

ORTODONTİDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE KLİNİK PERSPEKTİFLER

EDİTÖR:
DEMET SÜER TÜMEN




DİJİTAL
ORTODONTİ


KLİNİK
YAKLAŞIMLAR


ESTETİK VE
FONKSİYON


MULTİDİSİPLİNER
PERSPEKTİF

BİDGE Yayınları

Ortodontide Güncel Yaklaşımlar ve Klinik Perspektifler

Editör: DEMET SÜER TÜMEN

ISBN: 978-625-8989-62-5

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2026-06-25

BİDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

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



ÖNSÖZ

Ortodonti bilimi, son yıllarda biyolojik mekanizmaların daha iyi anlaşılması ve dijital teknolojilerdeki hızlı gelişmeler sayesinde önemli bir dönüşüm süreci yaşamaktadır. Günümüzde ortodontik tanı ve tedavi planlaması yalnızca mekanik prensiplere dayanmamakta; biyolojik faktörler, koruyucu yaklaşımlar ve yapay zekâ destekli sistemler klinik uygulamaların önemli bir parçası hâline gelmektedir.

Ortodontik diş hareketinin biyolojik temellerinin anlaşılması, tedavi süreçlerinin daha öngörülebilir şekilde yönetilmesine katkı sağlarken; tedavi sırasında karşılaşılan beyaz nokta lezyonları gibi klinik sorunların önlenmesi ve yönetimi de güncel ortodontinin önemli çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra yapay zekâ uygulamaları, sefalometrik analizlerden üç boyutlu görüntüleme sistemlerine, tedavi planlamasından şeffaf plak tedavilerine kadar geniş bir kullanım alanı bularak ortodontide yeni ufuklar açmaktadır.

“Ortodontide Güncel Yaklaşımlar ve Klinik Perspektifler” başlıklı bu kitapta; ortodontik diş hareketinin hormonal düzenlenmesi, ortodontik tedaviye bağlı beyaz nokta lezyonları ve ortodontik tanı ile tedavi planlamasında yapay zekâ uygulamaları güncel literatür ışığında ele alınmıştır. Kitabın, ortodonti alanında çalışan akademisyenler, klinisyenler, araştırmacılar ve uzmanlık öğrencileri için yararlı bir kaynak olması ve güncel bilimsel gelişmelerin klinik uygulamalara aktarılmasına katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Bu değerli bilimsel çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen tüm bölüm yazarlarına teşekkür eder, kitabın ortodonti literatürüne katkı sağlayan faydalı bir başvuru kaynağı olmasını temenni ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Demet SÜER TÜMEN

Dicle Üniversitesi

[25.06.2026]

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|---|
| ORTODONTİK DİŞ HAREKETİNDE HORMONAL DÜZENLEYİCİLER: BİYOLOJİK MEKANİZMALAR VE KLİNİK YANSIMALAR | 1 |
|---|---|

NESLİHAN KARAOĞLAN

| | |
|--|----|
| ORTODONTİK TEDAVİDE BEYAZ NOKTA LEZYONLARI: SABİT APAREYLER VE ŞEFFAF PLAKLARDA DEMİNERALİZASYON RİSKİ, TANISI VE ÖNLENMESİ | 23 |
|--|----|

KÜBRA ARSLAN ÇARPAR

| | |
|---|----|
| ORTODONTİK TANI VE TEDAVİ PLANLAMASINDA YAPAY ZEKÂ | 42 |
|---|----|

BEYZA DENİZ TÜRKÖĞLU

BÖLÜM 1

ORTODONTİK DIŞ HAREKETİNDE HORMONAL DÜZENLEYİCİLER: BİYOLOJİK MEKANİZMALAR VE KLİNİK YANSIMALAR

Neslihan KARAOĞLAN¹

Giriş

Ortodontik diş hareketi (ODH), yalnızca dişlere uygulanan mekanik kuvvetlerin fiziksel bir sonucu değil; periodontal ligament (PDL), alveoler kemik, vasküler yapılar, bağışıklık hücreleri ve lokal-sistemik biyolojik düzenleyiciler arasında gelişen karmaşık bir adaptasyon sürecidir. Güncel literatürde ODH, mekanik yükün hücresel ve moleküler yanıtı dönüştüğü, osteoklastik kemik rezorpsiyonu ile osteoblastik kemik yapımının eş zamanlı olarak düzenlendiği dinamik bir remodeling olayı olarak tanımlanmaktadır (Krishnan & Davidovitch, 2006; Jeon et al., 2021; Giannini et al., 2026; Vijayan et al., 2026). Bu süreç, farmakolojik ajanlara, yaşa, sistemik hastalıklara, hormonal duruma ve lokal inflamatuvar mikroçevreye duyarlıdır (Bartzela et al., 2009; Makrygiannakis et al., 2019; Jha et al., 2026).

¹ Dr, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sultan 2.Abdülhamidhan Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Türkiye. ORCID: 0000-0002-1077-0768

ODH'nin biyolojik temeli, periodontal ligamentte gelişen aseptik inflamatuvar yanıtla yakından ilişkilidir. Uygulanan ortodontik kuvvetler PDL içinde basınç ve gerilim bölgeleri oluşturur; bu bölgelerde sitokinler, prostaglandinler, büyüme faktörleri, nöropeptitler ve kemik remodelingini yöneten sinyal molekülleri salınır (Davidovitch et al., 1988; Saito et al., 1991; Yamaguchi & Fukasawa, 2021). Basınç tarafında osteoklastik aktiviteye bağlı kemik rezorpsiyonu, gerilim tarafında ise osteoblastik aktiviteye bağlı yeni kemik oluşumu meydana gelir. Bu hücrel yanıtın merkezinde RANK/RANKL/OPG sistemi, prostaglandin E2 (PGE2), interlökinler, TNF- α , matriks metalloproteinazlar ve sklerostin gibi mediatörler yer alır (Tyrovola et al., 2008; Illahi et al., 2024; Rogers et al., 2025; Vijayan et al., 2026).

Bu biyolojik yanıt yalnızca lokal periodontal olaylarla sınırlı değildir. Kalsiyum-fosfat metabolizmasını ve kemik turnover hızını düzenleyen paratiroid hormon (PTH), kalsitonin, vitamin D, tiroid hormonları, glukokortikoidler ve seks steroidleri ODH'nin hızını, kalitesini ve doku yanıtını etkileyebilir (Kalia et al., 2004; Giannini et al., 2026; Jha et al., 2026). Bu nedenle ortodontik tedavide hastanın hormonal durumu, sistemik hastalık öyküsü, ilaç kullanımı, büyüme-gelişim dönemi, gebelik/laktasyon/menopoz gibi fizyolojik evreler ve kemik metabolizmasını etkileyen risk faktörleri dikkatle değerlendirilmelidir (Fernandes et al., 2024; Zhao et al., 2024; Teodorescu et al., 2025).

Ortodontik Diş Hareketinin Biyolojik Temeli

Basınç-Gerilim Teorisi ve Mekanotransdüksiyon

Diş hareketinin temeli basınç-gerilim teorisine dayanır. Uygulanan kuvvet, PDL içinde basınç ve gerilim bölgeleri oluşturarak hücrel aktiviteyi farklı yönlerde uyarır. Basınç bölgesinde damarların daralması, lokal hipoksi ve inflamatuvar

mediatör artışı gözlenir; bu ortam osteoklast öncüllerinin farklılaşmasını ve kemik rezorpsiyonunu destekler (Krishnan & Davidovitch, 2006; Jeon et al., 2021; Wang et al., 2024). Aşırı kuvvetlerde hüresiz nekrotik alanlar ve hiyalinizasyon gelişebilir; bu durumda diş hareketi, nekrotik dokunun uzaklaştırılmasına kadar “lag fazı” olarak adlandırılan yavaşlama dönemine girebilir (Wang et al., 2024).

Gerilim bölgesinde ise PDL liflerinin gerilmesi, vaskülaritenin artması ve osteoblastik aktivitenin uyarılmasıyla yeni kemik formasyonu gerçekleşir. Mekanik enerjinin hüresel yanıtı dönüştürülmesi mekanotransdüksiyon olarak adlandırılır. PDL hücreleri, integrinler, iyon kanalları, hücre iskeleti proteinleri ve ekstrasellüler matriks bağlantıları aracılığıyla mekanik yükü algılar; bu uyarılar MAPK, NF- κ B, Wnt/ β -katenin ve RANKL ilişkili yollar üzerinden hüresel yanıtı dönüştürülür (Jeon et al., 2021; Vijayan et al., 2026).

Periodontal Ligament Hücreleri ve Yaşa Bağlı Biyolojik Yanıt

PDL; fibroblastlar, osteoblastlar, osteoklast öncülleri, mezenkimal kök hücreler, endotelyal hücreler ve inflamatuvar hücrelerden oluşan dinamik bir dokudur. Bu hücreler mekanik kuvvetlere yanıt olarak sitokinler, prostaglandinler, büyüme faktörleri ve matriks düzenleyici enzimler salgılayarak kemik remodelingini yönlendirir (Krishnan & Davidovitch, 2006; Vijayan et al., 2026). Yaş, bu yanıtın en önemli biyolojik belirleyicilerinden biridir. Deneysel ve klinik çalışmalar, genç bireylerde PDL hücrelerinin proliferatif kapasitesinin ve remodeling yanıtının daha yüksek olduğunu, erişkinlerde ise diş hareketinin daha yavaş ve değişken seyredebileceğini göstermektedir (Ren et al., 2003; Alikhani et al., 2018; Mohanakumar et al., 2021; Wang et al., 2024).

Yaşa bağlı farklılıklar yalnızca hücre proliferasyonu ile sınırlı değildir; RANKL/OPG dengesi, inflamatuvar sitokin yanıtı ve

gingival oluk sıvısındaki biyobelirteç düzeyleri de yaşa göre değişebilir. Kawasaki ve arkadaşları (2006), ODH sırasında RANKL ve OPG düzeylerinin yaşla ilişkili değişkenlik gösterebileceğini bildirmiştir. Çocuklar ve erişkinlerde erken dönem ODH ile ilişkili biyobelirteçleri inceleyen sistematik derlemeler de yaşa bağlı biyolojik yanıt farklılıklarının klinik hareket hızını etkileyebileceğini desteklemektedir (CM et al., 2025).

Osteoklast-Osteoblast Dengesi ve RANK/RANKL/OPG Sistemi

ODH'nin gerçekleşebilmesi, basınç tarafında osteoklastik kemik yıkımı ile gerilim tarafında osteoblastik kemik yapımının koordinasyonuna bağlıdır. Osteoklast farklılaşmasında M-CSF ve RANKL temel rol oynar; RANKL, osteoklast öncüllerindeki RANK reseptörüne bağlanarak osteoklastogenezi başlatır. OPG ise RANKL'ye bağlanan bir tuzak reseptör gibi davranarak osteoklastik aktiviteyi baskılar (Tyrovola et al., 2008; Vijayan et al., 2026). Bu nedenle basınç tarafında artan RANKL/OPG oranı kemik rezorpsiyonunun biyolojik ön koşullarından biri olarak kabul edilir.

Osteoblastik aktivite ise kemik formasyonunu ve periodontal stabiliteyi sağlar. Alkalın fosfataz, osteokalsin, osteopontin, PINP ve diğer kemik yapım belirteçleri gerilim tarafındaki kemik appozisyonu ile ilişkilidir (Kumar et al., 2015; Kumar et al., 2023; Bayırlı et al., 2026). Bu moleküller, ortodontik kuvvetlere verilen hücresel yanıtın izlenmesinde biyobelirteç olarak kullanılabilir. Gingival oluk sıvısı ve saliva örneklerinde değerlendirilen CTX, PINP ve vitamin D bağlayıcı protein gibi belirteçler, sabit ortodontik tedavi sırasında kemik remodelinginin izlenmesi açısından güncel araştırma alanları arasındadır (Bayırlı et al., 2026).

Sitokinler, Prostaglandinler ve Lokal İnflamasyon

ODH sırasında gelişen lokal inflamasyon, fizyolojik diş hareketinin zorunlu bir parçasıdır; ancak bu inflamasyonun süresi ve şiddeti tedavi yanıtını ve kök rezorpsiyonu riskini etkileyebilir

(Yamaguchi & Fukasawa, 2021). Kuvvet uygulamasından kısa süre sonra IL-1 β , IL-6, TNF- α , PGE2 ve diğerk pro-inflamatuvar mediatörler artar. IL-1 β osteoklast aktivasyonunu güçlü biçimde uyarırken, IL-6 hem rezorpsiyon hem de formasyon süreçlerinde düzenleyici rol üstlenebilir (Saito et al., 1991; Kumar et al., 2015; Kumar et al., 2023).

Prostaglandinler, özellikle PGE2, mekanik strese yanıt olarak araşidonik asit metabolizması üzerinden üretilen ve lokal hormon benzeri etki gösteren eikozanoidlerdir. PGE2, osteoklast sayısını ve aktivitesini artırarak diş hareketini hızlandırabilir; ancak yüksek düzeylerde ağrı, inflamasyon ve kök rezorpsiyonu riskini artırma potansiyeli nedeniyle klinik uygulamada dikkatle değerlendirilmelidir (Illahi et al., 2024; Vijayan et al., 2026). NSAİİ'lerin prostaglandin sentezini baskılaması nedeniyle ODH hızını azaltabileceğı uzun süredir bildirilmektedir (Bartzela et al., 2009; Makrygiannakis et al., 2019; Giannini et al., 2026).

Kemik Metabolizmasını Etkileyen Hormonlar

Paratiroid Hormon

Paratiroid hormon, sistemik kalsiyum homeostazının temel düzenleyicilerinden biridir ve kemik remodelingini güçlü biçimde etkiler. PTH, osteoblast ve osteositler üzerindeki reseptörleri aracılığıyla RANKL ekspresyonunu artırabilir; bu durum dolaylı olarak osteoklast farklılaşmasını ve kemik rezorpsiyonunu destekler (Giannini et al., 2026; Vijayan et al., 2026). Deneysel çalışmalarda PTH'nin sistemik veya lokal uygulanmasının kemik turnover hızını artırarak ODH'yi hızlandırabileceğı bildirilmiştir (Giannini et al., 2026).

PTH'nin etkisi uygulama biçimine bağılı olarak çift yönlü olabilir. Sürekli yüksek PTH düzeyleri katabolik etkiyle kemik rezorpsiyonunu artırırken, aralıklı düşük doz PTH uygulamaları anabolik etkiyle kemik yapımını destekleyebilir. Bu nedenle PTH,

teorik olarak diş hareketini hızlandırma ve kemik remodelingini modüle etme açısından ilgi çekici bir biyolojik hedefdir; ancak insan klinik pratiğinde rutin ortodontik hızlandırma ajanı olarak kullanımı için yeterli kanıt yoktur (El-Angbawi et al., 2023; Giannini et al., 2026).

Kalsitonin

Kalsitonin, tiroid bezinin parafoliküler hücrelerinden salınan ve PTH'ye antagonist etki gösteren bir hormondur. Osteoklastların rezorptif aktivitesini baskılayarak kemik yıkımını azaltır. Bu nedenle kalsitonin düzeylerinde artış veya kalsitonin tedavisi, teorik olarak ortodontik diş hareketini yavaşlatabilir. Hayvan çalışmalarında sistemik kalsitonin uygulamasının diş hareketinde gecikme ve kemik yoğunluğunda artışla ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Kalsitoninin ortodontik kök rezorpsiyonu üzerinde koruyucu etkileri olabileceği düşünülse de bu konuda insan çalışmalarından elde edilen kanıtlar sınırlıdır (Giannini et al., 2026; Jha et al., 2026).

Vitamin D

Vitamin D, kalsiyum-fosfor metabolizması, kemik mineralizasyonu, immün yanıt ve endokrin denge üzerinde merkezi role sahiptir. Aktif vitamin D formu olan kalsitriol, fizyolojik düzeylerde kemik mineralizasyonunu desteklerken, yüksek farmakolojik dozlarda RANKL/OPG dengesini etkileyerek osteoklastik aktiviteyi artırabilir (Lengyel et al., 2025; Giannini et al., 2026). Vitamin D'nin tiroid, paratiroid ve üreme sistemi ile ilişkili endokrin hastalıklardaki rolü de kemik metabolizması açısından önemlidir (Cheng et al., 2026; Lengyel et al., 2025).

Ortodonti literatüründe lokal kalsitriol uygulamalarının ODH hızını artırabileceği bildirilmiştir; ancak bu bulguların önemli bölümü deneysel veya sınırlı klinik veriye dayanmaktadır (Giannini et al., 2026; Vijayan et al., 2026). Şiddetli vitamin D eksikliği ise kemik remodeling yanıtını zayıflatabilir ve ortodontik kuvvetlere

verilen biyolojik cevabı olumsuz etkileyebilir. Sabit ortodontik tedavi sırasında CTX, PINP ve vitamin D bağlayıcı protein gibi belirteçlerin incelenmesi, vitamin D eksikliği ve kemik turnover ilişkisini değerlendirmek açısından güncel bir araştırma alanıdır (Bayırlı et al., 2026).

Tiroid Hormonları

Tiroid hormonları genel metabolizma hızı kadar kemik remodelingini de etkiler. Hipertiroidizmde veya eksojen tiroksin kullanımında kemik turnover hızı artabilir, kemik mineral yoğunluğu azalabilir ve diş hareketi teorik olarak hızlanabilir (Giannini et al., 2026; Jha et al., 2026). Buna karşılık hipotiroidizmde kemik dönüşümü yavaşlar ve ortodontik diş hareketinin biyolojik hızı azalabilir. Tiroid hastalıklarında vitamin D ve immün-endokrin etkileşimlerin de kemik metabolizmasını etkileyebileceği bildirilmektedir (Cheng et al., 2026).

Klinik açıdan tiroid bozukluğu olan hastaların ortodontik tedavi öncesinde endokrinolojik olarak stabil hale getirilmesi önemlidir. Kontrolsüz hipertiroidizmde artmış rezorptif aktivite, periodontal kemik desteği ve kök rezorpsiyonu açısından risk oluşturabilir; hipotiroidizmde ise tedavi süresi uzayabilir ve kuvvetlere yanıt daha yavaş gelişebilir (Gannini et al., 2026; Jha et al., 2026).

Seks Hormonları ve Ortodontik Diş Hareketi

Östrojen

Östrojen, kemik dokusu üzerinde koruyucu etkileri olan temel seks steroidlerinden biridir. Osteoblast ve osteositler üzerinden kemik yapımını desteklerken, IL-1, IL-6 ve TNF- α gibi osteoklastogenezi artıran pro-inflamatuvar sitokinleri baskılayabilir (Wang et al., 2024; Giannini et al., 2026). Periodontal ligament hücrelerinde seks hormon reseptörlerinin varlığı ve donörler arası

değişkenlik, bireyler arasında ortodontik yanıtın farklılaşabileceğini düşündürmektedir (Quast et al., 2021).

Puberte, menstruel döngü, gebelik, laktasyon ve menopoiz dönemlerinde değişen östrojen düzeyleri, periodontal dokuların mekanik kuvvetlere verdiği yanıtı etkileyebilir (Fernandes et al., 2024; Zhao et al., 2024). Menstruel döngü sırasında diş mobilitesindeki değişimleri inceleyen çalışmalar, hormonal dalgalanmaların periodontal ligament ve alveoler kemik mikroçevresi üzerinde ölçülebilir etkiler oluşturabileceğini göstermektedir (Mishra et al., 2013). Ekzojen kadın cinsiyet hormonu uygulamalarını inceleyen hayvan çalışmaları ise seks hormonlarının diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerinin doz, uygulama süresi ve hormonal profile bağılı olarak değişebileceğini göstermektedir (Kaklamanos et al., 2021).

Menopoiz dönemde östrojen azalması kemik turnover hızını artırabilir ve kemik mineral yoğunluğunu azaltabilir. Bu durum ortodontik diş hareketini bazı olgularda hızlandırabilir; ancak periodontal destek dokularında azalma, kök rezorpsiyonu ve tedavi sonrası stabilite sorunları gibi riskleri de beraberinde getirebilir (Fernandes et al., 2024; Zhao et al., 2024; Giannini et al., 2026).

Progesteron, Gebelik ve Laktasyon

Progesteronun temel etkisi kemikten çok periodontal dokuların vasküler ve inflamatuvar yanıtı üzerindedir. Progesteron, mikrodolaşımda vazodilatasyonu ve damar geçirgenliğini artırarak periodontal dokuları lokal iritanlara ve plak birikimine karşı daha duyarlı hale getirebilir (Fernandes et al., 2024; Zhao et al., 2024). Gebelikte artan östrojen ve progesteron düzeyleri, gingival inflamasyon, diş mobilitesinde artış ve oral hijyen yönetiminde zorluklarla ilişkilidir.

Gebelik ve laktasyon döneminde ortodontik tedavi tamamen kontrendike değildir; ancak aktif kuvvet uygulaması, periodontal

inflamasyon, kalsiyum dengesi, oral hijyen, bulantı-kusma, beslenme değişiklikleri ve hasta konforu birlikte değerlendirilmelidir (Fernandes et al., 2024; Zhao et al., 2024). Bu dönemlerde tedavi planı daha koruyucu, düşük kuvvetli ve sık periodontal kontrol içerecek şekilde düzenlenmelidir.

Androjenler ve Anabolik Steroidler

Testosteron ve diğer androjenler iskelet gelişimi, kas kütlesi ve kemik yoğunluğu üzerinde etkili hormonlardır. Androjenlerin kemik kütlesini koruyucu etkileri, osteoblast ve osteoklast aktivitesi üzerindeki düzenleyici rolleriyle ilişkilidir (Giannini et al., 2026). Deneysel çalışmalar, testosteron eksikliğinin alveoler kemik mikromimarisinde bozulma, inflamatuvar yanıt artışı ve ortodontik kuvvetlere anormal doku yanıtı ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Reis et al., 2026).

Kontrolsüz yüksek doz anabolik steroid kullanımı, klinik ortodontide dikkatle sorgulanması gereken bir durumdur. Anabolik steroidlerin periodontal ligamentte inflamatuvar yanıtı artırabileceği, kemik remodeling yollarını bozabileceği ve kök rezorpsiyonu riskini yükseltebileceği deneysel verilerle desteklenmektedir (Reis et al., 2026). Bu nedenle ortodontik anamnezde yalnızca reçeteli ilaçlar değil, performans artırıcı veya estetik amaçlı kullanılan ajanlar da sorgulanmalıdır.

Stres Hormonları, Glukokortikoidler ve Sistemik İlaçlar

Glukokortikoidler kemik metabolizması üzerinde güçlü etkilere sahiptir. Kısa süreli ve kronik kortikosteroid kullanımı, osteoblastik aktiviteyi baskılayabilir, osteoklastik aktiviteyi değiştirebilir ve ODH sırasında doku yanıtını modüle edebilir (Kalia et al., 2004). Bu nedenle kronik kortikosteroid kullanan hastalarda ortodontik kuvvetlerin dikkatli uygulanması, periodontal destek dokularının izlenmesi ve tıbbi konsültasyon önemlidir.

Stres yanıtı ve kortizol düzeyleri de kemik ve inflamasyon metabolizmasını etkileyebilir. Akut ve kronik stresin, deneysel hayvan modellerinde ortodontik diş hareketi ve periodontal yanıt üzerinde etkili olabileceği bildirilmiştir (Golshah et al., 2025). Bununla birlikte stres, cannabinoid kullanımı ve ODH arasındaki ilişki henüz klinik açıdan kesin önerilere dönüştürülecek düzeyde değildir.

ODH hızını etkileyebilecek ilaçlar arasında NSAİİ'ler, kortikosteroidler, bisfosfonatlar, metilfenidat, florür preparatları ve kemik metabolizmasını etkileyen diğer farmakolojik ajanlar yer alır (Bartzela et al., 2009; Makrygiannakis et al., 2019; Giannini et al., 2026). Metilfenidatın deneysel rat modelinde ODH ve kemik dokusu üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar, merkezi sinir sistemi ilaçlarının da kemik metabolizması üzerindeki olası etkileri nedeniyle ortodontik anamnezde dikkate alınması gerektiğini düşündürmektedir (Aghili et al., 2017). Bisfosfonat kullanımı ise kemik rezorpsiyonunu baskıladığı için yavaş veya başarısız diş hareketi, uzamış tedavi süresi ve istenmeyen ortodontik sonuçlarla ilişkili olabilir (Lotwala et al., 2012). İnsanlarda florür maruziyetinin diş hareketi üzerine etkisi de değerlendirilmiş ve kemik-diş dokusu metabolizmasını etkileyen ajanların ortodontik biyolojik yanıt üzerinde rol oynayabileceği gösterilmiştir (Karadeniz et al., 2011).

Lokal Hormon Benzeri Mediatörler

Prostaglandinler

Prostaglandinler, sistemik hormonlardan farklı olarak lokal/parakrin etkili mediatörlerdir; ancak ODH mekanizmasında “hormon benzeri” düzenleyiciler olarak işlev görürler. PGE2, mekanik stres sonrası PDL ve alveoler kemikte artar, osteoklast farklılaşmasını destekler ve kemik yıkımını hızlandırır (Saito et al., 1991; Illahi et al., 2024; Vijayan et al., 2026). Lokal PGE2 uygulamalarının ODH hızını artırabileceği bildirilmiş olsa da ağrı,

inflamasyon ve kök rezorpsiyonu riski nedeniyle klinik kullanımı sınırlıdır (İllahi et al., 2024; Yamaguchi & Fukasawa, 2021).

İnterlökinler, TNF- α ve Biyobelirteçler

IL-1 β , IL-6 ve TNF- α gibi pro-inflamatuvar sitokinler ODH'nin erken döneminde artar ve osteoklastik aktivitenin düzenlenmesinde rol alır (Davidovitch et al., 1988; Saito et al., 1991; Kumar et al., 2015). Gingival oluk sıvısında ölçülen biyobelirteçler, ortodontik kuvvete verilen lokal doku yanıtının değerlendirilmesinde önemli bir araştırma alanıdır (Alhadlaq & Patil, 2015; Kumar et al., 2023; CM et al., 2025). Bu belirteçler arasında IL-1 β , IL-6, TNF- α , RANKL, OPG, MMP'ler, CTX, PINP ve kemik metabolizmasıyla ilişkili proteinler yer alır.

Ortodontik kök rezorpsiyonu açısından cementum protein-1, dentin sialophosphoprotein ve MMP-9 gibi moleküllerin tanısal değerini inceleyen çalışmalar, biyobelirteçlerin gelecekte risk belirleme ve izlem amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir (Antony et al., 2026). Ortognatik cerrahi sonrası ilaç ilişkili inflamatuvar biyobelirteç değişiklikleri ve kök rezorpsiyonu üzerine yapılan çalışmalar da sistemik-farmakolojik faktörlerle lokal ortodontik yanıt arasındaki ilişkinin klinik açıdan önemli olduğunu desteklemektedir (Kılıç et al., 2026).

Sklerostin, Wnt Sinyali ve Matriks Metalloproteinazlar

Sklerostin, osteositler tarafından salgılanan ve Wnt/ β -katenin sinyal yolunu inhibe ederek kemik formasyonunu baskılayan bir proteindir. ODH sırasında sklerostin ekspresyonunun basınç ve gerilim taraflarında farklılaşması, alveoler kemik remodelinginin yönlendirilmesinde rol oynayabilir (Rogers et al., 2025). MMP-1, MMP-8 ve MMP-9 gibi matriks metalloproteinazlar ise PDL içindeki kollajen ağının yeniden düzenlenmesinde, ekstrasellüler matriksin yıkımında ve doku remodelinginde görev alır (Kumar et al., 2023; Antony et al., 2026).

Kök Rezorpsiyonu, Kemik Yoğunluğu ve Klinik Risk

Eksternal apikal kök rezorpsiyonu, ortodontik tedavinin en önemli biyolojik yan etkilerinden biridir. RANK/RANKL/OPG sistemi, inflamatuvar sitokinler, kemik yoğunluğu, genetik yatkınlık, yaş, hormonal durum ve uygulanan kuvvetin şiddeti bu risk üzerinde etkilidir (Tyrovola et al., 2008; Iglesias-Linares et al., 2016; Yamaguchi & Fukasawa, 2021). Kemik yoğunluğu ile kök rezorpsiyonu arasındaki ilişki, ortodontik tedavide bireysel risk değerlendirmesinin önemini artırmaktadır (Iglesias-Linares et al., 2016).

Seks hormonları, vitamin D durumu, tiroid fonksiyonu ve sistemik ilaç kullanımı gibi değişkenler kök rezorpsiyonu riskini dolaylı veya doğrudan etkileyebilir (Kaklamanos et al., 2021; Giannini et al., 2026; Reis et al., 2026). Bu nedenle tedavi başlangıcında sistemik sağlık öyküsü, ilaçlar, endokrin bozukluklar, büyüme dönemi, gebelik-laktasyon durumu ve periodontal risk faktörleri birlikte değerlendirilmelidir.

Klinik Yansımalar ve Destekleyici Faktörler

Ortodontik diş hareketini biyolojik olarak hızlandırmaya yönelik non-cerrahi yöntemler arasında farmakolojik ajanlar, lokal biyolojik mediatörler, fotobiyomodülasyon, vibrasyon ve diğer destekleyici yaklaşımlar tartışılmaktadır; ancak güncel Cochrane kanıtları bu yöntemlerin rutin klinik uygulamaya aktarımı konusunda temkinli yaklaşılması gerektiğini göstermektedir (El-Angbawi et al., 2023). ODH'yi hızlandırma stratejileri üzerine yapılan derlemeler de bu alanın umut verici fakat kanıt düzeyi açısından heterojen olduğunu vurgulamaktadır (Nimeri et al., 2013; Jeon et al., 2021).

Bu bölümün ana odağı hormonal düzenleyiciler olmakla birlikte, ortodontik tedavinin biyolojik başarısı yalnızca diş hareket hızıyla sınırlı değildir. Sabit aparey tedavisinde plak birikimi,

asidojenite, demineralizasyon ve oral mikrobiyota değişiklikleri de tedavinin genel klinik sonucunu etkiler. Ortodontik hastalarda probiyotiklerin plak asidojenitesi, Streptococcus mutans ve Lactobacillus düzeyleri üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar bu nedenle destekleyici oral evre yönetimi açısından önemlidir (Alforaidi et al., 2021; Alp & Baka, 2018; Giannini et al., 2025). Benzer şekilde, erken çürük lezyonlarının remineralizasyonu ve sabit aparey sonrası mine sağlığı, ortodontik tedavinin klinik bütünlüğü açısından dikkate alınmalıdır (Beerens et al., 2018).

Ortodontik biyolojik yanıtın klinik yorumunda maloklüzyon tipi, tedavi mekaniği ve uygulanan kuvvet sistemi de önemlidir. Örneğin sınıf II divizyon 1 maloklüzyonların farklı tedavi protokollerinde biyolojik yanıt, tedavi süresi ve hasta uyumu değişebilir (Maspero et al., 2018). Bu nedenle hormonal ve sistemik faktörler tek başına değerlendirilmemeli; tedavi mekaniği, periodontal durum, oral hijyen, büyüme-gelişim dönemi ve hastanın sistemik profiliyle birlikte ele alınmalıdır.

Sonuç

Ortodontik diş hareketi, mekanik kuvvetlerle başlatılan ancak lokal inflamasyon, periodontal ligament hücreleri, osteoklast-osteoblast dengesi, RANK/RANKL/OPG sistemi, sitokinler, prostaglandinler ve sistemik hormonal düzenleyiciler tarafından şekillendirilen karmaşık bir biyolojik süreçtir. PTH, kalsitonin, vitamin D, tiroid hormonları, seks steroidleri, glukokortikoidler ve bazı sistemik ilaçlar kemik remodeling hızını ve periodontal doku yanıtını etkileyebilir. Bununla birlikte, mevcut kanıtların önemli bir kısmı hayvan çalışmaları, hücre kültürü modelleri veya sınırlı klinik verilerden elde edilmiştir. Bu nedenle hormonal faktörler ortodontik tanı ve tedavi planlamasında dikkate alınmalı, ancak rutin klinik uygulamada hormon manipülasyonu bir hızlandırma stratejisi olarak önerilmemelidir. En güvenli yaklaşım; sistemik hastalık, ilaç kullanımı, büyüme-gelişim dönemi, gebelik/laktasyon/menopoz gibi

fizyolojik durumlar ve periodontal risk faktörlerinin kapsamlı biçimde değerlendirilmesidir.

Kaynakça

Aghili, H., Yassaei, S., Zahir, S. T., & Arjmandi, R. (2017). Effect of methylphenidate on orthodontic tooth movement and histological features of bone tissue in rats: An experimental study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(7), ZF01–ZF05. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/26217.10169>

Alforaidi, S., Bresin, A., Almosa, N., Lehrkinder, A., & Lingström, P. (2021). Effect of drops containing *Lactobacillus reuteri* (DSM 17938 and ATCC PTA 5289) on plaque acidogenicity and other caries-related variables in orthodontic patients. *BMC Microbiology*, 21, Article 271. <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02310-2>

Alhadlaq, A. M., & Patil, S. (2015). Biomarkers of orthodontic tooth movement in gingival crevicular fluid: A systematic review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 16(7), 578–587. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1725>

Alikhani, M., Chou, M. Y., Khoo, E., Alansari, S., Kwal, R., Elfersi, T., Almansour, A., Sangsuwon, C., Al Jearah, M., Nervina, J. M., & Teixeira, C. C. (2018). Age-dependent biologic response to orthodontic forces. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(5), 632–644. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.09.016>

Alp, S., & Baka, Z. M. (2018). Effects of probiotics on salivary *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus* levels in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 154(4), 517–523. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.01.010>

Antony, V., George, A., Parayaruthottam, P., Raj, A., & Ahmed, S. M. (2026). Receiver operating characteristic evaluation of cementum protein-1, dentin sialophosphoprotein, and matrix

metalloproteinase-9 in the diagnostic accuracy of orthodontic root resorption severity. *Journal of the Indian Orthodontic Society*, 60(1), 33–41. <https://doi.org/10.1177/03015742251379953>

Bartzela, T., Türp, J. C., Motschall, E., & Maltha, J. C. (2009). Medication effects on the rate of orthodontic tooth movement: A systematic literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(1), 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.08.016>

Bayırlı, A. B., Yurdakurban, E., Uytun, M., Türkiş, F. C., & Saruhan, E. (2026). Assessment of CTX, PINP, and vitamin D-binding protein in gingival crevicular fluid and saliva during fixed orthodontic treatment. *Diagnostics*, 16(1), Article 30. <https://doi.org/10.3390/diagnostics16010030>

Beerens, M. W., ten Cate, J. M., Buijs, M. J., & van der Veen, M. H. (2018). Long-term remineralizing effect of MI Paste Plus on regression of early caries after orthodontic fixed appliance treatment: A 12-month follow-up randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics*, 40(5), 457–464. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjx085>

Cheng, K., Hu, Y., Li, Y., Zhang, Y., Wang, J., & Zhang, C. (2026). Vitamin D as a central modulator of thyroid diseases: Mechanisms and clinical implications. *Frontiers in Immunology*, 17, Article 1748648. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2026.1748648>

CM, A. R., Ghonmode, S., Powar, S., Rajput, P., & Chaudhary, P. (2025). Association between different biomarkers and initial orthodontic tooth movement in children and adults: A systematic review and meta-analysis. *Cureus*, 17(2), Article e78483. <https://doi.org/10.7759/cureus.78483>

Davidovitch, Z., Nicolay, O. F., Ngan, P. W., & Shanfeld, J. L. (1988). Neurotransmitters, cytokines, and the control of alveolar

bone remodeling in orthodontics. *Dental Clinics of North America*, 32(3), 411–435. PMID: 2900159.

El-Angbawi, A., McIntyre, G. T., Fleming, P. S., & Bearn, D. R. (2023). Non-surgical adjunctive interventions for accelerating tooth movement in patients undergoing fixed orthodontic treatment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2023(6), Article CD010887. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010887.pub3>

Fernandes, J. L., Perazzo, M. F., Paiva, S. M., Martins-Júnior, P. A., & Macari, S. (2024). Orthodontic treatment during pregnancy, lactation, and postmenopausal period: A questionnaire development. *Brazilian Oral Research*, 38, Article e013. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2024.vol38.0013>

Giannini, L., Macri, F., Inchingolo, A. M., Inchingolo, F., Dipalma, G., & Maspero, C. (2026). Influence of pharmacological agents on orthodontic tooth movement: A systematic review. *Bioengineering*, 13(2), Article 224. <https://doi.org/10.3390/bioengineering13020224>

Giannini, L., Stella, G., Cattaneo, G., Dipalma, G., & Maspero, C. (2025). Clinical applications of probiotics in pediatric dentistry and orthodontics: A systematic review. *Nutrients*, 17(19), Article 3153. <https://doi.org/10.3390/nu17193153>

Golshah, A., Imani, M. M., Azizi, F., & Nikkardar, N. (2025). The impact of acute and chronic stress and cannabinoid extract injection on orthodontic tooth movement: An experimental rat model study. *International Journal of Dentistry*, 2025, Article 3913540. <https://doi.org/10.1155/ijod/3913540>

Iglesias-Linares, A., Morford, L. A., & Hartsfield, J. K., Jr. (2016). Bone density and dental external apical root resorption. *Current Osteoporosis Reports*, 14(6), 292–309. <https://doi.org/10.1007/s11914-016-0340-1>

Illahi, G. N., Triwardhani, A., Hamid, T., Yusuf, M. R., Putri, R., & Amalia, R. (2024). Prostaglandin in enhancing orthodontic tooth movement: A scoping review. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 17(2), 939–943. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00146>

Jeon, H. H., Teixeira, H., & Tsai, A. (2021). Mechanistic insight into orthodontic tooth movement based on animal studies: A critical review. *Journal of Clinical Medicine*, 10(8), Article 1733. <https://doi.org/10.3390/jcm10081733>

Jha, S., Mishra, S., Mishra, S., Sahu, A., Sahoo, S. N., & Saha, S. C. (2026). Drugs and orthodontics: A comprehensive narrative review. *International Journal of Drug Delivery Technology*, 16(33s), 39–44. <https://doi.org/10.25258/ijddt.16.33s.5>

Kaklamanos, E. G., Makrygiannakis, M. A., & Athanasiou, A. E. (2021). Does exogenous female sex hormone administration affect the rate of tooth movement and root resorption? A systematic review of animal studies. *PLOS ONE*, 16(9), Article e0257778. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257778>

Kalia, S., Melsen, B., & Verna, C. (2004). Tissue reaction to orthodontic tooth movement in acute and chronic corticosteroid treatment. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 7(1), 26–34. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2004.00278.x>

Karadeniz, E. I., Gonzales, C., Elekdag-Turk, S., Isci, D., Sahin-Saglam, A. M., Alkis, H., Turk, T., & Darendeliler, M. A. (2011). The effect of fluoride on orthodontic tooth movement in humans: A two- and three-dimensional evaluation. *Australian Orthodontic Journal*, 27(2), 94–101. PMID: 22372264.

Kawasaki, K., Takahashi, T., Yamaguchi, M., & Kasai, K. (2006). Effects of aging on RANKL and OPG levels in gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement. *Orthodontics &*

Craniofacial Research, 9(3), 137–142.
<https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2006.00368.x>

Kılıç, B., Aksoy, T., & Gul Amuk, N. (2026). Medication-Related Changes in Inflammatory Biomarkers and Root Resorption After Orthognathic Surgery. *Journal of Dental Insight*, 1(1), 7-25.
<https://izlik.org/JA92SU23HE>

Krishnan, V., & Davidovitch, Z. (2006). Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(4), 469.e1–469.e32. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.007>

Kumar, A. A., Saravanan, K., Kohila, K., & Kumar, S. S. (2015). Biomarkers in orthodontic tooth movement. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 7(Suppl. 2), S325–S330.
<https://doi.org/10.4103/0975-7406.163437>

Kumar, S., Singh, G. P., & Singh, G. K. (2023). Biomarkers encompassing the field of orthodontics: A literature review. *International Journal of Dental Science and Innovative Research*, 6(3), 409–423. <https://doi.org/10.1177/14653125221118934>

Lengyel, B., Armos, R., Bojtor, B., Kiss, A., Tobias, B., Piko, H., & Lakatos, P. (2025). Vitamin D in endocrine disorders: A broad overview of evidence in musculoskeletal, thyroid, parathyroid, and reproductive disorders. *Pharmaceuticals*, 19(1), Article 54.
<https://doi.org/10.3390/ph19010054>

Lotwala, R. B., Greenlee, G. M., Ott, S. M., Hall, S. H., & Huang, G. J. (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. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.05.019>

Makrygiannakis, M. A., Kaklamanos, E. G., & Athanasiou, A. E. (2019). Medication and orthodontic tooth movement. *Journal*

of *Orthodontics*, 46(1_suppl), 39–44.
<https://doi.org/10.1177/1465312519840037>

Maspero, C., Galbiati, G., Giannini, L., Guenza, G., & Farronato, M. (2018). Class II division 1 malocclusions: Comparisons between one- and two-step treatment. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 19(4), 295–299.
<https://doi.org/10.23804/ejpd.2018.19.04.8>

Mishra, P., Marawar, P. P., Byakod, G., Mohitey, J., & Akhat, S. (2013). A study to evaluate mobility of teeth during menstrual cycle using Periotest. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 17(2), 219–224. <https://doi.org/10.4103/0972-124X.113078>

Mohanakumar, A., Vijay, G. L., Vijayaraghavan, N., Rajendran, R. S., Chandran, M. B., Thulasidharan, M. U., Damodaran, D. R., Sreekumar, C., & Krishnan, V. (2021). Morphological alterations, activity, mRNA fold changes, and aging changes before and after orthodontic force application in young and adult human-derived periodontal ligament cells. *European Journal of Orthodontics*, 43(6), 690–696.
<https://doi.org/10.1093/ejo/cjab025>

Nimeri, G., Kau, C. H., Abou-Kheir, N. S., & Corona, R. (2013). Acceleration of tooth movement during orthodontic treatment: A frontier in orthodontics. *Progress in Orthodontics*, 14, Article 42. <https://doi.org/10.1186/2196-1042-14-42>

Quast, A., Martian, V., Bohnsack, A., Batschkus, S., Meyer-Marcotty, P., & Miosge, N. (2021). Donor variation and sex hormone receptors in periodontal ligament cells. *Archives of Oral Biology*, 122, Article 105026.
<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2020.105026>

Reis, C. L. B., Galisteu-Luiz, K., Pedroso, G. L., Puls, G. L., Cassaro, L., Vieira, B. B., & Matsumoto, M. A. N. (2026). Effects of

testosterone and high-dose anabolic steroids on orthodontic-induced bone remodeling and root resorption: An animal study. *Journal of Periodontology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/jper.70068>

Ren, Y., Maltha, J. C., Van 't Hof, M. A., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2003). Age effect on orthodontic tooth movement in rats. *Journal of Dental Research*, 82(1), 38–42. <https://doi.org/10.1177/154405910308200109>

Rogers, M. L., Rossouw, P. E., & Javed, F. (2025). Effect of orthodontic tooth movement on sclerostin expression in alveolar bone matrix: A systematic review of studies on animal models. *Dentistry Journal*, 13(11), Article 513. <https://doi.org/10.3390/dj13110513>

Saito, M., Saito, S., Ngan, P. W., Shanfeld, J., & Davidovitch, Z. (1991). Interleukin 1 beta and prostaglandin E are involved in the response of periodontal cells to mechanical stress in vivo and in vitro. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 99(3), 226–240. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(91\)70005-H](https://doi.org/10.1016/0889-5406(91)70005-H)

Teodorescu, I. M., Preteasa, E., Preteasa, C. T., Murariu-Măgureanu, C., & Teodorescu, C. (2025). Association of systemic pathologies on dental, periodontal and orthodontic status in children. *Biomedicines*, 13(9), Article 2137. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13092137>

Tyrovola, J. B., Spyropoulos, M. N., Makou, M., & Perrea, D. (2008). Root resorption and the OPG/RANKL/RANK system: A mini review. *Journal of Oral Science*, 50(4), 367–376. <https://doi.org/10.2334/josnusd.50.367>

Vijayan, S., Antony, V., Shalooob, M., Roshan, G., Vattaparambil, S., & Hamza, F. (2026). Molecular crossroads of

orthodontic tooth movement: A descriptive review of signalling molecules, mechanotransduction, and bone remodelling. *IP Indian Journal of Orthodontics and Dentofacial Research*, 12(2), 73–81. <https://ijodr.com/>

Wang, J., Huang, Y., Chen, F., & Li, W. (2024). The age-related effects on orthodontic tooth movement and the surrounding periodontal environment. *Frontiers in Physiology*, 15, Article 1460168. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1460168>

Yamaguchi, M., & Fukasawa, S. (2021). Is inflammation a friend or foe for orthodontic treatment? Inflammation in orthodontically induced inflammatory root resorption and accelerating tooth movement. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(5), Article 2388. <https://doi.org/10.3390/ijms22052388>

Zhao, Y., Qian, S., Zheng, Z., Peng, J., Liu, J., Guan, X., & Liao, C. (2024). Consideration of hormonal changes for orthodontic treatment during pregnancy and lactation: A review. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 22, Article 106. <https://doi.org/10.1186/s12958-024-01281-z>

BÖLÜM 2

ORTODONTİK TEDAVİDE BEYAZ NOKTA LEZYONLARI: SABİT APAREYLER VE ŞEFFAF PLAKLARDA DEMİNERALİZASYON RİSKİ, TANISI VE ÖNLENMESİ

Kübra ARSLAN ÇARPAR¹

Giriş

Beyaz nokta lezyonları (BNL), demineralizasyon sonucu dişlerin düz yüzeylerinde süt beyazı veya opak olarak gözlenen yüzey altı mine porözitesidir (Bishara ve Ostby, 2008). Beyaz görünümün temel nedeni; dekalsifiye minenin optik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerle mine saydamlığının bozulmasıdır (Øgaard, 2008). Asit üreten bakteriler, fermente edilebilir karbonhidratlar, yetersiz ağız hijyeni, düşük tükürük hacmi ve şekerli diyet gibi pek çok risk faktörü bu başlangıç lezyonlarının gelişimini hızlandırmaktadır (García-Godoy ve Hicks, 2008).

Ortodontik tedavinin büyük bölümünü oluşturan estetik kaygılar, tedavi sonrasında ortaya çıkabilen beyaz nokta lezyonlarının önlenmesini ve erken tanısını vazgeçilmez bir öncelik

¹Dr. Öğr. Üyesi Kübra ARSLAN ÇARPAR, Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti ABD, Türkiye. ORCID: 0000-0002-5123-8276

haline getirmektedir. Literatürde ortodontik tedavinin ardından mine demineralizasyonunun prevalansının ve şiddetinin anlamlı düzeyde arttığını rapor eden çok sayıda çalışma mevcuttur (Gorelick ve ark., 1982; Mitchell, 1992; Mizrahi, 1982). Bu bulgular güncel sistematik derlemelerle de desteklenmekte olup, ortodontik tedavi gören bireylerde beyaz nokta lezyonlarının prevalansının yaklaşık %55'e ulaştığı bildirilmektedir (Hussain ve ark., 2025). Bu bölümde beyaz nokta lezyonlarının tanımı, etiyolojisi, ortodontik tedavi ile ilişkisi, tanı yöntemleri ve koruyucu yaklaşımlar güncel literatür eşliğinde ele alınmaktadır.

Beyaz Nokta Lezyonları

Mine dokusu ağırlık olarak %95 mineral, %5 organik matriks ve su; hacimsel olarak ise %86 mineral, %2 organik materyal ve %12 su içermektedir. İnorganik yapısının temelini kalsiyum fosfat kristalleri oluşturur ve bu yapı hidroksiapatit (HA) olarak adlandırılır. Hidroksiapatit kristalleri birleşerek minenin en küçük yapı birimi olan mine prizmalarını meydana getirir. Minenin poröz yapısı, demineralizasyon ve remineralizasyon potansiyeli taşımalarını sağlar.

Demineralizasyon; dental plaktan H^+ iyonlarının lezyon içerisine geçerken mineden çözünen minerallerin plağa geçmesi sürecidir. Plakta H^+ 'nin oluşmasının başlıca nedeni, fermente edilebilen karbonhidratların bakteriler tarafından metabolize edilmesidir (García-Godoy ve Hicks, 2008). Buna karşın remineralizasyon; plakta oluşan asitlerin tamponlanmasıyla pH'ın yükselmesine bağlı olarak çözünen minerallerin yeniden mine yüzeyine çökmesi sürecidir (Featherstone, 2000). Günlük yaşamda demineralizasyon ve remineralizasyon döngü halinde sürer; döngünün demineralizasyon lehine bozulması çürük oluşumuna yol açar.

Beyaz nokta lezyonları, mine üzerindeki çürük lezyonlarının klinik olarak gözle görülebilen ilk belirtisi olarak tanımlanmaktadır (Fejerskov ve Nyvad, 2003). Demineralizasyon sonucunda minenin yüzeyaltı dokusunda mineral kaybı meydana gelir. Bu durum, minenin optik özelliklerini değiştirerek saydamlığın azalmasına ve etkilenen bölgenin opak, beyaz bir görünüm kazanmasına neden olur. Lezyonların klinik olarak fark edilebilir hale gelmesi için genellikle yaklaşık 2–4 haftalık bir demineralizasyon süreci gerekmektedir (Fejerskov ve ark., 2015).

Opak mine lezyonları gelişimsel ya da çürüğe bağlı kökenli olabilir. Gelişimsel lezyonların görünümü ıslak ya da kuru koşullarda değişmezken, çürüğe bağlı lezyonlar dış yüzeyi kurutulduğunda belirginleşir; ıslak koşullarda ise kısmen veya tamamen kaybolur (Thylstrup ve Fejerskov, 1994). Bu lezyonlar her zaman ilerleyerek kavitasyona dönüşmez; zaman zaman iyileşerek sağlam mineye dönüşebilir (Dirks, 1966). Topikal florür kullanımı, mine yüzeyinin bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunur ve demineralizasyonu inhibe ederek lezyonun ilerlemesini sınırlar (Featherstone, 2000).

Etiyoloji ve Risk Faktörleri

Beyaz nokta lezyonu gelişiminde hastaya bağlı ve çevresel birçok faktör rol oynamaktadır. Yaş, önceki çürük deneyimi, ağız hijyeni düzeyi, diyet alışkanlıkları, tükürük özellikleri ve sosyoekonomik durum bireysel risk faktörleri arasında yer almaktadır (Chapman ve ark., 2010; Sundararaj ve ark., 2015). Bununla birlikte ortodontik tedavi, plak retansiyonunu artırması nedeniyle beyaz nokta lezyonu gelişimi açısından önemli bir çevresel risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Bishara ve Ostby, 2008).

Ortodontik tedavi gören bireylerde, özellikle yetersiz ağız hijyeni, yüksek fermente karbonhidrat tüketimi, düşük tükürük akış

hızı ve uzun tedavi süresi, beyaz nokta lezyonu riskini artırmaktadır (Chapman ve ark., 2010). Sabit ortodontik apareylerin varlığı, braket ve bant çevresinde biyofilm birikimini kolaylaştırarak mine yüzeyinin uzun süre asidik ortama maruz kalmasına neden olmaktadır (Tufekci ve ark., 2011). Bu nedenle ortodontik tedavi sırasında beyaz nokta lezyonu görülme sıklığı, tedavi görmeyen bireylere göre belirgin olarak daha yüksektir (Hussain ve ark., 2025).

Ortodontik Tedavi ve Beyaz Nokta Lezyonu Gelişimi

Ortodontik tedavi sırasında kullanılan braketler, bantlar ve diğer apareyler, plak birikimi için uygun yüzeyler oluşturarak dil, yanak, dudak ve tükürüğün doğal temizleme etkisini azaltır (Bishara ve Ostby, 2008). Bu durum plak miktarında ve plak oluşum hızında artışa, ağız ortamının pH değerinde ise düşüşe neden olur (Øgaard ve ark., 2001). Sonuç olarak, Streptococcus mutans ve laktobasil gibi çürük oluşumuyla ilişkili bakterilerin sayısı artar (Zimmer ve Rottwinkel, 2004).

Beyaz nokta lezyonları, ortodontik tedavinin en sık görülen komplikasyonlarından biridir. Literatürde bu lezyonların görülme sıklığı %2 ile %96 arasında değişmektedir (Artun ve Brobakken, 1986; Øgaard, 1989). Gorelick ve ark. (1982), ortodontik tedavi gören hastaların yaklaşık yarısında beyaz nokta lezyonu bulunduğunu bildirirken, kontrol grubunda bu oran %24 olarak belirlenmiştir. Boersma ve ark. (2005) ise hastaların %97'sinde ve incelenen dişlerin yaklaşık üçte birinde beyaz nokta lezyonu saptamıştır.

Yakın zamanda yayımlanan bir sistematik derleme ve meta-analizde, ortodontik tedavi gören bireylerde beyaz nokta lezyonu prevalansının %55, insidansının ise %34 olduğu bildirilmiştir (Hussain ve ark., 2025). Bu bulgular, beyaz nokta lezyonlarının ortodontik tedavinin halen önemli bir yan etkisi olduğunu göstermektedir.

Lezyonlar en sık braket çevresinde, dişeti kenarında ve temizlenmesi güç bölgelerde ortaya çıkmakta; özellikle üst lateral kesiciler, kaninler ve premolar dişler daha fazla etkilenmektedir (Geiger ve ark., 1988; Gorelick ve ark., 1982).

Şeffaf plak sistemleri, çıkarılabilir olmaları sayesinde ağız hijyeninin daha kolay sağlanmasına olanak tanır ve bu nedenle beyaz nokta lezyonu açısından sabit ortodontik tedavilere göre daha avantajlı kabul edilir. Güncel sistematik derlemeler, şeffaf plak kullanan bireylerde plak birikiminin, karyojenik bakteri düzeylerinin ve beyaz nokta lezyonunun görülme sıklığının sabit ortodontik tedavi gören bireylere kıyasla daha düşük olduğunu göstermektedir (Raghavan ve ark., 2023; Buschang ve ark., 2019). Bu bulgular, şeffaf plakların oral sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinin daha sınırlı olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, şeffaf plak sistemlerinin tamamen risksiz olduğu söylenemez; uzun süreli kullanımda plak birikimi ve mine demineralizasyonu yine ortaya çıkabilmektedir.

Liu ve ark. (2024), 203 adölesan hastayı içeren retrospektif çalışmalarında, şeffaf plak tedavisi gören bireylerin %35,5'inde en az bir beyaz nokta lezyonu geliştiğini bildirmiştir. Gelişen lezyonların büyük çoğunluğu hafif şiddette olup ağır lezyon saptanmamıştır. Ayrıca tedavi öncesinde mevcut beyaz nokta lezyonlarının varlığı, asitli içecek tüketim sıklığı ve ön bölgede kullanılan ataşman sayısının lezyon gelişimi açısından risk faktörleri olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, düzenli diş fırçalama ve yemeklerden sonra plak temizliği yapılması koruyucu faktörler olarak öne çıkmıştır.

Şeffaf plaklar diş yüzeyini kaplayarak tükürüğün tamponlama etkisini azaltabilir ve ağız ortamındaki dengeyi değiştirerek demineralizasyona zemin hazırlayabilir (Song ve ark., 2023). Ayrıca asitli içeceklerin plaklar ağızdayken tüketilmesi, asidin diş yüzeyi ile plak arasında daha uzun süre kalmasına neden

olabilir (Moshiri ve ark., 2013). Bu nedenle şeffaf plak tedavisi sırasında da hasta eğitimi, uygun beslenme alışkanlıkları ve düzenli klinik kontroller büyük önem taşımaktadır (Sardana ve ark., 2023).

Ortodontik Tedavide Beyaz Nokta Lezyonları İçin Güncel Risk Faktörleri

Beyaz nokta lezyonunun oluşum mekanizması yukarıda ele alınmış olmakla birlikte, bu riski belirleyen ve şiddetini artıran faktörlerin klinik açıdan sınıflandırılması, bireyselleştirilmiş koruyucu protokoller oluşturulabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Söz konusu faktörler hasta kaynaklı ve tedaviye bağlı olmak üzere iki ana grupta incelenebilir.

Hasta Kaynaklı Risk Faktörleri

Yetersiz ağız hijyeni, beyaz nokta lezyonu gelişiminin en belirleyici bireysel risk faktörü olmaya devam etmektedir. Yüksek karyojenik diyet, sık asitli içecek tüketimi, ağız kuruluğu (kserostomi), hamilelik dönemindeki hormonal değişiklikler ve bazı sistemik hastalıklar da hasta kaynaklı risk etkenleri arasında yer almaktadır (Chapman ve ark., 2010; Srivastava ve ark., 2013). Önceki çürük deneyimi, düşük sosyoekonomik düzey ve ergenlik dönemi gibi demografik faktörler de risk profilini olumsuz yönde etkileyebilir. Özel gereksinimli bireyler ise kooperasyon güçlükleri ve yetersiz bakım olanakları nedeniyle özellikle yüksek risk grubu oluşturmaktadır (Srivastava ve ark., 2013).

Tedaviye Bağlı Risk Faktörleri

Tedaviye bağlı risk faktörleri arasında tedavi süresi, kullanılan aparey türü, braket sayısı ve yerleşimi ile yapıştırıcı materyal seçimi ön plana çıkmaktadır. Sabit apareylerle tedavi süresi uzadıkça plak birikimi için kümülatif fırsat artmakta; 24 ayı aşan tedavilerde risk belirgin biçimde yükselmektedir (Chapman ve ark., 2010). Aparey türü açısından ise metal braketler, seramik braketler

ve şeffaf plak sistemleri farklı risk profilleri sergilemektedir: seramik braketlerin pürüzlü yüzeyleri plak tutunumunu artırabilirken, şeffaf plaklar çıkarılabilir yapıları sayesinde hijyen avantajı sağlamakta; ancak uzun süreli kullanımda ya da asitli içecek tüketimi sırasında plak içinde kalmaları halinde risk taşımaktadır (Sardana ve ark., 2023). Florür salınımlı cam iyonomer ve reçine modifiye cam iyonomer adezivler, geleneksel kompozit yapıştırıcılara kıyasla braket çevresinde koruyucu etki göstermekle birlikte bağlanma dayanıklılıkları daha düşüktür (Kamber ve ark., 2021). Ortodonti kliniğine başvuruda rutin karyojenik risk değerlendirmesinin yapılması ve kişiye özgü koruyucu protokoller oluşturulması, tedaviye bağlı riskin yönetiminde belirleyici rol oynamaktadır (Sardana ve ark., 2023; Srivastava ve ark., 2013).

Beyaz Nokta Lezyonlarının Erken Tanısı ve Güncel Değerlendirme Yöntemleri

Ortodontik tedavi sırasında başlangıç lezyonunun doğru ve hızlı biçimde tanınması kritik önem taşımaktadır. Lezyon ne kadar erken saptanırsa, durdurucu ve tedavi edici yöntemlerin uygulanmasıyla lezyonun ilerlemesi de o ölçüde önlenebilir. Beyaz nokta lezyonları *in vivo* ve *in vitro* yöntemlerle değerlendirilmektedir.

İn Vivo Değerlendirme Yöntemleri

Görsel Muayene

Geleneksel ve hâlâ en yaygın kullanılan yöntemdir. Mine yüzeyinin kuru ve temiz olması gereklidir; renk, saydamlık ve sertlik değerlendirilir. Sonuçlar nitel olup klinisyenin öznel yargısına göre değişebilir ve diğer mine opasitelerinden ayırt etmek güçtür (Benson, 2008). Standardizasyon amacıyla Gorelick kriterleri (Gorelick ve ark., 1982) ve ICDAS II (Uluslararası Çürük Teşhis ve Değerlendirme Sistemi, 2005) sıklıkla kullanılmaktadır (İsmail ve ark., 2007).

Fotoğraflama

Minenin optik özelliklerini kalıcı biçimde kaydetmenin uygun ve pratik yöntemidir. Lezyon ilerleme takibine ve farklı gözlemciler tarafından değerlendirmeye olanak sağlar. Standardizasyonu güçtür; aynı zamanda bilgisayar programlarıyla lezyon genişliği ve rengi analiz edilebilir (Livas ve ark., 2008).

Elektronik Çürük Monitörü

Elektrik iletkenliğine dayanan bu yöntemde demineralize mine sağlam mineye kıyasla daha fazla su içerdiğinden daha iletkenidir. Yüzey kaybı olmaksızın başlangıç lezyonlarının tespitine olanak tanır ve zaman içindeki değişimlerin izlenmesini mümkün kılar (Huysmans ve Longbottom, 2004).

Floresan Teknikler

Diş minesindeki doğal floresanı kullanan bu teknikler kantitative değerlendirme sağlar. Kantitatif Işık Etkili Floresans (QLF), 370 nm görünür ışıkla çalışarak demineralize bölgelerdeki floresans azalmasını ölçer; gözlemciler arası yüksek tutarlılık sağlar. DIAGNOdent (KaVo), 655 nm kırmızı lazer ışını ile lezyonları 0–99 skalasında puanlar ve özellikle oklüzal yüzeylerde başarılıdır. QLF, mineral kaybını değerlendirmede DIAGNOdent'e kıyasla daha başarılıdır (Aljehani ve ark., 2004).

Fiber Optik Transilluminasyon

Güçlü fiber optik ışıkla demineralize alanlarda oluşan karanlık gölgeleri saptamaya dayanan bu sistem, özellikle aproksimal yüzeylerde ucuz ve hızlı uygulanabilir (Bin-Shuwaish ve ark., 2008). Dijital varyantı (DIFOTİ), CCD kamera desteğiyle lezyon takibine olanak tanır ve demineralizasyonu yaklaşık iki haftada saptayabilir (Stookey ve ark., 2006).

Optik Koherens Tomografi ve Fototermal Radyometri/Modüle Luminisans

Optik Koherens Tomografi (OCT), yüksek penetrasyonlu kızılötesi ışıkla yaklaşık 10–20 mikron kalınlığında kesitsel görüntüler elde eden ileri bir tanı yöntemidir. Polarizasyona duyarlı OCT (PSOCT) lezyon derinliğini ölçebilmekte ve remineralizasyon etkinliğini takip edebilmektedir (Mandurah ve ark., 2013). Fototermal Radyometri/Modüle Luminisans (PTR/LUM) ise lazer ışığı emiliminden kaynaklanan sıcaklık değişimlerini ölçerek doku yoğunluğu ve lezyon derinliği hakkında geleneksel optik yöntemlerin ötesinde bilgi sunmaktadır (Jeon ve ark., 2007).

İn Vitro Değerlendirme Yöntemleri

Araştırma ortamında yaygın olarak başvuru alan in vitro yöntemler arasında mikrosertlik ölçümü, transversal mikroradyografi (TMR), konfokal mikroskopi ve mikro bilgisayarlı tomografi (Mikro-BT) yer almaktadır. Mikro-BT, mineral konsantrasyonunu %1'den düşük bir kesinlikle ve 5–30 µm çözünürlükte ölçerek özellikle kapsamlı in vitro çalışmalar için referans yöntem konumundadır (Davis ve Wong, 1996; Efeoglu ve ark., 2005). TMR, mineral içeriğinin dağılımını doğrudan ve kantitatif olarak değerlendirme imkânı sunar; ancak ince kesit hazırlama sürecinin teknik zorlukları dikkate alınmalıdır.

Klinik Öneriler ve Koruyucu Yaklaşımlar

Beyaz nokta lezyonlarının oluşmasını önlemeye yönelik stratejiler, tedavi yöntemlerinden çok daha fazla önem taşımaktadır; zira demineralizasyon alanı belirli bir büyüklüğü aştığında remineralizasyon artık yeterli olmayabilir.

Ağız Hijyeninin Sağlanması

Plağın mekanik olarak uzaklaştırılması, çürük önlenmesinde temel müdahaledir. Özellikle sabit ortodontik tedavi gören

hastalarda günde en az üç kez diş fırçalaması; gece uyumadan önce fırçalamaya özen gösterilmesi gerekmektedir, zira gece tükürük akışı en düşük düzeylere inmektedir (Srivastava ve ark., 2013). Karyojenik enfeksiyonun kontrol altına alınabilmesi için klorheksidin glukonat, triklosan ve sodyum dodesil sülfat gibi kimyasal ajanların destekleyici olarak kullanılması önerilmektedir (Hamdan ve ark., 2012).

Florür Uygulamaları

Flor, demineralizasyona en kanıtlanmış kimyasal engeli oluşturur. Topikal florür uygulamaları; diş macunu (850–1150 ppm), gargara, jel, vernik ve yavaş salınımlı sistemler biçiminde uygulanabilir. Yüksek konsantrasyonlu florürlü cilalar (vernikler), sabit ortodontik tedavi gören hastalarda haftada bir kez, dört hafta boyunca uygulandığında beyaz nokta lezyonlarının tedavisinde etkin bulunmuştur (Sonesson ve Twetman, 2023). Günlük kullanılan düşük konsantrasyonlu florür ajanları da pH döngüsü içinde remineralizasyonu destekleyerek mineral kaybını önlemektedir (Ten Cate ve Duijsters, 1983).

Kazein Fosfopeptit–Amorf Kalsiyum Fosfat (CPP-ACP)

CPP-ACP kompleksi, kalsiyum ve fosfat iyonlarını stabilize ederek çürük önleyici etki gösterir; aynı zamanda bakteri sayısını azaltarak bakterilerin diş yüzeyine tutunmasını engeller. Özellikle ortodontik tedavi sürecinde ek remineralizasyon desteği sağlamak amacıyla diş macunu ya da krem formunda kullanılması önerilmektedir (Sardana ve ark., 2023).

Diyet Danışmanlığı ve Hasta Eğitimi

Ortodontik tedaviye başlamadan önce hastanın diyet alışkanlıkları ve karyojenik risk değerlendirilmeli; sukroz ve asitli içeceklerin tüketiminin azaltılması konusunda kapsamlı eğitim verilmelidir. Yapışkan kıvamda kuru meyvelerin ve yüksek şekerli

atıştırıcılıkların mümkün olduğunca sınırlandırılması önerilir. Peynir, süt, rafine edilmemiş tahıllar ve tükürük akışını artıran elma ve havuç gibi gıdaların tüketimi teşvik edilmelidir.

Flor İçeren Ortodontik Yapıştırıcılar ve Diğer Yöntemler

Flor salan cam iyonomer simanlar ve resin modifiye cam iyonomer simanlar, braket çevresi demineralizasyonunu azaltmada etkin bulunmaktadır (Kamber ve ark., 2021). Lazer tedavisi, minenin asit ataklarına karşı direncini artırarak demineralizasyon riskini azaltır (Patano ve ark., 2023). Ozon tedavisi ise karyojenik mikroorganizmaları inaktive ederek demineralizasyona zemin hazırlayan mikrobiyel yükü azaltır (Grocholewicz ve ark., 2022).

Sonuç

Beyaz nokta lezyonları, ortodontik tedavinin en sık karşılaşılan olumsuz yan etkileri arasındadır ve tedavi sonrası estetik açıdan önemli bir sorun oluşturmaktadır. Sabit ortodontik apareylerin kullanımı plak birikimini artırarak karyojenik risk faktörlerini güçlendirmekte; şeffaf plak sistemleri ise belirli avantajlar sunmasına karşın hasta uyumu ve asitli içecek tüketimi gibi konularda özel dikkat gerektirmektedir.

Lezyonların önlenmesi, tedavisinden çok daha etkili ve sürdürülebilir bir yaklaşımdır. Bu bağlamda ortodontik tedaviye başlamadan önce kapsamlı karyojenik risk değerlendirmesi yapılmalı; her hastaya bireyselleştirilmiş koruyucu protokoller oluşturulmalıdır. Florür uygulamaları, ağız hijyeni eğitimi, diyet danışmanlığı ve gelişmiş tanı araçlarının entegrasyonu, lezyonların erken dönemde saptanması ve ilerlemesinin önlenmesinde belirleyici rol oynamaktadır.

Güncel kanıtlar ışığında ortodontist, diş hekimi ve hasta arasındaki koordinasyonun güçlendirilmesi; koruyucu florür uygulamalarının ve CPP-ACP gibi remineralizasyon

destekleyicilerinin rutin klinik pratiğe daha geniş çaplı entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Gelecekteki araştırmaların, özellikle şeffaf plak tedavileri ve ileri tanı yöntemleri konusunda daha kapsamlı klinik kanıtlar üretmesi alana değerli katkılar sunacaktır.

Kaynakça

Aljehani, A., Tranaeus, S., Forsberg, C. M., Angmar-Månsson, B., & Shi, X. Q. (2004). In vitro quantification of white spot enamel lesions adjacent to fixed orthodontic appliances using quantitative light-induced fluorescence and DIAGNOdent. *Acta Odontologica Scandinavica*, 62(6), 313–318. <https://doi.org/10.1080/00016350410001793>

Artun, J., & Brobakken, B. O. (1986). Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. *European Journal of Orthodontics*, 8(4), 229–234. <https://doi.org/10.1093/ejo/8.4.229>

Benson, P. (2008). Evaluation of white spot lesions on teeth with orthodontic brackets. *Seminars in Orthodontics*, 14(3), 200–208. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2008.03.005>

Bin-Shuwaish, M., Yaman, P., Dennison, J., & Neiva, G. (2008). The correlation of DIFOTI to clinical and radiographic examinations in Class II carious lesions. *Journal of the American Dental Association*, 139(10), 1374–1381. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2008.0042>

Bishara, S. E., & Ostby, A. W. (2008). White spot lesions: Formation, prevention, and treatment. *Seminars in Orthodontics*, 14(3), 174–182. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2008.03.002>

Boersma, J. G., van der Veen, M. H., Lagerweij, M. D., Bokhout, B., & Prahl-Andersen, B. (2005). Caries prevalence measured with QLF after treatment with fixed orthodontic appliances: Influencing factors. *Caries Research*, 39(1), 41–47. <https://doi.org/10.1159/000081655>

Buschang, P. H., Chastain, D., Keylor, C. L., Crosby, D., & Julien, K. C. (2019). Incidence of white spot lesions among patients

treated with clear aligners and traditional braces. *Angle Orthodontist*, 89(3), 359–364. <https://doi.org/10.2319/073118-553.1>

Chapman, J. A., Roberts, W. E., Eckert, G. J., Kula, K. S., & González-Cabezas, C. (2010). Risk factors for incidence and severity of white spot lesions during treatment with fixed orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 138(2), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.10.019>

Davis, G. R., & Wong, F. S. L. (1996). X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiological Measurement*, 17(3), 121–146. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/17/3/001>

Dirks, O. B. (1966). Posteruptive changes in dental enamel. *Journal of Dental Research*, 45(3), 503–511. <https://doi.org/10.1177/00220345660450035901>

Efeoglu, N., Wood, D., & Efeoglu, C. (2005). Microcomputerised tomography evaluation of 10% carbamide peroxide applied to enamel. *Journal of Dentistry*, 33(7), 561–567. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.12.007>

Featherstone, J. D. B. (2000). The science and practice of caries prevention. *Journal of the American Dental Association*, 131(7), 887–899. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0307>

Fejerskov, O., & Nyvad, B. (2003). Is dental caries an infectious disease? Diagnostic and treatment consequences for the practising dentist. *Dental Update*, 30(8), 428–437. <https://doi.org/10.12968/denu.2003.30.8.428>

Fejerskov, O., Nyvad, B., & Kidd, E. (Eds.). (2015). *Dental caries: The disease and its clinical management* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

García-Godoy, F., & Hicks, M. J. (2008). Maintaining the integrity of the enamel surface: The role of dental biofilm, saliva and

preventive agents in enamel demineralization and remineralization. *Journal of the American Dental Association*, 139(Suppl. 2), 25S–34S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2008.0352>

Geiger, A. M., Gorelick, L., Gwinnett, A. J., & Griswold, P. G. (1988). The effect of a fluoride program on white spot formation during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 93(1), 29–37. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(88\)90190-3](https://doi.org/10.1016/0889-5406(88)90190-3)

Gorelick, L., Geiger, A. M., & Gwinnett, A. J. (1982). Incidence of white spot formation after bonding and banding. *American Journal of Orthodontics*, 81(2), 93–98. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90032-X](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90032-X)

Grocholewicz, K., Mikłasz, P., Zawisłak, A., Sobolewska, E., & Janiszewska-Olszowska, J. (2022). Fluoride varnish, ozone and octenidine reduce the incidence of white spot lesions and caries during orthodontic treatment: Randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 12(1), 13985. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18107-w>

Hamdan, A. M., Maxfield, B. J., Tüfekçi, E., Shroff, B., & Lindauer, S. J. (2012). Preventing and treating white-spot lesions associated with orthodontic treatment: A survey of general dentists and orthodontists. *Journal of the American Dental Association*, 143(7), 777–783. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2012.0267>

Hussain, U., Wahab, A., Kamran, M. A., Alnazeh, A. A., Almoammar, S., Alshahrani, S. S. M., Niazi, F. H., Alam, S., Arif, N., Campobasso, A., & Pandis, N. (2025). Prevalence, incidence and risk factors of white spot lesions associated with orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 28(2), 379–399. <https://doi.org/10.1111/ocr.12888>

Huysmans, M. C. D. N. J. M., & Longbottom, C. (2004). The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. *Caries Research*, 38(Suppl. 1), 3–11. <https://doi.org/10.1159/000074922>

Ismail, A. I., Sohn, W., Tellez, M., Amaya, A., Sen, A., Hasson, H., & Pitts, N. B. (2007). The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): An integrated system for measuring dental caries. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 35(3), 170–178. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.2007.00347.x>

Jeon, R. J., Matvienko, A., Mandelis, A., Abrams, S. H., Amaechi, B. T., & Kulkarni, G. (2007). Detection of interproximal demineralized lesions on human teeth in vitro using frequency-domain infrared photothermal radiometry and modulated luminescence. *Journal of Biomedical Optics*, 12(3), 034028. <https://doi.org/10.1117/1.2750289>

Kamber, R., Meyer-Lueckel, H., Kloukos, D., Tennert, C., & Wierichs, R. J. (2021). Efficacy of sealants and bonding materials during fixed orthodontic treatment to prevent enamel demineralization: A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 11, 16556. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95888-6>

Liu, Q., Song, Z., Guo, T., Dang, W., Wen, Y., Luo, H., & Wang, A. (2024). Incidence, severity, and risk factors for white spot lesions in adolescent patients treated with clear aligners. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 27(5), 704–713. <https://doi.org/10.1111/ocr.12791>

Livas, C., Kuijpers-Jagtman, A. M., Bronkhorst, E., Derks, A., & Katsaros, C. (2008). Quantification of white spot lesions around orthodontic brackets with image analysis. *The Angle Orthodontist*, 78(4), 585–590. <https://doi.org/10.2319/041707-196R.1>

Mandurah, M. M., Sadr, A., Shimada, Y., Miyashin, M., Takagi, Y., Tagami, J., & Sumi, Y. (2013). Monitoring remineralization of enamel white spot lesions by optical coherence tomography. *Journal of Biomedical Optics*, 18(4), 046006. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.18.4.046006>

Mitchell, L. (1992). Decalcification during orthodontic treatment with fixed appliances — an overview. *British Journal of Orthodontics*, 19(3), 199–205. <https://doi.org/10.1179/bjo.19.3.199>

Mizrahi, E. (1982). Enamel demineralization following orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics*, 82(1), 62–67. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90548-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90548-6)

Moshiri, M., Eckhart, J. E., McShane, P., & German, D. S. (2013). Consequences of poor oral hygiene during aligner therapy. *Journal of Clinical Orthodontics*, 47(8), 494–498.

Øgaard, B. (1989). Prevalence of white spot lesions in 19-year-olds: A study on untreated and orthodontically treated persons 5 years after treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 96(5), 423–427. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(89\)90327-2](https://doi.org/10.1016/0889-5406(89)90327-2)

Øgaard, B. (2008). White spot lesions during orthodontic treatment: Mechanisms and fluoride preventive aspects. *Seminars in Orthodontics*, 14(3), 183–193. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2008.03.003>

Øgaard, B., Larsson, E., Henriksson, T., Birkhed, D., & Bishara, S. E. (2001). Effects of combined application of antimicrobial and fluoride varnishes in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 120(1), 28–35. <https://doi.org/10.1067/mod.2001.114644>

Patano, A., Malcangi, G., Sardano, R., Mastrodonato, A., Garofoli, G., Mancini, A., Inchingolo, A. D., Di Venere, D.,

Inchingolo, F., Dipalma, G., & Inchingolo, A. M. (2023). White spots: Prevention in orthodontics — Systematic review of the literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(8), 5608. <https://doi.org/10.3390/ijerph20085608>

Raghavan, S., Abu Alhajja, E. S., Duggal, M. S., Narasimhan, S., & Al-Maweri, S. A. (2023). White spot lesions, plaque accumulation and salivary caries-associated bacteria in clear aligners compared to fixed orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23(1), 599. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03257-8>

Sardana, D., Schwendicke, F., Kosan, E., & Tüfekci, E. (2023). White spot lesions in orthodontics: Consensus statements for prevention and management. *The Angle Orthodontist*, 93(6), 621–628. <https://doi.org/10.2319/062523-440.1>

Sonesson, M., & Twetman, S. (2023). Prevention of white spot lesions with fluoride varnish during orthodontic treatment with fixed appliances: A systematic review. *European Journal of Orthodontics*, 45(5), 485–490. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjad013>

Srivastava, K., Tikku, T., Khanna, R., & Sachan, K. (2013). Risk factors and management of white spot lesions in orthodontics. *Journal of Orthodontic Science*, 2(2), 43–49. <https://doi.org/10.4103/2278-0203.115081>

Sundararaj, D., Venkatachalapathy, S., Tandon, A., & Pereira, A. (2015). Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 5(6), 433–439. <https://doi.org/10.4103/2231-0762.167700>

Song, Z., Fang, S., Guo, T., Wen, Y., Liu, Q., & Jin, Z. (2023). Microbiome and metabolome associated with white spot lesions in

patients treated with clear aligners. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, 1119616. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1119616>

Stookey, G. K., Isaacs, R. L., Schemehorn, B. R., & Drook, C. A. (2006). Digital imaging fiber-optic trans-illumination, F-speed radiographic film and depth of approximal lesions. *Journal of the American Dental Association*, 137(1), 18–26. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0028>

Ten Cate, J. M., & Duijsters, P. P. E. (1983). Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Research*, 17(5), 428–435. <https://doi.org/10.1159/000260696>

Thylstrup, A., & Fejerskov, O. (1994). Textbook of clinical cariology (2nd ed.). Munksgaard, Copenhagen.

Tufekci, E., Dixon, J. S., Gunsolley, J. C., & Lindauer, S. J. (2011). Prevalence of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances. *The Angle Orthodontist*, 81(2), 206–210. <https://doi.org/10.2319/051710-262.1>

Zimmer, B. W., & Rottwinkel, Y. (2004). Assessing patient-specific decalcification risk in fixed orthodontic treatment and its impact on prophylactic procedures. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 126(3), 318–324. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.10.032>

BÖLÜM 3

ORTODONTİK TANI VE TEDAVİ PLANLAMASINDA YAPAY ZEKÂ

Beyza Deniz TÜRKOĞLU¹

Giriş

Dijital teknolojilerde son yıllarda yaşanan gelişmeler, ortodontik tanı ve tedavi süreçlerinin giderek daha veri odaklı ve kişiselleştirilmiş bir yapıya dönüşmesini sağlamıştır. İntraoral tarayıcılar, üç boyutlu görüntüleme sistemleri, dijital modeller ve sanal tedavi planlama yazılımlarının klinik uygulamalara entegrasyonu, ortodontik karar verme süreçlerinde değerlendirilen veri miktarını önemli ölçüde artırmıştır. Bu dönüşümün en dikkat çekici bileşenlerinden biri yapay zekâ uygulamalarıdır. Günümüzde yapay zekâ destekli sistemler; dijital setup oluşturulması, diş hareketlerinin öngörülmesi, kök ve alveoler kemik ilişkilerinin değerlendirilmesi ve refinement gereksiniminin tahmin edilmesi gibi birçok süreçte kullanılmaktadır (Olawade ve ark., 2025).

Ortodontik tanı ve tedavi planlaması; klinik muayene, fotoğraflar, dental modeller ve radyografik görüntülerden elde edilen çok sayıda verinin bütüncül olarak değerlendirilmesini gerektiren

¹Uzm. Dt., Çukurova Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Türkiye. ORCID: 0000-0003-0219-8543

kapsamlı bir süreçtir. Hastaların iskeletsel ve dental özelliklerinin belirlenmesi, büyüme ve gelişim paternlerinin değerlendirilmesi, yüz estetiğinin analiz edilmesi ve uygun tedavi seçeneklerinin planlanması, klinik deneyim ile birlikte kapsamlı veri analizini gerektirmektedir. Bu nedenle ortodonti, yapay zekâ uygulamalarının en yoğun araştırıldığı diş hekimliği alanlarından biri hâline gelmiştir (Subramanian ve ark., 2022; Lal ve ark., 2025).

Yapay zekânın ortodontideki ilk uygulamaları büyük ölçüde sefalometrik görüntüler üzerinde otomatik landmark belirleme ve ölçüm yapılmasına odaklanmıştır. Güncel çalışmalar, derin öğrenme tabanlı sistemlerin sefalometrik dönüm noktalarının büyük bölümünü klinik olarak kabul edilebilir hata sınırları içerisinde belirleyebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, landmark lokalizasyon doğruluğunun değerlendirilmesinin yeterli olmadığı; bu hataların sefalometrik ölçümler, tanısal değerlendirmeler ve klinik karar verme süreçleri üzerindeki etkilerinin de incelenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Schwendicke ve ark., 2021; Polizzi ve ark., 2026; Jiang ve ark., 2026).

Sefalometrik analizlerin yanı sıra yapay zekâ uygulamaları günümüzde iskeletsel özelliklerin değerlendirilmesi, büyüme ve gelişimin analiz edilmesi, üç boyutlu görüntülerin incelenmesi ve CBCT verilerinin yorumlanması gibi birçok görüntüleme temelli ortodontik uygulamada kullanılmaktadır. Özellikle üç boyutlu görüntüleme sistemleri ile yapay zekâ destekli analizlerin entegrasyonu, anatomik yapıların daha hızlı ve standart bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamakta, tanısal doğruluğu artırmakta ve klinik karar verme süreçlerini desteklemektedir (Paddenberg-Schubert ve ark., 2025).

Tedavi planlaması alanında yapay zekâ destekli sistemler; çekim kararlarının desteklenmesi, ortognatik cerrahi gereksiniminin değerlendirilmesi ve tedavi sonuçlarının öngörülmesi gibi çeşitli klinik süreçlerde kullanılmaktadır. Güncel çalışmalar, bu sistemlerin

linik karar verme sürecini destekleme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Preda ve ark., 2025; Kazimierczak ve ark., 2024).

Bu bölümde yapay zekânın ortodontik tanı ve tedavi planlamasındaki güncel kullanım alanları incelenmektedir. Konu; sefalometrik analizlerden büyüme ve gelişim değerlendirmelerine, üç boyutlu görüntüleme uygulamalarından tedavi planlaması ve şeffaf plak tedavilerine kadar uzanan geniş bir perspektifte ele alınmıştır. Bölümün hazırlanmasında PubMed, Scopus ve Web of Science veri tabanlarında yayımlanan güncel çalışmalar değerlendirilmiş; elde edilen bilgiler tematik başlıklar altında sınıflandırılarak güncel literatür ışığında sunulmuştur.

Ortodontik Tanıda Yapay Zekâ

Ortodontik tanı, hastanın iskeletsel ve dental özelliklerinin belirlenmesi, büyüme ve gelişim durumunun değerlendirilmesi, kraniofasiyal yapıların analiz edilmesi ve tedavi gereksinimlerinin ortaya konulmasını içeren çok aşamalı bir süreçtir. Bu süreçte klinik muayene bulguları, fotoğraflar, dijital modeller ve radyografik kayıtlar birlikte değerlendirilerek tanı oluşturulur. Günümüzde dijital kayıt sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkan büyük veri miktarı, yapay zekâ uygulamalarının ortodontik tanı alanında kullanımını hızlandırmıştır. Yapay zekâ destekli sistemler, görüntülerin otomatik analiz edilmesi, anatomik yapıların tanımlanması ve klinik karar verme sürecinin desteklenmesi amacıyla kullanılmakta; böylece hem analiz süresinin azaltılması hem de değerlendirmelerin standardizasyonu hedeflenmektedir (Subramanian ve ark., 2022; Nordblom ve ark., 2024).

Ortodontide yapay zekânın ilk ve en yaygın kullanım alanlarından biri sefalometrik analizlerdir. Bununla birlikte günümüzde uygulama alanları yalnızca landmark belirleme ile sınırlı kalmamakta; iskeletsel sınıflandırma, büyüme-gelişim değerlendirmesi, üç boyutlu görüntüleme sistemlerinin analizi ve

çeşitli tanısal karar destek mekanizmalarını da kapsamaktadır. Yapay zekâ destekli sistemlerin gelişimi, ortodontik tanıda daha hızlı ve tekrarlanabilir değerlendirmelerin yapılabilmesine olanak sağlamış, ancak elde edilen sonuçların klinik yorumunun ortodontist tarafından yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Polizzi ve ark., 2026; Lal ve ark., 2025).

Sefalometrik Analiz ve Otomatik Landmark Belirleme

Sefalometrik analiz, ortodontik tanının temel bileşenlerinden biridir. Ancak manuel landmark belirleme işlemi zaman alıcıdır ve operatörler arasında farklılık gösterebilmektedir. Landmarkların anatomik sınırlarının her zaman net olmaması, görüntü kalitesi, süperpozisyonlar ve bireysel anatomik varyasyonlar ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ tabanlı otomatik landmark belirleme sistemleri son yıllarda yoğun ilgi görmüştür (Subramanian ve ark., 2022).

Derin öğrenme tabanlı sistemlerin sefalometrik analizlerdeki performansını değerlendiren sistematik derleme ve meta-analizler, yapay zekânın bu alandaki potansiyelini ortaya koymuştur. Schwendicke ve ark. (2021), 19 çalışmayı içeren meta-analizlerinde derin öğrenme modellerinin sefalometrik landmarkların yaklaşık %80'ini 2 mm hata sınırı içerisinde belirleyebildiğini bildirmiştir (Schwendicke ve ark., 2021). Araştırmacılar, mevcut sistemlerin deneyimli klinisyenlerle karşılaştırılabilir performans gösterebildiğini ancak çalışmalar arasında metodolojik farklılıklar ve yüksek yanlışlık riski bulunduğunu da vurgulamıştır.

Benzer şekilde Zaborowicz ve ark. (2026), 2020–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalarını değerlendirdikleri derlemede yapay zekâ tabanlı sistemlerin çoğunda ortalama landmark lokalizasyon hatasının 1–2 mm arasında olduğunu ve bu değerlerin genel olarak klinik kabul sınırları içerisinde bulunduğunu bildirmiştir (Zaborowicz ve ark., 2026). Derlemede özellikle CNN ve YOLO

tabanlı modellerin deneyimli ortodontistlerle benzer doğruluk düzeylerine ulaştığı belirtilmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar, çalışmalar arasında kullanılan performans ölçütlerinin farklılık göstermesi nedeniyle sonuçların doğrudan karşılaştırılmasının güç olduğunu ifade etmişlerdir.

Landmark belirleme başarısının değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın ölçütlerden biri ortalama radyal hata (Mean Radial Error; MRE) olsa da güncel çalışmalar yalnızca bu değerin yeterli olmadığını göstermektedir. Polizzi ve ark. (2026), yapay zekâ destekli sefalometrik analizlerin güvenilirliğini değerlendirdikleri çalışmalarında yüksek tekrarlanabilirlik değerlerinin her zaman yüksek doğruluk anlamına gelmediğini vurgulamıştır (Polizzi ve ark., 2026). Araştırmacılara göre bir sistem aynı hatayı sürekli olarak tekrarladığında güvenilirlik katsayıları yüksek görünse de klinik doğruluk etkilenmektedir. Bu nedenle yapay zekâ sistemlerinin yalnızca landmark lokalizasyon başarısına göre değil, bu lokalizasyonların oluşturduğu sefalometrik ölçümlerin klinik sonuçlarına göre değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Jiang ve ark. (2026) tarafından gerçekleştirilen üç boyutlu sefalometri çalışmasında araştırmacılar, CBCT görüntüleri üzerinde yapay zekâ ve uzman işaretlemelerini karşılaştırmış ve ortalama landmark hatasının klinik olarak kabul edilebilir düzeylerde olduğunu göstermiştir (Jiang ve ark., 2026). Bununla birlikte, landmark hatasının yönünün de en az hata miktarı kadar önemli olduğu belirtilmiştir. Özellikle açısız ölçümlerde küçük lokalizasyon hatalarının ölçüm sonuçlarını belirgin şekilde etkileyebileceği, bu nedenle yalnızca hata miktarına dayalı değerlendirmelerin klinik yeterliliği tam olarak yansıtmayabileceği bildirilmiştir.

Sefalometrik ölçümlerin tümü yapay zekâ sistemlerinden aynı ölçüde etkilenmemektedir. Polizzi ve ark. (2026), dental ölçümlerde yapay zekâ ile manuel analizler arasında yüksek uyum bulunduğunu; buna karşın SNA, SNB ve çeşitli vertikal ölçümler

gibi bazı iskeletsel parametrelerde daha belirgin farklılıklar görülebildiğini bildirmiştir (Polizzi ve ark., 2026). Araştırmacılar ayrıca yumuşak doku analizlerinde hata oranlarının daha yüksek olduğunu ve özellikle nazolabial açı gibi ölçümlerde dikkatli değerlendirme gerektiğini vurgulamıştır. Bu durum, yumuşak doku sınırlarının radyografiler üzerinde daha belirsiz olmasına bağlanmıştır.

Benzer sonuçlar Zughair ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da rapor edilmiştir. Araştırmacılar tam otomatik, yarı otomatik ve manuel sefalometrik analiz yöntemlerini karşılaştırmış; tam otomatik sistemlerin bazı iskeletsel ölçümlerde sistematik sapmalar gösterebildiğini, buna karşın dental ölçümlerde daha yüksek uyum sağladığını bildirmiştir. Çalışmanın sonucunda yarı otomatik sistemlerin doğruluk ve zaman avantajı açısından daha dengeli bir yaklaşım sunduğu ifade edilmiştir (Zughair ve ark., 2025).

Mevcut literatür birlikte değerlendirildiğinde, yapay zekâ destekli sefalometrik analiz sistemlerinin klinik iş akışını önemli ölçüde hızlandırabildiği ve landmark belirleme süreçlerinde yüksek doğruluk sağlayabildiği görülmektedir. Bununla birlikte gonion, orbitale, porion ve kesici kök apeksleri gibi anatomik olarak tanımlanması daha güç bölgelerde hata oranlarının artabildiği bildirilmektedir. Bu nedenle güncel yaklaşım, yapay zekâ sistemlerinin bağımsız tanı araçları olarak değil, ortodontistin değerlendirmesini destekleyen yardımcı sistemler olarak kullanılması yönündedir (Polizzi ve ark., 2026; Jiang ve ark., 2026; Zughair ve ark., 2025).

İskeletsel ve Dental Sınıflandırmada Yapay Zekâ

Ortodontik tanının temel aşamalarından biri, hastanın iskeletsel ve dental ilişkilerinin doğru şekilde sınıflandırılmasıdır. Geleneksel olarak bu değerlendirme sefalometrik ölçümler, klinik

muayene bulguları ve model analizleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bu süreç, çok sayıda değişkenin birlikte yorumlanmasını gerektirdiğinden klinisyen deneyimine bağlı farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Yapay zekâ tabanlı sistemlerin gelişmesiyle birlikte, iskeletsel ve dental sınıflandırmanın otomatik olarak gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda önemli ölçüde artmıştır.

Yapay zekâ destekli sınıflandırma sistemleri, çok sayıda sefalometrik parametreyi aynı anda değerlendirebilmekte ve bireylerin iskeletsel özelliklerine göre sınıflandırılmasına yardımcı olabilmektedir. Paddenberg-Schubert ve ark. (2025), Alman ortodontik hasta popülasyonunda gerçekleştirdikleri çalışmada makine öğrenmesi algoritmalarının Sınıf I ve Sınıf III bireyleri yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini bildirmiştir. Araştırmacılar tarafından geliştirilen modelde yalnızca birkaç temel sefalometrik parametrenin kullanılmasıyla çok yüksek doğruluk düzeylerine ulaşılmış olması, yapay zekânın ortodontik tanıda güçlü bir karar destek aracı olabileceğini göstermektedir. Çalışmada özellikle SNA, SNB ve mandibular düzlem ilişkilerini yansıtan ölçümlerin sınıflandırmada belirleyici değişkenler olduğu vurgulanmıştır (Paddenberg-Schubert ve ark., 2025).

Makine öğrenmesi modellerinin önemli avantajlarından biri yalnızca sınıflandırma yapmaları değil, aynı zamanda sınıflandırmayı etkileyen değişkenlerin göreceli önemini de ortaya koyabilmeleridir. Paddenberg-Schubert ve ark. (2025), temel bileşen analizleri sonucunda mandibular ve maksiller sagittal ilişkileri yansıtan ölçümlerin sınıflandırma performansına en fazla katkı sağlayan parametreler olduğunu göstermiştir (Paddenberg-Schubert ve ark., 2025). Bu durum, yapay zekâ sistemlerinin yalnızca sonuç üreten araçlar değil, aynı zamanda tanısal karar sürecinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayan analiz platformları olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir.

İskeletsel sınıflandırmaya ek olarak, yapay zekâ sistemleri dental maloklüzyonların değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Son yıllarda geliştirilen modeller, lateral sefalometrik radyograflar, ağız içi fotoğraflar ve dijital modeller üzerinden Angle sınıflaması, çapraşıklık miktarı ve çeşitli oklüzal ilişkileri otomatik olarak belirleyebilmektedir. Nordblom ve ark. (2024), ortodontide yapay zekâ uygulamalarını değerlendirdikleri derlemede, maloklüzyon sınıflandırmasına yönelik algoritmaların özellikle standartlaştırılmış görüntü verilerinde yüksek performans gösterdiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, farklı yaş grupları, etnik popülasyonlar ve maloklüzyon tipleri arasında performans değişkenliği görülebileceği belirtilmiştir (Nordblom ve ark., 2024).

Yapay zekâ destekli sınıflandırma sistemlerinin bir diğer kullanım alanı da ortognatik cerrahi gereksiniminin değerlendirilmesidir. Geleneksel yaklaşımda cerrahi gereksiniminin belirlenmesi, çok sayıda klinik ve radyografik parametrenin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Son yıllarda geliştirilen yapay zekâ modellerinin, cerrahi ve kamuflej tedavisi seçenekleri arasında ayırım yapabilme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir. Zaborowicz ve ark. (2026), güncel literatürü değerlendirdikleri çalışmalarında bazı yapay zekâ modellerinin ortognatik cerrahi gereksinimini uzmanlarla yüksek düzeyde uyumlu şekilde belirleyebildiğini rapor etmiştir (Zaborowicz ve ark., 2026). Bu bulgu, yapay zekânın gelecekte tedavi planlaması aşamasında daha etkin kullanılabileceğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte, sınıflandırma doğruluğunun yüksek olması tek başına klinik yeterlilik anlamına gelmemektedir. Lal ve ark. (2025), diş hekimliğinde yapay zekâ uygulamalarını değerlendirdikleri çalışmalarında mevcut araştırmaların büyük kısmının teknik doğruluk ölçütlerine odaklandığını, gerçek klinik sonuçları değerlendiren çalışmaların ise sınırlı olduğunu vurgulamıştır (Lal ve ark., 2025). Benzer şekilde Kazimierczak ve

ark. (2025), ticari yapay zekâ sistemlerinin ortodontik sınıflandırma performanslarını değerlendirdikleri çalışmalarında bazı platformların tanısal sınıflandırmaları her olguda üretmediğini ve insan denetiminin hâlen gerekli olduğunu göstermiştir (Kazimierczak ve ark., 2025). Bu nedenle yapay zekâ destekli sınıflandırmaların klinik değerlendirme ile birlikte yorumlanması önem taşımaktadır.

Güncel kanıtlar, yapay zekânın iskeletsel ve dental sınıflandırma süreçlerinde yüksek doğruluk düzeylerine ulaşabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte ortodontik tanının yalnızca sayısal ölçümlere dayanmayan çok boyutlu bir süreç olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yapay zekâ sistemlerinin klinisyenin yerini alan bağımsız araçlar olarak değil, tanısal karar verme sürecini destekleyen yardımcı sistemler olarak değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir.

Büyüme ve Gelişim Değerlendirmesinde Yapay Zekâ

Büyüme ve gelişim potansiyelinin doğru şekilde değerlendirilmesi, özellikle büyüme modifikasyonu gerektiren ortodontik tedavilerde büyük önem taşımaktadır. Hastanın pubertal büyüme atağının zamanlamasının belirlenmesi, fonksiyonel aparey tedavileri ve bazı ortopedik yaklaşımların başarısını doğrudan etkileyebilmektedir. Geleneksel olarak bu değerlendirme el-bilek radyografları ve servikal vertebra maturasyon yöntemi gibi biyolojik maturasyon göstergeleri kullanılarak yapılmaktadır. Ancak bu yöntemler gözlemci deneyiminden etkilenebilmekte ve farklı değerlendiriciler arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Son yıllarda yapay zekâ tabanlı sistemlerin büyüme ve gelişim değerlendirmesinde kullanılmasına yönelik çalışmalar önemli ölçüde artmıştır.

Yapay zekânın bu alandaki en yaygın uygulamalarından biri servikal vertebra maturasyon evrelerinin otomatik olarak

belirlenmesidir. Lateral sefalometrik radyograflar üzerinde geliştirilen derin öğrenme modelleri, servikal vertebraların morfolojik özelliklerini analiz ederek büyüme dönemlerini sınıflandırabilmektedir. Zaborowicz ve ark. (2026), güncel literatürü değerlendirdikleri çalışmalarında yapay zekâ tabanlı sistemlerin CVM evrelerini yüksek doğruluk oranlarıyla belirleyebildiğini ve bazı çalışmalarda doğruluk oranlarının %95'e kadar ulaştığını bildirmiştir (Zaborowicz ve ark., 2026). Bu bulgular, yapay zekânın büyüme değerlendirmesinde gözlemci bağımlılığını azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Büyüme değerlendirmesinde yalnızca mevcut maturasyon düzeyinin belirlenmesi değil, gelecekteki büyüme paterninin tahmin edilmesi de önemli bir klinik gereksinimdir. Özellikle mandibular büyümenin yönü ve miktarının öngörülmesi, Sınıf II ve Sınıf III maloklüzyonların tedavi planlamasında kritik rol oynamaktadır. Guo ve Shao (2025), yapay zekâ destekli sistemlerin başlangıç kayıtları, dijital modeller ve tedavi sürecine ait verileri analiz ederek tedavi süresinin öngörülmesine katkı sağlayabileceğini ve bu alanda umut verici sonuçlar bulunduğunu vurgulamıştır (Guo & Shao, 2025). Araştırmacılar, derin öğrenme tabanlı modellerin mandibular büyüme yönü ve bazı iskeletsel değişimlerin öngörülmesinde umut verici sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmiştir.

Yapay zekâ sistemlerinin büyüme ve gelişim analizlerinde sunduğu önemli avantajlardan biri, çok sayıda değişkeni aynı anda değerlendirebilmesidir. Geleneksel değerlendirmelerde klinisyenler genellikle belirli anatomik göstergelere odaklanırken, yapay zekâ modelleri radyografik görüntülerdeki çok sayıda morfolojik özelliği birlikte analiz ederek karar verebilmektedir. Bu yaklaşım, büyüme potansiyelinin daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayabilmektedir. Ayrıca dijital görüntüleme sistemleri ile entegre çalışan yapay zekâ uygulamaları, değerlendirme süresini azaltarak klinik iş akışını kolaylaştırabilmektedir (Guo & Shao, 2025).

Bununla birlikte mevcut çalışmaların önemli bir kısmı belirli veri setleri üzerinde geliştirilmiş modellerden oluşmaktadır. Büyüme ve gelişim süreçleri; yaş, cinsiyet, etnik köken ve bireysel biyolojik farklılıklardan etkilenebildiği için yapay zekâ sistemlerinin farklı popülasyonlarda doğrulanması gerekmektedir. Ayrıca büyüme tahminine yönelik modellerin büyük bölümü retrospektif verilere dayandığından, uzun dönemli prospektif çalışmaların sayısı halen sınırlıdır. Bu nedenle mevcut kanıtlar umut verici olmakla birlikte, yapay zekâ destekli büyüme tahmin sistemlerinin rutin klinik kullanımındaki etkinliğinin daha ileri çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir (Zaborowicz ve ark., 2026; Guo & Shao, 2025).

Güncel literatür genel olarak değerlendirildiğinde, yapay zekânın büyüme ve gelişim değerlendirmesinde hem maturasyon evrelerinin belirlenmesi hem de gelecekteki büyüme eğilimlerinin tahmin edilmesi açısından önemli bir potansiyel taşıdığı görülmektedir. Bununla birlikte bu sistemlerin ürettiği sonuçların klinik muayene bulguları ve diğer tanısal verilerle birlikte yorumlanması, güvenilir ortodontik karar verme süreci açısından önemini korumaktadır.

Üç Boyutlu Görüntüleme ve CBCT Analizlerinde Yapay Zekâ

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), kraniyofasiyal yapıların üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak sağlaması nedeniyle ortodontik tanıda giderek daha yaygın kullanılan görüntüleme yöntemlerinden biri hâline gelmiştir. Geleneksel iki boyutlu radyografilerde görülebilen süperpozisyon ve büyütme gibi sınırlılıkların ortadan kaldırılması, dişler, alveoler kemik, temporomandibular eklem ve hava yolu gibi yapıların daha ayrıntılı incelenebilmesine olanak tanımaktadır. Ancak CBCT görüntülerinin içerdiği veri miktarının fazla olması, analiz süreçlerinin zaman alıcı olmasına neden olabilmektedir. Bu durum, yapay zekâ tabanlı

görüntü analiz sistemlerinin geliştirilmesini hızlandırmıştır (Liu ve ark., 2023).

Yapay zekânın CBCT görüntülerindeki en önemli kullanım alanlarından biri anatomik yapıların otomatik olarak tanımlanması ve segmentasyonudur. Segmentasyon işlemi; dişlerin, köklerin, alveoler kemiğin ve diğer anatomik yapıların görüntüden ayrıştırılmasını ifade etmektedir. Geleneksel yöntemlerde bu işlem çoğu zaman manuel veya yarı otomatik olarak gerçekleştirilmekte ve önemli ölçüde zaman gerektirmektedir. Yapay zekâ destekli sistemler ise bu yapıları otomatik olarak belirleyebilmekte ve klinik iş akışını önemli ölçüde hızlandırabilmektedir. Liu ve ark. (2023), güncel çalışmaların diş ve kemik segmentasyonunda yüksek doğruluk düzeylerine ulaştığını ve bu uygulamaların klinik kullanıma giderek daha fazla entegre edildiğini bildirmiştir (Liu ve ark., 2023).

Ortodontik uygulamalar açısından diş segmentasyonu özel önem taşımaktadır. Dijital tedavi planlamasının temel basamaklarından biri olan bu süreç, özellikle şeffaf plak tedavilerinde kritik rol oynamaktadır. Ruiz ve ark. (2025), yapay zekâ tabanlı diş segmentasyon sistemlerini değerlendirdikleri derlemelerinde, çeşitli modellerde doğruluk oranlarının %89 ile %98 arasında değiştiğini bildirmiştir. Araştırmacılar, güncel yapay zekâ sistemlerinin dijital modeller üzerinde dişlerin otomatik olarak ayrıştırılmasında insan uzman performansına oldukça yakın sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmiştir (Ruiz ve ark., 2025). Bu gelişme, dijital ortodonti uygulamalarının daha hızlı ve standart şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır.

CBCT görüntülerinde yapay zekâ kullanımının bir diğer önemli alanı anatomik ve patolojik bulguların otomatik olarak tespit edilmesidir. Kazimierczak ve ark. (2025), ticari bir yapay zekâ sistemi olan Diagnocat'ın performansını değerlendirdikleri çalışmalarında eksik dişler, restorasyonlar, endodontik tedaviler ve

çeşitli dental bulguların yüksek doğrulukla belirlenebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte araştırmacılar, tek tek dişler düzeyinde oldukça yüksek doğruluk oranları elde edilmesine rağmen tüm hastanın birlikte değerlendirildiği durumlarda hata oranlarının artabildiğini bildirmiştir (Kazimierczak ve ark., 2025). Bu bulgu, yapay zekâ sistemlerinin yüksek teknik performans göstermesine rağmen klinik kullanımda uzman doğrulamasının hâlen gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

Üç boyutlu görüntüleme sistemleri, yalnızca mevcut anatomik yapıların değerlendirilmesine değil, aynı zamanda tedavi planlaması açısından önemli verilerin elde edilmesine de katkı sağlamaktadır. Özellikle köklerin alveoler kemik içerisindeki konumlarının değerlendirilmesi, gömülü dişlerin analiz edilmesi ve çeşitli kraniyofasiyal yapıların üç boyutlu incelenmesi, ortodontik tedavi planlamasında önemli avantajlar sağlamaktadır. Guo ve Shao (2025), yapay zekânın CBCT görüntüleri ile diğer dijital kayıtları bir araya getirerek daha kapsamlı analizler yapılmasına olanak tanıdığını ve çoklu veri entegrasyonunun gelecekteki ortodontik uygulamalar açısından önemli bir gelişim alanı olduğunu vurgulamıştır (Guo & Shao, 2025).

Son yıllarda dikkat çeken uygulamalardan biri de CBCT verilerinin intraoral taramalar (IOS) ile birleştirilmesidir. Bu yaklaşım sayesinde kron yüzeyleri, kökler ve alveoler kemik aynı dijital model üzerinde değerlendirilebilmektedir. Ruiz ve ark. (2025), CBCT-IOS füzyonuna yönelik yapay zekâ destekli sistemlerin klinik olarak kabul edilebilir doğruluk düzeylerine ulaştığını bildirmiştir (Ruiz ve ark., 2025). Bu entegrasyon, özellikle şeffaf plak tedavilerinde kök hareketlerinin ve biyolojik sınırların daha ayrıntılı değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bununla birlikte, CBCT tabanlı yapay zekâ uygulamalarının bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Anatomik sınırların net olmadığı bölgelerde, restorasyon veya ortodontik apacey kaynaklı

artefaktların bulunduğu görüntülerde ve kompleks morfolojik yapılarda hata oranlarının artabildiği bildirilmiştir. Ayrıca bazı ticari sistemlerin farklı olgularda tutarlı performans göstermediği ve algoritmaların klinik doğrulamalarının her zaman yeterli düzeyde olmadığı belirtilmektedir (Kazimierczak ve ark., 2024; Kazimierczak ve ark., 2025). Bu nedenle mevcut yaklaşım, yapay zekâ tarafından üretilen analizlerin ortodontist tarafından değerlendirilmesi ve klinik bulgularla birlikte yorumlanması yönündedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yapay zekâ destekli CBCT analizleri ortodontik tanı süreçlerinde önemli avantajlar sunmaktadır. Otomatik segmentasyon, anatomik yapıların tanımlanması, dijital modellerin oluşturulması ve farklı görüntüleme sistemlerinin entegrasyonu gibi uygulamalar sayesinde üç boyutlu görüntülerin değerlendirilmesi daha hızlı ve standart hâle gelmektedir. Bununla birlikte, mevcut sistemlerin klinik kararların tek başına belirleyicisi olarak değil, ortodontistin değerlendirmesini destekleyen yardımcı araçlar olarak kullanılması gerektiği kabul edilmektedir.

Ortodontik Tedavi Planlamasında Yapay Zekâ

Ortodontik tedavi planlaması, tanısal verilerin yorumlanarak hasta için en uygun tedavi yaklaşımının belirlenmesini içeren karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte iskeletsel ve dental ilişkilerin değerlendirilmesinin yanı sıra büyüme potansiyeli, yüz estetiği, periodontal durum, hasta beklentileri ve tedavi seçeneklerinin uzun dönem sonuçları da dikkate alınmaktadır. Geleneksel olarak tedavi planlaması büyük ölçüde klinisyenin bilgi ve deneyimine dayanmakta olup, benzer klinik özelliklere sahip hastalarda farklı tedavi seçeneklerinin tercih edilebildiği bilinmektedir. Son yıllarda yapay zekâ destekli sistemlerin gelişmesiyle birlikte, ortodontik tedavi planlamasının çeşitli aşamalarında karar destek

mekanizmaları oluşturulmaya başlanmıştır. Bu sistemler, geçmiş hasta verilerinden öğrenilen örüntüler aracılığıyla belirli klinik senaryolarda olası tedavi seçeneklerini değerlendirebilmekte ve ortodontistin karar verme sürecini destekleyebilmektedir (Preda ve ark., 2025; Guo & Shao, 2025).

Ortodontide tedavi planlamasına yönelik geliştirilen yapay zekâ uygulamaları; çekimli ve çekimsiz tedavi kararlarının verilmesi, çekim paternlerinin belirlenmesi, ortognatik cerrahi gereksiniminin değerlendirilmesi, tedavi süresinin tahmin edilmesi ve tedavi sonuçlarının öngörülmesi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Preda ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik incelemede, bu alandaki çalışmaların önemli bir kısmının çekim kararları ve ortognatik cerrahi planlaması üzerine yoğunlaştığı bildirilmiştir. İncelenen çalışmalarda yapay zekâ modellerinin doğruluk oranlarının genel olarak %72 ile %95 arasında değiştiği rapor edilmiş ve bu sistemlerin klinik karar desteği açısından umut verici sonuçlar ortaya koyduğu belirtilmiştir (Preda ve ark., 2025).

Çekimli ve Çekimsiz Tedavi Kararlarında Yapay Zekâ

Ortodontik tedavi planlamasının en önemli aşamalarından biri, hastanın çekimli veya çekimsiz tedavi edilip edilmeyeceğine karar verilmesidir. Bu karar yalnızca mevcut çapaşıklık miktarına değil; iskeletsel ilişkilere, yüz profiline, yumuşak doku özelliklerine, periodontal sınırlara ve tedavi hedeflerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle çekim kararı ortodontide en fazla deneyim gerektiren klinik kararlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Yapay zekâ destekli sistemlerin çekim kararlarına yönelik kullanımı yaklaşık son yirmi yıldır araştırılmaktadır. İlk çalışmalarda yapay sinir ağları ve çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak uzman ortodontistlerin verdiği tedavi kararları modellenmeye çalışılmıştır. Güncel çalışmalar ise çok daha geniş

veri setleri ve gelişmiş öğrenme algoritmaları kullanarak tedavi planlarını öngörebilmektedir. Preda ve ark. (2025), farklı yapay zekâ modellerinin çekimli ve çekimsiz tedavi kararlarını yüksek doğruluk oranlarıyla tahmin edebildiğini ve bazı çalışmalarda uzman klinisyenlerle benzer performans düzeylerine ulaşıldığını bildirmiştir (Preda ve ark., 2025).

Çekim kararlarının değerlendirilmesinde yapay zekânın önemli avantajlarından biri, çok sayıda değişkeni aynı anda analiz edebilmesidir. Geleneksel değerlendirmelerde klinisyenler belirli ölçümler üzerinde yoğunlaşırken, yapay zekâ sistemleri yüzlerce klinik ve radyografik parametre arasındaki ilişkileri birlikte değerlendirebilmektedir. Böylece karar sürecinde gözden kaçabilecek örüntülerin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte mevcut çalışmaların büyük bölümü uzmanlar tarafından verilmiş tedavi kararlarını temel aldığı için, yapay zekâ sistemlerinin aslında uzman deneyimini modellediği ve bu nedenle klinik değerlendirmeden bağımsız düşünülmemeyeceği belirtilmektedir (Preda ve ark., 2025).

Tedavi planlamasında son yıllarda dikkat çeken gelişmelerden biri de üç boyutlu görüntüleme verilerinin karar süreçlerine dahil edilmesidir. Özellikle CBCT verileri ile desteklenen yapay zekâ uygulamaları, yalnızca kron pozisyonlarını değil köklerin ve alveoler kemiğin durumunu da değerlendirebilmektedir. Bu yaklaşımın çekim kararlarını etkileyebileceği gösterilmiştir. Tüfekçi ve ark. (2025), kök ve alveoler kemik bilgilerinin tedavi planlamasına dahil edilmesinin ortodontistlerin tedavi tercihlerini değiştirebildiğini bildirmiştir. Araştırmacılar, özellikle şiddetli çapraşıklık vakalarında üç boyutlu kök ve kemik bilgilerinin değerlendirilmesinin ekstraksiyon kararlarını etkileyebildiğini ve bazı olgularda çekimsiz tedavi seçeneklerine yönelimi artırdığını belirtmiştir (Tüfekçi ve ark., 2025).

Yapay zekâ destekli çekim karar sistemleri umut verici sonuçlar ortaya koymakla birlikte, bu sistemlerin tek başına tedavi planı oluşturabilecek düzeyde olduğu söylenemez. Preda ve ark. (2025), mevcut çalışmaların büyük bölümünün retrospektif veri setleri üzerinde gerçekleştirildiğini ve farklı popülasyonlarda doğrulama çalışmalarına ihtiyaç bulunduğunu vurgulamıştır. Ayrıca çekim kararı yalnızca sayısal analizlere değil, yüz estetiği, hasta beklentileri ve uzun dönem stabilite gibi çok sayıda klinik faktöre bağlı olduğundan, yapay zekâ sistemlerinin ortodontistin yerini alan araçlar olarak değil, karar verme sürecini destekleyen yardımcı sistemler olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir (Preda ve ark., 2025).

Tedavi planlamasında yapay zekâ uygulamalarının gelişmesi, ortodontik kararların daha standart ve veri temelli şekilde alınmasına katkı sağlayabilecek önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bununla birlikte güncel literatür, en başarılı sonuçların yapay zekâ ile klinik deneyimin birlikte kullanıldığı hibrit yaklaşımlarda elde edildiğini göstermektedir. Bu nedenle günümüzde yapay zekânın temel rolü, ortodontistin karar verme sürecini hızlandırmak ve desteklemek olarak kabul edilmektedir.

Ortognatik Cerrahi Gereksiniminin Değerlendirilmesinde Yapay Zekâ

Ortognatik cerrahi gereksiniminin belirlenmesi, ortodontik tedavi planlamasının en karmaşık aşamalarından biridir. Bu süreçte yalnızca iskeletsel uyumsuzluğun derecesi değil, yüz estetiği, yumuşak doku profili, fonksiyonel gereksinimler, büyüme potansiyeli ve hastanın beklentileri de dikkate alınmaktadır. Özellikle sınır vakalarda ortodontik kamufraj ile ortognatik cerrahi arasında karar vermek güç olabilmekte ve farklı klinisyenler aynı olgu için farklı tedavi planları oluşturabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda yapay zekâ destekli sistemlerin ortognatik cerrahi

gereksiniminin değerlendirilmesindeki potansiyeli araştırılmaya başlanmıştır.

Yapay zekâ tabanlı modellerin bu alandaki temel amacı, klinik ve radyografik verileri birlikte analiz ederek cerrahi tedavi gerektiren bireyleri ortodontik kamuflaj ile tedavi edilebilecek hastalardan ayırt edebilmektir. Preda ve ark. (2025) tarafından değerlendirilen çalışmalar, yapay zekâ algoritmalarının ortognatik cerrahi gereksiniminin belirlenmesinde umut verici sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir (Preda ve ark., 2025). İncelenen araştırmalarda çeşitli makine öğrenmesi ve derin öğrenme modellerinin, uzman ortodontistler ve ağız, diş ve çene cerrahlarının kararlarıyla yüksek düzeyde uyum sağlayabildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, yapay zekânın özellikle karmaşık tedavi planlamalarında önemli bir karar destek aracı olabileceğini düşündürmektedir.

Ortognatik cerrahi planlamasında kullanılan yapay zekâ sistemleri çoğunlukla lateral sefalometrik radyograflardan elde edilen veriler üzerine geliştirilmiştir. Bununla birlikte güncel çalışmalar yalnızca klasik sefalometrik ölçümlerin değil, yüz fotoğrafları, üç boyutlu görüntüler ve yumuşak doku analizlerinin de değerlendirmeye dahil edildiği çoklu veri yaklaşımlarına yönelmektedir. Bu sayede yapay zekâ modelleri, yalnızca iskeletsel uyumsuzluğun derecesini değil, yüz estetiğini etkileyen parametreleri de değerlendirebilmektedir. Özellikle yüz estetiğinin tedavi kararındaki öneminin giderek artması, bu sistemlerin klinik değerini artırmaktadır (Preda ve ark., 2025).

Zaborowicz ve ark. (2026), güncel literatürü değerlendirdikleri derlemelerinde çok katmanlı algılayıcı (multilayer perceptron) ve derin öğrenme tabanlı modellerin ortognatik cerrahi gereksiniminin belirlenmesinde yüksek doğruluk oranlarına ulaşabildiğini bildirmiştir. Bazı çalışmalarda yapay zekâ sistemlerinin uzman kararlarıyla %90'ın üzerinde uyum gösterdiği ve cerrahi gereksinimi olan bireyleri başarılı şekilde

sınıflandırabildiği rapor edilmiştir (Zaborowicz ve ark., 2026). Bu bulgular, yapay zekânın yalnızca ölçüm yapan bir araç olmaktan çıkıp tedavi planlamasına doğrudan katkı sağlayan sistemlere dönüştüğünü göstermektedir.

Yapay zekâ destekli cerrahi değerlendirme sistemlerinin önemli avantajlarından biri, çok sayıda parametreyi aynı anda analiz edebilmesidir. Geleneksel klinik yaklaşımda belirli ölçümlere ağırlık verilirken, yapay zekâ modelleri çeşitli sefalometrik, dental ve yüz estetiğine ilişkin değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri birlikte değerlendirebilmektedir. Böylece klinisyen tarafından gözden kaçabilecek örüntülerin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca standartlaştırılmış analiz süreçleri sayesinde değerlendiriciler arası farklılıkların azaltılması da potansiyel avantajlar arasında gösterilmektedir (Preda ve ark., 2025).

Bununla birlikte ortognatik cerrahi gereksiniminin değerlendirilmesi yalnızca radyografik verilere dayanan bir süreç değildir. Hastanın estetik beklentileri, psikososyal faktörler, fonksiyonel gereksinimler ve tedaviye ilişkin bireysel tercihleri karar sürecinin ayrılmaz parçalarıdır. Bu nedenle mevcut yapay zekâ modelleri yüksek doğruluk oranları gösterebilse de, tedavi planlamasında nihai kararın klinik değerlendirme ile birlikte verilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca mevcut çalışmaların büyük kısmının belirli veri setleri üzerinde geliştirilmiş olması nedeniyle farklı popülasyonlarda doğrulama çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Preda ve ark., 2025; Zaborowicz ve ark., 2026).

Literatürde bildirilen bulgular değerlendirildiğinde, yapay zekânın ortognatik cerrahi gereksiniminin belirlenmesinde klinisyene önemli ölçüde destek sağlayabildiği görülmektedir. Özellikle sınır vakalarda karar verme sürecini kolaylaştırabilecek bu sistemlerin gelecekte daha kapsamlı veri kaynaklarıyla geliştirilmesi beklenmektedir. Bununla birlikte mevcut kanıtlar, yapay zekânın bağımsız karar verici bir sistem olarak değil, ortodontistin klinik

değerlendirmesini destekleyen yardımcı bir araç olarak kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Tedavi Sonuçlarının ve Tedavi Süresinin Öngörülmesinde Yapay Zekâ

Ortodontik tedavi planlamasının temel hedeflerinden biri, uygulanacak tedavi sonucunun mümkün olduğunca doğru şekilde öngörülmesi ve tedavi sürecinin etkin biçimde yönetilmesidir. Tedavi süresi, diş hareketlerinin biyolojik yanıtı, hasta kooperasyonu, maloklüzyonun şiddeti ve uygulanan mekanikler gibi çok sayıda faktörden etkilenmektedir. Benzer şekilde tedavi sonunda elde edilecek oklüzal ve estetik sonuçların önceden tahmin edilmesi de ortodontistler açısından önemli bir klinik gereksinimdir. Geleneksel yaklaşımlar büyük ölçüde klinik deneyime dayanırken, yapay zekâ sistemleri geçmiş hasta verilerini analiz ederek tedavi sonuçlarının ve tedavi süresinin öngörülmesine katkı sağlamaktadır.

Yapay zekâ tabanlı modellerin tedavi sonucu tahminindeki temel avantajı, çok sayıda klinik değişken arasındaki karmaşık ilişkileri analiz edebilmesidir. Ortodontik tedavilerde sonuçlar yalnızca başlangıç maloklüzyonuna bağlı değildir; yaş, büyüme potansiyeli, biyolojik yanıt, mekanik sistemler ve hasta uyumu gibi çok sayıda faktör tedavi sürecini etkileyebilmektedir. Yapay zekâ sistemleri bu değişkenleri birlikte değerlendirerek belirli tedavi sonuçlarının gerçekleşme olasılığını hesaplayabilmekte ve klinisyene karar desteği sunabilmektedir (Zaborowicz ve ark., 2026).

Prede ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik incelemede, yapay zekâ modellerinin tedavi planlamasına yönelik farklı klinik kararları değerlendirmede genel olarak %72–95 arasında doğruluk oranları gösterebildiği bildirilmiştir (Prede ve ark., 2025). Araştırmacılar, tedavi sonucu öngörüsüne yönelik çalışmaların özellikle son yıllarda arttığını ve yapay zekânın yalnızca mevcut durumun analizinde değil, gelecekte ortaya

çıkabilecek sonuçların tahmin edilmesinde de kullanılmaya başlandığını vurgulamıştır. Bu yaklaşım, ortodontide geleneksel reaktif tedavi anlayışından daha öngörücü bir planlama yaklaşımına geçişin önemli bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Tedavi süresinin tahmini de yapay zekâ uygulamalarının giderek önem kazandığı alanlardan biridir. Tedavi süresi hem hasta memnuniyeti hem de klinik kaynakların etkin kullanımı açısından önem taşımaktadır. Guo ve Shao (2025), güncel yapay zekâ uygulamalarının diş hareketlerine ilişkin öngörüler oluşturulmasında ve tedavi planlarının desteklenmesinde kullanılabilceğini değerlendirmiştir (Guo & Shao, 2025). Bu sistemler, geçmiş tedavi deneyimlerinden elde edilen büyük veri kümelerini kullanarak benzer vakalarda beklenen tedavi sürelerini öngörebilmekte ve klinisyenin hasta bilgilendirmesine katkı sağlayabilmektedir.

Yapay zekâ sistemleri yalnızca tedavi süresini değil, belirli diş hareketlerinin başarısını ve tedavi sonunda elde edilecek oklüzal sonuçları da değerlendirebilmektedir. Özellikle dijital ortodontinin gelişmesiyle birlikte sanal tedavi simülasyonları ve yapay zekâ destekli tahmin modelleri daha yaygın hâle gelmiştir. Guo ve Shao (2025), yapay zekâ uygulamalarının diş hareketlerinin yönü ve miktarına ilişkin öngörülerin oluşturulmasında ve tedavi planlarının desteklenmesinde kullanılabilceğini değerlendirmiştir (Guo & Shao, 2025). Bu gelişmeler, özellikle karmaşık ortodontik vakalarda farklı tedavi seçeneklerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

Tedavi sonucunun öngörülmesine yönelik uygulamalar şeffaf plak tedavilerinde daha da belirgin hâle gelmiştir. Ruiz ve ark. (2025), yapay zekâ destekli dijital setup sistemlerinin tedavi sonunda oluşabilecek diş pozisyonlarını tahmin edebildiğini ve sanal tedavi planlarının oluşturulmasında önemli rol oynadığını bildirmiştir. Bu sistemler, yalnızca mevcut diş pozisyonlarını değerlendirmekle kalmamakta; planlanan diş hareketlerinin biyolojik ve mekanik

uygulanabilirliğini de analiz ederek daha gerçekçi tedavi senaryoları oluşturmayı amaçlamaktadır (Ruiz ve ark., 2025).

Bununla birlikte tedavi sonuçlarının tahmini konusunda bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Ortodontik tedavi süreci biyolojik olarak oldukça değişken bir süreçtir ve bireyler arasında önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Hasta kooperasyonu, aparey kullanımı, oral hijyen alışkanlıkları ve bireysel doku yanıtları gibi birçok değişken, tedavi sürecini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ sistemlerinin oluşturduğu tahminler olasılıksal değerlendirmeler olarak kabul edilmeli ve klinik karar verme sürecinde destekleyici bilgiler olarak kullanılmalıdır (Preda ve ark., 2025).

Şeffaf plak tedavilerinde ek plak (refinement) gereksiniminin önceden tahmin edilmesine yönelik çalışmalar da bu alandaki güncel araştırma konularından biridir. Nallamilli ve ark. (2025), çeşitli klinik değişkenleri kullanarak refinement gereksinimini öngörmeye yönelik bir model geliştirmiş ve yapay zekâ tabanlı yaklaşımların bu alanda kullanılabileceğini göstermiştir (Nallamilli ve ark., 2025). Her ne kadar mevcut çalışmalar henüz sınırlı örneklemelere dayansa da, bu yaklaşım tedavi planlarının daha gerçekçi oluşturulmasına katkı sağlayabilecek potansiyel bir uygulama olarak değerlendirilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yapay zekâ destekli sistemler ortodontik tedavi sonuçlarının ve tedavi süresinin öngörülmesinde giderek daha önemli bir rol üstlenmektedir. Bu sistemler, geçmiş klinik deneyimlerden elde edilen verileri kullanarak daha öngörülebilir tedavi planları oluşturulmasına katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte mevcut kanıtlar, yapay zekânın klinik deneyimin yerini almadığını; aksine ortodontistin karar verme sürecini destekleyen ve tedavi planlarının daha veri temelli oluşturulmasına yardımcı olan bir araç olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Şeffaf Plak Tedavisinde Yapay Zekâ

Şeffaf plak sistemleri, dijital teknolojilerin ortodontiye entegrasyonunun en belirgin örneklerinden birini oluşturmaktadır. Geleneksel sabit ortodontik tedavilerden farklı olarak şeffaf plak tedavileri; dijital ölçü alma, sanal tedavi planlaması, bilgisayar destekli diş hareketi simülasyonları ve seri plak üretimi gibi tamamen dijital iş akışlarına dayanmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ uygulamaları, ortodontinin diğer alanlarına kıyasla şeffaf plak tedavilerinde daha geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde yapay zekâ destekli sistemler; dijital setup oluşturulması, diş hareketlerinin öngörülmesi, kök ve alveoler kemik ilişkilerinin değerlendirilmesi ve refinement gereksiniminin tahmin edilmesi gibi birçok süreçte kullanılmaktadır (Ruiz ve ark., 2025; Guo & Shao, 2025).

Yapay zekânın şeffaf plak tedavilerindeki önemi yalnızca iş akışını hızlandırmasından kaynaklanmamaktadır. Bu sistemler aynı zamanda tedavi planlarının daha öngörülebilir hâle getirilmesine, biyolojik sınırların daha iyi değerlendirilmesine ve tedavi sürecinde ortaya çıkabilecek sorunların önceden belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Son yıllarda geliştirilen yapay zekâ tabanlı uygulamalar, kron hareketlerinin ötesine geçerek köklerin ve alveoler kemiğin de değerlendirilmesini mümkün kılmakta; böylece daha kapsamlı tedavi planları oluşturulabilmektedir (Tüfekçi ve ark., 2025).

Dijital Setup Sistemleri ve Sanal Tedavi Planlaması

Dijital setup, şeffaf plak tedavisinin temelini oluşturan sanal tedavi planlama sürecidir. Bu süreçte mevcut diş pozisyonları dijital ortama aktarılmakta ve tedavi sonunda ulaşılması hedeflenen diş dizilimi sanal olarak oluşturulmaktadır. Daha sonra planlanan diş hareketleri belirli aşamalara bölünerek seri plaklar üretilmektedir. Geleneksel dijital setup sistemleri büyük ölçüde kullanıcı tarafından

yönlendirilirken, günümüzde yapay zekâ destekli sistemler birçok planlama aşamasını otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir.

Ruiz ve ark. (2025), şeffaf plak tedavilerinde yapay zekâ uygulamalarını değerlendirdikleri kapsamlı derlemelerinde dijital setup sistemlerinin yapay zekânın en yaygın kullanım alanlarından biri olduğunu bildirmiştir (Ruiz ve ark., 2025). Yapay zekâ algoritmaları; dişlerin otomatik segmentasyonu, ark formunun belirlenmesi, diş diziliminin planlanması ve çeşitli tedavi senaryolarının oluşturulması gibi işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Bu sayede planlama sürecinin daha hızlı ve standart şekilde yürütülmesi mümkün olmaktadır.

Güncel sistemlerin önemli avantajlarından biri, büyük veri kümelerinden öğrenilen klinik deneyimleri tedavi planlamasına aktarabilmesidir. Yapay zekâ algoritmaları geçmiş vakalardaki tedavi sonuçlarını analiz ederek benzer olgularda uygulanabilecek hareket paternlerini önerebilmekte ve klinisyene alternatif tedavi senaryoları sunabilmektedir. Bu yaklaşım, özellikle karmaşık vakalarda planlama sürecinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır (Guo & Shao, 2025).

Dijital setup sistemlerinin gelişimiyle birlikte tedavi sonucunun görselleştirilmesi de önemli ölçüde değişmiştir. Günümüzde yapay zekâ destekli yazılımlar yalnızca dişlerin son konumunu göstermekle kalmamakta, aynı zamanda tedavi sürecinde gerçekleşmesi beklenen hareketleri de simüle edebilmektedir. Böylece hem klinisyen hem de hasta, planlanan tedavi sonucunu daha ayrıntılı değerlendirebilmektedir. Bu durum hasta iletişimini kolaylaştırmakta ve tedavi hedeflerinin daha net anlaşılmasına katkı sağlamaktadır (Ruiz ve ark., 2025).

Bununla birlikte dijital setup sistemlerinin doğruluğu ile gerçek klinik sonuçlar arasında her zaman tam bir uyum bulunmamaktadır. Diş hareketleri biyolojik süreçlerden etkilendiği

için sanal ortamda planlanan hareketlerin tamamı klinik ortamda aynı şekilde gerçekleşmeyebilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ destekli dijital planlamalar önemli avantajlar sunmakla birlikte, klinik deneyim ve biyolojik değerlendirme ile birlikte yorumlanmalıdır. Nitekim mevcut literatürde, dijital planlamaların doğruluğunu artırmaya yönelik yapay zekâ çalışmalarının devam ettiği ve sistemlerin sürekli geliştirildiği bildirilmektedir (Guo & Shao, 2025; Ruiz ve ark., 2025).

Son yıllarda yapay zekâ destekli dijital setup sistemleri yalnızca kron hareketlerine odaklanan yaklaşımlardan uzaklaşmaya başlamıştır. Yeni nesil uygulamalar, köklerin ve alveoler kemiğin de planlama sürecine dahil edilmesini amaçlamakta ve bu sayede daha biyolojik temelli tedavi planlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bu gelişmeler, şeffaf plak tedavisinde yapay zekânın yalnızca otomasyon sağlayan bir araç olmaktan çıkıp klinik karar verme sürecini etkileyen bir teknoloji hâline geldiğini göstermektedir (Tüfekçi ve ark., 2025).

Kök ve Alveoler Kemik Analizi

Şeffaf plak tedavilerinin başarısı yalnızca kron seviyesinde elde edilen diş hareketlerine değil, aynı zamanda köklerin alveoler kemik içerisindeki konumlarının korunmasına da bağlıdır. Geleneksel dijital tedavi planlama sistemleri büyük ölçüde kron morfolojilerine dayandığından, kök pozisyonları ve çevre alveoler kemik yapıları çoğu zaman doğrudan değerlendirilememektedir. Bu durum, özellikle ciddi çapraşıklıkların düzeltilmesi, ark genişletme uygulamaları ve ön bölge retraksiyon hareketlerinde biyolojik sınırların aşılması riskini beraberinde getirebilmektedir. Son yıllarda geliştirilen yapay zekâ destekli sistemler ise kök ve alveoler kemik verilerini tedavi planlama sürecine entegre ederek daha kapsamlı değerlendirmelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır (Tüfekçi ve ark., 2025).

Bu yaklaşımın temelini, CBCT görüntülerinden elde edilen üç boyutlu anatomik verilerin yapay zekâ yardımıyla işlenmesi oluşturmaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler; diş köklerini, alveoler kemik sınırlarını ve periodontal destek dokularını otomatik olarak tanımlayabilmekte, ardından bu bilgileri dijital modeller ile birleştirerek tedavi planına dahil edebilmektedir. Böylece yalnızca kron hareketlerine dayanan planlamaların ötesine geçilerek, planlanan diş hareketlerinin biyolojik olarak güvenli sınırlar içerisinde gerçekleşip gerçekleşmeyeceği değerlendirilebilmektedir (Ruiz ve ark., 2025; Tüfekçi ve ark., 2025)

Son yıllarda ortaya çıkan bu yaklaşımın klinik karar verme süreci üzerindeki etkisi çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Tüfekçi ve ark. (2025), ortodontistlerin tedavi planlarını yalnızca kron görüntüleri kullanarak oluşturdukları durumlarla, kök ve alveoler kemik bilgilerinin de sunulduğu durumları karşılaştırmıştır. Araştırmacılar, kök ve kemik bilgilerinin değerlendirmeye eklenmesinden sonra katılımcıların yaklaşık üçte birinin tedavi planlarını değiştirdiğini bildirmiştir (Tüfekçi ve ark., 2025). Bu bulgu, üç boyutlu anatomik verilerin tedavi planlamasında yalnızca yardımcı bilgi niteliğinde olmadığını, doğrudan klinik kararları etkileyebildiğini göstermektedir.

Kök ve alveoler kemik analizlerinin özellikle çekim kararları üzerindeki etkisi dikkat çekicidir. Şiddetli çapraşıklık bulunan bazı vakalarda yalnızca kron pozisyonları değerlendirildiğinde çekimli tedavi tercih edilebilirken, köklerin alveoler kemik içerisindeki konumları incelendiğinde çekimsiz tedavi seçeneklerinin daha uygun olabileceği görülebilmektedir. Benzer şekilde bazı olgularda kron seviyesinde yeterli alan varmış gibi görünse de köklerin alveoler kemik sınırlarına yakın konumlanmış olması nedeniyle daha konservatif hareket planları tercih edilebilmektedir. Bu durum, yapay zekâ destekli üç boyutlu analizlerin biyolojik temelli tedavi planlamasına katkısını ortaya koymaktadır (Ruiz ve ark., 2025).

Yapay zekâ destekli sistemlerin bir diğerk önemli katkısı, periodontal açıdan riskli bölgelerin belirlenmesidir. Güncel yazılımlar, planlanan diş hareketleri ile alveoler kemik sınırları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine yardımcı olabilmekte ve klinisyene olası biyolojik sınırlamalar hakkında ek bilgi sağlayabilmektedir (Tüfekçi ve ark., 2025). Özellikle ince alveoler kemik yapısına sahip bireylerde bu tür analizlerin tedavi güvenliğini artırabileceğı düşünölmektedir. Böylece yalnızca ideal oklüzyona ulaşmaya odaklanan planlamalar yerine, periodontal sağlığın da dikkate alındığı daha kapsamlı yaklaşımlar geliştirilebilmektedir.

Bununla birlikte mevcut sistemlerin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan yapay zekâ uygulamalarının önemli bir kısmı kök ve kemik pozisyonlarını tahmin eden modeller üzerine kuruludur ve bu tahminlerin uzun dönem klinik doğrulukları henüz yeterli sayıda prospektif çalışma ile doğrulanmamıştır. Ayrıca görüntü kalitesi, segmentasyon hataları ve bireysel anatomik farklılıklar analiz sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu nedenle mevcut yaklaşım, yapay zekâ tarafından sunulan kök ve kemik analizlerinin klinik değerlendirme ile birlikte yorumlanması gerektiğı yönündedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, kök ve alveoler kemik analizlerinin yapay zekâ destekli tedavi planlamasına entegre edilmesi, şeffaf plak tedavilerinde önemli bir paradigma değişikliğini temsil etmektedir. Geleneksel kron odaklı planlamalardan biyolojik sınırları dikkate alan üç boyutlu planlamalara geçiş, tedavi sonuçlarının daha öngörülebilir ve periodontal açıdan daha güvenli hâle gelmesine katkı sağlayabilecek önemli bir gelişme olarak değerlendirilmektedir.

Refinement Gereksiniminin Tahmininde Yapay Zekâ

Şeffaf plak tedavilerinde planlanan diş hareketlerinin tamamının ilk seri plaklarla elde edilememesi nedeniyle ek düzeltme

aşamalarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Klinik uygulamada *refinement* olarak adlandırılan bu süreç, yeni ölçü alınmasını, ek dijital planlamaların yapılmasını ve ilave plak serilerinin üretilmesini gerektirmektedir. Refinement gereksinimi tedavi süresini uzatabilmekte, maliyetleri artırabilmekte ve hasta memnuniyetini etkileyebilmektedir. Bu nedenle son yıllarda yapay zekâ tabanlı sistemlerin refinement gereksinimini tedavi başlangıcında öngörebilme potansiyeli araştırılmaya başlanmıştır.

Yapay zekâ modelleri; başlangıç maloklüzyonunun şiddeti, planlanan diş hareketleri, interproksimal mine aşındırması (IPR) miktarı, tedavi karmaşıklığı ve hasta uyumuna ilişkin değişkenleri birlikte değerlendirerek refinement olasılığını tahmin etmeye çalışmaktadır. Bu yaklaşımın temel amacı, tedavi planlarının daha gerçekçi oluşturulması ve olası ek düzeltme gereksinimlerinin tedavi başlangıcında öngörülebilmesidir.

Nallamilli ve ark. (2025), şeffaf plak tedavisinde refinement gereksinimini tahmin etmeye yönelik geliştirdikleri modelde, çeşitli klinik değişkenlerin tedavi sonucunu etkileyebildiğini göstermiştir. Araştırmacılar, yapay zekâ tabanlı tahmin modellerinin refinement ihtiyacını belirli bir doğruluk düzeyinde öngörebildiğini ve bu yaklaşımın gelecekte klinik karar verme süreçlerine katkı sağlayabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte mevcut çalışmaların sınırlı örneklemeler üzerinde gerçekleştirilmiş olması nedeniyle sonuçların dikkatli yorumlanması gerektiği vurgulanmıştır (Nallamilli ve ark., 2025).

Refinement tahmini yalnızca tedavi süresinin öngörülmesi açısından değil, aynı zamanda dijital tedavi planlarının geliştirilmesi açısından da önem taşımaktadır. Yapay zekâ sistemleri, geçmiş vakalardan elde edilen verileri analiz ederek hangi hareketlerin daha yüksek başarısızlık riski taşıdığını belirleyebilmekte ve planlama aşamasında daha konservatif veya alternatif hareket stratejileri

önerebilmektedir. Böylece tedavi sonunda ortaya çıkabilecek sapmaların azaltılması hedeflenmektedir.

Mevcut literatür, refinement gereksiniminin tahmini konusunda yapay zekânın potansiyel taşıdığını göstermekle birlikte, bu alandaki kanıt düzeyi henüz diğer ortodontik yapay zekâ uygulamalarına kıyasla daha sınırlıdır. Bu nedenle refinement tahmini günümüzde klinik kullanıma tam olarak yerleşmiş bir uygulama olmaktan ziyade, gelecekte kişiselleştirilmiş tedavi planlamasına katkı sağlayabilecek gelişmekte olan bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir (Nallamilli ve ark., 2025).

Yapay Zekânın Güncel Sınırlılıkları ve Gelecek Perspektifi

Ortodontide yapay zekâ uygulamaları son yıllarda önemli gelişmeler göstermiş ve birçok alanda klinik kullanıma girmeye başlamıştır. Özellikle sefalometrik analizler, üç boyutlu görüntüleme sistemleri, tedavi planlaması ve şeffaf plak uygulamalarında elde edilen sonuçlar, yapay zekânın ortodontik iş akışlarını destekleme potansiyelini ortaya koymaktadır. Ayrıca mevcut literatür, yapay zekâ sistemlerinin performanslarının uygulama alanına ve kullanılan veri setlerine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir. Bazı sistemler deneyimli klinisyenlerle karşılaştırılabilir doğruluk düzeylerine ulaşırken, bazı uygulamalarda doğruluk ve genellenebilirlik açısından önemli farklılıklar görülebilmektedir (Polizzi ve ark., 2026; Kazimierczak ve ark., 2025).

Mevcut çalışmaların önemli bir bölümü kontrollü araştırma ortamlarında veya belirli veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle farklı popülasyonlarda, farklı görüntüleme sistemlerinde ve gerçek klinik koşullarda elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca ticari olarak kullanılan birçok yapay zekâ yazılımının klinik performansına ilişkin bağımsız doğrulama çalışmalarının sınırlı olması, mevcut kanıtların dikkatli

yorumlanmasını gerektirmektedir (Preda ve ark., 2025; Ruiz ve ark., 2025; Lal ve ark., 2025).

Gelecekte yapay zekâ uygulamalarının yalnızca görüntü analizi yapan sistemler olmaktan çıkarak çoklu veri kaynaklarını birlikte değerlendiren daha kapsamlı karar destek platformlarına dönüşmesi beklenmektedir. Özellikle dijital modeller, üç boyutlu görüntüler, klinik kayıtlar ve tedavi sonuçlarının birlikte analiz edilmesiyle daha kişiselleştirilmiş ortodontik yaklaşımların geliştirilmesi mümkün olabilir. Bununla birlikte güncel bilimsel kanıtlar, yapay zekânın ortodontistin yerini alan bağımsız bir sistem olarak değil, klinik değerlendirme ve deneyimi destekleyen yardımcı bir araç olarak kullanılması gerektiğini göstermektedir (Guo & Shao, 2025; Preda ve ark., 2025).

Sonuç

Bu bölümde incelenen çalışmalar, yapay zekânın ortodontide yalnızca görüntü analizi yapan bir teknoloji olmaktan çıkarak tanı, tedavi planlaması ve dijital ortodontik iş akışlarının ayrılmaz bir parçası hâline geldiğini göstermektedir. Özellikle son yıllarda geliştirilen derin öğrenme tabanlı sistemler, ortodontik verilerin daha hızlı işlenmesine ve klinik karar süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte yapay zekâ uygulamalarının klinik etkinliğinin artırılması için farklı popülasyonlarda gerçekleştirilecek doğrulama çalışmalarına ve uzun dönem klinik sonuçları değerlendiren araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Yapay zekâ, ortodontik tanı ve tedavi planlamasında giderek daha geniş kullanım alanı bulan önemli bir teknolojik gelişme olarak öne çıkmaktadır. Güncel çalışmalar; sefalometrik analizler, iskeletsel ve dental sınıflandırmalar, büyüme ve gelişim değerlendirmeleri, üç boyutlu görüntüleme sistemleri ve tedavi planlaması süreçlerinde yapay zekâ destekli sistemlerin yüksek doğruluk düzeylerine ulaşabildiğini göstermektedir. Özellikle şeffaf

plak tedavilerinde dijital setup oluşturulması, kök ve alveoler kemik analizleri ile tedavi sonuçlarının öngörülmesine yönelik uygulamalar, yapay zekânın klinik ortodontideki rolünü daha da güçlendirmiştir.

Bununla birlikte ortodontik tedavi planlaması yalnızca sayısal analizlere dayanan bir süreç değildir. Klinik muayene bulguları, biyolojik faktörler, yüz estetiği, hasta beklentileri ve klinik deneyim tedavi kararlarının temel bileşenleri olmaya devam etmektedir. Bu nedenle mevcut kanıtlar, yapay zekânın ortodontistin yerini alan bağımsız bir karar mekanizması olmaktan ziyade, tanı ve tedavi planlama süreçlerini destekleyen güçlü bir yardımcı araç olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Gelecekte daha kapsamlı veri tabanları, gelişmiş görüntüleme sistemleri ve uzun dönem klinik doğrulama çalışmaları ile yapay zekânın ortodontideki kullanım alanlarının daha da genişlemesi beklenmektedir. Bu gelişmelerin, daha hızlı, daha öngörülebilir ve daha kişiselleştirilmiş ortodontik tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

Guo, X., & Shao, Y. (2025). AI-driven dynamic orthodontic treatment management: personalized progress tracking and adjustments-a narrative review. *Frontiers in Dental Medicine*, 6, 1612441. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2025.1612441>

Jiang, Y., Al-Mohana, R. A. A. M., Jiang, C., Zhang, X., Shi, B., Wu, Y., Wang, X., Huang, J., Huang, X., Lin, L., & Huang, L. (2026). Clinical accuracy of cephalometric analysis using deep learning-based automated landmark identification on CBCT in class I and class II malocclusions. *Scientific Reports*, 16(1), 10283. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-41408-3>

Kazimierczak, N., Kazimierczak, W., Serafin, Z., Nowicki, P., Nożewski, J., & Janiszewska-Olszowska, J. (2024). AI in Orthodontics: Revolutionizing Diagnostics and Treatment Planning-A Comprehensive Review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(2), 344. <https://doi.org/10.3390/jcm13020344>

Kazimierczak, N., Sultani, N., Chwaścianek, N., Krzykowski, S., Serafin, Z., Ciszewska, A., & Kazimierczak, W. (2025). AI-Based Detection of Dental Features on CBCT: Dual-Layer Reliability Analysis. *Diagnostics* (Basel, Switzerland), 15(24), 3207. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15243207>

Lal, A., Nooruddin, A., & Umer, F. (2025). Concerns regarding deployment of AI-based applications in dentistry - a review. *BDJ Open*, 11(1), 27. <https://doi.org/10.1038/s41405-025-00319-7>

Liu, J., Zhang, C., & Shan, Z. (2023). Application of Artificial Intelligence in Orthodontics: Current State and Future Perspectives. *Healthcare* (Basel, Switzerland), 11(20), 2760. <https://doi.org/10.3390/healthcare11202760>

Soujanya Nallamilli, L. V., Ansari, F. M., Ravuri, P., K Kubavat, A., M, U. M., Avinash, B., Tiwari, R., & Managutti, A. (2025). AI-driven prediction of treatment outcome in aligner therapy: A pilot study. *Bioinformatics*, *21*(9), 3404–3406. <https://doi.org/10.6026/973206300213404>

Nordblom, N. F., Büttner, M., & Schwendicke, F. (2024). Artificial Intelligence in Orthodontics: Critical Review. *Journal of Dental Research*, *103*(6), 577–584. <https://doi.org/10.1177/00220345241235606>

Olawade, D. B., Leena, N., Egbon, E., Rai, J., Mohammed, A. P. E. K., Oladapo, B. I., & Boussios, S. (2025). AI-Driven Advancements in Orthodontics for Precision and Patient Outcomes. *Dentistry Journal*, *13*(5), 198. <https://doi.org/10.3390/dj13050198>

Paddenberg-Schubert, E., Midlejš, K., Krohn, S., Schröder, A., Awadi, O., Masarwa, S., Lone, I. M., Zohud, O., Kirschneck, C., Watted, N., Proff, P., & Iraqi, F. A. (2025). Machine learning models for improving the diagnosing efficiency of skeletal class I and III in German orthodontic patients. *Scientific Reports*, *15*(1), 12738. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97717-6>

Polizzi, A., Nucci, L., Serra, S., Isola, G., & Leonardi, R. (2026). Accuracy of artificial intelligence fully-automatic cephalometric analysis in linear and angular measurement: A critical scoping review. *Seminars in Orthodontics*, *32*(4), 397–403. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2025.08.008>

Preda, F., Elshazly, N., & Jacobs, R. (2025). AI-enhanced orthodontic treatment planning - a scoping review on evidence-based clinical application with commercial software overview. *Journal of Dentistry*, *163*, 106112. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.106112>

Ruiz, D. C., Mureşanu, S., Du, X., Elgarba, B. M., Fontenele, R. C., & Jacobs, R. (2025). Unveiling the role of artificial intelligence applied to clear aligner therapy: A scoping review. *Journal of Dentistry*, *154*, 105564. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105564>

Schwendicke, F., Chaurasia, A., Arsiwala, L., Lee, J.-H., Elhennawy, K., Jost-Brinkmann, P.-G., Demarco, F., & Krois, J. (2021). Deep learning for cephalometric landmark detection: Systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, *25*(7), 4299–4309. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03990-w>

Subramanian, A. K., Chen, Y., Almalki, A., Sivamurthy, G., & Kafle, D. (2022). Cephalometric analysis in orthodontics using artificial intelligence—A comprehensive review. *BioMed Research International*, *2022*, Article 1880113. <https://doi.org/10.1155/2022/1880113>

Tüfekçi, E., Carrico, C. K., Gordon, C. B., & Lindauer, S. J. (2025). How AI-Driven Root and Bone Predictions Can Assist Clear Aligner Treatment Planning. *Orthodontics & Craniofacial Research*, *28* (Suppl 1), S18–S24. <https://doi.org/10.1111/ocr.12921>

Zaborowicz, K., Zaborowicz, M., Cieślińska, K., & Biedziak, B. (2026). Artificial Intelligence Methods in Cephalometric Image Analysis-A Systematic Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine*, *15*(5), 1920. <https://doi.org/10.3390/jcm15051920>

Zughair, S. A. K., Ishaq, R. A. R., Al-Dossary, O. A. I., Aldhorae, K., Saber, N. H., & Elayah, S. A. (2025). Evaluation of artificial intelligence-based cephalometric tracing versus semi-automatic and manual tracing. *BMC Oral Health*, *25*(1), 1429. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06765-x>

