*, 8(4), 193–197.
- Brudevold, F., Tehrani, A., & Bakhos, Y. (1982). Intraoral mineralization of abraded dental enamel. *Journal of Dental Research*, 61(3), 456–459.
- Chudasama, D., & Sheridan, J. J. (2007). Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *Journal of Clinical Orthodontics*, 41(6), 315.
- Crain, G., & Sheridan, J. J. (1990). Susceptibility to caries and periodontal disease after posterior air-rotor stripping. *Journal of Clinical Orthodontics*, 24(2), 84–85.
- De Felice, M. E., Nucci, L., Fiori, A., Flores-Mir, C., Perillo, L., & Grassia, V. (2020). Accuracy of interproximal enamel reduction during clear aligner treatment. *Progress in Orthodontics*, 21(1), 28.
- El-Mangoury, N. H., Moussa, M. M., Mostafa, Y. A., & Girgis, A. S. (1991). In vivo remineralization after air-rotor stripping. *Journal of Clinical Orthodontics*, 25(2), 75–78.
- Gómez-Aguirre, J. N., Argueta-Figueroa, L., Castro-Gutiérrez, M. E. M., & Torres-Rosas, R. (2022). Effects of interproximal enamel reduction techniques used for orthodontics: A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 25(3), 304–319.
- Graber, L. W., Vanarsdall, R. L., Vig, K. W. L., & Huang, G. J. (2016). *Orthodontics: Current principles and techniques* (1st South Asia ed.). Elsevier Health Sciences.
- Heins, P. J., & Wieder, S. M. (1986). A histologic study of the width and nature of interradicular spaces in human adult premolars and molars. *Journal of Dental Research*, 65(6), 948–951.

- Heins, P. J., Thomas, R. G., & Newton, J. W. (1988). The relationship of interradicular width and alveolar bone loss: A radiometric study of a periodontitis population. *Journal of Periodontology*, 59(2), 73–79.
- Joseph, V. P., Rossouw, P. E., & Basson, N. J. (1992). Orthodontic microabrasive reproximation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 102(4), 351–359.
- Lapenaite, E., & Lopatiene, K. (2014). Interproximal enamel reduction as a part of orthodontic treatment. *Stomatologija*, 16(1), 19–24.
- Piacentini, C., & Sfondrini, G. (1996). A scanning electron microscopy comparison of enamel polishing methods after air-rotor stripping. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 109(1), 57–63.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B. E., & Sarver, D. M. (2018). *Contemporary orthodontics* (6th ed.). Elsevier Health Sciences.
- Radlanski, R. J., Jäger, A., Schwestka, R., & Bertzbach, F. (1988). Plaque accumulations caused by interdental stripping. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 94(5), 416–420.
- Rossouw, P. E., & Tortorella, A. (2003). Enamel reduction procedures in orthodontic treatment. *Journal of the Canadian Dental Association*, 69(6), 378–383.
- Sheridan, J. J. (1985). Air-rotor stripping. *Journal of Clinical Orthodontics*, 19(1), 43–59.
- Sheridan, J. J. (1987). Air-rotor stripping update. *Journal of Clinical Orthodontics*, 21, 781–788.
- Sheridan, J. J., & Ledoux, P. M. (1989). Air-rotor stripping and proximal sealants: An SEM evaluation. *Journal of Clinical Orthodontics*, 23(12), 790–794.
- Sheridan, J. J. (1997). The physiologic rationale for air-rotor stripping. *Journal of Clinical Orthodontics*, 31, 609–612.

- Shillingburg, H. T., Jr., & Grace, C. S. (1973). Thickness of enamel and dentin. *Journal of the Southern California Dental Association*, 41(1), 33–36.
- Stroud, J. L., English, J., & Buschang, P. H. (1998). Enamel thickness of the posterior dentition: Its implications for nonextraction treatment. *The Angle Orthodontist*, 68(2), 141–146.
- Tal, H. (1984). Relationship between the interproximal distance of roots and the prevalence of intrabony pockets. *Journal of Periodontology*, 55(10), 604–607.
- Vaden, J. L. (1996). The Tweed-Merrifield philosophy. *Seminars in Orthodontics*, 2(4), 237–240.

BÖLÜM 5

ORTODONTİDE SİTOTOKSİSİTE: MATERYAL KAYNAKLI HÜCRESEL YANITLAR VE KLİNİK YANSIMALARI

Abdullah ARSLAN¹

Giriş

Ortodontik tedavilerde kullanılan materyaller, uzun süre ağız boşluğu içerisinde kalmakta ve tükürük, mekanik kuvvetler, mikrobiyal aktivite ile sıcaklık değişimleri gibi çok sayıda çevresel faktöre maruz kalmaktadır. Bu dinamik ortam, materyallerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişimlere yol açabilmekte; özellikle metal iyon salınımı, monomer sızıntısı ve yüzey degradasyonu gibi süreçler biyolojik dokularla etkileşime girmektedir (Eliades, 2007; Wataha, 2012). Bu etkileşimlerin hücresel düzeyde oluşturduğu yanıtların değerlendirilmesi, biyouyumluluk kavramının temelini oluşturmaktadır (Williams, 2008).

¹Öğr. Gör. Dr., İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, ORCID ID: 0009-0001-2133-3686

Sitotoksisite, bir materyalin hücre canlılığı, proliferasyonu ve metabolik aktivitesi üzerindeki olumsuz etkilerini ifade eden önemli bir biyolojik parametredir. Diş hekimliği materyallerinde sitotoksik potansiyel; materyalin kimyasal bileşimi, yüzey özellikleri, korozyon direnci ve salınan bileşenlerin biyolojik aktivitesi ile doğrudan ilişkilidir (Schmalz, 1994; Wataha, 2000). Ortodontide yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik, nikel-titanyum alaşımlar, kobalt-krom bazlı braketler, rezin bazlı adezivler ve elastomerik materyaller farklı düzeylerde biyolojik yanıt oluşturabilmektedir (Eliades ve Athanasiou, 2002; Kusy, 2000).

Biyouyumluluk yalnızca akut hücre ölümü ile sınırlı değildir. Subletal düzeydeki sitotoksik etkiler; oksidatif stres artışı, inflamatuvar mediyatör salınımı, DNA hasarı ve apoptotik yolların aktivasyonu gibi daha karmaşık biyolojik süreçleri tetikleyebilmektedir (Huang ve ark., 2003; Schweikl ve ark., 2006). Bu nedenle ortodontik materyallerin değerlendirilmesinde klinik gözlemlerin yanı sıra hücre kültürü modelleri, moleküler analizler ve uluslararası standartlara dayalı test yöntemleri de kullanılmaktadır (ISO, 2009; Schmalz, 1994).

Ortodontik tedavilerin uzun süreli olması, özellikle ergen ve genç erişkin popülasyonda uygulanması ve bazı materyallerin sistemik dolaşıma geçebilecek iyon veya monomer salınımına neden olabilmesi, sitotoksisite konusunun klinik önemini artırmaktadır (Park ve Shearer, 1983; Wataha, 2012). Bununla birlikte literatürde bildirilen sonuçlar heterojen olup; hücre tipleri, test yöntemleri ve deneysel koşullar açısından önemli farklılıklar içermektedir. Bu durum bulguların klinik pratiğe doğrudan aktarılmasını güçleştirmektedir (Schmalz, 1994; Wataha, 2000).

Bu bölümün amacı; ortodontik materyallerde sitotoksisiteye ilişkin temel biyolojik mekanizmaları açıklamak, farklı materyal

gruplarının hücrel etkilerini literatür ışığında değerlendirmek ve bu bulguların klinik yansımalarını eleştirel bir bakış açısıyla tartışmaktır.

Sitotoksitenin Tanımı ve Hücrel Mekanizmaları

Sitotoksitate, hücre canlılığının azalması veya hücrel fonksiyonların bozulması ile karakterize edilen kompleks bir biyolojik yanıt sürecidir. Ortodontik materyallerden salınan metal iyonları, monomerler veya degradasyon ürünleri; hücre membranı, mitokondriyal fonksiyonlar ve genetik materyal üzerinde doğrudan ya da dolaylı etkiler oluşturabilmektedir (Schmalz, 1994). Bu etkiler çoğunlukla oksidatif stres, inflamatuvar yanıt ve programlanmış hücre ölümü mekanizmaları üzerinden gerçekleşmektedir.

Hücre Membranı Hasarı ve Metabolik Bozulma

Metal iyonları, özellikle nikel (Ni) ve krom (Cr), hücre membranındaki protein yapılarla etkileşime girerek geçirgenlik değişikliklerine neden olabilmektedir. Bu durum iyon dengesi bozukluğu ve hücre içi enzim sistemlerinin inhibisyonu ile sonuçlanabilir. Hücrel metabolizmanın değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan MTT testi, mitokondriyal dehidrogenaz aktivitesine dayanmaktadır ve materyal kaynaklı metabolik baskılanmayı ortaya koymaktadır (Mosmann, 1983).

Ortodontik alaşımlardan salınan nikel iyonlarının fibroblast hücrelerinde proliferasyonu azalttığı ve hücre canlılığını doz bağımlı olarak düşürdüğü gösterilmiştir (Eliades ve ark., 2004). Bu tür etkiler genellikle subletal düzeyde olmakla birlikte, uzun süreli maruziyet durumunda klinik anlam kazanabilmektedir.

Oksidatif Stres ve Serbest Radikal Oluşumu

Birçok dental materyalin sitotoksik etkisi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışı ile ilişkilidir. ROS üretimindeki artış; lipid peroksidasyonu, protein denatürasyonu ve DNA hasarı gibi hücresel düzeyde geniş çaplı değişikliklere yol açmaktadır (Huang ve ark., 2003).

Nikel-titanyum alaşımların korozyon sürecinde açığa çıkan iyonların oksidatif stres belirteçlerini artırabildiği bildirilmiştir (Kao ve ark., 2007). Oksidatif stres, hücresel antioksidan savunma mekanizmalarının yetersiz kaldığı durumlarda apoptotik sinyal yollarını aktive edebilmektedir.

Apoptoz ve Nekroz

Sitotoksik ajanlara maruz kalan hücrelerde iki temel ölüm mekanizması gözlenmektedir: nekroz ve apoptoz. Nekroz genellikle yüksek doz maruziyet sonucu ani hücre membranı yıkımı ile karakterizedir. Apoptoz ise kontrollü ve genetik olarak düzenlenen bir süreçtir.

Rezine bazlı adezivlerde bulunan HEMA ve TEGDMA gibi monomerlerin, kaspaz aktivasyonunu artırarak apoptotik hücre ölümünü tetiklediği bildirilmiştir (Schweickl ve ark., 2006). Bu durum özellikle tam polimerize olmamış adeziv sistemlerde klinik açıdan önem taşımaktadır.

Genotoksisite ve DNA Hasarı

Sitotoksisite yalnızca hücre ölümü ile sınırlı değildir; DNA hasarı ve gen ekspresyon değişiklikleri de materyal biyouyumluluğunun önemli göstergelerindedir. Comet testi ve mikronükleus analizi gibi yöntemler, dental materyallerin

genotoksik potansiyelini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Kleinsasser ve ark., 2004).

Bazı alışmalar, ortodontik alaşımlardan salınan iyonların genotoksik etkiler oluşturabileceğini öne sürse de, bu bulguların çoğu in-vitro koşullara dayanmaktadır ve klinik korelasyonları net değildir (Wataha, 2000).

Ortodontik Materyallerde Sitotoksisite

Ortodontik tedavilerde kullanılan materyaller; metal alaşımlar, polimer bazlı adeziv sistemler, elastomerik ürünler ve son yıllarda dijital üretim teknolojileriyle geliştirilen rezin materyaller gibi geniş bir spektruma sahiptir. Bu materyallerin biyolojik etkileri; kimyasal kompozisyon, yüzey özellikleri, korozyon direnci, polimerizasyon derecesi ve oral ortam koşulları ile yakından ilişkilidir (Wataha, 2000).

Braketlerde Sitotoksisite ve Metal İyon Salınımı

Metal braketler genellikle paslanmaz elik veya kobalt-krom alaşımlardan üretilmektedir. Bu alaşımlar nikel (Ni), krom (Cr) ve demir (Fe) gibi elementler içermektedir. Oral ortamda pH değişiklikleri ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda metal iyon salınımı meydana gelebilmektedir (Eliades ve Athanasiou, 2002).

Nikel iyonu özellikle alerjik potansiyeli ve sitotoksik etkileri nedeniyle dikkat çekmektedir. İn-vitro çalışmalarda nikel salınımının fibroblast canlılığını azalttığı ve doz bağımlı hücrel stres yanıtı oluşturduğu bildirilmiştir (Eliades ve ark., 2004). Bununla birlikte, klinik çalışmalarda tükürükte ölçülen iyon konsantrasyonlarının genellikle toksik eşik değerlerin altında kaldığı ifade edilmektedir (Park ve Shearer, 1983). Nikel salınımının

incelendiği bir başka çalışmada, en yüksek nikel salınımının kumlanmış, sterilize edilmiş ve yeniden kullanılan braketlerde gözlendiği, en az salınımın ise nikel içermeyen braketlerden olduğu ve nikel alerjisi bulunan hastalar için ideal olduğu belirtilmiştir (Hwang ve ark., 2001).

Seramik braketler metal iyon salınımı açısından avantajlı olmakla birlikte, yüzey pürüzlülüğü ve kırılma riskleri gibi farklı biyomekanik sorunlar barındırmaktadır. Sitotoksisite açısından değerlendirildiğinde, çoğu seramik materyalin biyoyumlu olduğu bildirilmiştir; ancak üretim sürecine bağlı olarak değişken sonuçlar gözlenebilmektedir (Hensten-Pettersen ve Jacobsen, 1991). Seramik braketlerle ilgili yapılan çalışmalarda, bu tür braketlerin ağız ortamında kimyasal tepkimeye girmedeği ve monokristalin seramik braketlerin iyi biyoyumluluk gsterdeği belirtilmektedir (Retamoso ve ark., 2012).

Ark Tellerinde Sitotoksisite

Ark telleri; paslanmaz elik, nikel-titanyum (Ni-Ti), beta-titanyum ve kobalt-krom alaşımlardan retilenmektedir. Ni-Ti teller özellikle süperelastik özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır; ancak içerdikleri nikel nedeniyle biyoyumluluk tartişmalarına konu olmaktadır.

Ni-Ti tellerden salınan nikel iyonlarının hücre kültürü çalışmalarında metabolik aktiviteyi azalttığı ve oksidatif stres belirteçlerini artırdığı gösterilmiştir (Kao ve ark., 2007). Bununla birlikte yüzey pasivasyon tabakasının stabilitesi, iyon salınımını önemli ölçüde sınırlamaktadır (Huang ve ark., 2003). Konuyla ilgili diğer çalışmalarda, paslanmaz elik tellerin sitotoksik ve nörotoksik olduğu, Ni-Ti tellerin paslanmaz çeliklerden daha az sitotoksik olmasına ilaveten, en fazla biyoyumluluk gösteren telin Bioforce

Sentalloy olduğu belirtilmektedir. Başka bir çalışmada ise, paslanmaz elik tellerin sitotoksitesinin en düşük, nikel-titanyum tellerin ise en yüksek olduğu bulunmuştur (Bishara ve ark., 1993).

Beta-titanyum tellerin nikel içermemesi biyoyumluluk açısından avantaj sağlamaktadır. Çeşitli çalışmalarda titanyum bazlı alaşımların daha düşük sitotoksik potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir (Wataha, 2000).

Adeziv Sistemler ve Monomer Salınımı

Ortodontik adezivler genellikle Bis-GMA, UDMA, HEMA ve TEGDMA gibi metakrilat bazlı monomerler içermektedir ve serbest radikal mekanizması ile polimerize olmaktadır. Bu süreçte adezivin organik monomerleri polimer ađ yapısına dönüşmektedir. Tamamen polimerize rezinlerin zararlı biyolojik etkilerinin olmadığı belirtilmekle birlikte, ortodontik bonding rezinlerin polimerizasyonunun tamamen gerçekleşmesinin mümkün olmadığı da rapor edilmiştir (Chung, 1990; Gül ve Akgül, 2013). Polimerizasyon derecesi yetersiz olduğunda artık monomer salınımı meydana gelebilmektedir. Bu monomerler hücre membranına difüze olarak sitotoksik etki oluşturabilmektedir (Schweickl ve ark., 2006).

HEMA ve TEGDMA'nın hücre içi glutasyon düzeylerini azaltarak oksidatif stres oluşturduğu ve apoptotik yolları aktive ettiği gösterilmiştir (Volk ve ark., 2006). Ayrıca bazı rezin monomerlerinin genotoksik potansiyel taşıdığı bildirilmiştir (Kleinsasser ve ark., 2004). Bu nedenle adeziv uygulamalarında yeterli ışıkla polimerizasyon, materyal kalınlığının kontrolü ve üretici talimatlarına uygunluk biyoyumluluk açısından kritik öneme sahiptir.

Kimyasal ve ışıkla sertleşen adezivler, Dual-cure sistemlere göre daha az biyouyumlu bulunmuştur (Jagdish ve ark., 2009). BPA salınımının tam temaslı ışıklamada bile görülebileceği; bu uzaklık arttıkça polimerizasyon derecesinin düştüğü ve BPA salınımında artış olduğu bildirilmiştir (Sunitha ve ark., 2011).

Elastomerik Materyaller

Elastomerik zincirler ve ligatürler poliüretan bazlı materyallerden üretilmektedir. Bu materyaller zamanla hidrolitik degradasyona uğrayabilmekte ve katkı maddeleri salılabilmektedir. İn-vitro çalışmalarda bazı elastomerik ürünlerin hafif düzeyde sitotoksik etki gösterdiği bildirilmiştir; ancak bu etkilerin genellikle kısa süreli olduğu ifade edilmektedir (Bishara ve ark., 1999).

Mini Vidalar ve Geçici Ankraj Sistemleri

Titanyum esaslı mini vidalar genellikle yüksek biyouyumluluk göstermektedir. Titanyumun yüzeyinde oluşan oksit tabakası iyon salınımını minimize etmektedir. Bununla birlikte yüzey işlemleri ve üretim teknikleri sitotoksik yanıtı etkileyebilmektedir (Eliades ve ark., 2009). Biyouyumlu olmalarına rağmen, yorgunluk dayanımı düşük olmaları, yerleştirme ve çıkarma işlemlerinde başarısız olmaları, titanyum esaslı mini vidaları dezavantajlı durumda kılmaktadır. Bu sınırlılıkların azaltılması amacıyla titanyum-alüminyum-vanadyum alaşımlarının kullanımı önerilmiştir; ancak vücut sıvılarındaki korozyon eğilimi sebebiyle, alüminyum ve vanadyum iyonları potansiyel toksik olarak belirtilmiştir. Bu iyonların kutanöz alerjik reaksiyonlara ve hipersensitivite ile karsinogenezis gibi yan etkilere sebep olabileceği bildirilmiştir (Doruk ve ark., 2008; Malkoç ve ark., 2012).

Titanyum alaşımlı ortodontik mini vidalardaki vanadyum salınımının, yiyecek ve içecek yoluyla günlük alımdan çok daha az olduğu belirtilmiştir (Morais ve ark., 2007). Konuyla ilgili diğer literatürlerde de, mini vidalardan vanadyum salınımının düşük düzeyde olduğu ve en yüksek seviyede bile toksik seviyeye ulaşmadığı, kısıtlı kullanım süresinden dolayı endişe verici bir durum olmadığı belirtilmektedir (Sernetz, 1995).

Şeffaf Plak ve 3D Baskı Materyalleri

Son yıllarda şeffaf plak sistemleri ve 3D baskı teknolojileri yaygınlaşmıştır. Bu materyaller genellikle poliüretan veya metakrilat bazlı rezinlerden üretilmektedir. Yeni nesil fotopolimer rezinlerin tam polimerizasyon derecesi ve artık monomer salınımı biyouyumluluk açısından araştırılmaktadır.

Bazı in-vitro çalışmalar, 3D baskı rezinlerinin hücre canlılığında azalmaya neden olabileceğini bildirmiştir; ancak klinik maruziyet süresi ve tükürük dilüsyon etkisi göz önüne alındığında bu sonuçların klinik bağlamda dikkatle yorumlanması gerekmektedir (Alharbi ve ark., 2016).

Bazı şeffaf plak çalışmalarında plak materyallerinde hafif sitotoksikite gösteren plaklar olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, çalışmada kullanılan cihazların kümülatif etkisi göz ardı edilmemelidir. Güvenilir kabul edilseler bile, dikkatli olunması gerekebilir (Özkan ve ark., 2022).

Retainer Tellerinin Sitotoksitesisi

Sabit retainer telleri genellikle çok telli paslanmaz çelik, nikel-titanyum veya fiberle güçlendirilmiş kompozit materyallerden üretilmektedir. Bu teller uzun süreli, hatta yıllarca oral ortamda

kalabildiği için biyoyumluluk değerlendirmesi ortodontik aktif tedavi materyallerine kıyasla daha da önem kazanmaktadır.

Paslanmaz çelik retainer tellerinden salınan nikel ve krom iyonlarının miktarı genellikle düşük olmakla birlikte, uzun dönem maruziyet açısından kümülatif etki olasılığı tartışılmaktadır (Eliades ve Athanasiou, 2002). İn-vitro hücre kültürü çalışmalarında, retainer tellerinden elde edilen ekstraktların fibroblast canlılığında hafif düzeyde azalma oluşturabildiği bildirilmiştir; ancak bu etkinin çoğunlukla toksik eşik değerlerin altında kaldığı ifade edilmektedir (Wataha, 2000).

Fiberle güçlendirilmiş kompozit retainer sistemlerinde ise asıl biyolojik risk, metal iyon salınımından ziyade rezin matriksten salınabilecek artık monomerler ile ilişkilidir. Yetersiz polimerizasyon veya zamanla meydana gelen hidrolitik degradasyon, sitotoksik bileşenlerin salınımına yol açabilmektedir (Schweickl ve ark., 2006). Bu nedenle retainer sistemlerinde yalnızca tel materyali değil, adeziv sistem ve kompozit matriks de biyolojik değerlendirme kapsamında ele alınmalıdır.

Ortodontik Mumların Sitotoksitesisi

Ortodontik mumlar, braket ve tel irritasyonuna karşı hastalara geçici konfor sağlamak amacıyla kullanılan yardımcı materyallerdir. Genellikle parafin, mikrokristalin mum ve çeşitli katkı maddelerinden oluşmaktadırlar. Klinik kullanım süreleri kısa olmakla birlikte, doğrudan mukozal temas etmeleri nedeniyle biyoyumluluk açısından değerlendirilmelidirler.

Literatürde ortodontik mumların sitotoksitesine ilişkin çalışma sayısı sınırlıdır. Mevcut in-vitro veriler, çoğu ticari ürünün düşük sitotoksik potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, üretim sürecinde kullanılan katkı maddeleri ve renklendiricilerin biyolojik etkileri ürünler arasında farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle özellikle pediatrik hastalarda kullanılan ürünlerde biyoyoumluluk testlerinin standartlaştırılması önerilmektedir.

Ortodontik mumların uzun süreli sistemik etkilerine dair kanıt bulunmamakla birlikte, doğrudan epitel yüzeyle temas etmeleri lokal irritasyon ve inflamatuvar yanıt açısından teorik bir risk oluşturmaktadır. Ancak mevcut kanıtlar bu riskin minimal düzeyde olduğunu göstermektedir.

Hareketli Apareylerin Sitotoksitesi

Hareketli ortodontik apareyler genellikle akrilik rezin bazlı plaklardan ve metal kroşelerden oluşmaktadır. Polimetil metakrilat (PMMA) esaslı akrilik materyaller, polimerizasyon sonrası artık monomer içerebilmektedir. Metil metakrilat (MMA) monomerinin hücre canlılığı üzerinde sitotoksik etki oluşturabileceği gösterilmiştir (Hensten-Pettersen ve Jacobsen, 1991).

Artık monomer salınımı özellikle yetersiz polimerizasyon, kalın materyal bölgeleri ve erken kullanım durumlarında artabilmektedir. Çeşitli çalışmalar, ısı ile polimerize edilen akriliklerin, otopolimerizan rezinlere kıyasla daha düşük monomer salınımı gösterdiğini bildirmiştir. Bu durum biyoyoumluluk açısından klinik önem taşımaktadır.

Hareketli apareylerde bulunan metal kroşeler ise paslanmaz çelik içerikli olup, benzer şekilde iyon salınımı potansiyeline sahiptir. Ancak oral ortamda tükürüğün tamponlayıcı etkisi ve yüzey pasivasyonu nedeniyle klinik olarak anlamlı toksik düzeylere nadiren ulaşıldığı bildirilmektedir.

Son yıllarda 3D baskı teknolojisi ile üretilen hareketli aparey kaideleri de gündeme gelmiştir. Bu materyallerin fotopolimer rezin içerikleri nedeniyle biyouyumlulukları üzerine araştırmalar devam etmektedir ve uzun dönem klinik veriler henüz sınırlıdır.

Klinik Önemi ve Risk Değerlendirmesi

Ortodontik materyallerde sitotoksisiteye ilişkin in-vitro veriler geniş olmakla birlikte, bu bulguların klinik pratiğe nasıl yansıdığı sorusu tartişmalıdır. Oral ortam; tükürüğün tamponlayıcı etkisi, sürekli dilüsyon, mekanik temizlenme ve epitel bariyer fonksiyonu gibi faktörler nedeniyle laboratuvar koşullarından önemli ölçüde farklıdır. Bu nedenle in-vitro ortamda gözlenen sitotoksik etkilerin klinik olarak aynı şiddette ortaya çıkması beklenmemektedir (Wataha, 2000).

Lokal Doku Yanıtı

Ortodontik materyallerle ilişkili en sık bildirilen biyolojik reaksiyonlar lokal inflamasyon ve kontakt mukozal irritasyondur. Özellikle nikel içeren alaşımlar, duyarlı bireylerde tip IV hipersensitivite reaksiyonuna yol açabilmektedir. Nikel alerjisi genel popülasyonda belirli bir prevalansa sahip olup, kadın bireylerde daha sık görölmektedir (Eliades ve Athanasiou, 2002).

Bununla birlikte ortodontik tedavi sırasında ölçölen tükürük nikel düzeylerinin genellikle günlük diyetle alınan miktarların altında olduğu bildirilmektedir (Park ve Shearer, 1983). Bu bulgu, ortodontik materyal kaynaklı iyon salınımının çoğu hastada klinik olarak tolere edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Adeziv sistemlerden salınan monomerlerin ise gingival fibroblastlarda inflamatuvar mediyatör üretimini artırabileceği gösterilmiştir (Schweikl ve ark., 2006). Ancak klinik koşullarda yeterli

polimerizasyon sağlandığında bu riskin önemli ölçüde azaldığı kabul edilmektedir.

Sistemik Maruziyet ve Biyolojik Sınırlar

Metal iyonlarının sistemik dolaşıma geçişi teorik olarak mümkün olmakla birlikte, ortodontik materyallerden salınan miktarların genellikle toksikolojik eşik değerlerin altında olduğu bildirilmiştir (Huang ve ark., 2003). Bununla birlikte uzun süreli, düşük doz maruziyetin kümülatif etkilerine ilişkin veriler sınırlıdır.

Çocuk ve ergen hastaların ortodontik tedavi popülasyonunun önemli bir kısmını oluşturması, gelişimsel biyoloji açısından ayrı bir hassasiyet alanı yaratmaktadır. Ancak mevcut literatürde pediatrik popülasyonda klinik olarak anlamlı sistemik toksisite bildirilmemiştir.

Klinik Karar Verme Açısından Değerlendirme

Sitotoksosite verilerinin klinik uygulamaya yansımaları, materyal seçiminde risk–yarar dengesinin gözetilmesini gerektirir. Örneğin, nikel hassasiyeti öyküsü bulunan hastalarda beta-titanyum tellerin tercih edilmesi biyoyumluluk açısından daha güvenli bir yaklaşım olabilir. Benzer şekilde, hareketli apareylerde ısı ile polimerize edilen akriliklerin tercih edilmesi artık monomer maruziyetini azaltabilir.

Ancak mevcut bilimsel kanıtlar, ortodontik materyallerin büyük çoğunluğunun uygun kullanım koşullarında biyoyumlu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sitotoksosite bulgularının klinik pratiğe aktarımında abartılı genellemelerden kaçınılmalı, metodolojik sınırlılıklar dikkate alınmalıdır.

Sonuç

Ortodontik materyallerin biyoyumluluğuna yönelik araştırmalar, klasik hücre canlılığı testlerinin ötesine geçerek moleküler ve genetik düzeyde analizlere yönelmektedir. Özellikle nanoteknolojik yüzey modifikasyonları, iyon salınımını azaltmaya yönelik kaplama teknikleri ve biyoinert alaşımlar üzerine çalışmalar giderek artmaktadır.

Bununla birlikte, 3D baskı teknolojilerinin yaygınlaşması, yeni nesil fotopolimer rezinlerin biyolojik etkilerinin sistematik olarak değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Gelecekte, dinamik oral ortamı taklit eden üç boyutlu hücre kültürü modelleri ve mikroakışkan sistemlerin, daha gerçeğçi biyoyumluluk verileri sağlayacağı öngörülmektedir.

Klinik açıdan değerlendirildiğinde, mevcut kanıtlar ortodontik materyallerin uygun kullanım koşullarında genel olarak biyoyumlu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte materyal seçimi yapılırken hasta bazlı risk faktörlerinin (alerji öyküsü, maruziyet süresi, materyal tipi) dikkate alınması önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, sitotoksisite verilerinin klinik karar verme sürecine dengeli ve eleştirel bir bakış açısıyla entegre edilmesi gerekmektedir.

Kaynakça

- Alharbi, N., Osman, R., & Wismeijer, D. (2016). Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage dental restorations. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(6), 760–767. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.002>
- Bishara, S. E., Barrett, R. D., & Selim, M. I. (1993). Biodegradation of orthodontic appliances part II: Changes in the blood level of nickel. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 103(2), 115–119.
- Bishara, S. E., Barrett, R. D., & Selim, M. I. (1999). Biodegradation of orthodontic elastomeric chains. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 115(4), 431–436.
- Chung, K. H. (1990). The relationship between composition and properties of posterior resin composites. *Journal of Dental Research*, 69, 852–856.
- Doruk, C., Ozturk, F., Ozdemir, H., & Nalcaci, R. (2008). Oral and nasal malodor in patients with and without cleft lip and palate who had undergone orthodontic therapy. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 45, 481–484.
- Eliades, T. (2007). Orthodontic materials research and applications: Part 2. Current status and projected future developments in materials and biocompatibility. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 131(2), 253–262.
- Eliades, T., & Athanasiou, A. E. (2002). In vivo aging of orthodontic alloys: Implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. *Angle Orthodontist*, 72(3), 222–237.

- Eliades, T., Pratsinis, H., Kletsas, D., Eliades, G., & Makou, M. (2009). Characterization and cytotoxicity of ion release from stainless steel and nickel–titanium orthodontic alloys. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(1), 59–67.
- Eliades, T., Zinelis, S., Papadopoulos, M. A., & Athanasiou, A. E. (2004). Nickel content of as-received, retrieved, and recycled stainless steel brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 125(2), 217–223.
- Gül, P., & Akgül, N. (2013). Kompozit materyallerin biyouyumluluğu hakkında literatür derlemesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 7, 78–86.
- Hensten-Pettersen, A., & Jacobsen, N. (1991). Toxic effects of dental materials. *International Dental Journal*, 41(4), 265–273.
- Huang, H. H., Chiu, Y. H., Lee, T. H., Wu, S. C., Yang, H. W., Su, K. H., & Hsu, C. C. (2003). Ion release from NiTi orthodontic wires in artificial saliva with various acidities. *Biomaterials*, 24(20), 3585–3592. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(03\)00227-3](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(03)00227-3)
- Hwang, C., Shin, J., & Cha, J. (2001). Metal release from simulated fixed orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 120, 383–391.
- International Organization for Standardization. (2009). ISO 10993-5: Biological evaluation of medical devices—Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity. ISO.
- Jagdish, N., Padmanabhan, S., & Chitharanjan, A. B. (2009). Cytotoxicity and degree of conversion of orthodontic adhesives. *Angle Orthodontist*, 79, 1133–1138.
- Kao, C. T., Ding, S. J., He, H., Chou, M. Y., & Huang, T. H. (2007). Cytotoxicity of orthodontic wire alloys on primary human oral fibroblasts. *European Journal of Orthodontics*, 29(2), 199–203.

- Kleinsasser, N. H., Wallner, B. C., Harreus, U. A., Kleinjung, T., Folwaczny, M., Hickel, R., & Kehe, K. (2004). Genotoxicity and cytotoxicity of dental materials in human lymphocytes assessed by the comet assay. *Journal of Dentistry*, 32(3), 229–234.
- Kusy, R. P. (2000). Orthodontic biomaterials: From the past to the present. *Angle Orthodontist*, 70(6), 501–512.
- Malkoç, S., Öztürk, F., Çörekçi, B., et al. (2012). Real-time cell analysis of the cytotoxicity of orthodontic mini-implants on human gingival fibroblasts and mouse osteoblasts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 141, 419–426.
- Morais, L. S., Serra, G. G., Müller, C. A., Andrade, L. R., Palermo, E. F., & Elias, C. N. (2007). Titanium alloy mini-implants for orthodontic anchorage: Immediate loading and metal ion release. *Acta Biomaterialia*, 3, 331–339.
- Mosmann, T. (1983). Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of Immunological Methods*, 65(1–2), 55–63. [https://doi.org/10.1016/0022-1759\(83\)90303-4](https://doi.org/10.1016/0022-1759(83)90303-4)
- Özkan, E. C., Gök, G. D., Ordueri, N. E., & Elgün, T. (2022). Cytotoxicity evaluation of different clear aligner materials using MTT analysis. *Australasian Orthodontic Journal*, 38, 348–354.
- Park, H. Y., & Shearer, T. R. (1983). In vitro release of nickel and chromium from simulated orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics*, 84(2), 156–159.
- Retamoso, L. B., Luz, T. B., & Marinovic, D. R. (2012). Cytotoxicity of esthetic, metallic, and nickel-free orthodontic brackets: Cellular behavior and viability. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142, 70–74.

- Schmalz, G. (1994). Use of cell cultures for toxicity testing of dental materials—Advantages and limitations. *Journal of Dentistry*, 22(Suppl. 2), S6–S11.
- Schweikl, H., Spagnuolo, G., & Schmalz, G. (2006). Genetic and cellular toxicology of dental resin monomers. *Journal of Dental Research*, 85(10), 870–877. <https://doi.org/10.1177/154405910608501001>
- Sernetz, F. (1995). Titanium and titanium alloys in orthodontics. *Quintessence International*, 26, 615–626.
- Sunitha, C., Kailasam, V., & Padmanabhan, S. (2011). Bisphenol A release from an orthodontic adhesive and its correlation with the degree of conversion on varying light-curing tip distances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140, 239–244.
- Volk, J., Engelmann, J., Leyhausen, G., & Geurtsen, W. (2006). Cytotoxicity of resin monomers on human gingival fibroblasts. *Dental Materials*, 22(9), 861–868.
- Wataha, J. C. (2000). Biocompatibility of dental casting alloys: A review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 83(2), 223–234.
- Wataha, J. C. (2012). Predicting clinical biological responses to dental materials. *Dental Materials*, 28(1), 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.08.596>
- Williams, D. F. (2008). On the mechanisms of biocompatibility. *Biomaterials*, 29(20), 2941–2953. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.04.023>

BÖLÜM 6

BİFOSFONAT KULLANIMI OLAN HASTALARDA ORTODONTİK TEDAVİ YAKLAŞIMLARI

Elshan Mammadov¹
Taner Öztürk²

Giriş

Bifosfonat (BF) kullanan bireylerde uygulanan ortodontik tedaviler ilaç tedavisinin kemik remodelasyonu üzerindeki baskılayıcı etkileri nedeniyle dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur. Günümüzde bifosfonat kullanımının yaygın hale gelmesi ve her gruptan bireylerin ortodontik tedavi taleplerinin artması, standart tedavi yaklaşımlarının başlangıçta tekrar değerlendirilmesini zorunlu hale getirmiştir.

Ortodontide Bifosfonat Kullanımının Yarattığı Klinik Sorunlar

Ortodontik diş hareketi kemik metabolizmasındaki apozisyon ve rezorpsiyon olaylarının birbiri ile organize şekilde meydana gelmesi sonucu meydana gelmektedir. Bifosfonatların sistemik veya lokal olarak osteoklast hücrelerinin aktivitesini

¹Arş. Gör., Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti AD., Orcid: 0009-0001-6290-7308

²Doç., Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti AD., Orcid: 0000-0003-1670-286X

baskılayarak kemik rezorpsiyonunu azaltması bu hareketin temel biyolojik mekanizmasını doğrudan etkilemektedir. Çalışmalar, bifosfonat kullanan bireylerde ortodontik diş hareketi miktarlarında belirli bir azalma olduğunu, tedavi sürelerinin uzadığını, mekanik kuvvetlere verilen yanıtın öngörülemediğini bildirmektedir (Krishnan ve ark., 2015). Klinik olarak en fazla raporlanan problemlerden bir tanesi özellikle diş çekimi uygulanan durumlarda boşlukların kapatılmasının ve buna bağlı olarak kök paralelliğinin sağlanmasının güçleşmesidir. Bu alanda yapılan çalışmalarda bifosfonat tedavisi alan bireylerde diş hareketlerinin daha dengesiz bir şekilde meydana geldiği, bazı dişlerde hemen hiç hareket olmadığı bilindiğinden tedavi planlamasında bazı zorluklar ortaya çıkarması söz konusu olabilmektedir (Krieger ve ark., 2013a).

Bifosfonat kullanımı sebebiyle ortaya çıkan klinik problemlerden biri de çene kemiklerinde ilaç ilişkili osteonekroz (MRONJ) riskidir. Ortodontik tedavi tek başına yüksek riskli bir uygulama olarak değerlendirilmese de tedaviler esnasında ortaya çıkan mikrotravmaların ve buna eşlik eden dental uygulamaların riski artırma olasılığı bulunmaktadır (Woolley ve ark., 2021). Literatürde yer alan çalışmalarda, bifosfonat kullanımı olan ortodontik hastalarda tedavi sürelerinin uzaması, alveolar kemikte adaptasyon sorunu ve nadiren osteonekrozla ilişkili olumsuz durumların dikkate alınması gerektiği bildirilmiştir (Woolley ve ark., 2021; Zahrowski, 2009). Bunun yanı sıra bifosfonatların kemik dönüşüm hızında düşüşe yol açması, ortodontik tedavinin ardından stabilite üzerinde de etki oluşturmaktadır. Diş hareketlerindeki sınırlılık kısa vadede avantaj olarak değerlendirilmekte ise de ilerleyen süreçte relaps riski yükselebilmektedir. Güncel olarak hastalarda ortodontik tedavinin mutlak kontrendike olmadığı fakat hasta seçiminin dikkatli yapılması, detaylı tıbbi anamnez ile risk ve yarar dengesinin değerlendirilmesi zorunlu olarak değerlendirilmektedir (Tichit ve Gebeile-Chauty, 2022).

Bifosfonatlar: Genel Bakış

Tanım ve sınıflandırma

Bifosfonatlar pirofosfatın oksijen atomunun yerini alan germinal bir karbon üzerine bağlı iki fosfonat grubunu içeren analoglarıdır. Bifosfonatlar kemiğe yüksek düzeyde afinite göstermekte olup özellikle kemik remodelasyonunun olduğu yüzeyleri hedef almaktadır (Ramesh ve ark., 2022). Kimyasal yapıları ve osteoklast aktivitesi üzerindeki etkilerinin gücüne göre bifosfonatlar farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. (Ramesh ve ark., 2022). İlk kuşak bifosfonatlar arasında etidronat, klodronat, tiludronat, medronat bulunmaktadır ve bahsi geçen ajanlar azot içermemeleri sebebiyle en düşük potentliğe sahiptir. Özellikle tiludronatta bulunan klorofenol grubu ve diğer ajanlardaki modifiye yan zincirler osteoklast fonksiyonu üzerindeki inhibitör etkinin sınırlı olmasına yol açmaktadır (Ramesh ve ark., 2022). İkinci kuşak bifosfonatlar pamidronat ve alendronat gibi yan zincirlerinde azot atomuna sahip olan amino-bifosfonatlardır. Azot grubunun mevcut olması bu ajanların osteoklast metabolizmasını daha güçlü biçimde baskılamasını sağlar ve ilk kuşak bifosfonatlara kıyasla 10 ila 100 kat daha fazla düzeyde potentlik gösterir (Ramesh ve ark., 2022). Üçüncü kuşak olarak bilinen bifosfonatlar ise zoledronat ve risedronat gibi heterosiklik halka yapılı azot ajanlarından meydana gelmektedir ve osteoklastların üzerinde inhibitör etkiyi önemli düzeyde artırmaktadır (Ramesh ve ark., 2022).

Kullanım endikasyonları

Klinik alanda en yaygın ortaya çıkan endikasyonlardan biri postmenopozal ve diğer osteoporoz türlerinin tedavisidir, bu bağlamda bifosfonatlar kemik mineral yoğunluğunu artırmakta ve kırık morbiditesini düşürmektedir (Ganesan ve ark., 2025). Kemik metastazları olan malignitelerde iskelet ilişkili olayların (SRE) önlenmesi, multiple myeloma ile ilişkili osteolitik lezyonların

yönetimi ve maligniteye bağlı hiperkalseminin kontrolü onkolojik endikasyonlar arasında öne çıkmaktadır. İntravenöz bifosfonatlardan özellikle zoledronat ve pamidronatın kemik ağrısını azaltma, patolojik kırıkları geciktirme ve SRE'leri minimize etme gibi yararları bilinmektedir (Tanrıkol ve Mağat, 2022).

Kullanım yelpazesi bakımından sınırlı olan bifosfonatlar bazı ülkelerde osteogenezis imperfekta, fibröz displazi ve primer hiperparatiroidizme bağlı kemik yıkımı kontrolünde de endikasyonlara sahiptir (Türk Dişhekimleri Birliği Komisyonu, 2013). Ancak bifosfonat tedavisi ile ilişkili en ciddi komplikasyonlardan biri olan çene kemiği osteonekrozu riski nedeniyle tedavi endikasyonları ve süresi bireysel risk-fayda değerlendirmesi ile belirlenmelidir (Tanrıkol ve Mağat, 2022). Bununla birlikte bifosfonatların kullanımı çene kemiklerinde görülen bazı lokal osteolitik lezyonların tedavisinde de araştırılmıştır. Özellikle santral dev hücreli granüloma (SDHG) gibi benign ancak lokal agresif davranış gösterebilen çene lezyonlarında osteoklast benzeri dev hücrelerin aktivitesini baskılayıcı etkileri nedeniyle bifosfonatlar potansiyel konservatif tedavi seçenekleri arasında değerlendirilmektedir (da Silva ve ark., 2012; Chien ve ark., 2015). Literatürde bifosfonatların intralezyonel kortikosteroid uygulamaları veya diğer antiresorptif tedavilerle birlikte kullanıldığı olgu serileri bildirilmiş ve bazı hastalarda klinik ve radyolojik gerileme sağlandığı rapor edilmiştir (da Silva ve ark., 2012; Chien ve ark., 2015).

Etki mekanizması ve farmakokinetik özellikler

Bifosfonatlar kemik rezorpsiyonunu inhibe ederek etki gösteren ajanlardır (Ramesh ve ark., 2022). Bu ilaçlar aktif kemik remodelasyonunun sürdüğü bölgelerde birikme eğilimindedir. Remodelasyon süreci devam ettiği sürece kemik matriksi içinde kalırlar ancak rezorpsiyon lakünalarının asidik ortamında serbestleşerek osteoklastlarda apoptozu indükler ve kolesterol

sentezinin inhibisyonu ile rezorpsiyon önleyici (antirezorptif) etkileri göstermektedir (Ramesh ve ark., 2022).

Oral yolla uygulanan bifosfonatların gastrointestinal sistemden emilimi oldukça düşüktür ve biyoyararlanımları genellikle %1-6'nın altındadır (Ramesh ve ark., 2022). Özellikle gıda alımı ya da antasitler, kalsiyum ve demir gibi iki değerlikli katyon içeren preparatlarla birlikte kullanımları bu oranı daha da azaltmaktadır. Sistemik dolaşıma geçen bifosfonatlar geniş ölçüde kemik dokusuna dağılır, hepatik klirensi sınırlıdır ve böbrekler yoluyla değişmeden atılır. Kemiğe bağlanan fraksiyon ise remodelasyon süreci boyunca yavaş yavaş salınır ve terminal yarı ömrü yaklaşık on yıl gibi uzun bir süredir (Ramesh ve ark., 2022). Terapötik dozlarda bifosfonatlar osteoklast aracılı kemik rezorpsiyonunu baskımlarken osteoblast diferansiasyonunu ve kemik oluşumunu destekleyici etki gösterebilir. Yüksek dozlarda ise hem osteoklastlar hem de osteoblastlar üzerinde sitotoksik etki oluşturdukları bildirilmiştir (Kıvrak ve ark., 2017). Bu durum hücrel fonksiyonların bozulmasına, kemik yenilenme sürecinin aksamasına ve remodelasyonun belirgin şekilde azalmasına neden olabilir. Ek olarak avasküler nekroz riskinde artış görülebilmektedir (Kıvrak ve ark., 2017). Bifosfonatlar kemik dokusuna yüksek afinite ile bağlanmaları ve osteoklast aktivitesini baskılamaları sayesinde kemik rezorpsiyonunu etkin şekilde azaltırlar. Bununla birlikte kemik remodelasyonunun uzun süreli olarak baskılanması bazı durumlarda istenmeyen sonuçlara yol açabilmektedir. Özellikle kemik döngüsünün belirgin şekilde azalması, oluşan mikrohasarların yeterince onarılamamasına ve kemik dokusunun yenilenme kapasitesinin sınırlandırılmasına neden olabilir. Bu durum nadir de olsa avasküler nekroz gelişimi ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle çene kemiklerinde görülen bu tablo, antiresorptif etkinin yanı sıra bifosfonatların olası anti-anjiyojenik etkileri ve lokal kanlanmanın azalması ile açıklanmaktadır (Ruggiero ve ark., 2014).

Bifosfonatların Kemik Metabolizması ve Ortodontik Diş Hareketi Üzerine Etkileri

Normal ortodontik diş hareketinin biyolojisi

Ortodontik diş hareketi temel olarak kemik remodeling döngüsüne dayanır. Ortodontik kuvvet uygulandığında periodontal ligament içerisinde alveolar kemiğin basınç alanlarında osteoklast aracılı kemik rezorpsiyonu, gerilim alanlarında ise osteoblastik kemik formasyonu meydana gelir. Sürecin etkin biçimde ilerleyebilmesi için normal kemik döngüsünün bu şekilde devam edebilmesi ve özellikle osteoklast fonksiyonunun baskılanmamış olması gereklidir (Krishnan ve ark., 2015).

Bifosfonatların osteoklast aktivitesi ve remodelling üzerine etkisi

Bifosfonatlar, hidroksiapatit kristallerine yüksek afinite göstererek aktif kemik remodeling bölgelerinde birikme eğilimindedir. Sistemik incelemeler, bifosfonat uygulamasının osteoklast sayısını ve aktivitesini azaltarak alveoler kemikte rezorpsiyon alanlarını sınırladığını göstermektedir. Osteoklast aktivitesindeki ve apoptozlarına bağlı yaşam döngülerindeki azalma kemik remodeling döngüsünün yavaşlamasına ve genel olarak kemik rezorpsiyonunun düşmesine yol açmaktadır. Söz konusu etki hem lokal hem de sistemik bifosfonat uygulamalarında benzer şekilde saptanmıştır (Rahme ve ark., 2025).

Ortodontik Diş Hareketinin Hızı ve Miktarındaki Değişiklikler

Bifosfonatların osteoklast aktivitesini inhibe etmesi diş hareketini doğrudan etkilemektedir. Sistemik incelemeler de bunu desteklemektedir (Lessa ve ark., 2024; Rahme ve ark., 2025). Özellikle hayvan modellerinde sistemik ya da lokal bifosfonat uygulaması sonrasında mesiodistal diş hareketinin belirgin ölçüde azaldığı bildirilmiştir (Sarango-Quishpe ve ark., 2025). Risedronat gibi bifosfonatlarla yürütülen çalışmalarda da osteoklast sayısındaki

azalma ve rezorpsiyon alanının sınırlanması ile paralel şekilde diş hareket hızında düşüş gözlenmiştir (Miranda ve ark., 2024). Genel olarak mevcut bulgular bifosfonat kullanımının ortodontik diş hareketinin hem hızını hem de toplam miktarını azaltabildiğini ve buna bağlı olarak tedavi süresini uzatabileceğini düşündürmektedir (Lotwala ve ark., 2012; Ghoneima ve ark., 2010).

İlaç İlişkili Çene Osteonekrozu (MRONJ)

Tanım ve tanı kriterleri

İlaç İlişkili Çene Osteonekrozu (MRONJ), antirezorptif ve/veya antianjiyojenik ilaç kullanımı ile ilişkili olarak ortaya çıkan ve çene kemiklerinde iyileşmeyen nekrotik alanlarla karakterize edilen bir klinik durumdur (Aldhalaan ve ark., 2020). Amerikan Ağız ve Maksillofasiyal Cerrahisi Derneği (AAOMS) tarafından yapılan güncel tanıma göre, MRONJ hastalarda maksilla veya mandibulada en az sekiz haftadır iyileşmeyen ekspoze kemik veya kemik ekspozyonu ile ilişkili fistül varlığı ile tanımlanır (Ruggiero ve ark., 2014). Bu tanı için hastanın çene bölgesine yönelik radyoterapi öyküsünün olmaması ve çene kemiklerini tutan primer veya metastatik bir malignitenin bulunmaması gerekmektedir (Aldhalaan ve ark., 2020). MRONJ tanısı için literatürde genel kabul görmüş üç temel kriter vardır: hastanın antirezorptif ve/veya antianjiyojenik ilaç kullanım öyküsü bulunması, çene kemiklerinde sekiz haftadan uzun süredir devam eden ekspoze nekrotik kemik veya prob ile temas edilebilen kemik varlığının saptanması ve çene bölgesine radyoterapi uygulanmamış olması (Safar, 2024). Son yıllarda bazı çalışmalar, klinik olarak ekspoze kemik olmasa bile radyografik ve semptomatik bulgularla seyreden non-ekspoze MRONJ olgularının da tanı spektrumuna dahil edilmesi gerektiğini vurgulamıştır (Kim ve ark., 2025; Kalfarentzos ve ark., 2023).

Risk faktörleri

MRONJ gelişiminde antirezorptif ilaç tedavisine başlanmadan önce yerleştirilen dental implantların çevresinde gelişen peri-implantitis öne çıkan risk faktörlerinden biridir (Ruggiero ve ark., 2014). Antirezorptif ilaç kullanan hastalarda dental implant yerleştirilmesinin de MRONJ ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu iki faktörden hangisinin MRONJ gelişimiyle daha güçlü bir ilişki gösterdiği halen net değildir (Pichardo, 2020).

Literatürde bifosfonat tedavisi sırasında dental implant yerleştirilmesine yönelik bir görüş birliği bulunmamaktadır ancak Troeltzsch ve ark., oral bifosfonat kullanımı ile dental implant yerleştirilmesi arasında mutlak bir kontrendikasyon olmadığını göstermiştir (Troeltzsch ve ark., 2016). Araştırmalarda, antirezorptif tedavi alan hastalarda dental implantların başarılı sonuçlar verdiği ve oral bifosfonat kullanan geniş hasta serilerinde implant kaybının ya hiç görülmediği ya da oldukça sınırlı sayıda olduğu bildirilmiştir (Matsuo ve ark., 2016; Siebert ve ark., 2015; Memon ve ark., 2012). Madrid ve Sanz'ın çalışmasında beş yıldan kısa süreyle oral bifosfonat kullanan hastalarda dental implant yerleştirilmesi gibi cerrahi işlemlerin güvenle uygulanabileceği belirtilmiştir (Madrid ve Sanz, 2009). Ayrıca Koka ve ark., yaptıkları çalışmada bifosfonat kullanan ve dental implantı bulunan hastalarda MRONJ gelişmediği rapor edilmiştir (Koka ve ark., 2010). Ancak çalışmalar arasındaki metodolojik farklılıklar nedeniyle, antirezorptif ilaç kullanan hastalarda dental implant yerleştirilmesi ve MRONJ riski hakkında kesin sonuçlara varmak için mevcut kanıtlar halen yetersiz ve bu konularda fikir birliği mevcut değildir.

Diş hekimliği ve ortodonti açısından önemi

MRONJ diş tedavilerinin başarısını doğrudan etkileyebilmektedir (Safar, 2024). Diş hekimliği pratiğinde MRONJ özellikle cerrahi işlemler, diş çekimleri ve implant yerleştirme gibi

müdahaleler sonrası gelişebilmektedir. Bu tür işlemler çene kemiğinde remodelasyon gerektirdiğinden riski artmaktadır. MRONJ gelişimi ile invaziv dentoalveolar işlemler arasında güçlü bir ilişki olması nedeniyle kapsamlı medikal anamnez, ilaç kullanımı sorgulaması ve risk değerlendirmesi yapılması büyük önem taşımaktadır (ADA, 2026). Ortodonti açısından MRONJ'nin önemi ortodontik tedavilerin temel biyolojik mekanizması olan kemik remodelasyonunun baskılanmasından kaynaklanır. Mevcut sınırlı kanıtlar antirezorptif ilaç kullanan hastalarda ortodontik tedavi sonuçlarının optimal düzeye ulaşamayabileceğini bildirmektedir (Woolley ve ark., 2021). Ayrıca yüksek doz antirezorptif ilaç alan hastalarda ortodontik kuvvet uygulamasının MRONJ'yi tetikleyebileceği düşünülmektedir (Kalfarentzos ve ark., 2023).

Bifosfonatlar, osteoklast aktivitesini baskılayarak kemik remodellingini yavaşlatmaları sayesinde ortodontik tedaviden sonra dişlerin geri dönme eğilimini azaltma potansiyeline sahiptir. Hayvan ve insan modellerinde yapılan çalışmalar farklı bifosfonat türlerinin (zoledronik asit, alendronat, risedronat) uygulanmasının ortodontik diş hareketini yavaşlattığını ve bazı durumlarda tedavi sonrası stabiliteyi artırabildiğini göstermektedir. Örneğin; hayvan modellerinde zoledronik asit ve alendronat uygulamalarının diş hareketini belirgin şekilde azalttığı bildirilmiş, bu etkinin osteoklast aktivitesinin baskılanması ve kemik remodeling döngüsünün değişmesi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Franzoni ve ark., 2017; Karras ve ark., 2009). Benzer şekilde, uzun süreli alendronat kullanımının ortodontik kuvvet altında maksiller molar protraksyonunu önemli ölçüde azalttığı ve alveoler kemikte bifosfonat birikiminin diş hareketini sınırladığı gösterilmiştir (Kaipatur ve ark., 2013). Deneysel çalışmalar ayrıca bifosfonat enjeksiyonunun diş hareket mesafesini azaltırken osteoklast sayısını düşürdüğünü ortaya koymuş ve kök rezorpsiyonunun da baskılanabildiği bildirilmiştir (Fujimura ve ark., 2009;

Venkataramana ve ark., 2014). Sutural kemik oluşumu üzerine yapılan bir çalışma da zoledronik asidin kemik yanıtını etkileyebileceğini göstermektedir (Öztürk ve ark., 2012).

İnsan çalışmaları ve derlemeler de bu biyolojik etkinin klinik düzeyde sürdüğünü ve özellikle osteoporotik hastalarda ortodontik tedavi sonrası stabilitenin artabileceğini göstermektedir (Arbelaez ve ark., 2018; Utari ve ark., 2022). Ayrıca lokal veya enjekte edilebilir bifosfonat uygulamalarının ortodontik retansiyon stratejilerinde potansiyel bir yardımcı yöntem olabileceği öne sürülmektedir (Sarango-Quishpe ve ark., 2025; Tokhtah ve Alhadlaq, 2022). Bununla birlikte bifosfonatların kemik metabolizması üzerindeki güçlü etkileri nedeniyle ortodontik ve ortognatik cerrahi planlamasında olası riskler ve klinik sınırlamalar da dikkatle değerlendirilmelidir (Wilka ve ark., 2025; Gleizal ve ark., 2023).

Bifosfonatlar kemik rezorpsiyonunu azaltarak osteoklast aktivitesini baskıladıkları için ortodontik tedavide ankraji güçlendirmek amacıyla da kullanılmaktadır. Araştırmalar özellikle lokal uygulamaların diş hareketini sınırlayarak alveoler kemiği güçlendirdiğini ve böylece ankrajin korunmasına yardımcı olduğunu göstermektedir. Örneğin, Adam ve ark., zoledronik asidin lokal uygulanmasının space closure sırasında maksimum ankraji sağladığını bildirmiştir (Adam ve ark., 2012). Benzer şekilde lokal zoledronat uygulamasının minivida implant stabilitesini artırdığı gözlemlenmiştir (Cuairán ve ark., 2014). Fernández-González ve ark. ise hem osteoprotegerin hem de zoledronatın kemik üzerindeki etkilerini değerlendirerek, lokal anti-resorptif uygulamaların ankraj güçlendirme potansiyelini ortaya koymuştur (Fernández-González ve ark., 2016). Sistematik bir inceleme ise lokal bifosfonat uygulamalarının ortodontik ankraji destekleyici etkilerini doğrulamaktadır (Harikrishnan ve Ramasamy, 2022).

Literatürde bifosfonat tedavisi alan hastalarda ortodontik tedaviye ilişkin veriler çoğunlukla sınırlı sayıda olgu raporu ve olgu

serisine dayanmaktadır (Gleizal ve ark., 2023; Miranda ve ark., 2024; Morita ve ark., 2017). Bu çalışmalar bifosfonatların kemik remodelasyonu üzerindeki etkilerinin klinik ortodontik sonuçlara da yansıtıldığını göstermektedir. Örneğin, osteoporoz tanısı bulunan 66 yaşındaki bir hastada oral alendronat kullanımı sırasında uygulanan ortodontik tedavi başarıyla tamamlanmış ancak tedavi sürecinde genişlemiş periodontal aralıklar, çevresel kemik sklerozu ve üst ön dişlerde hafif apikal kök rezorpsiyonu gözlenmiştir (Krieger ve ark., 2013a). Benzer şekilde bifosfonat kullanan hastalarda ortodontik tedavi süresinin uzayabildiği, diş hareket hızının yavaşlayabildiği ve bazı vakalarda kök paralelliğinin sağlanmasında güçlükler ile alveoler kemikte sklerotik değişiklikler görülebildiği bildirilmiştir (Zymperdikas ve ark., 2020; Krieger ve ark., 2013a). Daha nadir olmakla birlikte antirezorptif ilaç kullanımı öyküsü bulunan hastalarda ortodontik tedavi ile ilişkili olabileceği düşünülen ilaç ilişkili çene osteonekrozu (MRONJ) gelişimine dair vaka bildirimleri de bulunmaktadır. Örneğin, denosumab kullanmış bir meme kanseri hastasında ortodontik tedavi sürecinin MRONJ gelişimine katkıda bulunmuş olabileceği rapor edilmiştir (Kalfarentzos ve ark., 2023). Mevcut klinik olgu raporları ve olgu serileri bifosfonat kullanımı ile ortodontik tedavi sonuçları arasında ilişki olabileceğini düşündürmektedir.

Bifosfonatların ortodontik süreçleri etkileyebileceğine ilişkin bulguların yer aldığı bir sistematik incelemede, bifosfonatların hem lokal hem de sistemik uygulamalarının ortodontik diş hareketini azalttığı ve diş hareketi sonrasında görülen relapse oranını düşürebileceği rapor edilmiştir (Iglesias-Linares ve ark., 2010). Daha yakın tarihli bir başka derlemede ise bifosfonat kullanan hastalarda ortodontik tedavi süresinin genellikle uzadığı, diş hareketinin daha yavaş gerçekleştiği ve alveoler kemikte sklerotik değişiklikler gözlenebildiği bildirilmiştir (Zymperdikas ve ark., 2020). Benzer şekilde, PRISMA kriterlerine göre gerçekleştirilen bir

sistemik derleme bifosfonatların sistemik kullanımının ortodontik diş hareketi ve tedavi süresi üzerinde belirgin etkiler oluşturabileceğini göstermiş, literatürde en sık bildirilen bulguların diş hareket hızında azalma ve tedavi süresinde uzama olduğunu ortaya koymuştur (Lessa ve ark., 2024). Bununla birlikte mevcut çalışmaların çoğunun sınırlı örneklem büyüklüğüne ve heterojen metodolojilere sahip olması nedeniyle bifosfonatların ortodontik tedavi üzerindeki klinik etkilerinin daha net ortaya konabilmesi için kontrollü ve daha geniş ölçekli araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Hasta Risk Sınıflaması

Düşük doz oral bifosfonat kullanan hastalar

Düşük doz oral bifosfonat kullanan hastalar çene kemiği osteonekrozu (MRONJ) açısından genellikle düşük riskli kabul edilmektedir. Sistemik derlemeler ve klinik gözlemler, oral bifosfonat kullanımının çene kemiği osteonekroz insidansının görece düşük olduğunu göstermektedir (Kim ve ark., 2015; Lo ve ark., 2010). Özellikle sadece oral bifosfonat alan kişilerde, dental işlemler sonrası osteonekroz oranının yaklaşık %0,2 düzeyinde olduğu bildirilmiştir (Martins ve ark., 2023). Bu durum oral bifosfonatların düşük sistemik biyoyararlanımı ve kemik remodelasyonunu daha az baskılaması ile ilişkilidir (Masoodi, 2009).

Yüksek doz intravenöz bifosfonat kullanan hastalar

Yüksek doz intravenöz (IV) bifosfonatlar özellikle kanser metastazı veya malign hastalıklarda kullanılan güçlü ajanlar (ör. zoledronat), ortodontik ve diğer dentoalveolar müdahalelerde yüksek risk grubuna girmektedir. IV bifosfonat tedavisi, çene osteonekrozu gelişme olasılığını oral tedaviye kıyasla belirgin şekilde artırmaktadır; risk oranları %1,6-14,8 arasında bildirilmiştir (Woolley ve ark., 2021). Kanser hastalarında IV bifosfonat ile ilişkili osteonekroz insidansı osteoporoz hastalarına göre anlamlı şekilde

daha yüksektir (Goodwin ve ark., 2017). Ortodontik veya diğer dentoalveolar tedavilerden önce bifosfonat kullanımına ara verilmesinin MRONJ riskini azaltabileceğine dair bazı veriler bulunmaktadır; özellikle yüksek doz intravenöz bifosfonatlarda son dozdan itibaren ≥ 90 gün, hatta bazı durumlarda ≥ 1 yıl bekleme ile riskin daha düşük olduğu bildirilmiştir ancak bireysel değerlendirme gerekir (Park ve ark., 2025).

Ortodontik tedavi açısından risk değerlendirmesi

Risk değerlendirmesinde bifosfonat türü, uygulama yolu, doz miktarı ve tedavi süresi gibi faktörler önemlidir. Literatürde intravenöz yolun oral yola göre çok daha yüksek MRONJ riski ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Woolley ve ark., 2021). Oral BP tedavisinde MRONJ riski genellikle düşüktür ancak kullanım süresinin uzunluğu ile riskin arttığını gösteren kanıtlar mevcuttur (Jung ve ark., 2018). Ortodontik tedaviye bağlı klinik bulgular da sistematik gözlemlerle raporlanmıştır (Krieger ve ark., 2013b). Ayrıca ortodontik tedavi sırasında veya sonrasında yapılan cerrahi müdahaleler (gömülü diş ekstraksiyonu, mini implant yerleştirme gibi) MRONJ riskini artırabilmektedir. Bu nedenle bifosfonat kullanan hastalarda cerrahi planlamalar öncesi ayrıntılı risk değerlendirmesi ve gerekirse multidisipliner konsültasyon önerilmektedir (Woolley ve ark., 2021; Kalfarentzos ve ark., 2023).

Ortodontik Tedavi Planlama Yaklaşımları

Tedaviye başlama kriterleri

Ortodontik tedavi planlamasında tedaviye başlamanın temel kriteri kapsamlı klinik değerlendirme ve objektif tanı verilerinin bir araya getirilmesidir. Tedavi planlamasının öncelikle ayrıntılı tanı ile başladığı ve bu tanının hastanın ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Kharbanda ve ark., 2023). Özellikle gelişim çağındaki hastalarda büyüme fazının optimal kullanımı tedaviye başlama zamanını etkileyebilmektedir. Örneğin Class II

gibi iskeletsel problemlerde erken müdahale, bazı kemiksel değişimler ve kısa vadede olumlu sonuçlar sağlayabilir. Ancak mevcut kanıtlar optimal zamanlama konusunda kesin bir görüş birliği sunmamaktadır. Erken ya da geç müdahale vaka özelinde kararlaştırılmalıdır (Dinu ve ark., 2025). Bifosfonat tedavisi alan hastalarda ise ortodontik tedaviye başlama kararı daha dikkatli bir değerlendirme gerektirmektedir. Bu ilaçların kemik remodelasyonu üzerindeki baskılayıcı etkisi, diş hareketinin daha yavaş gerçekleşmesine ve tedavi süresinin uzamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle tedavi öncesinde hastanın kullandığı bifosfonatın türü, kullanım süresi, uygulama yolu (oral veya intravenöz) ve ilacın hangi sistemik hastalık için verildiği ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Literatürde, özellikle uzun süreli veya intravenöz bifosfonat kullanan hastalarda ortodontik tedavi planlamasının daha temkinli yapılması ve gerekli durumlarda ilgili hekimlerle konsültasyon sağlanmasının önemli olduğu belirtilmektedir (Zymperdikas ve ark., 2020).

Çekimli-çekimsiz tedavi kararları

Çekimli ve çekimsiz tedavi yaklaşımları arasındaki karar; maloklüzyonun şiddeti, ark darlığı, overjet/overbite ilişkisi, estetik profil ve hastanın diş-yüz ilişkisi gibi çoklu parametrelere dayanmaktadır (Mepare ve ark., 2021) (Ertürk Demirkıran ve Bulut, 2024). Elias ve ark. derlemesinde çekimli ve non-çekimli tedavi arasında profil ve tedavi sonuçları açısından net bir üstünlüğün bulunmadığını göstermektedir (Elias ve ark., 2024). Bu nedenle tedavi kararı her vaka için bireyselleştirilmelidir. Çekimli tedaviler ark genişliğinde daralma ve bazı yumuşak doku parametrelerinde farklılaşmalara yol açabilirken non-çekimli yaklaşımlar mandibular interkanin genişliğinde artış ve daha kısa tedavi süresi ile ilişkilendirilmiştir (Elias ve ark., 2024). Ayrıca literatürde çekim kararlarını etkileyen faktörler arasında profil estetiği, çapraşıklık

derecesi ve fonksiyonel hedeflerin tedavi planlamasında rol oynadığı rapor edilmiştir (Ertürk Demirkıran ve Bulut, 2024).

Klinik Yönetim ve Multidisipliner Yaklaşım

Medikal konsültasyon gerekliliği

Ortodontik tedavi planlanırken dental ve periodontal bulguların yanı sıra hastanın tıbbi geçmişi ve sistemik durumu da dikkate alınmalıdır. Özellikle sistemik hastalık öyküsü olan veya medikal tedavi alan hastalarda, ortodontik tedavi öncesi ilgili branşlarla konsültasyon yapılması gerekir (Zhong ve ark., 2025). Bu yaklaşım hem tedavi güvenliğini artırır hem de komplikasyon risklerini azaltır. Örneğin, ileri periodontal hastalık vakalarında periodontal-ortodontik ortak konsültasyonun önemi vurgulanmakta ve tedavi seyrinin multidisipliner olarak planlanması önerilmektedir (Zhong ve ark., 2025).

Tedavi sürecinde izlem

Ortodontik tedavi sırasında düzenli ve sistematik izlem programları tedavi etkinliğini değerlendirmek ve olası komplikasyonları erken tespit etmek için kritiktir. Uzun dönemli çalışmalarda multidisipliner protokollerin etkili izlem ile birleşmesinin periodontal stabiliteyi ve tedavi başarısını artırdığı görülmüştür. Özellikle periodontitis gibi yüksek riskli olgularda düzenli probing, radyografik takip ve periodontal parametrelerin değerlendirilmesi tedavi sürecinin ayrılmaz parçalarıdır (Zhong ve ark., 2025). Bifosfonat kullanan hastalarda ise bu izlem programları, MRONJ riskinin erken tespiti ve tedavi planlamasının güvenli şekilde optimize edilmesi açısından da önemlidir. Ayrıca izlem programları, hastanın tedaviye uyumunu değerlendirme ve gerektiğinde tedavi parametrelerini optimize etme olanağı sunarak klinik sonuçların sürdürülebilirliğini artırır (Zhong ve ark., 2025).

İlaç Arası (Drug Holiday) Kavramı ve Güncel Yaklaşımlar

Literatürdeki görüşler

Bifosfonat kullanan hastalarda ilaç arası (drug holiday) uygulaması esas olarak MRONJ riskini azaltma amacıyla gündeme gelmiştir. Ancak kısa süreli bifosfonat kesintilerinin MRONJ riskini anlamlı biçimde azalttığını gösteren güçlü kanıtlar mevcut değildir (Kim ve ark., 2025; Ottesen ve ark., 2020). Bunun temel nedeni bifosfonatların kemikte uzun süre kalıcı olması ve ilacın kesilmesinden sonra da antiresorptif etkinin devam etmesidir. Bu nedenle ilacın planlı olarak geçici süreyle kesilmesi uygulamasının rutin ve kanıta dayalı bir yaklaşım olarak önerilmemesi gerekmektedir (Kim ve ark., 2025; Ottesen ve ark., 2020).

Ortodonti açısından sınırlılıklar

Ortodontik tedavi bağlamında bifosfonat drug holiday uygulamasının diş hareketini hızlandırdığı veya MRONJ riskini anlamlı şekilde azalttığına dair doğrudan klinik kanıt yoktur. Bifosfonatların kemik remodelasyonunu baskılayıcı etkisi ilaç kesilse bile sürmektedir. Bu yüzden kısa süreli ilaç aralarının ortodontik risk profilini anlamlı biçimde değiştirmedığı kabul edilmektedir (Ottesen ve ark., 2020). Güncel yaklaşımlar ilaç arası kararının ortodontik tedavide hastaya özgü risk değerlendirmesi ve ilgili hekimlerle multidisipliner konsültasyon temelinde verilmesi gerektiğini önermektedir (Ottesen ve ark., 2020).

Klinik Öneriler ve Karar Algoritmaları

Pratik klinik yaklaşımlar

Bifosfonat kullanan hastalarda ortodontik tedavi planlanırken kapsamlı anamnez, tıbbi ilaç geçmişi ve MRONJ risk faktörlerinin değerlendirilmesi gerekir. Preoperatif risk değerlendirmesi, invaziv işlemlerin planlanmaması ve oral hijyen

optimizasyonu, MRONJ riskini azaltmak için önerilen yaklaşımlardır (Karadavut, 2025; Şahin ve Hacılar, 2024).

Risk temelli karar şeması

Güncel klinik öneriler yüksek doz intravenöz ve uzun süreli bifosfonat kullanıcılarını yüksek riskli, düşük doz oral kullanıcıları ise düşük riskli olarak sınıflandırmaktadır. Risk temelli algoritmalar hem ilaç tipi/dozu hem de dental prosedürün invazivliğini dikkate alarak karar verilmesini öngörmektedir. Bununla birlikte multidisipliner konsültasyon ortodontist, cerrahi öncesi değerlendirme, uzun dönem takip planları için onkolog, endokrinolog ve/veya periodontolog ile koordinasyonu içermelidir (Şahin ve Hacılar, 2024).

Gelecek Perspektifleri ve Araştırma Boşlukları

Güncel literatür bifosfonatların ortodontik sonuçlar ve MRONJ ilişkisi üzerine yüksek düzey kanıt eksikliğine dikkat çekmektedir. Mevcut çalışmaların çoğu vaka serisi veya retrospektif olup prospektif ve yeterli hasta sayısı ile yapılmış büyük kohort çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bifosfonat tedavisinin ortodontik diş hareketine etkisi, doz-yanıt ilişkisi ve yaş/sistemik durum gibi modifiye edici faktörlerin rolü de halen yeterli düzeyde araştırılmamıştır.

Sonuç

Bifosfonat kullanan hastalarda ortodontik tedavi, kemik remodelasyonunu baskılayan antirezorptif etkiler nedeniyle normal hasta grubuna kıyasla daha karmaşıktır. Güncel kanıtlar bu hastalarda ortodontik tedavinin başarıyla yürütülebileceğini ancak sürecin kapsamlı medikal anamnez, multidisipliner konsültasyon, kontrollü biyomekanik kuvvet uygulamaları ve yakın klinik izlem ile desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Tedavi sırasında daha düşük kuvvetlerin uygulanması, tedavi süresinin planlanandan uzun

tutulması ve gerektiğinde ankraj sistemlerinin modifikasyonu gibi adaptasyonlar komplikasyon riskini azaltmak ve tedavi etkinliğini artırmak için önerilmektedir. Mevcut literatürdeki metodolojik sınırlılıklar ve heterojen veriler göz önüne alındığında bifosfonatların ortodontik tedaviye etkilerini netleştirecek kanıta dayalı klinik rehberlerin geliştirilmesi hem hasta güvenliğini artıracak hem de tedavi sonuçlarının öngörülebilirliğini güçlendirecektir.

Kaynakça

- American Dental Association. (2026). Osteoporosis medications and medication-related osteonecrosis of the jaw. <https://www.ada.org/resources/ada-library/oral-health-topics/osteoporosis-medications>
- Adam, J., Campbell, P., Hinton, R., Naidu, A., & Buschang, P. (2012). Local application of zoledronate for maximum anchorage during space closure. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(6), 780–791.
- AlDhalaan, N., BaQais, B., & Al-Omar, A. (2020). Medication-related osteonecrosis of the jaw: A review. *Cureus*, 10(12), e6944. <https://doi.org/10.7759/cureus.6944>
- Arbelaez, M., Garcia Lopez, J., Avila, D., Munevar, J., & Pauwels, A. (2018). Effect of bisphosphonates on orthodontic tooth movement in osteoporotic patients: A review. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 7(2), 49–55.
- Chien, M., Mascarenhas, L., Hammoudeh, J., & Venkatramani, R. (2015). Zoledronic acid for the treatment of children with refractory central giant cell granuloma. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology*, 37(6), e399–e401.
- Cuairán, C., Campbell, P., Kontogiorgos, E., Taylor, R., Melo, A., & Buschang, P. (2014). Local application of zoledronate enhances miniscrew implant stability in dogs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 145(6), 737–749.
- da Silva, N., Carreira, A., & Pedreira, E. (2012). Treatment of central giant cell lesions using bisphosphonates with intralesional corticosteroid injections. *Head & Face Medicine*, 8, 23.

- Dinu, S., Igna, A., Petrescu, E., Braila, E., Dinu, D., Horhat, R., & Popa, M. (2025). Timing of orthodontic intervention for pediatric Class II malocclusion: A systematic review on early vs. late treatment outcomes. *Children*, *12*(11), 1533. <https://doi.org/10.3390/children12111533>
- Elias, K., Sivamurthy, G., & Bearn, D. (2024). Extraction vs nonextraction orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *The Angle Orthodontist*, *94*(1), 83–106. <https://doi.org/10.2319/021123-98.1>
- Ertürk Demirkıran, H., & Bulut, T. (2024). Sabit ortodontik tedavide ortodontistlerin diş çekimi kararını etkileyen faktörler. *Akdeniz Dental Journal*, *3*(3), 150–159.
- Fernández-González, F., López-Caballo, L., Cañigral, A., Menéndez-Díaz, I., Brizuela, A., Cos, F., & Vega, J. (2016). Osteoprotegerin and zoledronate bone effects during orthodontic tooth movement. *Orthodontics & Craniofacial Research*, *19*(1), 54–64.
- Franzoni, J., Soares, F., Zaniboni, E., Vedovello Filho, M., Santamaria, M., dos Santos, G., & Santamaria, M., Jr. (2017). Zoledronic acid and alendronate sodium and the implications in orthodontic movement. *Orthodontics & Craniofacial Research*, *20*(3), 164–169.
- Fujimura, Y., Kitaura, H., Yoshimatsu, M., Eguchi, T., Kohara, H., Morita, Y., & Yoshida, N. (2009). Influence of bisphosphonates on orthodontic tooth movement in mice. *European Journal of Orthodontics*, *31*(6), 572–577. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp068>
- Ganesan, K., Goyal, A., & Roane, D. (2025). Bisphosphonate. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470248>

- Ghoneima, A., Allam, E., Zunt, S., & Windsor, L. (2010). Bisphosphonates treatment and orthodontic considerations. *Orthodontics & Craniofacial Research*, *13*(1), 1–10.
- Gleizal, A., Meon, A., Asselborn, M., & Chauvel-Picard, J. (2023). Orthognathic surgery in patients treated with bisphosphonates: A case series. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *51*(9), 521–527.
- Goodwin, J., Zhou, J., Kuo, Y., & Baillargeon, J. (2017). Risk of jaw osteonecrosis after intravenous bisphosphonates in cancer patients and patients without cancer. *Mayo Clinic Proceedings*, *92*(1), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.09.015>
- Harikrishnan, S., & Ramasamy, N. (2022). Effect of local administration of bisphosphonate on orthodontic anchorage: A systematic review of animal studies. *Journal of Orthodontic Science*, *11*(1), 31.
- Hsieh, T., Pinskaya, Y., & Roberts, W. (2005). Assessment of orthodontic treatment outcomes: Early treatment versus late treatment. *The Angle Orthodontist*, *75*(2), 162–170.
- Iglesias-Linares, A., Yáñez-Vico, R., Solano-Reina, E., Torres-Lagares, D., & González-Moles, M. (2010). Influence of bisphosphonates in orthodontic therapy: Systematic review. *Journal of Dentistry*, *38*(8), 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.05.012>
- Jacob, H., Azeredo, R., & Spreafico, C. (2024). Biomechanical considerations for tooth movement and strategies to avoid undesirable side effects. *Seminars in Orthodontics*, *30*(5), 557–571.

- Jung, S., Han, S., & Kwon, H. (2018). Dose-intensity of bisphosphonates and the risk of osteonecrosis of the jaw in osteoporosis patients. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 796. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00796>
- Kaipatur, N., Wu, Y., Adeeb, S., Stevenson, T., Major, P., & Doschak, M. (2013). Impact of bisphosphonate drug burden in alveolar bone during orthodontic tooth movement in a rat model: A pilot study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(4), 557–567. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.06.015>
- Kalfarentzos, E., Chliaoutakis, A., Ntagiantis, G., Vardas, E., & Christopoulos, P. (2023). Orthodontic treatment as a triggering factor of medication-related osteonecrosis of the jaw in a breast cancer patient: Report of a rare case. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 15(4), e351–e356. <https://doi.org/10.4317/jced.60046>
- Karadavut, I. (2025). İlaçlarla ilişkili çene osteonekrozunun yönetiminde invaziv olmayan tedavilerin etkinliğinin değerlendirilmesi. *Türk Tıp ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(1).
- Karras, J., Miller, J., Hodges, J., Beyer, J., & Larson, B. (2009). Effect of alendronate on orthodontic tooth movement in rats. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(6), 843–847.
- Kharbanda, O., Wadhawan, N., & Sennimalai, K. (2023). Orthodontic diagnosis and treatment planning: Collaborating with medical and other dental specialists. In V. Krishnan & A. Kuijpers-Jagtman (Eds.), *Integrated clinical orthodontics* (pp. 8–51). Wiley-Blackwell.

- Kim, J., Kong, S., Kim, J., Kwak, M., Kim, J., Oh, J., et al. (2025). Medication-related osteonecrosis of the jaw: An evidence-based 2025 position statement from a Korean multidisciplinary task force. *Endocrinology and Metabolism*, 40(6), 787–810. <https://doi.org/10.3803/EnM.2025.2712>
- Kim, K., Rhee, Y., Kwon, Y., Kwon, T., Lee, J., & Kim, D. (2015). Medication-related osteonecrosis of the jaw: 2015 position statement of the Korean Society for Bone and Mineral Research and the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons. *Journal of Bone Metabolism*, 22(4), 151–165.
- Kıvrak, A., Hakiki, H., Çongara Kıvrak, T., & Cambazoğlu, M. (2017). Bifosfonat kullanımına bağlı mandibulada gelişen osteonekroz ve tedavi yaklaşımı: Olgu sunumu. *Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 44(2), 101–108.
- Koka, S., Babu, N., & Norell, A. (2010). Survival of dental implants in postmenopausal bisphosphonate users. *Journal of Prosthodontic Research*, 54, 108–112.
- Krieger, E., d’Hoedt, B., Scheller, H., Jacobs, C., Walter, C., & Wehrbein, H. (2013a). Orthodontic treatment of patients medicated with bisphosphonates: A clinical case report. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 74(1), 28–39. <https://doi.org/10.1007/s00056-012-0120-1>
- Krieger, E., Jacobs, C., Walter, C., & Wehrbein, H. (2013b). Current state of orthodontic patients under bisphosphonate therapy. *Head & Face Medicine*, 9, 10. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-9-10>

- Krishnan, S., Pandian, S., & Kumar, S. (2015). Effect of bisphosphonates on orthodontic tooth movement: An update. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(4), ZE01–ZE05. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/11162.5769>
- Lessa, G., Moreno, M., Fernandes, E., Pereira, H., & Lins, R. (2024). Effect of bisphosphonate use on orthodontic tooth movement: A systematic review. *Brazilian Dental Science*, 27(4). <https://doi.org/10.4322/bds.2024.e4374>
- Lo, J., O’Ryan, F., Gordon, N., Yang, J., Hui, R., Martin, D., et al. (2010). Prevalence of osteonecrosis of the jaw in patients with oral bisphosphonate exposure. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 68(2), 243–253. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.03.050>
- Lotwala, R., Greenlee, G., Ott, S., Hall, S., & Huang, G. (2012). Bisphosphonates as a risk factor for adverse orthodontic outcomes: A retrospective cohort study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(5), 625–634.
- Madrid, C., & Sanz, M. (2009). What impact do systemically administered bisphosphonates have on oral implant therapy? A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 20(Suppl. 4), 87–95.
- Mansoor, M., Monis, D., Anjum, R., et al. (2024). A cross-sectional study to correlate oral hygiene habit among orthodontic patients with their clinical findings and periodontal treatment need. *BMC Oral Health*, 24, 903. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04678-9>

- Martins, L., Ferreira, D., Silva, M., Motta, R., Franquez, R., & Bergamaschi, C. (2023). Frequency of osteonecrosis in bisphosphonate users submitted to dental procedures: A systematic review. *Oral Diseases*, 29(1), 75–99. <https://doi.org/10.1111/odi.1400>
- Masoodi, N. (2009). Oral bisphosphonates and the risk for osteonecrosis of the jaw. *British Journal of Medical Practitioners*, 2(2), 11–15.
- Matsuo, A., Hamada, H., Takahashi, H., Okamoto, A., Kaise, H., & Chikazu, D. (2016). Evaluation of dental implants as a risk factor for the development of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw in breast cancer patients. *Odontology*, 104, 363–371.
- Memon, S., Weltman, R., & Katancik, J. (2012). Oral bisphosphonates: Early endosseous dental implant success and crestal bone changes. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 27, 22–26.
- Mepare, S., Mundada, R., Karra, A., Agrawal, S., Mahajan, S., & Tadawalkar, A. (2021). Extraction or nonextraction in orthodontic cases: A review. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13(Suppl. 1), S2–S5.
- Miranda, R., Fernandes, J., Santos, M., Jácome-Santos, H., Milagres, R., Pretti, H., et al. (2024). Influence of risedronate on orthodontic tooth movement in rodents: A systematic review and case report. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 28(6), e2322280. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.28.6.e2322280>

- Morita, H., Imai, Y., Yoneda, M., & Hirofuji, T. (2017). Applying orthodontic tooth extrusion in a patient treated with bisphosphonate and irradiation: A case report. *Special Care in Dentistry*, 37(1), 43–46.
- Ottesen, C., Schiodt, M., & Gotfredsen, K. (2020). Efficacy of a high-dose antiresorptive drug holiday to reduce the risk of medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ): A systematic review. *Heliyon*, 6(4), e03795. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03795>
- Öztürk, F., Babacan, H., & Gümüş, C. (2012). Effects of zoledronic acid on sutural bone formation: A computed tomography study. *European Journal of Orthodontics*, 34(2), 141–146.
- Park, J., Kong, S., Lee, J., Oh, J., Lee, J., Lee, H., & Kim, J. (2025). Time since last intravenous bisphosphonate and risk of osteonecrosis of the jaw in osteoporotic patients. *Nature Communications*, 16(1), 4367.
- Pichardo, S. (2020). *Medication-related osteonecrosis of the jaws (MRONJ): Diagnosis and treatment*. Optima Grafische Communicatie.
- Rahme, F., Burhan, A., Hajeer, M., & Nawaya, F. (2025). Systemic or local administration of bisphosphonate and orthodontic tooth movement in animals: A systematic review. *European Journal of Orthodontics*, 47(4). <https://doi.org/10.1093/ejo/cjaf027>
- Ramesh, H., Navabalan, V., & Natarajan, A. (2022). Bisphosphonates: What's new? *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 11(6), 664–667.

- Ruggiero, S., Dodson, T., Fantasia, J., Goodday, R., Aghaloo, T., Mehrotra, B., & O’Ryan, F. (2014). American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons position paper on medication-related osteonecrosis of the jaw—2014 update. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 72(10), 1938–1956.
- Safar, J. (2024). Medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ). *MSD Manual Professional Edition*. <https://www.msmanuals.com>
- Sarango-Quishpe, K., Cabrera-Padrón, M., Torracchi-Carrasco, J., Andrade-Medina, G., & Juela-Moscoco, C. (2025). Effect of bisphosphonate vs. osteoprotegerin during orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *Korean Journal of Orthodontics*, 55(2), 120–130. <https://doi.org/10.4041/kjod24.049>
- Siebert, T., Jurkovic, R., Statelova, D., & Strecha, J. (2015). Immediate implant placement in a patient with osteoporosis undergoing bisphosphonate therapy: 1-year preliminary prospective study. *Journal of Oral Implantology*, 41, 5–27.
- Şahin, O., & Hacılar, M. (2024). İlaçlara bağlı gelişen çene kemiği osteonekrozlarının yönetiminde güncel değişimler. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 13(1), 202–219.
- Tanrıkol, B., & Mağat, G. (2022). Bifosfonatlar ve çenelerde görülen osteonekroz. *VHS*, 12(2), 45–51.
- Thomas, J., & Ouanounou, A. (2023). Medication-related osteonecrosis of the jaw: A narrative review of risk factors, diagnosis, and management. *Frontiers in Oral and Maxillofacial Medicine*, 5, 31.

- Tichit, M., & Gebeile-Chauty, S. (2022). Bisphosphonates: How to proceed in orthodontics. *L'Orthodontie Française*, 93(4), 333–351. <https://doi.org/10.1684/orthodfr.2022.103>
- Tokhtah, H., & Alhadlaq, A. (2022). Utility of injectable bisphosphonates in enhancing orthodontic retention in a goat model: A split-mouth study. *The Saudi Dental Journal*, 34(4), 282–287.
- Troeltzsch, M., Cagna, D., Stahler, P., Probst, F., Kaeppler, G., Troeltzsch, M., et al. (2016). Clinical features of peri-implant medication-related osteonecrosis of the jaw. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 44(1), 945–951.
- Türk Dişhekimleri Birliği. (2013). *Bifosfonat kullanan hastalarda çenelerde osteonekrozun önlenmesi, tanınması ve alınması gereken önlemler: Klinik rehber*. <https://www.tdb.org.tr>
- Utari, T., Pudyani, P., Ana, I., & Asmara, W. (2022). The potential of bisphosphonate risedronate hydrogel in preventing relapse movement. *Cumhuriyet Dental Journal*, 25(2), 103–110.
- Venkataramana, V., Chidambaram, S., Reddy, B., Goud, E., Arafath, M., & Krishnan, S. (2014). Impact of bisphosphonate on orthodontic tooth movement and osteoclastic count: An animal study. *Journal of International Oral Health*, 6(2), 1–8.
- Wilka, L., Vallejo, G., Miranda, F., Massaro, C., Henriques, J., Freitas, M., & Bianchi, J. (2025). Orthodontics and bisphosphonates: Risks, limitations, and considerations: A narrative review. *Seminars in Orthodontics*.

- Woolley, J., Akintola, O., Yates, J., Calasans-Maia, M., de Albuquerque Calasans-Maia, J., Kocherhina, I., & Sacco, R. (2021). The risk of osteonecrosis of the jaw and adverse outcomes in patients using antiresorptive drugs undergoing orthodontic treatment: A systematic review. *Heliyon*, 7(1), e05914. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05914>
- Zahrowski, J. (2009). Optimizing orthodontic treatment in patients taking bisphosphonates for osteoporosis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(3), 361–374.
- Zhong, W., Zhou, C., Yin, Y., et al. (2025). Expert consensus on orthodontic treatment of patients with periodontal disease. *International Journal of Oral Science*, 17, 27. <https://doi.org/10.1038/s41368-025-00356-w>
- Zymperdikas, V., Yavropoulou, M., Kaklamanos, E., & Papadopoulos, M. (2020). Effects of systematic bisphosphonate use in patients under orthodontic treatment: A systematic review. *European Journal of Orthodontics*, 42(1), 60–71. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjz021>

BÖLÜM 7

ORTODONTİK APAREYLERİN PERİODONTAL SAĞLIK VE ORAL FLORA İLE İLİŞKİSİ

Tuğçe TURAN ÇOLAK¹
Güvenç BAŞARAN²

Sağlıklı bir oral kavitede, mikroorganizmalar ve mikrokolonileri biyofilm formunda yumuşak ve sert yüzeylere tutunurlar. Bu mikroorganizmalarda, potansiyel patojenik suşlar da dahil olmak üzere, yerleşik türler arasında dinamik bir homeostaziste sinerjistik ya da antagonistik etkileşimler meydana gelir (Marczyńska-Stolarek & Chomicz, 2019). Metal ve polimerlerden oluşan ortodontik bir aletin kullanımı, oral bölgedeki sert ve yumuşak dokulardan farklı yüzey özelliklerine sahip alanlar oluşturmaktadır. Ayrıca ortodontik hastalarda bu duruma sebebiyet verecek retansiyon alanlarının sayısı çok daha fazladır. Bu özel durumlar sadece biyofilm miktarını arttırmakla kalmayıp aynı zamanda mutans streptococci gibi karyojenik bakterilerin ve *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*, *Prevotella nigrescens*, *Tannerella forsythia* ve *Fusobacterium* türleri gibi

¹ Arş. Gör, Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, 0009-0001-6946-0035

² Prof. Dr, Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, 0000-0002-4119-3940

periodontopatik bakterilerin prevalansını da arttırır. Bu durumlara ek olarak ortodontik apareyler, doğal ağız temizleme kuvvetlerinin ve diş fırçalama ile mekanik biyofilm uzaklaştırmanın etkinliğini büyük ölçüde azaltır (Liu et al., 2013; Ren et al., 2014).

Tedavi prosedürleri esnasında sabit ve hareketli ortodontik apareylerin yerleştirilmesi oral florada ve dokularda birtakım değişikliklere neden olur. Bu durumlarda ortodontik tedavinin doğası gereği yerleştirilen sabit ya da hareketli apareyler mikrobiyal dental plak üzerinde etkili olabilir, oral çevrede değişikliklere neden olabilir (Huang, 2019). Sabit ortodontik apareylerin yerleştirilmesi, standart ağız hijyeni prosedürlerinin uygulanmasını zorlaştırmanın yanı sıra pH'ı düşürerek ve elektrostatik reaksiyonlara neden olarak plak birikimini ve bakterilerin metalik yüzeylere afinitesini arttırmakta ve ağız mikroflorasında değişikliklere neden olmakta (Ahn et al., 2007) ve tükürüğün tamponlama kapasitesini değiştirebilmektedir (Bilgiç et al., 2016).

Sabit apareylerin yerleştirilmesi, streptokokların lokal büyümesini destekleyen yeni retantif alanlar yaramakta, oral hijyenin sağlanması zorlaştırmakta, böylece tükürükte ve ortodontik apareylerin çevresinde bu mikroorganizmaların düzeylerini arttırmaktadır (Sifakakis et al., 2018).

Ortodontik tedaviler mikrobiyal dental plağın kantitesinde ve kompleksliğinde değişimler oluşturmakta, bu durumda oral mikroflora aerobikten anaerobiğe doğru kayma oluşturmaktadır. (Ristic et al., 2007).

Plak akümüasyonu ile mine demineralizasyonu sonucunda başlangıç çürüklerinin insidansı artabilir (Mei et al., 2009). *Streptococcus mutans* (S. Mutans) ve *Streptococcus Sobrinus* (S. Sobrinus), diş çürüğünün patogeneğinde ana katkı maddeleri olarak tanımlanmıştır ve bunların varlığı, mine demineralizasyonu riskine katkıda bulunmaktadır (Babaahmady et al., 1998). Ortodontik

ataşmanların yerleştirilmesinden sonra ağız boşluğunda S. Mutans ve Lactobacillus türlerinde artış olduğu bildirilmiş; bazı çalışmalarda diş çürükleri, bu bakteri türleri ve enfeksiyon derecesi arasında pozitif bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Sifakakis et al., 2018).

Tedavi esnasındaki oral mikroflora değişiklikleriyle yumuşak dokularda inflamasyon oluşabilir. Ortodontik tedavi sırasında görülen gingivitis genellikle geçicidir ve retansiyon bölgelerindeki biyofilm periodontitis riskini arttırsa da nadiren periodontitise ilerlemektedir. Mini vidalar, mikro implantlar veya mini plaklar gibi geçici ankraj cihazlarındaki biyofilm, özellikle cihazların transgingival kısımlarında peri-implantitise benzer şekilde çevredeki yumuşak dokuların iltihaplanmasına neden olabilir (Ren et al., 2014).

Bant yerleştirilmesi veya sökülmesi gibi uygulamalar bakteriyemiye nedeni olabilir. Sabit ortodontik ataşmanlar uygulanmış hastaların kanları incelendiğinde, söküm seansından sonra lokal ve sistemik hastalıklara neden olabilecek fırsatçı bakterilerin varlığı tespit edilmiştir (Erverdi et al., 2000; Gürel et al., 2009).

Kullanılan materyalin kendisi de (adezivler, braket materyalleri, ligatür materyali, bonding, simanlar vb.) yüzey özellikleri ve materyal türüne bağlı olarak biyofilm oluşumuna katkı sağlayabilir (Ren et al., 2014; Sifakakis et al., 2018).

Şekil 1. Braket sökümü sonrası, biyofilmin görselleştirilmesi amacıyla Gum-RedCote boyası ile boyanmış hali



(Ren et al., 2014)

MÜTEHARRİK (HAREKETLİ) APAREYLER VE ORAL FLORA İLİŞKİSİ

Ortodontik tedavide müteharrik apareyler, maloklüzyonları düzeltmek ve büyüme modelinde değişim elde etmek için kullanılabilir. Bu apareylerle gerçekleştirilen tedaviler ile yüz estetiğinin iyileştirilmesi, çiğneme, yutma, solunum gibi fonksiyonların sağlanması amaçlanır. Bu tür apareylerin ağızdan çıkarılabilmesi temizlenebilmesi açısından hastaya rahatlık sağlar (Rodríguez-Rentería et al., 2021). Kroşeler, ekspansiyon vidaları, kenar boşlukları ve yüzey girintileri genellikle diş fırçasının neredeyse erişemeyeceği yerlerdir ve bu durum apareylerin temizlenmesini zorlaştırabilir. Apareylerde kullanılan akrilik yüzeyin pürüzlülüğü plak birikimini büyük ölçüde teşvik eder. 0,2 µm'den büyük pöröziteler mikrobiyal adezyonu desteklemektedir (Lima et al., 2006).

Müteharrik apareyler; aktif elemanlar, tutucu elemanlar ve akrilik kaideden oluşmaktadır. Kolay ve hızlı kullanımı nedeniyle, akrilik kaide sıklıkla polimetilmetakrilat (PMMA) materyalinden üretilir. PMMA materyali, iç ve dış yüzeyindeki gözenekli yapısı nedeniyle bakteriyel kolonizasyona uygun bir ortam oluşturabilir

(Lessa et al., 2007). Akriliğin yapı, boyut ve pürüzsüzlüğüne bağlı olarak gıda birikimine sebep olduğu ve mikroorganizma proliferasyonunu etkileyebileceği belirtilmektedir. Akrilik yapıya ilaveten; dental hijyende zorlanma, damak derinliği, diş fırçalama tekniği ve sıklığı gibi bazı faktörler de *C. Albicans* proliferasyonunu etkileyebilir (Pithon et al., 2012). *Candida*'nın en sık izole edilen türü olan *C. Albicans*, özellikle bağışıklığı baskılanmış bireylerde (HIV enfeksiyonu, ağız kuruluğu, diyabet, lösemi vb.) ciddi bir klinik zorluk oluşturabilir (Ghazal et al., 2019; Hibino et al., 2009).

Akrilik hareketli ortodontik apareylerin nokturnal kullanımı da oral *C. Albicans* enfeksiyonlarının gelişiminde rol oynayabilir. Bunun nedeni düşük tükürük akışı ve dolayısıyla düşük pH seviyeleri ve kötü oral hijyen olabilir (Ghazal et al., 2019). Hareketli aparey kullanan bir pediatrik hastada, ortodontik tedavi görmeyen bir hastaya göre periodontal hastalıklar, diş eti iltihabı veya periodontitis geliştirme olasılığı daha yüksektir (Tatakis & Trombelli, 2004). Hareketli apareylerin akrilik yüzeyinde oluşan biofilm, periodonto-patojenik mikroorganizmalar için bir rezervuar görevi görür ve yeterli ağız hijyeni sağlayamıyorsa film tabakasının ortadan kaldırılması zordur. Biyofilmin büyümesi için ideal bir mikro-ortamın oluşumu, PMMA'nın hidrofobik yüzeyi, hastanın yaşı ve kötü ağız hijyeni gibi faktörlerin kombinasyonu, apareyi kullanan bireylerde bakteri kolonizasyonunu teşvik eder (Sawhney et al., 2018). Tüm ortodontik hastaların büyük bir kısmının hareketli apareylerin kullanımından sonra biyofilm birikiminde ve oral mikrobiyotada bir miktar değişiklik yaşadığı bildirilmiştir (Sawhney et al., 2018; Verrusio et al., 2018).

Yapılan çalışmalarda çocuk hastalarda, müteharrik apareylerin *S. Aureus*, *P. Aeruginosa* ve *Candida spp.* gibi potansiyel patojenik mikroorganizmaların rezervuarı haline geldiği ve oral mukozada patojen türlerin kolonizasyonuna neden olduğu, müteharrik aparey kullanan çocuklarda *S Mutans* gibi gram pozitif

koklar ve Enterobacteriaceae gibi gram negatif basillerin sayısının arttığı ve gram negatif basillerin de ağız kokusuyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Batoni et al., 2001; Goldberg et al., 1997; Pathak & Sharma, 2013; Rodríguez-Rentería et al., 2021).

SABİT APAREYLER VE ORAL FLORA İLİŞKİSİ

Sabit ortodontik aparey ile tedavi edilen hastalarda yeni başlayan çürük lezyonları ve genel gingivitis insidansının arttığı gözlenmiştir. Oral mikrobiyotadaki ekolojik değişiklikler biyofilmin bileşimini, metabolik aktivitesini ve patojenitesini etkilemekte; biyofilmi oluşturan mikroorganizmaların içeriği aerobikten anaerobiğe doğru kaymaktadır. Bu durumda plak için retantif alanlar artmakta ve plağın mekanik temizliği zorlaşmaktadır. Braketin materyal ve yüzey özelliklerinin bakteri tutunmasını, plak tutma kapasitesini ve mikrobiyal çeşitliliği etkileyebileceği de gözlemlenmiştir (Demling et al., 2009).

Sabit ortodontik apareyler, dişlerdeki plak oluşumunu ve biyofilm büyümesini destekleyen tutucu bölgelerin sayısını artırarak mine demineralizasyonuna, beyaz nokta lezyonları ve çürük riskine ve periodontal hastalığa yol açtığı için sorun yaratır. Bu risk, hem mekaniklerin tutucu bileşenlerinden hem de dil ve yanakların mekanik temizliğinin etkinliğinin azalması ve tükürük akışının empedansından kaynaklanmaktadır. Diş fırçalama ve diş arası temizliği gibi mekanik ağız hijyeni yöntemlerinin empedansı kadar, kendi kendini temizlemenin fizyolojik mekanizmalarının etkinliğinin azalması da periodontal hastalık riskini artırır (Skilbeck et al., 2022).

Sabit ortodontik apareylerin çevresinde biyofilm oluşumu beyaz nokta lezyonları ve çürük lezyonları gibi önemli yan etkilere neden olabilir. İnterdental fırçalar, özel diş fırçaları ve ağız gargaraları gibi birçok yardımcı diş ürünü mevcut olmasına rağmen, beyaz nokta lezyonların prevalansı hala yüksektir. Çünkü sabit

ortodontik apareylerin yerleştirilmesinin diş firçalamayı engellemesi, geleneksel ağız hijyen prosedürlerini daha zor hale getirmesi, bakteri adezyonu ve biyofilm oluşumuna izin veren düşük tükürük akışı alanları sağlamasıdır (Mei et al., 2017). Sabit ortodontik tedavi; plak indeksini, gingival indeksi, sondlama derinliğini ve sondlamada kanamayı arttırabilmektedir (Ireland et al., 2014; Liu et al., 2011; Naranjo et al., 2006).

Nance apareyi ya da akrilik cap splint gibi akrilik içeren bazı diş-doku destekli apareyler de sabit tedavinin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Özellikle palatal mukozaya temas eden bu akrilik yapısı plak indeksi ve gingival indeksi skorlarında artış, mukozada eritem ve S. Mutans yükünün artması ile ilişkilendirilmiştir (Dragos et al., 2025).

Braketler

Ortodontik tedavide kullanılan braketlerde kullanılan materyalin cinsi, braketin tasarımı, yüzey pürüzlülüğü, yüzey serbest enerjisi ve diğer fizikokimyasal özellikler plak tutma kapasitesini etkilemektedir (Fernandes et al., 2022; Quirynen, 1994).

Tedavide kullanılan metal, kompozit ve seramik braketler plak birikimi açısından günümüze kadar çeşitli araştırmacılar tarafından farklı suşlar üzerinde değerlendirilmiştir. Çalışmalar seramik braketlerde plastik ve metal braketlerden daha fazla bakteriyel tutunma olduğunu ve seramik braketlerin çevresinde oluşan beyaz nokta lezyonlarının metal braketlere kıyasla daha fazla olduğunu göstermiştir (Almosa et al., 2019; Brusca et al., 2007; Fernandes et al., 2022; Lim et al., 2020). Braket materyali S. Mutans adezyonu açısından incelendiğinde en fazla tutunmanın polimetilmetakrilat braketlerde; en az tutunmanın metal braketlerde olduğu görülmüştür (Giannini et al., 2026).

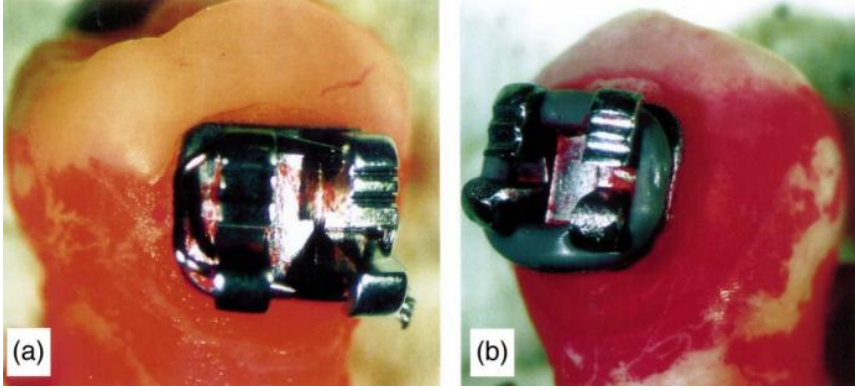
Braket tasarımının konvansiyonel ya da kapak yapısına sahip olması (self-ligating, kendinden bağlamalı) da plak birikimi

açısından araştırılmıştır. Bazı çalışmalar self ligating braketlerin periodontal sağlığı korumada daha avantajlı olduğunu, konvansiyonel braketlerde gram (-) ve gram (+) bakteri kolonizasyonunun daha fazla olduğunu ve konvansiyonel braket kullanılan grupta dişeti oluğu sıvısında daha fazla IL-8 ve alkalen fosfataz enzimi bulunduğunu belirtmiş olsa da; iki sistem arasında anlamlı bir fark bulunmadığını belirten araştırmalar da mevcuttur (Coronel-Zubiate et al., 2024; Mester et al., 2022; Nassar et al., 2021; Pandis et al., 2008).

Braketlerin yapıştırılması sırasında braket tabanı etrafında kalan kompozit artıklarının pürüzlü yüzeyi ve kompozitin polimerizasyon büzülmesi sonucu oluşan boşluklar plak birikimi için kritik bir bölgedir ve bakteri akümülyasyonuna neden olabilmektedir (Sukontapatipark et al., 2001).

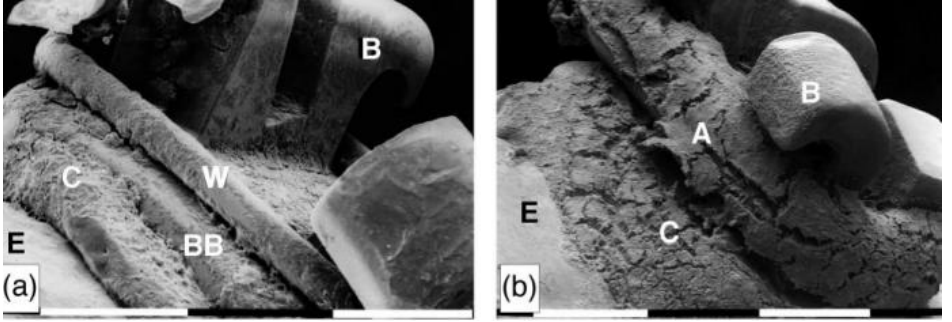
Sabit ortodontik tedavi konvansiyonel yöntem olan braketlerin bukkale yapıştırılması ile uygulanabildiği gibi lingual ortodonti yöntemi ile dişlerin lingual yüzeylerine braket tatbiki ile de uygulanabilmektedir. Lingual teknikte dental plak birikimin konvansiyonel tekniğe göre daha fazla olduğu, kısa dönem uygulama dahi olsa periodontal parametrelerin kötüleştiği ve periodontal sağlık açısından konvansiyonel yöntemin daha avantajlı olabileceği görülmüştür (Ata-Ali et al., 2016; Demling et al., 2010; Yener & Özsoy, 2020).

Şekil 2. Bondingden 3 hafta sonra braket(a) ve elastik ligatür(b) üzerinde oluşan dental plağın boyama ile gösterilmesi



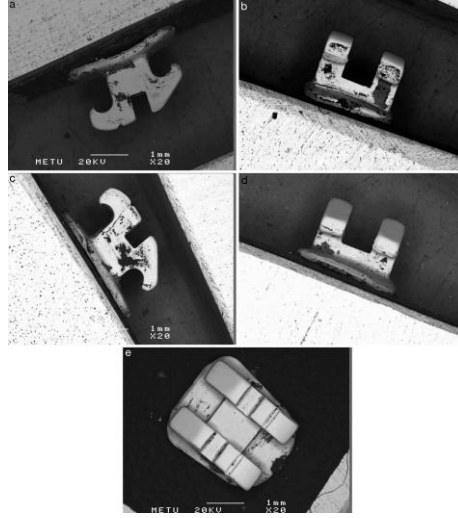
(Sukontapatipark et al., 2001)

Şekil 3. Bondingden 3 hafta sonra braket(a) ve elastik ligatür(b) üzerinde oluşan dental plağın SEM ile gösterilmesi



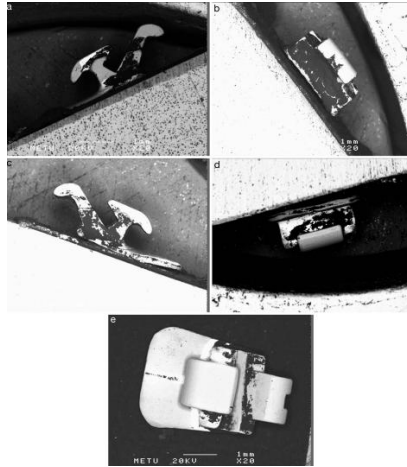
(Sukontapatipark et al., 2001).

Şekil 4. Mandibular santral kesici dişte labial teknikte, mesial(a), gingival(b), distal(c), okluzal(d) ve vestibül(e) yönlerden braketin fotomikrografları



(Yener & Özsoy, 2020)

Şekil 5. Mandibular santral kesici dişte lingual teknikte mesial(a), gingival(b), distal(c), okluzal(d), ve vestibül(e) yönlerden braketin fotomikrografları



(Yener & Özsoy, 2020)

Ark Telleri

Ark telleri, ortodontik diş hareketi için çok önemli olsa da bantlar ve braketler gibi plak birikimi için retantif bir alan oluşturmaktadır (Lazar et al., 2023). Ark tellerinde in vitro olarak braketlere göre daha fazla biyofilm oluşumu görülmüştür (Abutayyem et al., 2024). Ortodontide nikel titanyum, beta titanyum, paslanmaz çelik, polimer ile kaplanmış estetik teller gibi çeşitli ark telleri mevcuttur ve bu materyallerin her birinin yüzey pürüzlülüğü, yüzey serbest enerjisi, korozyon duyarlılığı vb. gibi çeşitli yüzey özelliklerinin, biyofilm yapışmasını ve mikrobiyal kolonizasyonu etkilediğı bulunmuştur (Polke et al., 2021).

Ark tellerinin antibakteriyel etkinlik sağlaması amacıyla titanyum ya da gümüş gibi farklı partiküller ile kaplanması üzerine çalışılmıştır. Tellerin titanyum ile kaplanmasının S. Mutans adezyonunu azalttığı ve antibakteriyel etki gösterdiği; gümüş nanopartikülleri, nanokompozitler veya gümüş kitosan ile kaplanması yüzey pürüzlülüğünün azalmasını, sürtünme direncinin düşmesini, antimikrobiyal ve antibiyofilm etkinliklerin artmasını sağladığı belirtilmiştir (Abdallah et al., 2024; Azmoudeh et al., 2026; Baçela et al., 2022).

Bonding Materyali

Ortodontik apareyler dişlere yapıştırılırken mine yüzeyi asitle pürüzlendirme, primer uygulaması ve bonding uygulanması gibi birçok işleme tabi tutulur. Bu tedavilerin amacı dişin yüzey özelliklerini (pürüzlülük ve ıslanabilirlik) değıştirerek bağı kuvvetini arttırmaktır. Biyomalzemelerin yüzey pürüzlülüğü (SR) ve yüzey ıslanabilirliğı (SW) biyofilm oluşumunu etkileyebileceğinden, ortodontik bağlama prosedürü ile ilişkili yüzey özelliklerindeki değışiklikler, ortodontik apareylerin etrafındaki biyofilm gelişimini önemli ölçüde etkileyebilir. Asit uygulaması pürüzlülüğü ve ıslanabilirliğı artırırken, adeziv uygulaması bu iki özelliğı azaltır ve

bu değişimler biyofilm oluşumunu (özellikle S. mutans ve P. gingivalis adezyonunu) etkileyebilir (Jeon et al., 2020).

Braketleme işlemi sırasında kullanılan bonding materyali dental plağın akümülayonunu ve matürasyonunu etkileyebilir. Bu durum materyalin yüzey pürüzlülüğü gibi karakteristik özelliklerinden, diş yüzeyi ile materyalin bağlanma formundan kaynaklanabilir (Bollenl et al., 1997).

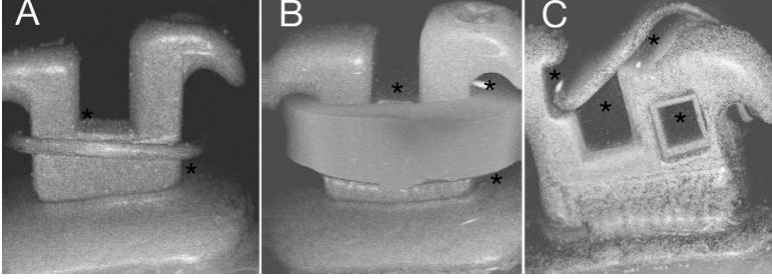
Braketlerin bonding işlemi amacıyla da kullanılabilen rezin modifiye cam iyonomer simanlar, flor salarak bakteri büyümesini inhibe edebilme özelliğinden dolayı kompozit rezinlere karşı daha avantajlı olsa da son dönemlerde biyoaktif ajanlar ve antimikrobiyal bileşenler (örneğin gümüş ve MDPB) bulunan bonding ürünleri satışa sunulmuştur (Uysal et al., 2011; Wang et al., 2015). Bu simanların karyojen bakteriler üzerindeki inhibe edici etkisini gösterilmiştir, biyofilm oluşumu üzerindeki etkileri belirlendikten sonra, simanların periodontal dokularla daha yakın temas halinde olduğu durumlarda antibakteriyel etkilerinin yararlı olacağı düşünülebilir (Huang, 2019).

Ligatürleme

Ortodontik tedavide ligatürleme işlemi, paslanmaz çelik ligatürler ile, elastik ligatürler ile veya self ligating özelliğe sahip braketlerin kullanımı ile yapılabilir. Yapılan önceki çalışmalar bu üç sistemi karşılaştırmış; paslanmaz çelik ligatürlerin plak birikimi açısından elastomerik ligatürlere kıyasla daha avantajlı olduğunu savunmuştur. Elastomerik ligatürlerin kullanımının Taneralle forsythia ve Prevotella nigrescens patojenlerinin miktarında artışa neden olduğu ve sondlamada kanama eğilimini arttırdığı gösterilmiştir. (de Souza et al., 2008; Garcez et al., 2011; Huang, 2019; Pellegrini et al., 2009; Türkkahraman et al., 2005). Ancak günümüzde biyofilm oluşumu açısından bir ligasyon yönteminin

diğerine üstünlüğünü kesin olarak kanıtlayan güçlü bir veri bulunmamaktadır (Hussain et al., 2024; Skilbeck et al., 2022).

*Şekil 6. Farklı ligatür çeşitlerinde biyofilm retansiyonu
a-paslanmaz çelik b-elastik c-self ligating*



(Garcez et al., 2011)

Şekil 7. Elastik ligatürler etrafında plak birikimi



(Huang, 2019)

Ortodontik Bantlar

Ortodontik bantlar; mevcut bir restorasyon nedeniyle molar dişlere braket yapıştırılmasının mümkün olmadığı durumlarda, diş destekli maksiller genişletme apareylerinde, transpalatal ark, Nance apareyi ya da lingual ark gibi ankraj destekleyici mekanikler ile kullanılmaktadır.

Bantlar supragingival ve subgingival yerleşim gösterdiğinden bu bölgelerdeki periopatojenler ile ilişkilendirilebilir ve periodontal dokuların sağlığını tehlikeye atabilir. Sonuç olarak,

gingival inflamasyon oluşabilir. Bu durum da büyük ölçüde geri dönüşümlü olan dişeti büyümesi ile sonuçlanabilir. Dişeti büyümesi ise subgingival yüzey alanının artmasına neden olmakta ve “psödo-periodontal cep” oluşumuna katkı sağlamaktadır (Alsulaimani et al., 2023; Kouraki et al., 2005).

Ortodontik tedavilerde bantların yerleşiminden 6 hafta sonra, yüksek plak akümüasyonu ve plak ile ilişkili gingivitis geliştiği bildirilmiştir. Bu bulgular, ortodontik tedavi süresince mevcut plağın ortadan kaldırılmasının önemini göstermektedir (Demling et al., 2009).

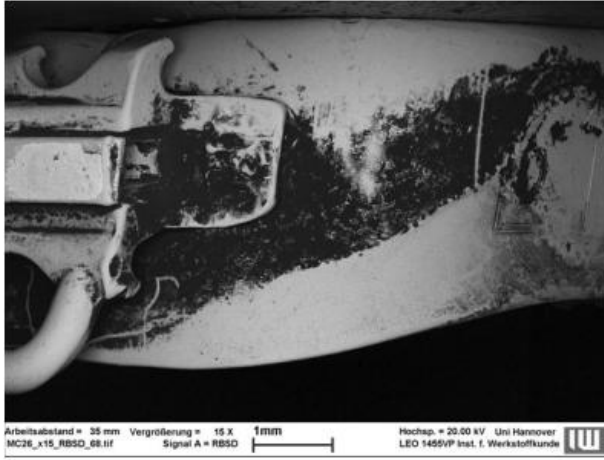
Ortodontik bant kullanıldığında sabit ortodontik tedavinin ilk 4-7 haftasında mikrobiyal plak kompozisyonu önemli ölçüde değişmekte ve bant yapıştırıldıktan sonra subgingival biyofilm bileşiminin de mikrobiyal çeşitliliği artmaktadır (Mártha et al., 2016).

Ortodontik bantlarda biofilm çoğunlukla gingival marjine yakın olarak ve ataçmanların çevresinde oluşmaktadır. Ağız içinde mevcut makaslama kuvvetlerinin bu bölgede azalmış olması ve bölgenin bakterilerin dil ve tükürüğün mekanik-hidrokinamik etkisinden korunmasını sağlaması bu durumu açıklayabilir. (Quirynen and Bollen, 1995; Hannig, 1999). Subgingival bölgede ise dişeti oluşu sıvısı varlığının ve immün yanıtın etkinliğinin bakteriyel büyümeyi inhibe etmesi nedeniyle biofilm matürasyonunun gerçekleşmediği düşünülmektedir (Demling et al., 2009).

Ortodontik bantların varlığında özellikle bantların palatal / lingual bölgelerinde ağız hijyeni sağlamak, hastalar için interproksimal alanlarda hijyen sağlamak kadar zor olmaktadır, bu nedenle özellikle periodontal hastalık öyküsü olan ortodontik hastalarda ortodontik bant kullanımı açısından dikkat edilmesi gerekmektedir (Erbe et al., 2011). Özellikle tedavinin erken

dönemlerinde bantlarda sondlamada kanama ve cep derinliği artışı daha fazla görülmektedir (Al-Anezi, 2015). Ortodontik bantlar yerine molar tüplerinin kullanımı gingival bölgedeki plak birikiminin daha iyi kontrolünü sağlamaktadır (Zhong et al., 2025).

Şekil 8. Ortodontik bantların sökümünden sonra, supragingival yüzeydeki (çoğunlukla marjinal gingiva seviyesinde) biyofilm ile subgingival bölgede biyofilm olmayan bölge arasındaki demarkasyon hattı



(Demling et al., 2009)

Pekiştirme Aygıtları

Ortodontik hareket, periodontal ligamentin hücre dışı matriksinin kolajen liflerinin yeniden şekillenmesine ve düzensizleşmesine neden olur. Periodontal ligamentin reorganizasyonu periodontal dengeye katkı sağladığı için stabilite açısından önemlidir (Proffit et al., 2018). Bu dokular yeniden organize olana kadar tedavinin relaps eğilimi çok fazladır. Tedavi bitiminde elde edilen düzeltimin korunması için pekiştirme aşamasına geçilir ve bu aşamada farklı yöntemlerden faydalanılır. Pekiştirme aygıtları akrilikten ya da vakumla şekillendirilmiş essix plaklardan yapılan hareketli apareyler veya sabit lingual retainer

telleri olmak üzere iki farklı şekilde ve bunların kombinasyonu olarak da kullanılabilir (Fleming & Pandis, 2024).

Bazı hareketli pekiştirme apareylerinin yapımında kullanılan akrilik, farklı Streptokok ve Candida suşlarını toplayarak erken biyofilm oluşumunu uyarır ve bakteriyel yapışma ve büyümeyi destekleyen tutunma alanları oluşturabilir. Hareketli apareyler en az bir yıl boyunca pH'nın dalgalı olduğu nemli bir ağız içi ortamında takıldığından, tutucular üzerinde veya içinde bu mikroorganizmaların rezervuarı olarak işlev gören çok türde plak biyofilmleri şeklinde bakteri ve mantarlar birikebilir. Bu durum, proksimal diş çürüğü veya oral kandidiyazis insidansının artmasına neden olabilir. Ayrıca bu apareylerde metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* gibi diğer fırsatçı patojenler de tanımlanmıştır (Liu et al., 2016).

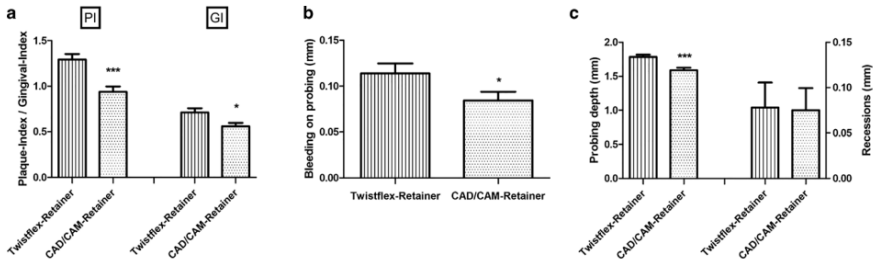
Essix plaklar ile yapılan pekiştirme tedavilerinde plakların estetik olması ve oral konfor sağlması hasta açısından kabulünü kolaylaştırır da termoplastik materyalin neden olduğu tükürüğün temizleme etkisinin azalması ve oral hijyenin yeterince sağlanamaması nedeniyle hem dişlerde hem de essix plaklarda daha fazla plak birikimi görülebilir (Manzon et al., 2018). Akrilikten üretilen hareketli apareylerin en sık kullanılan formlarından biri olan Hawley apareyinin 6 aylık kullanım sonucunda, periodontal parametreler ile *Porphyromonas gingivalis* ve *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* kolonizasyonu açısından essix plaklar ve sabit lingual tellere göre daha üstün olduğu gösterilmiştir (Li et al., 2023).

Hareketli retainerların sabit olanlara kıyasla daha az dişeti enflamasyonu, daha az plak ve diş taşı birikimi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Sabit retainerlarda ise cam-fiber ile güçlendirilmiş olanların, düz ya da çok sarımlı paslanmaz çelik retainerlara göre periodontal sağlığı daha kötü etkilediği bildirilmiştir (Quinzi et al., 2023).

Lingual retainer gibi sabit teknikler, dişlerin stabilizasyonu, estetik olması, hasta kooperasyonundan bağımsız olması sayesinde avantaj sağlarken; mine yüzeyiyle direkt temasta olması ve limitli oral hijyen dolayısıyla diş çürüklerine ve periodontal reaksiyonlara neden olabilmesi dezavantajları olarak sayılabilir. Hayvanlarda ve in-vivo olarak insanlarda yapılan çalışmalar; sabit lingual retainerların periodontal sağlığı negatif etkilediği, plak akümüasyonunu, gingival kanamayı, gingival reaksiyonların insidansını arttırdığını bildirmiştir (Arn et al., 2020). Ortodontik tedavi, özellikle post-ortodontik sabit retainer ile birleştirildiğinde periodontal sağlığı olumsuz etkileyebilir. Sabit pekiştirme yöntemleriyle yüzey yapısının düzensizleşmesi, plak birikimi ve sondalamada kanama ile ilişkilendirmiş olsa da yüzeyde oluşan bu farklılığın klinik olarak düşük önem taşıdığı gösterilmiştir. Sonuç olarak, tedavi sırasında ve sonrasında oral hijyenin titizlikle sağlanması ve hastaların yakın takibi tavsiye edilmektedir (Levin et al., 2008).

Konvansiyonel twistflex ve CAD/CAM ile üretilmiş Nitinol lingual retainerlar karşılaştırıldığında, nitinol retainerın oral sağlık üzerinde daha olumlu etkisi olduğu gösterilmiştir (Knaup et al., 2019).

Şekil 9. Nitinol ve Twistflex retainerlerin karşılaştırılması (a = plak indeksi ve gingival indeks, b = sondlamada kanama indeksi, c = sondlama derinliği)



(Knaup et al., 2019)

Şekil 10. a = twistflex retainer, b = cadcam ile üretilmiş nitinol retainer



(Knaup et al., 2019)

Tek sarımlı ve çok sarımlı farklı sabit lingual retainerlerin karşılaştırıldığı çalışmada, çok sarımlı tellerin bakteri kolonizasyonuna daha elverişli olduğu sonucuna varılmıştır (Jongsma et al., 2013).

Şekil 11. Farklı lingual retainerlerin karşılaştırılması

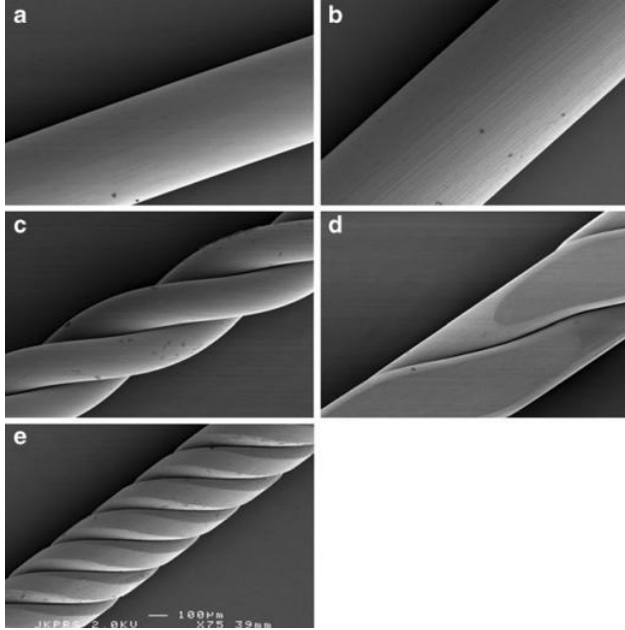
a-tek sarımlı paslanmaz çelik (Forestanit),

b-tek sarımlı altın (RW028),

c-3 sarımlı paslanmaz çelik (Wildcat)

d-3 sarımlı paslanmaz çelik (Quadcat)

e-6 sarımlı paslanmaz çelik (Pentacat)



(Jongsma et al., 2013)

Şeffaf Plaklar

Son yıllarda estetik bir görünüme sahip olması nedeniyle kabul edilebilirliği arttırdığından şeffaf plaklar ile yapılan tedavilere olan talep artmıştır. 1990'ların sonunda, Align Technology (San Jose, CA, ABD) tarafından poliüretan esaslı bir malzeme olan Invisalign adlı ilk aligner tanıtılmıştır. Bir yazılım programı yardımıyla, bir dizi

şeffaf çıkarılabilir aligner tasarlanarak dişlerin önceden planlanmış konumlarına hareketlerinin sağlanması amaçlanmıştır (Tektas et al., 2020).

Braket ya da şeffaf plak fark etmeksizin ortodontik aygıtların ortak noktası oral mikrobiyotada değişime yol açmalarıdır. Şeffaf plakların kullanımı da oral florada virülans faktörlerini arttırmakta, mikroorganizmaların adhezyonu ve biyofilm oluşumu açısından ortam hazırlamaktadır (Wang et al., 2024). Şeffaf plakların materyali, tasarımı ve üretim metodu da biyofilm oluşumu üzerinde etkilidir (Bozkurt et al., 2025).

Şeffaf plakların kullanımında, henüz yapılmış çalışmalar çok yeni ve kısıtlı olsa da diş yüzeyi ile şeffaf plak arasındaki bölgede diş yüzeyindekinden farklı bir mikrobiyota oluştuğu ve metabolit çeşitliliğin azaldığı; özellikle plak kontrolünün kötü olduğu durumlarda bu disbiyozisin daha da belirginleştiği öne sürülmüştür (Gong et al., 2025).

Yapılan bazı çalışmalar şeffaf plak tedavilerinin periodontal sağlık parametreleri, beyaz lezyonların oluşumu ve oral hijyeni sağlama açısından sabit ortodontik tedaviye göre daha avantajlı olabileceğini göstermektedir (Dipalma et al., 2025; Llera-Romero et al., 2023). Bu avantaj şeffaf plakların materyalinin mikrobiyota üzerindeki üstünlüğünden ziyade, takıp çıkarılabilmesinden kaynaklı oral hijyen sağlamanın daha kolay olmasının bir sonucu olarak görülebilir (Wang et al., 2019). Yine benzer şekilde şeffaf plakların subgingival mikrobiyota kompozisyonunu anlamlı derecede değiştirmedeği de belirtilmiştir (Belanche Monterde et al., 2025; Rouzi et al., 2023). Ancak periodontal durum açısından şeffaf plak tedavisinin sabit ortodontik tedaviye göre üstünlüğünü ve periodontal hastalığa sahip bireylerde kullanım endikasyonu oluşturduğunu gösteren kesin bir kanıtın hala bulunmadığını; ağız hijyeni alışkanlıkları, periodontal durumun klinik kontrolü ve uygulanan ortodontik biyomekanik gibi bireysel faktörlerin seçilen

tedavi şeklinden daha önemli olduğunu gösteren çalışmalar da günümüz literatüründe mevcuttur (Di Spirito et al., 2023; dos Santos et al., 2024; ElNaghy et al., 2023).

Geçici Ankraj Üniteleri (Minividalar)

1990'lı yıllardan beri ortodontik ankraj için kullanılan mini vidalar (mini implantlar) stabil kemik ankrajı sağlayan ve istenmeyen diş hareketini (ankraj kaybını) önlemeyi amaçlayan geçici aygıtlardır. Hasta tarafından kabul edilebilirliği, yüksek başarı oranı, küçük boyutları sayesinde anatomik limitasyon zorluğunun azalması, yüklemenin aynı seans yapılabilmesi, uygulamasının kolay olması, düşük maliyet, biyouyumluluk gibi avantajları mevcuttur (Chin et al., 2007; Moeini et al., 2023). Ortodontik olarak uygulanan mini vida kaybına birçok faktör neden olabilir, bunlardan biri de mini vidayı çevreleyen dokuda meydana gelen inflamasyondur. Ağız hijyeni yetersiz olan hastalarda mini vidalar başarıyla yerleştirilse bile vida kaybı gerçekleşebilmektedir (Miyawaki et al., 2003; Truong et al., 2022) Mini vidanın baş kısmında biofilm oluşumu gerçekleşmesi, komşu dokulardaki mukozada aftöz ülserasyon oluşumuna neden olabilmektedir (Kravitz & Kusnoto, 2007). Oral hijyenin sağlanması mini vida komplikasyonlarını en aza indirmek için önemli bir faktördür (Favero et al., 2024).

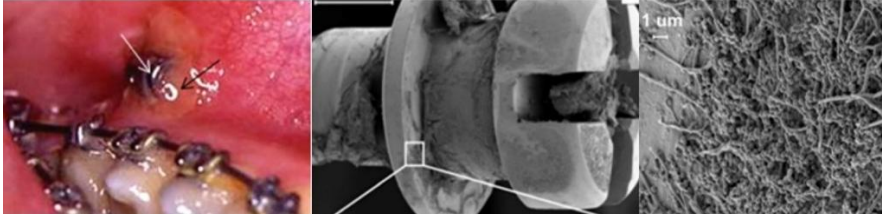
Minividaların yerleştirilmesini takiben 24 saat içerisinde mikrobiyal kolonizasyon başlamaktadır. Mini vida çevresindeki doku sıvısı, dişeti oluşu sıvısına göre daha yüksek miktarda stafilokok, fakültatif enterik kommensal ve anaerobik kokları içermektedir. Başarısız olan mini vidalarda ise daha yüksek oranda Stafilokok, Enterobacter ve Parvimonas türleri izole edilmiştir (Mishra et al., 2023).

Ağız hijyeninin yetersiz olması mini vida çevresinde biofilm birikimine neden olur ve bu biofilm'in yapısında Aggregatibacter

actinomycescomitans gibi periopatojenlerin gelişimi kolaylaştır (Jafarieh et al., 2025). Mini vida etrafındaki sağlıklı ve inflame dokular otofloresans yöntemi ile incelendiğinde, inflame olmuş dokuyla çevrili mini vida etrafında oluşan biofilm içerisinde P. Gingivalis miktarının anlamlı derecede arttığı gösterilmiştir (Garcez et al., 2020).

Mini vida çevresindeki sağlıklı dokular, bakterilere karşı biyolojik bir bariyer olarak önemli bir rol oynar. Mini vidanın yerleştirilmesinden sonra doku iltihabı, minör enfeksiyon ve peri-implantitis oluşabilir. Bazı klinisyenler, mini vidanın yapımından sonra, peri implantitis riskini azaltmak için, 2 hafta süreyle yumuşak doku iyileşmesinin beklenmesini ve ortodontik kuvvet uygulanmamasını önermektedir. (Murray et al., 2005)

Şekil 12. Geçici ankraj mekaniklerinin neden olduğu yumuşak doku inflamasyonu ve biyofilm oluşumu



(Ren et al., 2014)

HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİ İÇİN KULLANILAN APAREYLER

Hızlı üst çene genişletmesi (Rapid Maxillary Expansion, RME) maksillanın transversal yön yetersizliklerinin tedavisi amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Tedavi planına bağlı olarak yavaş veya hızlı genişletme yapılabilir. Hızlı genişletme ile mid palatal sütürün açılması amaçlanırken, yavaş genişletmenin etkisinin çok büyük oranda dental olması beklenmektedir. Hızlı genişletme aparatları bantlı veya akrilik cap splint olarak uygulanabilir (Graber

et al., 2016). Hem yavaş hem hızlı maksiller genişletme apareyleri plak indeksi ve kanama indeksini arttırmakta ve periodontal irritasyona sebebiyet vermektedir (Mummolo et al., 2014).

RME apareyleri bakteriyel ve fungal enfeksiyonların görülme sıklığını arttırmasının yanı sıra dokuda oluşan mekanik travmaya bağlı olarak mukozada inflamatuvar bir yanıt ve disbiyozise, kimi zaman da mukozal hiperplaziye neden olmaktadır (Casu et al., 2025).

Uygulanan genişletme apareyinin sökümü de hastada bakteriyemiye neden olmakta ve bu durum apareyin diş, doku ya da diş-doku destekli olmasından bağımsız olarak gerçekleşmektedir (Titiz Yurdakal et al., 2024).

Akrilik cap splint ile genişletme yapılan hastalarda beyaz nokta lezyonu oluşma eğiliminin arttığı ve apareyin sökümünün oluşan kanama miktarından bağımsız olarak bakteriyemi insidansını %32 oranında arttırdığı da gösterilmiştir (Gürel et al., 2009; Korkmaz et al., 2019).

Kaynakça

Abdallah, O. M., Sedky, Y., & Shebl, H. R. (2024). Comprehensive evaluation of the antibacterial and antibiofilm activities of NiTi orthodontic wires coated with silver nanoparticles and nanocomposites: An in vitro study. *BMC Oral Health*, 24(1), 1345. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05104-w>

Abutayyem, H., Alshehhi, M. A., Alameri, M., & Zafar, M. S. (2024). Microbial adhesion on different types of orthodontic brackets and wires: An in vitro study. *The Saudi Dental Journal*, 36(11), 1459-1465. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2024.09.004>

Ahn, S.-J., Lee, S.-J., Lim, B.-S., & Nahm, D.-S. (2007). Quantitative determination of adhesion patterns of cariogenic streptococci to various orthodontic brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(6), 815-821. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.09.034>

Al-Anezi, S. A. (2015). The effect of orthodontic bands or tubes upon periodontal status during the initial phase of orthodontic treatment. *The Saudi Dental Journal*, 27(3), 120-124. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2014.11.010>

Almosa, N. A., Sibai, B. S., Rejjal, O. A., & Alqahtani, N. (2019). Enamel demineralization around metal and ceramic brackets: an in vitro study. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 37-43. <https://doi.org/10.2147/ccide.s190893>

Alsulaimani, L., Alqarni, H., Akel, M., Khalifa, F., & Akel, M. S. (2023). The orthodontics-periodontics challenges in integrated treatment: a comprehensive review. *Cureus*, 15(5). <https://doi.org/10.7759/cureus.38994>

Arn, M.-L., Dritsas, K., Pandis, N., & Kloukos, D. (2020). The effects of fixed orthodontic retainers on periodontal health: a systematic review. *American Journal of Orthodontics and*

Dentofacial Orthopedics, 157(2), 156-164. e117.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.10.010>

Ata-Ali, F., Ata-Ali, J., Ferrer-Molina, M., Cobo, T., De Carlos, F., & Cobo, J. (2016). Adverse effects of lingual and buccal orthodontic techniques: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149(6), 820-829. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.11.031>

Azmoudeh, F., Taherkhani, O., Hosseini, O., Khanjani, S., & Nazeri, N. (2026). Effect of Chitosan/Silver Nanoparticle Coating on Antibacterial and Frictional Resistance of Orthodontic Wires: An In-vitro Study. *BioNanoScience*, 16(2), 125. <https://doi.org/10.1007/s12668-025-02315-5>

Babaahmady, K., Challacombe, S., Marsh, P., & Newman, H. (1998). Ecological study of *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus* and *Lactobacillus* spp. at sub-sites from approximal dental plaque from children. *Caries research*, 32(1), 51-58. <https://doi.org/10.1159/000016430>

Bącela, J. J., Kielan-Grabowska, Z., Borak, B., Sobieszcańska, B., Walczuk, U., Kawala, B., Zięty, A., Detyna, J., & Sarul, M. (2022). Antiadherent and antibacterial properties of TiO₂-coated and TiO₂: Ag-coated stainless steel orthodontic wires against *S. mutans* bacteria. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 24(3). <https://doi.org/10.37190/ABB-02109-2022-03>

Batoni, G., Pardini, M., Giannotti, A., Ota, F., Rita Giuca, M., Gabriele, M., Campa, M., & Senesi, S. (2001). Effect of removable orthodontic appliances on oral colonisation by mutans streptococci in children. *European journal of oral sciences*, 109(6), 388-392. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0722.2001.00089.x>

Belanche Monterde, A., Flores-Fraile, J., Pérez Pevida, E., & Zubizarreta-Macho, Á. (2025). Biofilm Composition Changes

During Orthodontic Clear Aligners Compared to Multibracket Appliances: A Systematic Review. *Microorganisms*, 13(5), 1039. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13051039>

Bilgiç, F., İnci, M., Sözer, Ö. A., Ay, Y., Altan, H., & Arslanoğlu, Z. (2016). Hareketli Fonksiyonel Aparey Kullanan Hastalarda Oral C. Albicans Kolonizasyonunun Araştırılması. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 26(2). <https://doi.org/10.17567/dfd.69188>

Bollenl, C. M., Lambrechts, P., & Quirynen, M. (1997). Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dental materials*, 13(4), 258-269. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(97\)80038-3](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(97)80038-3)

Bozkurt, A. P., Demirci, M., Erdogan, P., & Kayalar, E. (2025). Comparison of microbial adhesion and biofilm formation on different orthodontic aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 167(1), 47-62. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.08.010>

Brusca, M., Chara, O., Sterin-Borda, L., & Rosa, A. (2007). Influence of different orthodontic brackets on adherence of microorganisms in vitro. *The Angle Orthodontist*, 77(2), 331-336. [https://doi.org/10.2319/0003-3219\(2007\)077\[0331:iodobo\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2319/0003-3219(2007)077[0331:iodobo]2.0.co;2)

Casu, C., Butera, A., Scano, A., Scribante, A., Fais, S., Ladu, L., Siotto-Pintor, A., & Orrù, G. (2025). Photodynamic Therapy in the Management of MDR Candida spp. Infection Associated with Palatal Expander: In Vitro Evaluation. *Photonics*,

Chin, M. Y., Sandham, A., De Vries, J., van der Mei, H. C., & Busscher, H. J. (2007). Biofilm formation on surface characterized micro-implants for skeletal anchorage in orthodontics. *Biomaterials*,

<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.12.014>

Coronel-Zubiate, F.-T., Luján-Valencia, S.-A., Meza-Málaga, J.-M., Aguirre-Ipenza, R., Echevarria-Goche, A., Luján-Urviola, E., & Arbildo-Vega, H. (2024). Effect of conventional and self-ligating brackets on periodontal health. Systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 16(3), e358. <https://doi.org/10.4317/jced.61378>

de Souza, R. A., de Araújo Magnani, M. B. B., Nouer, D. F., da Silva, C. O., Klein, M. I., Sallum, E. A., & Gonçalves, R. B. (2008). Periodontal and microbiologic evaluation of 2 methods of archwire ligation: Ligature wires and elastomeric rings. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(4), 506-512. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.09.067>

Demling, A., Demling, C., Schwestka-Polly, R., Stiesch, M., & Heuer, W. (2010). Short-term influence of lingual orthodontic therapy on microbial parameters and periodontal status. *The Angle Orthodontist*, 80(3), 480-484. <https://doi.org/10.2319/061109-330.1>

Demling, A., Heuer, W., Elter, C., Heidenblut, T., Bach, F.-W., Schwestka-Polly, R., & Stiesch-Scholz, M. (2009). Analysis of supra-and subgingival long-term biofilm formation on orthodontic bands. *The European Journal of Orthodontics*, 31(2), 202-206. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjn090>

Di Spirito, F., D'Ambrosio, F., Cannatà, D., D'Antò, V., Giordano, F., & Martina, S. (2023). Impact of clear aligners versus fixed appliances on periodontal status of patients undergoing orthodontic treatment: a systematic review of systematic reviews. *Healthcare*,

Dipalma, G., Inchingolo, A. D., Fiore, A., Balestriere, L., Nardelli, P., Casamassima, L., Di Venere, D., Palermo, A.,

Inchingolo, F., & Inchingolo, A. M. (2025). The differential impact of clear aligners and fixed orthodontic appliances on periodontal health: a systematic review. *Children*, 12(2), 138. <https://doi.org/10.3390/children12020138>

dos Santos, C. C. O., Fagundes, N. C. F., da Costa, G. C., & Normando, D. (2024). Clear aligner treatment among patients with compromised periodontal tissue. *Seminars in Orthodontics*,

Dragos, B., Bratu, D.-C., Popa, G., Luca, M.-M., Bratu, R.-C., Neagu, C., & Sinescu, C. (2025). Retrospective Assessment of Palatal Biofilm and Mucosal Inflammation Under Orthodontic Appliances in Young Adults (2022–2025): A Single-Center Cohort with Microbiologic Sub-Sampling. *Dentistry Journal*, 13(11), 488. <https://doi.org/10.3390/dj13110488>

ElNaghy, R., Al-Qawasmi, R., & Hasanin, M. (2023). Does orthodontic treatment using clear aligners and fixed appliances affect periodontal status differently? *Evidence-Based Dentistry*, 24(2), 73-74. <https://doi.org/10.1038/s41432-023-00890-8>

Erbe, C., Hornikel, S., Schmidtman, I., & Wehrbein, H. (2011). Quantity and distribution of plaque in orthodontic patients treated with molar bands. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 72(1), 13-20. <https://doi.org/10.1007/s00056-010-0001-4>

Erverdi, N., Biren, S., Kadir, T., & Acar, A. (2000). Investigation of bacteremia following orthodontic debanding. *The Angle Orthodontist*, 70(1), 11-14.

Favero, R., Fabiane, M., Zuccon, A., Conte, D., & Ludovichetti, F. S. (2024). Maintaining hygiene in orthodontic miniscrews: patient management and protocols—a literature review. *Dentistry Journal*, 12(7), 227. <https://doi.org/10.3390/dj12070227>

Fernandes, R. B., Polo, A. B., Rocha, V. N., Vitral, R. W. F., Apolônio, A. C. M., & da Silva Campos, M. J. (2022). Influence of orthodontic brackets design and surface properties on the cariogenic *Streptococcus mutans* adhesion. *The Saudi Dental Journal*, 34(4), 321-327. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.03.008>

Fleming, P. S., & Pandis, N. (2024). Orthodontic retention: Rationale and periodontal implications. *Periodontology* 2000. <https://doi.org/10.1111/prd.12560>

Garcez, A., Barros, L., Fernandes, M., Fujii, D., Suzuki, S., & Nepomuceno, R. (2020). Fluorescence image and microbiological analysis of biofilm retained around healthy and inflamed orthodontic miniscrews. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 30, 101707. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101707>

Garcez, A. S., Suzuki, S. S., Ribeiro, M. S., Mada, E. Y., Freitas, A. Z., & Suzuki, H. (2011). Biofilm retention by 3 methods of ligation on orthodontic brackets: a microbiologic and optical coherence tomography analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(4), e193-e198. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.04.019>

Ghazal, A. R. A., Idris, G., Hajeer, M. Y., Alawer, K., & Cannon, R. D. (2019). Efficacy of removing *Candida albicans* from orthodontic acrylic bases: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 19(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0765-x>

Giannini, L., Cenzato, N., Del Fabbro, M., & Maspero, C. (2026). Adhesion, Biofilm Formation and Plaque-Related Potential of *Streptococcus mutans* on Orthodontic Materials: An In Vitro Comparative Study. *Applied Sciences*, 16(4), 1693. <https://doi.org/10.3390/app16041693>

Goldberg, S., Cardash, H., Browning, H., Sahly, H., & Rosenberg, M. (1997). Isolation of Enterobacteriaceae from the

mouth and potential association with malodor. *Journal of dental research*, 76(11), 1770-1775.
<https://doi.org/10.1177/00220345970760110801>

Gong, W., Zhou, K., Li, S., Yue, Z., Zhang, Q., Li, Y., & Mi, X. (2025). Different effects of fixed appliances and clear aligners on the microbiome and metabolome of dental plaque. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 28(2), 354-364.
<https://doi.org/10.1111/ocr.12883>

Graber, L. W., Vanarsdall, R. L., Vig, K. W., & Huang, G. J. (2016). *Orthodontics-e-book: current principles and techniques*. Elsevier Health Sciences.

Gürel, H. G., Basciftci, F. A., & Arslan, U. (2009). Transient bacteremia after removal of a bonded maxillary expansion appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(2), 190-193.

Hibino, K., Wong, R. W., Haegg, U., & Samaranayake, L. P. (2009). The effects of orthodontic appliances on *Candida* in the human mouth. *International journal of paediatric dentistry*, 19(5), 301-308. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2009.00988.x>

Huang, G. (2019). The ortho-perio patient: Clinical evidence and therapeutic guidelines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 156(3), 431.

Hussain, U., Campobasso, A., Noman, M., Alam, S., Mujeeb, R., Shehzad, S., & Papageorgiou, S. N. (2024). Influence of elastomeric and steel ligatures on periodontal health during fixed appliance orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Progress in Orthodontics*, 25(1), 24.
<https://doi.org/10.1186/s40510-024-00520-8>

Ireland, A., Soro, V., Sprague, S., Harradine, N., Day, C., Al-Anezi, S., Jenkinson, H., Sherriff, M., Dymock, D., & Sandy, J.

(2014). The effects of different orthodontic appliances upon microbial communities. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 17(2), 115-123. <https://doi.org/10.1111/ocr.12037>

Jafarieh, D., Jafarieh, R., Bahrami, R., Pourhajibagher, M., & Bahador, A. (2025). Improvement of antibacterial potency of riboflavin mediated photodynamic therapy by potassium iodide against *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* biofilm formed on orthodontic miniscrews: An in vitro study. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 105268. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2025.105268>

Jeon, D.-M., An, J.-S., Lim, B.-S., & Ahn, S.-J. (2020). Orthodontic bonding procedures significantly influence biofilm composition. *Progress in Orthodontics*, 21, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40510-020-00314-8>

Jongsma, M. A., Pelsler, F. D., van der Mei, H. C., Atema-Smit, J., van de Belt-Gritter, B., Busscher, H. J., & Ren, Y. (2013). Biofilm formation on stainless steel and gold wires for bonded retainers in vitro and in vivo and their susceptibility to oral antimicrobials. *Clinical oral investigations*, 17(4), 1209-1218.

Knaup, I., Wagner, Y., Wego, J., Fritz, U., Jäger, A., & Wolf, M. (2019). Potential impact of lingual retainers on oral health: comparison between conventional twistflex retainers and CAD/CAM fabricated nitinol retainers. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 80(2), 88-96. <https://doi.org/10.1007/s00056-019-00169-7>

Korkmaz, Y. N., Yagci, A., & Buyuk, S. K. (2019). Quantitative light-induced fluorescence assessment of white spots following semi-rapid maxillary expansion. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 26, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.03.009>

Kouraki, E., Bissada, N. F., Palomo, J. M., & Ficara, A. J. (2005). Gingival enlargement and resolution during and after orthodontic treatment. *New York State Dental Journal*, 71(4), 34.

Kravitz, N. D., & Kusnoto, B. (2007). Risks and complications of orthodontic miniscrews. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 131(4), S43-S51. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.04.027>

Lazar, L., Vlasa, A., Beresescu, L., Bud, A., Lazar, A. P., Matei, L., & Bud, E. (2023). White Spot Lesions (WSLs)—post-orthodontic occurrence, management and treatment alternatives: a narrative review. *Journal of Clinical Medicine*, 12(5), 1908. <https://doi.org/10.3390/jcm12051908>

Lessa, F. C. R., Enoki, C., Ito, I. Y., Faria, G., Matsumoto, M. A. N., & Nelson-Filho, P. (2007). In-vivo evaluation of the bacterial contamination and disinfection of acrylic baseplates of removable orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 131(6), 705. e711-705. e717. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.09.042>

Levin, L., Samorodnitzky-Naveh, G. R., & Machtei, E. E. (2008). The association of orthodontic treatment and fixed retainers with gingival health. *Journal of periodontology*, 79(11), 2087-2092.

Li, B., Lu, C., Yao, X., Wu, X., Wu, G., & Zeng, X. (2023). Effects of three orthodontic retainers on periodontal pathogens and periodontal parameters. *Scientific reports*, 13(1), 20709. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46922-2>

Lim, B.-S., Kim, B.-H., Shon, W.-J., & Ahn, S.-J. (2020). Effects of caries activity on compositions of mutans streptococci in saliva-induced biofilm formed on bracket materials. *Materials*, 13(21), 4764. <https://doi.org/10.3390/ma13214764>

Lima, E., Moura, J., Del Bel Cury, A., Garcia, R., & Cury, J. (2006). Effect of enzymatic and NaOCl treatments on acrylic roughness and on biofilm accumulation. *Journal of oral rehabilitation*, 33(5), 356-362. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2005.01564.x>

Liu, H., Sun, J., Dong, Y., Lu, H., Zhou, H., Hansen, B. F., & Song, X. (2011). Periodontal health and relative quantity of subgingival Porphyromonas gingivalis during orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*, 81(4), 609-615. <https://doi.org/10.2319/082310-352.1>

Liu, S.-y., Tonggu, L., Niu, L.-n., Gong, S.-q., Fan, B., Wang, L., Zhao, J.-h., Huang, C., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2016). Antimicrobial activity of a quaternary ammonium methacryloxy silicate-containing acrylic resin: a randomised clinical trial. *Scientific reports*, 6(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/srep21882>

Liu, Y., Zhang, Y., Wang, L., Guo, Y., & Xiao, S. (2013). Prevalence of Porphyromonas gingivalis four rag locus genotypes in patients of orthodontic gingivitis and periodontitis. *PloS one*, 8(4), e61028.

Llera-Romero, A. S., Adobes-Martín, M., Iranzo-Cortés, J. E., & Garcovich, D. (2023). Periodontal health status, oral microbiome, white-spot lesions and oral health related to quality of life-clear aligners versus fixed appliances: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. *Korean Journal of Orthodontics*, 53(6), 374-392. <https://doi.org/10.4041/kjod22.272>

Manzon, L., Fratto, G., Rossi, E., & Buccheri, A. (2018). Periodontal health and compliance: A comparison between Essix and Hawley retainers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(6), 852-860. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.10.025>

Marczyńska-Stolarek, M., & Chomicz, L. (2019). Examination of oral biofilm microbiota in patients using fixed orthodontic appliances in order to prevent risk factors for health complications. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 26(2), 231-235. <https://doi.org/10.26444/aaem/105797>

Mártha, K., Lőrinczi, L., Bică, C., Gyergyay, R., Petcu, B., & Lazăr, L. (2016). Assessment of periodontopathogens in subgingival biofilm of banded and bonded molars in early phase of fixed orthodontic treatment. *Acta microbiologica et immunologica Hungarica*, 63(1), 103-113. <https://doi.org/10.1556/030.63.2016.1.8>

Mei, L., Busscher, H. J., Van Der Mei, H. C., Chen, Y., De Vries, J., & Ren, Y. (2009). Oral bacterial adhesion forces to biomaterial surfaces constituting the bracket–adhesive–enamel junction in orthodontic treatment. *European Journal of Oral Sciences*, 117(4), 419-426. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2009.00648.x>

Mei, L., Chieng, J., Wong, C., Benic, G., & Farella, M. (2017). Factors affecting dental biofilm in patients wearing fixed orthodontic appliances. *Progress in Orthodontics*, 18(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40510-016-0158-5>

Mester, A., Onisor, F., & Mesaros, A. S. (2022). Periodontal health in patients with self-ligating brackets: a systematic review of clinical studies. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9), 2570. <https://doi.org/10.3390/jcm11092570>

Mishra, G., Kharbanda, O. P., Chaudhry, R., & Duggal, R. (2023). A pattern of microbiological colonization of orthodontic miniscrew implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 164(4), 554-566. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.02.023>

Miyawaki, S., Koyama, I., Inoue, M., Mishima, K., Sugahara, T., & Takano-Yamamoto, T. (2003). Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(4), 373-378. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(03\)00565-1](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(03)00565-1)

Moeini, N., Sabri, H., Galindo-Fernandez, P., Mirmohamadsadeghi, H., & Valian, N. K. (2023). Periodontal status following orthodontic mini-screw insertion: A prospective clinical split-mouth study. *Clinical and Experimental Dental Research*, 9(4), 596-605. <https://doi.org/10.1002/cre2.757>

Mummolo, S., Marchetti, E., Albani, F., Campanella, V., Pugliese, F., Di Martino, S., Tecco, S., & Marzo, G. (2014). Comparison between rapid and slow palatal expansion: evaluation of selected periodontal indices. *Head & face medicine*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-10-30>

Murray, B., McGuinness, N., Biagioni, P., Hyland, P., & Lamey, P. J. (2005). A comparative study of the efficacy of Aphtheal™ in the management of recurrent minor aphthous ulceration. *Journal of oral pathology & medicine*, 34(7), 413-419. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0714.2005.00334.x>

Naranjo, A. A., Triviño, M. L., Jaramillo, A., Betancourth, M., & Botero, J. E. (2006). Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 130(3), 275. e217-275. e222. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.022>

Nassar, E. A., Almasoud, N. N., Al-Qurashi, M. S., Alsulaiman, A. A., & Hassan, K. S. (2021). An Evaluation of Microbial Flora, Alkaline Phosphatase and IL-8 Levels in GCF of Orthodontic Patients with Self-Ligating and Conventional Brackets.

Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry, 13, 343.
<https://doi.org/10.2147/CCIDE.S319046>

Pandis, N., Vlachopoulos, K., Polychronopoulou, A., Madianos, P., & Eliades, T. (2008). Periodontal condition of the mandibular anterior dentition in patients with conventional and self-ligating brackets. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 11(4), 211-215. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2008.00432.x>

Pathak, A., & Sharma, D. (2013). Biofilm associated microorganisms on removable oral orthodontic appliances in children in the mixed dentition. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 37(3), 335-340.

Pellegrini, P., Sauerwein, R., Finlayson, T., McLeod, J., Covell Jr, D. A., Maier, T., & Machida, C. A. (2009). Plaque retention by self-ligating vs elastomeric orthodontic brackets: quantitative comparison of oral bacteria and detection with adenosine triphosphate-driven bioluminescence. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(4), 426. e421-426. e429. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.12.002>

Pithon, M. M., Santos, R. L. d., Alviano, W. S., Ruellas, A. C. d. O., & Araújo, M. T. d. S. (2012). Quantitative assessment of *S. mutans* and *C. albicans* in patients with Haas and Hyrax expanders. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 17, e1-e6. <https://doi.org/10.1590/S2176-94512012000300006>

Polke, P., Jain, U., Marothiya, S., Agrawal, P., Dixit, S., & Dubey, C. (2021). Comparative evaluation of biofilm adhesion to different types of archwire and microbiological colonization during orthodontic treatment. *Journal of Indian Orthodontic Society*, 55(2), 150-157. <https://doi.org/10.1177/0301574220957794>

Proffit, W. R., Fields, H., Larson, B., & Sarver, D. M. (2018). *Contemporary orthodontics-e-book: contemporary orthodontics-E-Book*. Elsevier Health Sciences.

Quinzi, V., Carli, E., Mummolo, A., De Benedictis, F., Salvati, S. E., & Mampieri, G. (2023). Fixed and removable orthodontic retainers, effects on periodontal health compared: a systematic review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 13(2), 337-346. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2023.02.015>

Quirynen, M. (1994). The clinical meaning of the surface roughness and the surface free energy of intra-oral hard substrata on the microbiology of the supra-and subgingival plaque: results of in vitro and in vivo experiments. *Journal of dentistry*, 22, S13-S16. [https://doi.org/10.1016/0300-5712\(94\)90165-1](https://doi.org/10.1016/0300-5712(94)90165-1)

Ren, Y., Jongsma, M. A., Mei, L., van der Mei, H. C., & Busscher, H. J. (2014). Orthodontic treatment with fixed appliances and biofilm formation—a potential public health threat? *Clinical oral investigations*, 18(7), 1711-1718. <https://doi.org/10.1007/s00784-014-1240-3>

Ristic, M., Vlahovic Svabic, M., Sasic, M., & Zelic, O. (2007). Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances on periodontal tissues in adolescents. *Orthod Craniofac Res*, 10(4), 187-195. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2007.00396.x>

Rodríguez-Rentería, M., Márquez-Preciado, R., Ortiz-Magdaleno, M., Bermeo-Escalona, J., & Sánchez-Vargas, L. O. (2021). Frequency of Pathogenic Microorganisms in Removable Orthodontic Appliances and Oral Mucosa in Children. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 45(2), 135-139.

Rouzi, M., Jiang, Q., Zhang, H., Li, X., Long, H., & Lai, W. (2023). Characteristics of oral microbiota and oral health in the patients treated with clear aligners: a prospective study. *Clinical oral investigations*, 27(11), 6725-6734. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05281-y>

Sawhney, R., Sharma, R., & Sharma, K. (2018). Microbial colonization on elastomeric ligatures during orthodontic therapeutics: an overview. *Turkish journal of orthodontics*, 31(1), 21. <https://doi.org/10.5152/TurkJOrthod.2018.17050>

Sifakakis, I., Papaioannou, W., Papadimitriou, A., Kloukos, D., Papageorgiou, S. N., & Eliades, T. (2018). Salivary levels of cariogenic bacterial species during orthodontic treatment with thermoplastic aligners or fixed appliances: a prospective cohort study. *Progress in Orthodontics*, 19(1), 1-9.

Skilbeck, M. G., Mei, L., Mohammed, H., Cannon, R. D., & Farella, M. (2022). The effect of ligation methods on biofilm formation in patients undergoing multi-bracketed fixed orthodontic therapy—A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 25(1), 14-30. <https://doi.org/10.1111/ocr.12503>

Sukontapatipark, W., El-Agroudi, M. A., Selliseth, N. J., Thunold, K., & Selvig, K. A. (2001). Bacterial colonization associated with fixed orthodontic appliances. A scanning electron microscopy study. *The European Journal of Orthodontics*, 23(5), 475-484. <https://doi.org/10.1093/ejo/23.5.475>

Tatakis, D. N., & Trombelli, L. (2004). Modulation of clinical expression of plaque-induced gingivitis. I. Background review and rationale. *J Clin Periodontol*, 31(4), 229-238. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.2004.00477.x>

Tektas, S., Thurnheer, T., Eliades, T., Attin, T., & Karygianni, L. (2020). Initial Bacterial Adhesion and Biofilm Formation on Aligner Materials. *Antibiotics*, 9(12), 908.

Titiz Yurdakal, S., Sami Güvenç, I., & Güngör, S. (2024). Transient bacteremia following the removal of four different types of rapid palatal expanders. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 85(Suppl 2), 189-197. <https://doi.org/10.1007/s00056-024-00523-4>

Truong, V. M., Kim, S., Kim, J., Lee, J. W., & Park, Y.-S. (2022). Revisiting the complications of orthodontic miniscrew. *BioMed Research International*, 2022(1), 8720412. <https://doi.org/10.1155/2022/8720412>

Türkkahraman, H., Sayın, M., Bozkurt, F. Y., Yetkin, Z., Kaya, S., & Önal, S. (2005). Archwire ligation techniques, microbial colonization, and periodontal status in orthodontically treated patients. *The Angle Orthodontist*, 75(2), 231-236. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2005\)075<0227:ALTMCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2005)075<0227:ALTMCA>2.0.CO;2)

Uysal, T., Amasyali, M., Ozcan, S., Koyuturk, A. E., & Sagdic, D. (2011). Effect of antibacterial monomer-containing adhesive on enamel demineralization around orthodontic brackets: an in-vivo study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(5), 650-656. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.06.038>

Verrusio, C., Iorio-Siciliano, V., Blasi, A., Leuci, S., Adamo, D., & Nicolò, M. (2018). The effect of orthodontic treatment on periodontal tissue inflammation: A systematic review. *Quintessence international*, 49(1). <https://doi.org/10.3290/j.qi.a39225>

Wang, C., Zhang, C., He, S., Wang, Q., & Gao, H. (2024). The microbiome alterations of supragingival plaque among

adolescents using clear aligners: a metagenomic sequencing analysis. *Progress in Orthodontics*, 25(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40510-024-00547-x>

Wang, Q., Ma, J.-b., Wang, B., Zhang, X., Yin, Y.-l., & Bai, H. (2019). Alterations of the oral microbiome in patients treated with the Invisalign system or with fixed appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 156(5), 633-640. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.11.017>

Wang, X., Wang, B., & Wang, Y. (2015). Antibacterial orthodontic cement to combat biofilm and white spot lesions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148(6), 974-981. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.06.017>

Yener, S. B., & Özsoy, Ö. P. (2020). Quantitative analysis of biofilm formation on labial and lingual bracket surfaces. *The Angle Orthodontist*, 90(1), 100-108.

Zhong, W., Zhou, C., Yin, Y., Feng, G., Zhao, Z., Pan, Y., Bai, Y., Jin, Z., Xu, Y., & Fang, B. (2025). Expert consensus on orthodontic treatment of patients with periodontal disease. *International Journal of Oral Science*, 17(1), 27. <https://doi.org/10.1038/s41368-025-00356-w>

