



Aydın Dental Journal

Journal homepage: <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/adj>
DOI: 10.17932/IAU.DENTAL.2015.009/dental_v01i3009



Ortodontik Şeffaf Plakların Stomatognatik Sistem Üzerindeki Etkileri

The Effects of Orthodontic Clear Aligners on the Stomatognathic System

Gizem Fatma Örnek^{1*}, Muhsin Çifter²

ÖZET

Şeffaf plaklar ile yapılan ortodontik tedaviler, estetik kaygıları ve konfor beklentileri yüksek bireyler için son yıllarda popülaritesi giderek artan bir alternatif haline gelmiştir. Bu tedavi türünün yaygınlaşması sonucu şeffaf plak kullanımının stomatognatik sistem üzerindeki etkileri de araştırmacılar tarafından merak edilen ve cevaplandırılması gereken bir konu haline gelmiştir. Şeffaf plaklar, tedavi süresince oklüzal temas ilişkilerini ve dikey boyutu değiştirerek çiğneme kasları, temporomandibular eklem ve oklüzyon gibi stomatognatik sistemin bileşenleri üzerinde çeşitli değişikliklere yol açabilmektedir. Şeffaf plak tedavisinin stomatognatik sistem üzerindeki etkilerinin incelenmesi, oklüzal stabilitenin sağlanması ve çiğneme kasları ile temporomandibular eklemin dengesinin korunabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu derlemede, şeffaf plakların stomatognatik sistem üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çiğneme kasları, Çiğneme sistemi, Oklüzyon, Ortodonti, Şeffaf plak aparatları

ABSTRACT

Orthodontic treatment with clear aligners has become an increasingly popular alternative in recent years, particularly among individuals with heightened aesthetic concerns and expectations of comfort. With the widespread adoption of this treatment modality, the potential effects of clear aligner therapy on the stomatognathic system have garnered increasing attention from researchers. Throughout treatment, clear aligners may alter occlusal contact relationships and vertical dimensions, thereby inducing various changes in the components of the stomatognathic system, including the masticatory muscles, the temporomandibular joint, and occlusion. Investigating the effects of clear aligner therapy on the stomatognathic system is critical for ensuring occlusal stability and maintaining the functional balance of the masticatory muscles and the temporomandibular joint. This review aims to evaluate the impact of clear aligners on the stomatognathic system.

Keywords: Clear aligner appliances, Masticatory muscle, Occlusion, Orthodontics, Stomatognathic system

¹Doktora öğrencisi, Ortodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

²Doç. Dr., Ortodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

*Sorumlu Yazar: Gizem Fatma Örnek, e-mail: gfornek@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7379-1590, Ortodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, Kalenderhane mah. Vezneciler cad. No:2 Fatih/İstanbul.

Giriş

Ortodontik tedavinin bilimsel temellere dayalı modern pratiği, 18. yüzyılda Pierre Fauchard'ın öncülüğünde gelişmeye başlamıştır.¹ Daha sonra 19. yüzyılda Edward H. Angle tarafından spesifik bir bilim dalı olarak tanıtılmış ve maloklüzyonlar sınıflandırılmıştır.¹ Şeffaf plaklar ise ilk kez 1940'lı yıllarda basit diş hareketlerinin yapılabilmesi amacıyla ortodontik tedavide kullanılmıştır. Günümüzde modern teknolojilerden faydalanılarak daha komplike maloklüzyonların tedavi edilebildiği ortodontik şeffaf plaklar ise 1998 yılında Align şirketi (Align Technology, Inc.; 1997; Tempe, Arizona; ABD) tarafından geliştirilerek üretilmeye başlanmıştır.²

Şeffaf plaklar, kişiye özel olarak üretilen, takılıp çıkarılabilir termoplastik apareylerdir. Dişlerin büyük bir kısmını veya tamamını kaplayan plaklar, belirli zaman aralıklarında değiştirilerek kontrollü ve aşamalı diş hareketi sağlamaktadır. Bu tedavi yöntemi, daha konforlu bir süreç isteyen ve estetik kaygılar taşıyan hastalar için bir tedavi alternatifi olmuş ve popülaritesi yıllar içinde artmıştır.³

Şeffaf plaklar aracılığı ile dişler üzerine uygulanan kuvvetler, alveolar kemikte remodelasyona neden olurken; maksilla ve mandibulanın pozisyonunu ve temporomandibular eklem (TME) üzerindeki yük dağılımını değiştirerek stomatognatik sistem üzerinde çeşitli etkiler yaratabilmektedir.⁴

Bu çalışma, ortodontik şeffaf plakların stomatognatik sistem üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan geleneksel (narrative) bir derlemedir. Bu derleme için literatür taraması 'şeffaf plaklar', 'çiğneme sistemi', 'çiğneme kasları', 'oklüzyon', 'temporomandibular eklem' anahtar kelimeleri ile Türkçe ve İngilizce olarak PubMed, Scopus, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında yapılmış, Eylül 2025 tarihine kadar yayımlanan çalışmalar değerlendirilmiştir. Şeffaf plaklarla ortodontik tedavinin çiğneme kasları, TME, oklüzyon, ağrı ve oral parafonksiyonel davranışlar üzerindeki etkilerini inceleyen klinik araştırmalar, gözlemsel çalışmalar, randomize kontrollü çalışmalar ve mevcut derlemeler çalışmaya dahil edilmiştir. Dahil edilen yayınlar belirlenen temalar doğrultusunda sınıflandırılmış ve nitel bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Çalışmalar arasındaki yöntemsel farklılıklar nedeniyle nicel bir analiz veya meta-analiz uygulanmamıştır.

Stomatognatik Sistemin Bileşenleri

Stomatognatik sistem, oral ve kraniofasiyal boşluklar içinde yer alan; çiğneme, yutma, konuşma, solunum

gibi temel fonksiyonları yerine getirmek amacıyla koordineli bir şekilde çalışan doku ve organların bileşiminden oluşan anatomik ve fizyolojik bir sistemdir.⁵ Bu sistem içerisinde kemik yapıları, kaslar, dişler, periodontal dokular, TME ile sinir ve damar yapıları bulunmaktadır. Maksilla ve mandibula, çene hareketlerinin temelini oluştururken TME; mandibulanın vertikal, sagittal ve lateral hareketlerini kontrol etmektedir. Çiğneme kasları mandibulanın hareketlerinden sorumlu olup, mimik ve dil kasları, konuşma ve yutma fonksiyonlarına katkı sağlamaktadır. Dişlerin oklüzal ilişkisi çiğneme fonksiyonunu doğrudan etkilemekte, çene kemikleri ile dişler arasında yer alan periodontal ligament dokusu ise mikro hareketleri düzenlemektedir. Trigeminal sinir, çene ve yüz bölgesinin duyu ve motor fonksiyonlarını yönetirken, bölgedeki damar yapıları beslenme ve metabolik süreçler için hayati rol oynamaktadır.⁶

Şeffaf Plak Sistemlerinin Biyomekaniği

Şeffaf plak tedavisinin biyomekanik prensipleri, sabit ortodontik mekaniklere göre kuvvetin uygulanma şekli ve ankraj sistemleri açısından belirgin farklılıklar göstermektedir.^{7,8}

Sabit ortodontik mekaniklerde dişler, kullanılan materyalin defleksiyonundan yararlanılarak çekme kuvveti ile hareket ettirilirken, şeffaf plak sistemlerinde esas diş hareketi itme kuvveti ile sağlanmaktadır. Termoplastik materyallerden üretilen şeffaf plakların viskoelastik özelliklerinden faydalanılarak oluşturulan itme kuvvetine dayalı bu diş hareketi; plak veya diş yüzeylerinde kuvvet uygulayabilecek modifikasyonların yapılması ya da hedeflenen diş pozisyonuna uygun üretilen pasif plakların esnekliğinin kullanılması yoluyla elde edilmektedir.⁸⁻¹⁰

Şeffaf plakların etkinliğinde plak materyalinin özellikleri önemli bir rol oynamaktadır. Kullanılan materyalin elastik modülü, plak kalınlığı, her plaktaki planlanan hareket miktarı ve plağın dişler üzerindeki kavrama düzeyi uygulanan kuvvetin şiddetini ve yönünü belirleyen temel faktörlerdir. Yapılan çalışmalar, plak başına uygulanan hareket miktarı arttıkça ortaya çıkan kuvvetlerin de istatistiksel olarak anlamlı düzeyde arttığını göstermektedir.^{11,12} Ancak hareket miktarının artması sonucu materyalde oluşan gerilme esnemesi ve sürtünme kuvvetlerinin yol açabileceği olası deformasyonların da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bununla birlikte plağın günlük kullanım süresi ve çıkarılma sıklığı gibi hastaya bağlı faktörler de oluşacak ortodontik kuvveti etkileyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır.^{11,12}

Sabit mekaniklerde ark teli kalınlaştırılarak braket slotu değerlerine yaklaştırıldıkça istenilen inklinasyon ve angulasyon değerleri daha iyi elde edilmektedir. Şeffaf plak sistemlerinde ise kuvvet iletimi plağın temas ettiği yüzey miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Kuron boyu kısa olan veya anatomik olarak küçük morfolojiye sahip dişlerin şeffaf plaklarla temas yüzeyi daha az olmakta, bu durum ise hedeflenen diş hareketinin gerçekleştirilmesini güçleştirebilmektedir.¹³

Şeffaf plak biyomekaniklerinin en önemli unsurlarından biri olan ataşmanlar, plağın retansiyonunu artırmakta, diş hareketleri için kuvvet uygulama noktası görevi görmekte ve daha kontrollü kuvvet-moment sistemleri elde edilmesini sağlamaktadır. Zorlu diş hareketlerinde yerleştirilen ataşmanın şekli, boyutu ve konumu; doğru kuvvet iletimini ve etkili diş hareketini sağlayan kritik faktörlerdir.¹⁴

Sabit mekaniklerde temel ankraj, Newton'un etki-tepki prensibine dayalı karşılıklı ankraj sistemidir. Herhangi bir hareketin istenmediği bölgedeki dişlerin ankraj segmenti olarak kullanılması sayesinde, hareket ettirilmesi hedeflenen dişe çekme kuvveti uygulanmaktadır. Ankraj kapasitesi, dişlerin kök yüzey alanları ile doğru orantılı olarak değişiklik göstermektedir. Şeffaf plak sistemlerinde ankraj sistemi önceden belirlenebilmekte ve tedavi sürecinde değiştirilebilmektedir. Ankraj sağlanan dişlerin yüzeylerinin plakla kaplı olması ve diş hareketlerinin sekanslı olarak planlanabilmesi sayesinde, şeffaf plak sistemlerinin ankraj kontrolü açısından sabit mekaniklere kıyasla daha öngörülebilir sonuçlar sunabileceği çeşitli çalışmalarda bildirilmektedir.^{7,8} Sabit mekaniklerde dişlerin ekstrüzyon ve intrüzyon hareketleri, ark telleri üzerinde yapılan kontrollü ayarlamalar aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu sistemlerde ark telinin birden fazla dişe bağlı olması nedeniyle etki-tepki prensibi gereği, komşu dişlerde istenmeyen diş hareketleri meydana gelebilmektedir. Bu istenmeyen diş hareketlerinin kontrolü için ek ankraj mekaniklerine ihtiyaç duyulabilmektedir. Şeffaf plaklarda ise diş hareketleri çoğunlukla segmental olarak planlanmakta; intrüzyon ve ekstrüzyon kuvvetlerinin etkinliği, ataşman tasarımı, plak materyali ve planlanan hareket miktarı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Literatürde, şeffaf plakların özellikle ekstrüzyon hareketi açısından sabit mekaniklere göre daha sınırlı bir öngörülebilirliğe sahip olduğu bildirilmektedir.^{1,15,16}

Sabit sistemlerde diş köklerinin inklinasyon ve angulasyon eğimleri, braket slotuna işlenen değerlere

ve ark telinin braket slotu ile uyumuna bağlı olarak değişmektedir. Amaçlanan diş hareketinin sağlanamadığı durumlarda, ark tellerine uygulanan bükümler ile ideal diş pozisyonları elde edilmeye çalışılmaktadır. Şeffaf plak sistemlerinde ise planlanan inklinasyon ve angulasyon hareketlerinin, plak üzerinde oluşturulan basınç noktaları veya diş yüzeyine yerleştirilen ataşmanlar aracılığıyla dişlere iletilen kuvvetler sayesinde gerçekleştirilebileceği bildirilmektedir.^{1,17}

Dikey boyut kontrolünün önemli olduğu, overbite miktarı yetersiz olan bazı sınır vakalarda; sabit mekaniklerle dişlerin seviyelenmesi sırasında meydana gelen kesici dişlerin proklinasyonu ve oklüzal düzlemdeki değişiklikler, overbite miktarının azalmasına yol açabilmektedir. Şeffaf plak sistemlerinde, diş hareketlerinin dijital olarak programlanabilmesi ve plakların oklüzal yüzeyleri kaplaması sayesinde, özellikle posterior bölgede dikey boyut kontrolünün daha iyi sağlanabildiği öne sürülmektedir.^{8,13}

Şeffaf plakların ve sabit mekaniklerin karşılaştırıldığı sonlu elemanlar analizi (SEA) çalışmalarında, şeffaf plaklar ile meydana gelen ortodontik kuvvetlerin sabit mekaniklere kıyasla daha düşük seviyelerde olduğu; buna bağlı olarak periodontal ligament ve alveolar kemik üzerinde daha düşük düzeyde stres oluşturduğu bildirilmektedir.¹⁸ Öte yandan bu düşük şiddetteki kuvvetler, rotasyon, inklinasyon ve angulasyon gibi kompleks hareketlerde öngörülebilirliğin sabit mekaniklere göre daha düşük düzeyde olmasına neden olabilmektedir. Materyal kalınlığı, aktivasyon miktarı, plak kenarlarının şekli ve kesi hattında yapılan küçük değişiklikler; diş üzerinde oluşan kuvvet/moment vektörlerini anlamlı biçimde etkileyerek, istenmeyen ekstrüzyon hareketleri, tork kayıpları veya ankraj yetersizliği gibi yan etkilerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.^{18,19}

Literatürde, anterior retraksiyon gibi 3 boyutlu kontrol gerektiren hareketlerde sabit mekaniklerin, ankraj stabilitesi ve kök kontrolü açısından şeffaf plak sistemlerine göre daha üstün bir biyomekanik performans sergilediği bildirilmektedir.²⁰ Öte yandan, şeffaf plakların daha düşük düzeyde kuvvet üretmeleri ve dikey boyutta artışa neden olmaları nedeniyle, nöromusküler ve periodontal stres açısından biyolojik olarak daha güvenli bir alternatif oluşturabileceği de belirtilmektedir.¹⁹ SEA verileri; şeffaf plakların hafif ve orta şiddetteki maloklüzyonlarda iyi bir tedavi seçeneği olabileceğini, ancak kompleks ortodontik hareketler içeren tedavilerde sabit mekaniklerin biyomekanik

üstünlüğünü koruduğunu göstermektedir.¹⁸⁻²⁰

Şeffaf Plakların Stomatognatik Sistem Üzerindeki Etkileri

1. Çiğneme Kasları Üzerindeki Etkileri

Çiğneme kasları, çeşitli fonksiyonel hareketlere adaptasyon yeteneğine sahiptir. Bu adaptasyon kasların boyutlarında, lif özelliklerinde, aktivite düzeylerinde ve kasılma kuvvetlerinde meydana gelen değişiklikler ile sağlanmaktadır.²¹⁻²⁴

Şeffaf plak tedavisi sırasında, plaklarda posterior bölgede erken temas noktaları oluşması sonucu oklüzyon sisteminin stabilitesi bozulmakta ve bu durum çiğneme kaslarının aktivitesini etkileyebilmektedir.²⁵ Şeffaf plakların kullanımı, özellikle ilk birkaç aylık adaptasyon sürecinde çiğneme kaslarının aktivitesinde geçici bir değişikliğe neden olmaktadır. Kas aktivitesinde artış veya azalma kas grubuna bağlı olarak değişebilmekte ve nöromüsküler adaptasyon sonrası genellikle ilk haline dönmektedir.⁴

Kasların elektriksel aktiviteleri, cilt üzerine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla yüzey elektromiyografisi (sEMG) ile kaydedilmektedir. sEMG, kasların kasılma şiddeti, süresi ve sıklığı gibi parametreleri değerlendirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir.^{26,27} Liu ve ark.'nın²⁵ sEMG yöntemi ile incelemelerde bulunduğu bir çalışmada, tedavinin 3. ayında anterior temporal kas aktivitesinde hem istirahat pozisyonunda hem de maksimum istemli kasılma sırasında sEMG değerlerinde artış gözlemlenmiştir. sEMG değerlerinde meydana gelen bu artış 6. ayda azalma gösterse de başlangıç değerinin üzerinde kaldığı gözlenmiştir. Masseter kas aktivitesinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Öte yandan Nota ve ark.'nın²⁸ sEMG ile gerçekleştirdikleri çalışmada ise, anterior temporal kas aktivitesinde anlamlı bir değişiklik gözlenmemişken, tedavinin 1. ayında istirahat pozisyonunda masseter kas aktivitesinde azalma saptanmıştır. Çalışmanın sonuçlarında kas aktivitesinin 3. ayda başlangıç düzeyine geri döndüğü belirtilmiştir. Maksimum istemli kasılma sırasında ise masseter kas aktivitesinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik izlenmemiştir.

Manfredini ve ark.²⁹ sEMG kullanarak, uyku sırasındaki çiğneme kası aktivitesini bruksizm indeksi ve masseter kası kasılmalarının toplam sayısı ile değerlendirdikleri çalışmalarında, şeffaf plak tedavisinin uyku sırasındaki çiğneme kası aktivitesi üzerinde etkisi olmadığını bildirmişlerdir. Paes ve ark.³⁰ sEMG ile yaptıkları çalışmada, şeffaf

plaklarla tedavi süresince yüzeyel masseter ve anterior temporal kas aktivitelerinde artış meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Çalışmada meydana gelen kas aktivitesinin 4. haftada en fazla olduğu ve 16. haftada azaldığı belirtilmiştir.

Pittar ve ark.³¹ sEMG cihazını kullanarak ölçüm yaptıkları bir çalışmada, pasif şeffaf plak kullanımının masseter kas aktivitesinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalmayla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Lou ve ark.³² ise sEMG cihazı ile hem pasif hem aktif şeffaf plak kullanımı sırasında masseter kas aktivitesinde istatistiksel olarak anlamlı artış saptamışlardır. Bu kas aktivitesinin 1. ayın sonunda anlamlı derecede azaldığını gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda ortodontik diş hareketinden bağımsız olarak plak kullanımının masseter kas aktivitesinde artışa neden olduğu ve takip eden 2 haftanın sonunda kas adaptasyonu ile bu aktivitenin bazal seviyelere geri döndüğü bildirilmiştir. Tepedino ve ark.³³, 3 aylık şeffaf plak kullanımından sonra sentrik oklüzyonda, plak ağız içerisinde değilken oluşan oklüzal temas noktalarının anteriora kaymasının çiğneme kaslarının aktivitesinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca masseter ve temporal kasların Kas Çiftleri Aktivasyon Simetrisi Oranı (POC)'nın plak ağız içerisindeyken daha yüksek bir simetri gösterdiği, sentrik oklüzyonda ise simetri oranının azaldığı bildirilmiştir.

Bu konuda yapılan bir meta analiz çalışmasında, tedavinin erken dönemlerinde kas aktivitesinde artış ya da azalma gözlenmiş olsa da, bu değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ve çalışmalar arasında tutarlı sonuçlar elde edilemediği bildirilmiştir.³⁴

Literatürde, şeffaf plakların çiğneme kasları üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarda ortak bir sonuca varılamamakla birlikte, genel olarak tedaviye adaptasyon sürecinden sonra EMG değerlerinin başlangıç düzeylerine geri döndüğü ve tedavi sonunda istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik gözlenmediği bildirilmektedir.^{25, 28, 30, 32} Çalışmalarda elde edilen sonuçların değişiklik göstermesi, kas aktivitesindeki değişimin çok sayıda faktöre bağlı olması ve çalışmaların benzer metodoloji koşullarını sağlamaması ile ilişkili olabilir.

2. Ağrı ile İlişkili Etkileri

Ağrı öznel bir yanıt olup, aynı uyaranlara verilen yanıt bireysel farklılıklar göstermektedir. Yaş, cinsiyet, bireysel ağrı eşiği, duygusal durum, stres, uygulanan kuvvet miktarı ve kişinin önceki ağrı deneyimleri gibi birçok faktör hissedilen ağrı

miktarını etkilemektedir.^{35,36} Kişinin yaşı, ağrı algısı ve inflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Çocukluk döneminde sinir sistemi hâlâ maturasyon sürecinde olduğundan ağrı eşiği daha düşüktür ve inflamatuvar yanıt daha hızlı ve daha belirgin şekilde ortaya çıkabilmektedir. Pubertal dönemde sinir sisteminin gelişmesiyle ağrı eşiği yükselir. Erişkinlik döneminde sinir iletim hızları ve inflamatuvar mediyatörlerin davranışı daha stabil bir seyir gösterirken, ileri yaşlarda özellikle miyelinli Aδ liflerindeki fonksiyon kaybı, ağrı modülasyon mekanizmalarının zayıflaması ve immün sistemin kronik inflamasyonu sebebiyle bu süreçler değişime uğrayabilmektedir. Bu değişiklikler sonucunda mekanik uyaranlara duyarlılık artabilmektedir.³⁷

Şeffaf plaklarla ortodontik tedavi gören çocuklar ve ebeveynleriyle yapılan bir anket çalışmasında, ağrı algısına ilişkin skorlamalarda, ebeveynlerin değerlendirmelerinin çocuklara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu bildirilmiştir.³⁸ Bu bulgu, ebeveynlik kaygısı, plak kullanımına bağlı zorlukların ebeveynler tarafından ağrı olarak yanlış yorumlanması ve ebeveynlerin kendi ön yargıları ya da görsel deneyimlerden kaynaklanan çıkarımların algılanan ağrı üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Ortodontik tedavi sırasında oluşan ağrı hissi yaygın bir şikayet olup, doğrudan hastanın memnuniyetini etkilemekte ve bazen tedavinin sonlandırılma sebeplerinden biri olabilmektedir.³⁹⁻⁴¹ Ortodontik kuvvetler sonucunda periodontal ligamentin sıkışması nedeniyle iskemi ve ödem oluşmakta, buna bağlı olarak ilk 24-48 saat içinde inflamatuvar mediyatörler salgılanmaktadır.^{42,43} Mediyatörlerin gingival sıvıdaki seviyeleri, ortodontik kuvvetin uygulanmasından 24 saat sonra maksimum seviyeye ulaşmakta ve 7 gün sonra referans değerlerine geri dönmektedir.⁴⁴ Bu fizyolojik mekanizma, sabit apareylerle yapılan ortodontik tedavilerde kuvvetin uygulanmasından sonraki ilk hafta içinde gözlemlenen ağrıyı açıklamaktadır.^{45,46}

Şeffaf plak tedavisi ile ilişkili ortodontik ağrı, çeşitli çalışmalarda incelenmiş olup, hissedilen ağrının 24. saatte en yüksek düzeye ulaştığı ve 7 günden sonra başlangıç seviyelerine döndüğü bildirilmektedir.^{35, 47-49}

Tran ve ark.⁵⁰ yaptıkları çalışmada ortodontik diş hareketinden bağımsız olarak şeffaf plak kullanımının dişlerde hafif ağrıya neden olduğunu, bu ağrının 2. günde en şiddetli hissedildiğini ve takip eden günlerde ağrı şiddetinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Buna ek olarak çalışmada, plak kullanımı süresince devam eden hafif bir kas hassasiyeti tespit edilmiştir. Bu hassasiyetin diş ağrısını azaltmaya yönelik diş sıkma davranışına bağlı olabileceği öne sürülmüştür. Çalışmada, anksiyete ve stres seviyesinde de artışlar saptanmış olup, bu artışların hem diş ağrısı hem de kas ağrıları ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir.

Nota ve ark.²⁸ çalışmalarında kas palpasyonu ile masseter ve anterior temporal kaslarda ağrı şiddetini değerlendirmiş, istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptamamışlardır.

Shalish ve ark.⁴⁷ çalışmalarında, plak kullanımının ilk günlerinde ağrı seviyelerinin yüksek olduğunu; ancak, 6. günden itibaren ağrının, hastaların analjezik kullanma ihtiyacı hissetmeyeceği bir düzeye gerilediğini bildirmiştir. Diğer çalışmalardan^{48,49,51} farklı olarak bu çalışmada şeffaf plak uygulaması ile hissedilen ağrı seviyesi sabit ortodontik tedaviye göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur.

Fujiyama ve ark.'nın⁴⁹ çalışmasında Görsel Analog Skala (VAS) kullanılmış, tedavinin başlangıcında ağrının 24. saatte en yüksek düzeye ulaştığı ve 4. günden itibaren anlamlı şekilde azaldığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada plak değişim dönemlerinde yapılan tekrar ölçümlerde, plak değişimini takip eden 12. saatte ağrının tekrar şiddetlendiği; ancak her yeni plakta hissedilen ağrı düzeyinin bir önceki plak dönemine göre daha düşük olduğu ve 3. günden sonra ağrı şiddetinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma meydana geldiği gösterilmiştir. Çalışmada, tedavi boyunca hissedilen ağrının temel sebebinin plaklar üzerinde oluşan deformasyonlar ve plak kenarlarındaki olası düzensizlikler olduğu belirtilmiştir. Ağrı düzeyi sabit ortodontik tedavi ile karşılaştırıldığında, her aşamada şeffaf plak tedavisinde ağrı şiddeti daha düşük bulunurken; buna karşılık ağrı süresinin her iki tedavi türünde de benzer olduğu saptanmıştır.

Cardoso ve ark.⁴⁸, şeffaf plaklarla tedavide ağrının daha düşük şiddette hissedilmesini; bu plakların takılıp çıkarılabilen apareyler olması nedeniyle kuvvetlerin aralıklı uygulanmasına ve bunun sonucunda IL-1β gibi proinflamatuvar mediyatörlerin yalnızca kısa süreli etkilerinin ortaya çıkmasına bağlamıştır. Araştırmacılar, bu kısa süreli yanıtın ağrı duyarlılığını artırabildiğini; ancak mediyatörlerin uzun süreli etkisi olan hiperaljezinin, sabit apareylerde olduğu kadar güçlü şekilde aktive edilmediğini bildirmiştir.^{48,52}

White ve ark.'nın³⁵ şeffaf plak tedavisi gören hastaları 2 ay boyunca takip ettikleri çalışmada, plak kullanımına bağlı ağrının 1. ve 2. günlerde en şiddetli hissedildiği, 4. günde azaldığı ve 7. günde hastanın hissettiği ağrının subjektif bir şikayet oluşturmayacak düzeylere gerilediği belirtilmiştir. Çalışmada, her plak değişiminden sonra ilk 4 gün boyunca ölçümler yapılmış; hissedilen maksimum ağrı düzeyinin her değişimde bir önceki plak dönemine göre daha düşük olduğu bildirilmiştir. Uyku bozukluğunun da incelendiği bu çalışmada, tedavi başında hastaların %30'unda uyku problemleri gözlenirken 7. günde bu oranın %15 seviyelerine düştüğü bildirilmiştir.

Miller ve ark.⁵¹ çalışmalarında, bir haftalık süreçte şeffaf plak tedavisi ve sabit ortodontik tedavi sırasında oluşan ağrı ile yapılan tedavinin yaşam kalitesi üzerindeki etkilerini VAS ile değerlendirmişlerdir. Çalışmada her iki grupta da ağrı şiddeti 1. günde en yüksek seviyede saptanmıştır. Ancak, ilk gün oluşan ağrı, şeffaf plak tedavisi grubunda sabit ortodontik tedavi grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur. Araştırmada, şeffaf plak tedavi grubunda meydana gelen ağrının şiddetinin 7. günde başlangıç seviyelerine yakın seviyelere düştüğü bulgulanmış; ayrıca sabit ortodontik tedavinin yaşam kalitesini, şeffaf plak tedavilerine göre daha olumsuz etkilediği bildirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, şeffaf plak kullanımının ağrıya neden olduğu, biyolojik ağrı mekanizmasıyla uyumlu biçimde 24. saatte ağrı şiddetinin en yüksek seviyeye ulaştığı ve zamanla azaldığı görülmektedir.^{35,47-49} Dişlere yeniden kuvvet uygulanmasına neden olan her plak değişiminde ağrının yeniden şiddetlendiği ve adaptasyon süreci sonrası ağrının azaldığı bildirilmektedir.^{35,49} Literatürde⁴⁷ aksi yönde bulgular bildiren çalışmalar bulunmakla birlikte, çalışmaların çoğunda^{48,49,51} ağrı şiddetinin şeffaf plak tedavilerinde sabit ortodontik tedavilere kıyasla daha düşük düzeyde kaldığı rapor edilmiştir. Bu durum bazı çalışmalarda şeffaf plakların takılıp çıkarılabilir olması nedeniyle kuvvetin aralıklı uygulanmasına bağlanırken; diğer çalışmalarda ağrı şiddetinin ve kullanılan ölçüm yöntemlerinin subjektif olmasıyla ilişkilendirilmiştir.^{35,48,49,51}

3. Temporomandibular Eklem Üzerine Etkileri

Temporomandibular rahatsızlıklar (TMR) çene eklemi ve çiğneme kaslarını etkileyen, ağrı ve fonksiyon kaybına yol açan yaygın orofasiyal bozukluklardır. Bu rahatsızlıklar, TME ve çene kaslarında ağrı, mandibular hareketlerin kısıtlanması, çene eklemlerinin kilitlemesi ve eklem

sesleri gibi çeşitli klinik belirti ve semptomlarla ilişkilendirilmektedir.⁵³⁻⁵⁵ TMR etiyolojisi karmaşık ve çok faktörlü olup, biyomekanik, biyokimyasal ve psikolojik faktörleri içermektedir. Maloklüzyon, brüksizm, travma, hormon dengesizliği, stres, depresyon ve anksiyete gibi çeşitli faktörlerin TMR gelişimine katkıda bulunduğu düşünülmektedir.⁵³ Ayrıca, migren tipi baş ağrıları, romatoid artrit, juvenil idiyopatik artrit ve osteoartrit gibi inflamatuvar hastalıklar da TMR ile ilişkilendirilmiştir.⁵⁶

Al-Tayar ve ark.⁵⁷, şeffaf plaklarla üst molar dişlerde distalizasyon yapılan ortodontik tedavilerin TME üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, kondillerin eğiminde, pozisyonunda ve boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik oluşmadığını belirtmişlerdir. Al-Worafi ve ark.'nın⁵⁸ yaptığı benzer bir çalışmada da elde edilen değişimler istatistiksel olarak anlamsız bulunmuş, her iki çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Al-Somairi ve ark.⁵⁹ çalışmalarında, Sınıf I maloklüzyona sahip erişkin hastaların şeffaf plaklar ile gerçekleştirilen çekimli ve çekimsiz tedavileri sonrası TME'de meydana gelen değişiklikleri, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) kullanarak üç boyutlu olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, çekimsiz tedavi edilen olgularda tedavi sonrası kondilin daha santral bir konuma yer değiştirdiği, anterior pozisyonun azaldığı, posterior pozisyonun ise sabit kaldığı gözlenmiştir. Bu değişimler TME'nin adaptif bir yeniden konumlanmaya uğradığını düşündürmekle birlikte, ölçümlerde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. TME aralıkları ve eklem boşluğunun hacmi açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Çekimli olgularda, anterior eklem boşluğunda artış ve posterior eklem boşluğunda azalma meydana geldiği gözlenmekle birlikte; bu değişiklikler klinik düzeyde önemsiz olarak bildirilmiştir.^{59,60}

Zheng ve ark.'nın⁶¹ Sınıf II bölüm 2 maloklüzyona sahip hastalarda şeffaf plak tedavisi sonrası TME'de meydana gelen değişiklikleri değerlendirdikleri çalışmalarında, anterior eklem boşluğundaki azalma ve posterior eklem boşluğundaki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çalışmanın bulgularına göre kondil, fossanın merkezine doğru ilerlemiştir. Tedavi sonunda alınan ölçümlere göre superior eklem boşluğu ve glenoid fossanın derinliği artmıştır. Çalışmada, plakların oklüzal splint etkisinin bu artışa neden olabileceği öne sürülmüştür.

Tran ve ark.⁵⁰ 3 haftalık şeffaf plak kullanımı

süresince hastaları takip ettikleri çalışmalarında, plak kullanımının TMR'ye yol açmadığını bildirmişlerdir. Nota ve ark.²⁸ da çalışmalarında benzer şekilde, şeffaf plakların kısa süreli kullanımında kas hassasiyeti oluşsa da olgularda TMR gelişmediğini bildirmişlerdir.

Uzunçubuk ve ark.'nın⁶² intermaksiller elastik kullanımının TME üzerindeki etkilerini inceledikleri bir anket çalışmasında; eklem ağrısı, çene hareketlerinde zorlanma ve çiğneme fonksiyonlarında kısıtlılık gibi TMR semptomlarının skorlamaları intermaksiller elastik kullanan hasta grubunda istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca Sınıf III intermaksiller elastik kullanan hastaların Sınıf II intermaksiller elastik kullanan hastalara kıyasla semptom skorlamaları istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur.

Son dönemde gerçekleştirilen çalışmaların pek çoğunda, plak kullanımı süresince TME'de çeşitli adaptif değişiklikler gözlenmiş olsa da, bu değişimlerin istatistiksel olarak anlamlı bir düzeye ulaşmadığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, tedavide intermaksiller elastiklerin kullanımıyla eklem aktarılan kuvvetin artması, TMR'a yatkın bireylerde semptomların şiddetlenmesine neden olabilir. Özellikle eklemi kompresyona uğratan veya hatalı uygulanan elastik kuvvetlerinin daha fazla probleme yol açabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.^{28,50,57-59,62}

4. Oklüzyon Üzerine Etkileri

Oklüzyon, maksiller ve mandibular dişler arasında, çiğneme sisteminin nöromüsküler kontrolü ile oluşan temaslar olarak tanımlanmaktadır. Mandibula kapalıyken oluşan diş temasları statik oklüzyon; mandibula hareket halindeyken oluşan diş temasları dinamik oklüzyon olarak adlandırılmaktadır.⁶³

Şeffaf plaklar, dikey boyutta artışa neden olarak oklüzal temas noktalarının sayısını ve dağılımını değiştirmektedir. Plakların oklüzal yüzey boyunca kalınlıklarının eşit olması, plak temas noktalarının posterior bölgede artmasına; anterior bölgede azalmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte, plak kalınlığındaki küçük varyasyonlar oklüzal temaslarda asimetriye neden olabilmektedir.³³ Plak materyalinin kalınlığı ve oklüzal kuvvetler, tedavi süresince posterior dişlerin intrüzyonuna neden olabilmektedir. Bu etki, bazı çalışmalarda şeffaf plak tedavisinden sonra posterior açık kapanış oluşması şeklinde bildirilmiştir.^{64,65}

Tepedino ve ark.³³, şeffaf plak kullanımının oklüzal temaslara olan etkisini T-Scan (T-Scan II Computerized Occlusal Analysis System; Tekscan Inc, South Boston, Mass) oklüzal analiz sistemi ile değerlendirdikleri çalışmalarında, plaklar ağızdayken, sentrik oklüzyondaki oklüzal temaların kuvvet merkezinin transversal düzlemdeki pozisyonunda istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik saptamamıştır. Sagittal düzlemde, posterior erken temasa bağlı olarak kuvvet merkezinin minimal düzeyde posteriora yer değiştirdiği rapor edilmiştir. Plak kullanımının 3. ayındaysa, plak olmadan yapılan ölçümlerde kuvvet merkezinin daha anteriorda konumlandığı saptanmıştır.

Djeu ve ark.⁶⁴, şeffaf plaklarla ve sabit apareylerle tedavi gören hastaların tedavi sonrası kayıtlarını 'Objective Grading System' ile değerlendirmiş ve şeffaf plak grubunda oklüzal temas skorlarının sabit aparey grubuna göre anlamlı derecede daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan, Borda ve ark.⁶⁶ hafif maloklüzyona sahip hastalarda gerçekleştirdikleri çalışmalarında, oklüzal temasları 'American Board of Orthodontics Cast-Radiograph Evaluation' yöntemi kullanarak değerlendirmiş; tedavi öncesi ve sonrası oklüzal temas düzeyinde anlamlı bir fark bulamamışlardır.

Frenkel ve ark.⁶⁷ ağız içi tarayıcılarla oklüzyon değişimini araştırdıkları çalışmalarında, şeffaf plak tedavisi sırasında posterior ve anterior dişlerde açık kapanışın arttığını, oklüzal temasların azaldığını gözlemlemişlerdir. Yaşa bağlı değerlendirmelerin de yapıldığı bu çalışmada, yaşlı hastalardaki oklüzal temas değişimlerinin genç hastalara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu bulgunun olası nedeni olarak, yaşla birlikte oluşan oklüzal aşınmaların başlangıçta daha sıkı bir kapanışa neden olabileceği; şeffaf plak tedavisine başlanıldığında ise bu kapanışın bozulmasıyla oklüzal değişimlerin daha belirgin hale gelebileceği öne sürülmüştür. Çalışmada cinsiyete bağlı değerlendirmelerde, erkek hastalarda anterior bölgedeki oklüzal temaslarda daha fazla değişim meydana geldiği gözlenmiştir.

Marcelino ve ark.⁶⁸ tedavi planlamasında öngörülen oklüzal temasları tedavi sonrası meydana gelen oklüzal temaslarla karşılaştırdıkları çalışmalarında, anterior oklüzal temasların öngörülenden daha fazla, posterior oklüzal temasların ise öngörülenden daha az gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Çalışmada bu durumun, plak kalınlığının oluşturduğu "bite-block" etkisi ve anterior bölgedeki erken temaslar sonucu olduğu öne sürülmüştür. Ayrıca, tedavi sonrası 3 ay boyunca sadece geceleri plak kullanımı

ile yapılan pekiştirme tedavisi sonucunda, oklüzal temas sayısında ve posterior temaslarda artış olduğu belirtilmiştir. Dinçer ve ark.⁶⁹, gece kullanılan pekiştirme plakları üzerine yaptıkları çalışmada ise, plak kullanım süresince temas noktalarının fizyolojik oklüzona göre daha az olduğu, ancak 2.5 yıl sonunda bu temas sayısında artış gözlemlendiği bildirilmiştir.

Riede ve ark.⁷⁰ çalışmalarında, yazılım üzerinde planlanan oklüzal temaların sadece %60'ının klinik ortamda sağlanabildiğini bildirmişlerdir. Bu konu ile ilgili başka bir çalışmada, ortodontistlerin tedavi planlamasında oklüzal temaları daha dikkatli değerlendirmesi ve ihtiyaç halinde aşırı oklüzal kontakt planlaması ile tedavinin daha iyi bir oklüzonla bitirilebileceği öne sürülmüştür.⁷¹

Yapılan çalışmalarda, şeffaf plakların oklüzal yüzeylerinin oluşturduğu splint etkisi sebebiyle, tedavi bitiminde posterior bölgede öngörülenden daha az temas elde edildiği ve interdijitasyonun sağlanması için ilave tedbirler alınması gerektiği bildirilmiştir.^{64,65,67-70}

5. Oral Parafonksiyonel Alışkanlıklar Üzerindeki Etkileri

Oral parafonksiyonel alışkanlıklar, orofasiyal sistemin aşırı ve amacı dışında kullanımı olarak tanımlanır. Diş sıkma ve gıcırdatma sık görülen parafonksiyonel alışkanlıklar olarak ön plana çıkmaktadır. Oral parafonksiyonel alışkanlıklar,

temporomandibular bozukluklar ve orofasiyal ağrı ile ilişkilendirilmektedir.^{29,72}

Literatürde, şeffaf plak kullanımının uyanıklık sırasında parafonksiyonel diş sıkma davranışında artışa yol açabileceğini ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır.^{32,50} Bu tekrarlayıcı diş sıkma davranışı, ortodontik tedavi sırasında hissedilen ağrıyı azaltmaya yönelik bilinçsiz bir alışkanlık olarak gelişebilmektedir.⁷³ Bu durum, dişlerin geçici olarak yer değiştirmesine ve periodontal bağ dokusundaki sıkışma bölgelerinde kan akışının artmasına neden olabilir. Bu sayede, ağrıya neden olan biyokimyasal mediyatörlerin birikimi önlenmekte ve ağrının hafiflemesine katkı sağlanmaktadır.⁴²

“Oral Davranış Kontrol Listesi”, ağız parafonksiyonel davranışlarını ve bu davranışların görülme sıklığını değerlendiren bir ankettir.⁷² Liu ve ark.²⁵, Oral Davranış Kontrol Listesi kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, şeffaf plak tedavisi sırasında diş gıcırdatma ve diş sıkma gibi oral parafonksiyonel alışkanlıkların azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu sebeple, parafonksiyonel alışkanlıkların tedavisinde bilişsel davranış terapisinin yanı sıra şeffaf plak tedavileri de önerilmiştir. Lou ve ark.³² çalışmalarında, masseter kas aktivitesinde ve diş sıkma alışkanlığını değerlendiren Oral Davranış Kontrol Listesi skorlarında artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Tablo 1: Şeffaf Plakların Stomatognatik Sistem Üzerindeki Etki Eğilimleri ve Olası Etkenler

Bulgular	Etki Yönü	Eğilimin Gücü	Literatür Tutarlılığı	Olası Etken
Kas Aktivitesi (EMG değişimi)	↑ veya ↓	Orta	Düşük–Orta	Oklüzal temas değişimi, adaptasyon süreci
Ağrı Şiddeti (24–48. saat)	↑	Yüksek	Orta–Yüksek	Peridontal ligamentin sıkışması, inflamatuvar mediyatörlerin salınımı
Ağrı Şiddeti (4–7. gün)	↓	Yüksek	Yüksek	İnflamasyonun çözülmesi, adaptasyon
TME Bulguları	→ stabil	Düşük	Yüksek	Değişimlerin tolere edilebilir düzeyde olması
Posterior Oklüzal Temaslar	↓	Orta	Orta	Plak kalınlığı, bite-block etkisi
Posterior Dişlerde İntrüzyon	↑ (hafif)	Düşük–Orta	Orta	Plakların tüm oklüzal yüzeyde eşit kalınlıkta olması
Oklüzal Kuvvet Merkezi (Plak yokken)	→ anterior	Orta	Orta	Posterior erken temas, dikey boyut artışı
Parafonksiyonel Alışkanlıklar	↑ veya ↓	Düşük	Düşük	Ağrıya adaptasyon, dikey boyut değişimi
Kas Hassasiyeti	↑	Düşük–Orta	Orta	Plak basıncı, kuvvet iletimindeki değişim

Bargellini ve ark.'nın⁷⁴ gece bruksizmine sahip hastalarla gerçekleştirdiği çalışmalarında, şeffaf plak kullanımının 1. ayında hastaların diş sıkma semptomlarının azaldığı, fakat 3. aydan itibaren semptomların başlangıç seviyelerine döndüğü bildirilmiştir.

Literatürde şeffaf plakların parafonksiyonel alışkanlıklar üzerine etkilerine ilişkin tutarlı bir sonuç bulunmamaktadır. Bazı çalışmalarda^{32,50} plak kullanımının hastalarda ağrı şiddetini azaltmak amacıyla diş sıkma alışkanlığını artırdığı savunulurken, diğer çalışmalarda^{25,74} dikey boyuttaki artışa bağlı olarak splint etkisiyle diş sıkma alışkanlıklarının azaldığı bildirilmiştir. (Tablo 1)

Sonuç

Hastaların daha estetik ve konforlu bir tedavi seçeneği arayışı sonucu şeffaf plaklarla yapılan ortodontik tedavilerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu derlemede, şeffaf plak kullanımının çiğneme kasları, TME, oklüzyon, ağrı ve oral parafonksiyonel alışkanlıklar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, şeffaf plak tedavisinin özellikle erken dönemde çiğneme kaslarının aktivitesinde geçici değişiklikler yarattığını, fakat bu değişimlerin nöromüsküler adaptasyon ile normal aktivitesine döndüğünü göstermektedir. TME üzerine etkiler değerlendirildiğinde, kondiler pozisyon, eklem boşlukları ve eklem hacminde klinik ve istatistiksel olarak anlamlı olmayan düzeyde değişiklikler görülmektedir. Şeffaf plak tedavisinin başlangıcında algılanan ağrının genellikle ilk 24-48 saatte maksimum düzeye ulaştığı ve 7 gün içerisinde azaldığı; sabit ortodontik tedavilerle karşılaştırıldığında ise daha düşük şiddette seyrettiği anlaşılmaktadır. Oklüzyon üzerine yapılan değerlendirmeler, şeffaf plakların dikey boyutta artışa neden olduğunu, tedavi bitiminde kuvvet merkezinin daha anteriorda konumlandığını, bu değişikliklerin pekiştirme sürecinde zamanla başlangıç haline döndüğünü göstermektedir. Planlanan tedavi sonu oklüzal temasların klinik olarak tam anlamıyla sağlanamaması, tedavi planlamasında daha dikkatli bir değerlendirme gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, şeffaf plak kullanımının diş sıkma ve gıcırdatma gibi davranışlarda geçici bir azalma sağladığı, bu etkinin plakların proprioseptif geri bildirim sağlamasıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, geleneksel bir derleme niteliğinde olduğundan, literatür seçim sürecinde dahil edilme ve dışlanma kriterlerinin önceden yapılandırılmamış olması, seçim yanlılığına zemin hazırlayan bir kısıtlılık oluşturmaktadır. Ayrıca, incelenen araştırmaların metodolojik kalitesine ilişkin objektif bir değerlendirme yapılmamış olması, elde edilen bulguların kanıt gücünü sınırlamakta ve sonuçların genellenebilirliğini azaltmaktadır. Dahil edilen çalışmaların metotları, örneklem büyüklükleri ve değerlendirme kriterlerindeki farklılıklar da yorumlama sürecini güçleştirmektedir. Bu nedenle, bu derlemenin sonuçları literatürdeki mevcut eğilimleri yansıtmakta olup, daha net ve yüksek düzeyde kanıt sağlayabilmek için standart metodolojiye sahip, iyi tasarlanmış ileri araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Etik Kurul Onayı

Makalemiz derleme türünde olduğundan etik kurul onayı gerekmemiştir.

Çıkar Çatışması

Bu makale yazarlarından hiçbirinin makalede bahsi geçen konu ve malzemelerle ilgili çıkar çatışması oluşturabilecek bir ilişkisi veya parasal çıkar oluşturabilecek bir bağlantısı bulunmamaktadır.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında; yapılan araştırma konusu ile doğrudan bağlantılı olan herhangi bir ilaç şirketinden, tıbbi cihaz ve malzeme üreten ve/veya sağlayan bir firma ya da ticari kuruluşan, çalışmanın değerlendirme sürecini etkileyebilecek maddi veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Yazar katkısı

Fikir: G.F.Ö, M.Ç Tasarım: G.F.Ö, M.Ç Denetleme: G.F.Ö, M.Ç Kaynaklar: G.F.Ö Malzemeler: G.F.Ö Veri toplama ve/veya işleme: G.F.Ö Analiz ve/veya yorum: G.F.Ö, M.Ç Literatür taraması: G.F.Ö Yazı yazar: G.F.Ö Eleştirel inceleme: G.F.Ö, M.Ç

Kaynakça

- Proffit WR FH, Sarver DM. *Contemporary orthodontics*. 6th ed: Elsevier; 2018.
- Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135(1):27-35. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.05.018.
- Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J*. 2017;62 Suppl 1:58-62. doi: 10.1111/adj.12480.
- Almalki SA, Al Jameel AH, Gowdar IM, et al. Impact of clear aligner therapy on masticatory musculature and stomatognathic system: a systematic review conducted according to PRISMA guidelines and the Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):350. doi: 10.1186/s12903-024-04029-8.
- Cuccia A, Caradonna C. The relationship between the stomatognathic system and body posture. *Clinics (Sao Paulo)*. 2009;64(1):61-6. doi: 10.1590/s1807-59322009000100011.
- Bordoni B, Varacallo MA. *Anatomy, Head and Neck, Temporomandibular Joint*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
- Castroflorio T, Parrini S, Rossini G. Aligner biomechanics: Where we are now and where we are heading for. *J World Fed Orthod*. 2024;13(2):57-64. doi: 10.1016/j.ejwf.2023.12.005.
- Tai SK. *Clear Aligner Technique*. 2nd ed. Batavia,IL,USA: Quintessence Publishing Co,Inc; 2025. 7-16 p.
- Lombardo L, Marafioti M, Stefanoni F, Mollica F, Siciliani G. Load deflection characteristics and force level of nickel titanium initial archwires. *Angle Orthod*. 2012;82(3):507-21. doi: 10.2319/032511-213.1.
- Skaik A, Wei XL, Abusamak I, Iddi I. Effects of time and clear aligner removal frequency on the force delivered by different polyethylene terephthalate glycol-modified materials determined with thin-film pressure sensors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;155(1):98-107. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.03.017.
- Xiang B, Wang X, Wu G, et al. The force effects of two types of polyethylene terephthalate glycol-modified clear aligners immersed in artificial saliva. *Sci Rep*. 2021;11(1):10052. doi: 10.1038/s41598-021-89425-8.
- Inoue S, Yamaguchi S, Uyama H, Yamashiro T, Imazato S. Influence of constant strain on the elasticity of thermoplastic orthodontic materials. *Dent Mater J*. 2020;39(3):415-21. doi: 10.4012/dmj.2019-104.
- Hu W. [Vertical control in clear aligner treatment]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2020;55(8):526-30. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200509-00251.
- Goto M, Yanagisawa W, Kimura H, Inou N, Maki K. A method for evaluation of the effects of attachments in aligner-type orthodontic appliance: Three-dimensional finite element analysis. *Orthodontic Waves*. 2017;76(4):207-14. doi: 10.1016/j.odw.2017.09.001.
- Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):24. doi: 10.1186/s12903-018-0695-z.
- Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod*. 2015;85(5):881-9. doi: 10.2319/061614-436.1.
- Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014;145(6):728-36. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.03.015.
- Seo JH, Kim MS, Lee JH, et al. Biomechanical Efficacy and Effectiveness of Orthodontic Treatment with Transparent Aligners in Mild Crowding Dentition-A Finite Element Analysis. *Materials (Basel)*. 2022;15(9):3118. doi: 10.3390/ma15093118.
- Cao H, Hua X, Yang L, Aoki K, Shang S, Lin D. A systematic review of biomechanics of clear aligners by finite element analysis. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):1026. doi: 10.1186/s12903-025-06295-6.
- Xia Q, Wang W, Wang C, et al. Comparative assessment of orthodontic clear aligner versus fixed appliance for anterior retraction: a finite

- element study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):80. doi: 10.1186/s12903-023-03704-6.
21. Svensson P, Wang K, Sessle BJ, Arendt-Nielsen L. Associations between pain and neuromuscular activity in the human jaw and neck muscles. *Pain*. 2004;109(3):225-32. doi: 10.1016/j.pain.2003.12.031.
 22. Grunheid T, Langenbach GE, Korfage JA, Zentner A, van Eijden TM. The adaptive response of jaw muscles to varying functional demands. *Eur J Orthod*. 2009;31(6):596-612. doi: 10.1093/ejo/cjp093.
 23. Adams GR, Hather BM, Baldwin KM, Dudley GA. Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol (1985)*. 1993;74(2):911-5. doi: 10.1152/jap.1993.74.2.911.
 24. Hather BM, Tesch PA, Buchanan P, Dudley GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand*. 1991;143(2):177-85. doi: 10.1111/j.1748-1716.1991.tb09219.x.
 25. Liu P, Wu G, Liu J, Jiao D, Guo J. Assessment of oral parafunctional behaviors and electromyographic activities of the masticatory muscles in young female patients with orthodontic Invisalign treatment. *Int J Clin Exp Med*. 2017;10(11):15323-8.
 26. Pullman SL, Goodin DS, Marquinez AI, Tabbal S, Rubin M. Clinical utility of surface EMG. *Neurology*. 2000;55(2):171-7. doi: 10.1212/WNL.55.2.171.
 27. Farina D, Enoka RM. Evolution of surface electromyography: From muscle electrophysiology towards neural recording and interfacing. *J Electromyogr Kinesiol*. 2023;71:102796. doi: 10.1016/j.jelekin.2023.102796.
 28. Nota A, Caruso S, Ehsani S, Ferrazzano GF, Gatto R, Tecco S. Short-Term Effect of Orthodontic Treatment with Clear Aligners on Pain and sEMG Activity of Masticatory Muscles. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(2):178. doi: 10.3390/medicina57020178.
 29. Manfredini D, Lombardo L, Vigiani L, Arreghini A, Siciliani G. Effects of invisible orthodontic retainers on masticatory muscles activity during sleep: a controlled trial. *Prog Orthod*. 2018;19(1):24. doi: 10.1186/s40510-018-0228-y.
 30. Paes-Souza SA, Garcia MAC, Souza VH, Morais LS, Nojima LI, Nojima M. Response of masticatory muscles to treatment with orthodontic aligners: a preliminary prospective longitudinal study. *Dental Press J Orthod*. 2023;28(1):e232198. doi: 10.1590/2177-6709.28.1.e232198.oar.
 31. Pittar N, Sicignano A, Bardini G, Farella M. Effect of orthodontic appliances on masticatory muscle activity. *Semin Orthod*. 2024;30(3):341-5. doi: 10.1053/j.sodo.2023.12.014.
 32. Lou T, Tran J, Castroflorio T, Tassi A, Cioffi I. Evaluation of masticatory muscle response to clear aligner therapy using ambulatory electromyographic recording. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;159(1):e25-e33. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.08.012.
 33. Tepedino M, Colasante P, Staderini E, Masedu F, Ciavarella D. Short-term effect of orthodontic clear aligners on muscular activity and occlusal contacts: A cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023;164(1):34-44. doi: 10.1016/j.ajodo.2022.10.025.
 34. Lekaviciute R, Paldauskaite S, Stucinskaite S, Trakiniene G. The effect of clear aligner treatment on masticatory muscles (masseter, temporalis) activity in adults: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2024;46(4):cjae030. doi: 10.1093/ejo/cjae030.
 35. White DW, Julien KC, Jacob H, Campbell PM, Buschang PH. Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. *Angle Orthod*. 2017;87(6):801-8. doi: 10.2319/091416-687.1.
 36. Bergius M, Kiliaridis S, Berggren U. Pain in orthodontics. A review and discussion of the literature. *J Orofac Orthop*. 2000;61(2):125-37. doi: 10.1007/BF01300354.
 37. El Tumi H, Johnson MI, Dantas PBF, Maynard MJ, Tashani OA. Age-related changes in pain sensitivity in healthy humans: A systematic review with meta-analysis. *Eur J Pain*. 2017;21(6):955-64. doi: 10.1002/ejp.1011.
 38. Dianiskova S, Bucci R, Solazzo L, et al. Patient and Parental Satisfaction following Orthodontic Treatment with Clear Aligners and Elastodontic Appliances during Mixed Dentition: A Cross-Sectional Case-Control Study. *Appl Sci*. 2023;13(7):4074. doi: 10.3390/app13074074.

39. Al-Omiri MK, Abu Alhaija ES. Factors affecting patient satisfaction after orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2006;76(3):422-31. doi:10.1043/0003-3219(2006)076[0422:FAPS AO]2.0.CO;2.
40. Kazanci F, Aydogan C, Alkan O. Patients' and parents' concerns and decisions about orthodontic treatment. *Korean J Orthod.* 2016;46(1):20-6. doi: 10.4041/kjod.2016.46.1.20.
41. Chow J, Cioffi I. Pain and orthodontic patient compliance: A clinical perspective. *Semin Orthod.* 2018;24(2):242-7. doi: 10.1053/j.sodo.2018.04.006.
42. Furstman L, Bernick S. Clinical considerations of the periodontium. *Am J Orthod.* 1972;61(2):138-55. doi: 10.1016/0002-9416(72)90092-9.
43. Dray A. Inflammatory mediators of pain. *Br J Anaesth.* 1995;75(2):125-31. doi: 10.1093/bja/75.2.125.
44. Grieve WG, 3rd, Johnson GK, Moore RN, Reinhardt RA, DuBois LM. Prostaglandin E (PGE) and interleukin-1 beta (IL-1 beta) levels in gingival crevicular fluid during human orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;105(4):369-74. doi: 10.1016/s0889-5406(94)70131-8.
45. Ngan P, Kess B, Wilson S. Perception of discomfort by patients undergoing orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96(1):47-53. doi: 10.1016/0889-5406(89)90228-x.
46. Scheurer PA, Firestone AR, Burgin WB. Perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod.* 1996;18(4):349-57. doi: 10.1093/ejo/18.4.349.
47. Shalish M, Cooper-Kazaz R, Ivgi I, et al. Adult patients' adjustability to orthodontic appliances. Part I: a comparison between Labial, Lingual, and Invisalign. *Eur J Orthod.* 2012;34(6):724-30. doi: 10.1093/ejo/cjr086.
48. Cardoso PC, Espinosa DG, Mecnas P, Flores-Mir C, Normando D. Pain level between clear aligners and fixed appliances: a systematic review. *Prog Orthod.* 2020;21(1):3. doi: 10.1186/s40510-019-0303-z.
49. Fujiyama K, Honjo T, Suzuki M, Matsuoka S, Deguchi T. Analysis of pain level in cases treated with Invisalign aligner: comparison with fixed edgewise appliance therapy. *Prog Orthod.* 2014;15(1):64. doi: 10.1186/s40510-014-0064-7.
50. Tran J, Lou T, Nebiolo B, Castroflorio T, Tassi A, Cioffi I. Impact of clear aligner therapy on tooth pain and masticatory muscle soreness. *J Oral Rehabil.* 2020;47(12):1521-9. doi: 10.1111/joor.13088.
51. Miller KB, McGorray SP, Womack R, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(3):302.e1-9. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.05.031.
52. Oprea A, Kress M. Involvement of the proinflammatory cytokines tumor necrosis factor-alpha, IL-1 beta, and IL-6 but not IL-8 in the development of heat hyperalgesia: effects on heat-evoked calcitonin gene-related peptide release from rat skin. *J Neurosci.* 2000;20(16):6289-93. doi: 10.1523/JNEUROSCI.20-16-06289.2000.
53. Sharma S, Gupta D, Pal U, Jurel S. Etiological factors of temporomandibular joint disorders. *Natl J Maxillofac Surg.* 2011;2(2):116-9. doi: 10.4103/0975-5950.94463.
54. Shukri N, Kumar S, Balasubramaniam A. Prevalence of Temporomandibular Joint Disorders Among Dental Patients in A Private Institution. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences.* 2020;11:1309-15. doi: 10.26452/ijrps.v11ispl3.3383.
55. Gauer RL, Semidey MJ. Diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *Am Fam Physician.* 2015;91(6):378-86.
56. Jedynak B, Jaworska-Zaremba M, Grzechocinska B, Chmurska M, Janicka J, Kostrzewa-Janicka J. TMD in Females with Menstrual Disorders. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(14):7263. doi: 10.3390/ijerph18147263.
57. Al-Tayar B, Al-Somairi MAA, LH AL, et al. Impact of molar teeth distalization by clear aligners on temporomandibular joint: a three-dimensional study. *Prog Orthod.* 2023;24(1):25. doi: 10.1186/s40510-023-00474-3.
58. Al-Worafi N, Al-Nasri A, Al-Warafi L, et al. Effect of maxillary molars distalization using clear aligners and fixed orthodontic appliances on the positional and dimensional temporomandibular joint parameters: a three-

- dimensional comparative study. *BMC Oral Health*. 2024;24:1372. doi: 10.1186/s12903-024-05148-y.
59. Al-Somairi MAA, Zheng B, Yang X, et al. Three-dimensional quantitative temporomandibular joint changes in skeletal class I malocclusion treated with extraction and non-extraction protocols: a comparative study of fixed orthodontic appliances and clear aligners. *Prog Orthod*. 2025;26(1):4. doi: 10.1186/s40510-024-00551-1.
 60. Carlton KL, Nanda RS. Prospective study of posttreatment changes in the temporomandibular joint. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;122(5):486-90. doi: 10.1067/mod.2002.128863.
 61. Zheng J, Zhang Y, Wu Q, Xiao H, Li F. Three-dimensional spatial analysis of the temporomandibular joint in adult patients with Class II division 2 malocclusion before and after orthodontic treatment: a retrospective study. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):477. doi: 10.1186/s12903-023-03210-9.
 62. Uzunçibuk H, Marrapodi MM, Meto A, Ronsiville V, Cicciù M, Minervini G. Prevalence of temporomandibular disorders in clear aligner patients using orthodontic intermaxillary elastics assessed with diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD) axis II evaluation: A cross-sectional study. *J Oral Rehabil*. 2024;51(3):500-9. doi: 10.1111/joor.13614.
 63. Davies S. What is occlusion? Part 1. *Br Dent J*. 2024;236(6):447-52. doi: 10.1038/s41415-024-7173-6.
 64. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005;128(3):292-8. doi: 10.1016/j.ajodo.2005.06.002.
 65. Buschang PH, Ross M, Shaw SG, Crosby D, Campbell PM. Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy. *Angle Orthod*. 2015;85(5):723-7. doi: 10.2319/043014-311.1.
 66. Borda AF, Garfinkle JS, Covell DA, Wang M, Doyle L, Sedgley CM. Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions. *Angle Orthod*. 2020;90(4):485-90. doi: 10.2319/122919-844.1.
 67. Frenkel ES, Mustafa M, Khosravi R, Woloshyn H, Mancel L, Bollen A-M. Occlusal contact changes in patients treated with clear aligners: A retrospective evaluation using digital dental models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(6):680-8.e4. doi: 10.1016/j.ajodo.2024.01.015.
 68. Marcelino V, Baptista S, Marcelino S, et al. Occlusal Changes with Clear Aligners and the Case Complexity Influence: A Longitudinal Cohort Clinical Study. *J Clin Med*. 2023;12(10):3435. doi: 10.3390/jcm12103435.
 69. Dincer M, Isik Aslan B. Effects of thermoplastic retainers on occlusal contacts. *Eur J Orthod*. 2010;32(1):6-10. doi: 10.1093/ejo/cjp062.
 70. Riede U, Wai S, Neururer S, et al. Maxillary expansion or contraction and occlusal contact adjustment: effectiveness of current aligner treatment. *Clin Oral Investig*. 2021;25(7):4671-9. doi: 10.1007/s00784-021-03780-4.
 71. Mantovani E, Castroflorio E, Rossini G, et al. Scanning electron microscopy evaluation of aligner fit on teeth. *Angle Orthod*. 2018;88(5):596-601. doi: 10.2319/120417-827.1.
 72. Ohrbach R. Assessment and further development of RDC/TMD Axis II biobehavioural instruments: a research programme progress report. *J Oral Rehabil*. 2010;37(10):784-98. doi: 10.1111/j.1365-2842.2010.02144.x.
 73. Yarnitsky D. Conditioned pain modulation (the diffuse noxious inhibitory control-like effect): its relevance for acute and chronic pain states. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2010;23(5):611-5. doi: 10.1097/ACO.0b013e32833c348b.
 74. Bargellini A, Castroflorio T, Casasco F, et al. Short Term Evaluation of the Effects of Orthodontic Clear Aligners on Sleep Bruxism Activity. *Iran J Orthod*. 2017;12(2):1-5. doi: 10.5812/ijo.7916.