

AĞIZ DİŞ VE ÇENE RADYOLOJİSİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER



EDİTÖR

Doç. Dr. Sedef KOTANLI

ARALIK 2025

YAYLIK 3032

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / Aralık 2025 - Ankara
ISBN / 978-625-388-985-2

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro

Sertifika No: 42488

AĞIZ DİŞ VE ÇENE RADYOLOJİSİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

ARALIK 2025

EDİTÖR

Doç. Dr. Sedef KOTANLI

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

DİL HASTALIKLARI

Elif ÇEÇEN EROL, Ceren AKTUNA BELGİN 7

BÖLÜM 2

DENTAL MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMEDE TEMEL İLKELER VE TEKNOLOJİK GELİŞMELER

Emre SÖZEN, Kevser SÖZEN 31

BÖLÜM 3

DİŞ HEKİMLİĞİNDE RADYOGRAFİK YORUMLAMA VE GÖZ İZLEME TEKNOLOJİSİ

Sema Nur ERSOY KÖLEGE , Özlem GÖRMEZ 51

BÖLÜM 4

DENTAL MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMENİN KLİNİK UYGULAMALARI

Emre SÖZEN, Kevser SÖZEN 69

BÖLÜM 5

LAMİNA DURA'YI ETKİLEYEN SİSTEMİK VE LOKAL FAKTÖRLER

Merve YILMAZ, Şebnem ERÇALIK YALÇINKAYA 89

BÖLÜM 1

DİL HASTALIKLARI

Elif ÇEÇEN EROL¹, Ceren AKTUNA BELGİN²

¹ Arş. Gör. Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı Hatay-TURKEY ORCID: 0009-0003-1624-3963

² Doç. Dr. Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı Hatay-TURKEY ORCID: 0000-0001-7780-3395

1. Giriş

Dil, konuşma, tat alma, çiğneme ve yutma işlevlerini gerçekleştiren kompleks bir organdır (Gaddey H. L., 2016). Dil muayenesi, insan sağlığını değerlendirmek için invaziv olmayan bir yöntemdir ve dilin görsel muayenesi oral tanının ana adımlarından birini oluşturur (Li et al., 2022, 2019). Ağız boşluğu ve dil, reaktif süreçlerin, neoplazmların, ve enfeksiyonların görüldüğü bölgelerdir. Bununla birlikte sistemik hastalıkların habercisi de olabilir.

Birçok sistemik durum; hematolojik bozukluklar (örneğin anemi ve vitamin B12 eksikliği), endokrin bozukluklar (örn. diyabetes mellitus), otoimmün süreçler ve çeşitli enfeksiyonlar; dil morfolojisi ve mukozal görünümde belirgin değişikliklere yol açabilir. Örneğin demir eksikliği anemisinde atrofiye bağlı olarak dil yüzeyinin pürüzsüzleşmesi ve kırmızı görünümü (atrofik glossitis), immün yetmezlik durumlarında ise papillaların kaybı ya da patojenlerin neden olduğu lezyonlar görülebilir; bu değişiklikler sistemik hastalığın tanısına işaret eder (Mays et al., 2012; Ohta et al., 2023). Bu nedenle dil muayenesi kapsamlı bir değerlendirme için kritik öneme sahiptir (Li et al., 2022).

2. Dilin Anatomisi ve Fizyolojisi

Dil, ağız tabanına yerleşmiş, gelişmiş hareket kabiliyetine sahip, çizgili kaslardan oluşan kompleks bir organdır. Konuşma, yutma, tat alma ve mekanik temizlik gibi hayati fonksiyonların yerine getirilmesinde oldukça önemli bir rolü vardır. Anatomik ve fizyolojik özellikleri, bu çok yönlü işlevleri destekleyecek şekilde özelleşmiştir. Dil anatomik olarak **apeks (uç)**, **korpus (gövde)** ve **radix (kök)** olmak üzere üç ana bölümde incelenmektedir. Üst yüzeyi (dorsum linguae) mukozal papilla yapıları ile karakterizedir ve tat alma işlevinin temelini oluşturmaktadır. Alt yüzey ise daha ince mukoza ile örtülüdür ve damar yapıları daha belirgin olarak izlenir. Dil, intrinsik ve ekstrinsik kaslar aracılığıyla şekil değiştirme ve hareket kabiliyetine sahiptir; bu da konuşma ve yutma işlevi sırasında koordineli hareketleri mümkün kılar (Gray's Anatomy, 2005).

Dil yüzeyinde dört ana papilla tipi bulunur: **filiform, fungiform, sirkumvallat ve foliat papillalar**. Filiform papillalar mekanik fonksiyonlarda rol oynar ve tat tomurcuğu içermez. Fungiform, sirkumvallat ve foliat papillalar ise tat tomurcuklarına sahiptir ve gustasyon fonksiyonunda etkilidir. Sirkumvallat papillalar dilin arka kısmında yer alır ve yoğun tat tomurcuğu içerir (Gaddey, 2016; Gutierrez and Simon, 2021)

Dilin dış yüzeyi çok katlı yassı epitelden oluşur. Alt tabakasında ise lamina propria ile kas dokusu yer alır. Epitelin keratinizasyon derecesi papillaya göre değişkenlik gösterir. Tat tomurcukları, özelleşmiş duyu hücrelerinden oluşur ve kimyasal uyarıların sinir iletimine dönüştürülmesini sağlar. Bu mikroskobik yapı, dilin mekanik ve duysal işlevlerini destekler (Gray's Anatomy, 2005; Gaddey, 2016).

Dil, vasküler ve nörolojik yapı açısından oldukça zengindir. **Arteriyel beslenmesinin çoğunu a. lingualis** sağlar. Dil kaslarının motor innervasyonu başlıca **n. hypoglossus** tarafından sağlanmakta olup, ön iki-üçte birlik segmentte genel duysal lifler n. lingualis üzerinden, tat duyusu ise chorda tympani yoluyla iletilmektedir. Dilin posterior bölgesinde hem duysal hem tat innervasyonu **N. Glossopharyngeus** tarafından gerçekleştirilir. Bu kompleks innervasyon ağı, dil fonksiyonlarının hassas kontrolünü mümkün kılar (Gray's Anatomy, 2005).

3. Muayene ve Tanı Yöntemleri

3.1. Klinik Muayene

Dil rengi, sistemik hastalıkların veya lokal patolojilerin değerlendirilmesinde önemli bir klinik parametredir. Soluk veya atrofik görünüm anemi ve beslenme bozuklukları ile ilişkili olabilirken, eritematöz veya siyanotik renk değişiklikleri inflamatuvar, enfeksiyöz ya da vasküler bozukluklara işaret edebilir. Dil yüzeyinin değerlendirilmesi sırasında papillardaki kayıp, hipertrofi ya da keratinizasyon artışı dikkate alınmalıdır. Fissürlü dil, coğrafik dil ve kıllı/paslı dil gibi yüzey değişiklikleri çoğunlukla benign varyasyonlar olmakla birlikte bazı sistemik ve çevresel faktörlerle ilişkilendirilebilmektedir (Gaddey, 2016).

Dilin Hareket Kabiliyeti

Dilin hareket kabiliyeti, konuşma, yutma ve oral fonksiyonların değerlendirilebilmesi için önemli bir klinik parametredir. Klinik muayenede dilin protrüzyonu, elevasyonu ve lateral hareketleri gözlemlenerek fonksiyonel bütünlüğü değerlendirilir. Dil hareketlerindeki kısıtlılık, asimetri veya koordinasyon bozukluğu; nöromüsküler hastalıklar, kranial sinir tutulumları veya anatomik varyasyonlar ile ilişkili olabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, dilin hareket kabiliyetinin objektif ölçümlerle değerlendirilebileceğini ve özellikle anterior ve posterior dil hareket açıklığının fonksiyonel testler aracılığıyla güvenilir şekilde analiz edilebildiğini göstermiştir. Bu tür değerlendirmeler, dil frenulumuna bağlı hareket kısıtlılıklarının ayırt

edilmesinde ve fonksiyonel etkilerinin belirlenmesinde klinik açıdan yol göstericidir (Zaghi et al., 2021).

Lezyon Lokalizasyonu

Lezyonların dilin hangi bölgesinde yer aldığı, klinik tanı ve tedavi yönelimleri açısından önemli ipuçları sağlar. Dilin lateral kenarları ve dorsal yüzeyi hem benign hem malign lezyonların en sık görüldüğü bölgelerdendir; özellikle lateral kenar, squamöz hücreli karsinom gibi malign tümörlerin daha sık ortaya çıktığı bölge olarak bildirilmiştir (Farhangian and Jaafari-Ashkavandi, 2020). Posterior ve taban bölgede yer alan lezyonlar ise orofaringeal sınırdaki olması nedeniyle farklı prognostik özellikler taşıyabilir ve tedavi stratejilerinde farklı değerlendirilir (Gonzalez and March, 2023a).

Lezyonun lokalizasyonu ayrıca benign ve reaktif oluşumlar ile premalign/malign değişikliklerin ayrımında klinik değerlendirmeye katkı sağlar; örneğin dorsal yüzeyde görülen lenfoproliferatif veya hiperplastik lezyonlar ile lateral yüzeyde yer alan epitelyal değişiklikler farklı olasılıkları akla getirir (Gaddey, 2016). Bu nedenle dil muayenesinde lezyonun spesifik yerinin ayrıntılı tanımlanması, lezyonun doğası hakkında daha doğru çıkarımlar yapılmasına ve gerekirse biyopsi planlamasına yardımcı olur. Ayrıca bazı çalışmalar, belli anatomik bölgelerdeki lezyonların klinik seyrinin ve malign dönüşüm riskinin farklı olabileceğini ortaya koymuştur; bu da lokalizasyon bilgisinin yalnızca tanı değil aynı zamanda izlem ve prognostik değerlendirme açısından da önemli olduğunu göstermektedir (Yang et al., 2021).

Ağrı, Yanma ve Hassasiyet

Ağrı, yanma ve hassasiyet gibi subjektif semptomlar, dil muayenesinde sıkça karşılaşılan bulgulardır ve çoğu zaman klinik olarak görülebilen bir lezyon ile birlikte olmayabilir. Bu tür şikâyetler, hafif irritasyonlardan daha karmaşık nöropatik ağrı durumlarına kadar geniş bir yelpazede görülebilir. Özellikle **yanan ağız sendromu** (YAS) olarak adlandırılan klinik tablo, özgün bir lezyon olmaksızın ağız mukozasında ve dilde sürekli veya tekrarlayan yanma hissi ile karakterizedir. Bu semptomlar genellikle uzun sürelidir ve yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilir. YAS'lı bireylerde ağrı ve yanma hissi en sık dili etkiler; semptomlar sabah hafif başlayıp gün içinde artabilir ve sıklıkla kuru ağız, tat değişiklikleri veya parestezi eşlik edebilir (Witt and Palla, 2002).

Ayrıca bazı çalışmalarda, YAS'ın periferik ve santral sinir sistemindeki duyuşal değişikliklerle ilişkili olabileceği ve bu durumun dil üzerindeki ağrı ve yanma hissini etkilediği öne sürölmüştür (Mo et al., 2015; Wolowski et al., 2021). Bu nedenle, **ağrı ve yanma gibi subjektif belirtiler**, sadece klinik muayene bulgularıyla sınırlı kalmayıp nöropatik, inflamatuvar veya sistemik nedenlerle de ilişkilendirilmeli ve kapsamlı değerlendirme ile ele alınmalıdır.

3.2 Yardımcı Tanı Yöntemleri

Oral ve dil lezyonlarının değerlendirilmesinde **biyopsi**, histopatolojik tanı için altın standart yöntemdir. Klinik olarak belirgin bir nedeni olmayan veya **2 haftadan uzun süren** mukozal değişiklikler, lokal iritanlar ortadan kaldırıldıktan sonra bile iyileşmeyen lezyonlar biyopsi için endikedir. Bu yaklaşım, Dünya Sağlık Örgütü ve güncel klinik yönergelerde önerilen erken tanı stratejilerinin bir parçasıdır; çünkü malign veya premalign lezyonlar sıklıkla benign görünümle başlayabilir ve gecikmiş tanı kötü prognoza yol açabilir (Abati et al., 2020).

Biyopsi özellikle kronik ülserasyonlar, hızlı büyüyen lezyonlar ve şüpheli pigmente lezyonlar gibi durumlarda düşünölmelidir. Ayrıca, klinik ayırıcı tanısı net olmayan, tekrarlayan veya belirgin semptomlara neden olan lezyonlarda tanıyı kesinleştirmek ve uygun tedavi planını belirlemek için histopatolojik inceleme gerekir. Bu prensip hem diş hekimliği pratiğinde hem de baş-boyun bölgesinin onkolojik değerlendirmelerinde yaygın kabul görmektedir (Jenzer and Pepper, 2023).

Kan tetkikleri, dilde görölen atrofi, renk değişikliği, yanma hissi ve ağrı gibi bulguların sistemik nedenlerle ilişkisini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Özellikle vitamin B12, demir ve folat eksiklikleri, atrofik glossit ve yanma hissi gibi dil bulgularına yol açabilir. Benzer şekilde, diyabet mellitus gibi metabolik hastalıklarda dil ve oral mukozada enfeksiyonlara yatkınlık ve duyuşal değişiklikler izlenebilir. Bu nedenle, klinik muayenede sistemik bir durumdan şüphelenildiğinde ilgili laboratuvar testlerinin yapılması tanıyı destekleyici nitelik taşıır (Borgnakke, 2019; CHI et al., 2010).

3.3 Görüntöleme

Dil lezyonlarının değerlendirilmesinde görüntöleme yöntemleri rutin olarak gerekli değildir; ancak derin doku tutulumu, submukozal yayılım veya malignite şüphesi bulunan olgularda tanısal sürece katkı sağlar. Yüzeyel ve iyi sınırlı lezyonlarda ultrasonografi (US), non-invaziv,

kolay uygulanabilir ve gerçek zamanlı değerlendirme imkânı sunması nedeniyle ilk basamak görüntüleme yöntemi olarak kullanılabilir. Doppler ultrasonografi ile lezyonun vaskülaritesi hakkında ek bilgi elde edilebilir (Sugawara et al., 2016). Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ise dilin yumuşak doku yapısını yüksek kontrastla göstermesi sayesinde lezyonun derinliği, kas invazyonu ve çevre anatomik yapılarla ilişkisini değerlendirmede üstünlük sağlar ve özellikle malignite şüphesi bulunan olgularda tercih edilir. Görüntüleme bulguları, klinik muayene ve histopatolojik verilerle birlikte değerlendirilerek tedavi planlamasına rehberlik eder (Hermans and Lenz, 1996).

4. Dil Hastalıkları

4.1 Gelişimsel Anomaliler

Fissürlü Dil

Fissürlü dil, dil dorsumunda yüzeysel veya derin **çizgi ve olukların (fissürlerin)** bulunduğu, genellikle **benign** bir anatomik varyasyondur. Bu durum doğumsal olabilir ve çoğu zaman asemptomatiktir; hastaların büyük çoğunluğu bu yapısal farklılık nedeniyle şikâyet oluşturmaz. Fissürlerin derinliği, sayısı ve dağılımı kişiden kişiye değişkenlik gösterir ve genellikle rastlantısal olarak tespit edilir. Klinik değerlendirmede fissürlü dilin tanınması, lezyon ya da patolojik bir süreçle karıştırılmasını önüne geçer. Bu patolojiye sahip hastalara yalnızca oral hijyen dikkat edilmesi ve fissür aralarının temiz tutulması önerilir (Bakshi, 2019).

Coğrafi Dil

Coğrafi dil, dil dorsumunda haritaya benzer görünümde, eritematöz alanların çevresinde beyaz sınırlar ile karakterize, benign ve genellikle asemptomatik bir durumdur. Bu alanlar zaman içinde değişebilir, kaybolabilir veya farklı lokalizasyonlara taşınabilir. Patogenezi tam olarak bilinmemekle birlikte, bazı olgularda psoriasis, alerjik durumlar veya stres gibi etkenlerle ilişkilendirildiği bildirilmiştir. Çoğu vakada semptom yoktur; hafif yanma veya kaşıntı hissi olduğunda topikal yatıştırıcılar kullanılabilir. Şüpheli veya alışılmadık klinik özellikler göstermeyen olgularda tedavi ve invaziv tanısal girişim gerekmez (Ślebioda et al., 2025; Soares et al., 2023).

Ankiloglossi

Ankiloglossi, lingual frenulumun kısa, kalın veya düşük yerleşimli olması sonucu dilin hareket kabiliyetinin kısıtlanması ile karakterize konjenital bir anomalidir. Klinik olarak konuşma bozuklukları, yutma güçlüğü, oral hijyen problemleri ve bazı olgularda diş hekimliği uygulamalarını zorlaştıran fonksiyonel kısıtlılıklar ile ilişkilendirilebilir. Şiddeti değişkenlik göstermekle birlikte, hafif olgular asemptomatik olabilirken, belirgin vakalarda fonksiyonel değerlendirme önem kazanır. Tanı çoğunlukla klinik muayene ile konur; tedavi gereksinimi ise fonksiyonel etkilenmenin derecesine göre belirlenir (Mills et al., 2019; Suter and Bornstein, 2009).

Hamartomlar

Lingual hamartomlar, normalde dil dokusunda bulunan hücresel elemanların düzensiz fakat benign proliferasyon sonucu ortaya çıkan nadir gelişimsel lezyonlardır. Genellikle çocukluk döneminde saptanır ve çoğu olguda yavaş büyüyen, asemptomatik kitleler şeklinde izlenir. Klinik olarak dilde hacim artışı, konuşma veya yutma fonksiyonlarında kısıtlılık oluşturabilir. Tanı, klinik ve görüntüleme bulgularının ardından histopatolojik inceleme ile doğrulanır. Tedavi çoğunlukla cerrahi eksizyondur ve prognoz genellikle iyidir; malign transformasyon beklenmez (Friedman et al., 1987; Patil et al., 2015).

4.2 Enfeksiyöz Hastalıklar

4.2.1. Bakteriyel Enfeksiyonlar

Glosit

Bakteriyel glosit, dilde eritem, ödem, yüzey düzensizliği ve hassasiyet ile karakterizedir. Akut olgularda ağrı ve yanma hissi ön plandayken, kronik olgularda atrofi ve yüzey değişiklikleri izlenebilir. Tanı çoğunlukla klinik muayene ile konur. Enfeksiyon şüphesi olan olgularda mikrobiyolojik inceleme ve sistemik predispozan faktörlerin değerlendirilmesi tanıyı destekler. Ayırıcı tanısı trofik glossit, oral kandidiyazis, vitamin eksikliklerine bağlı dil değişiklikleri ile yapılır. Tedavi etiyolojiye yönelik antibakteriyel ajanlar ve lokal oral hijyen önlemlerini içerir; altta yatan predispozan faktörlerin düzeltilmesi önemlidir (Bandara and Samaranayake, 2019).

Sifilitik Glosit

Sifilitik glosit, *Treponema pallidum* enfeksiyonuna bağlı olarak ortaya çıkan ve genellikle oral sifilizin bir bulgusu olan dil lezyonudur. Primer sifilizde genellikle tek, ağrısız ülser (şankr) görülebilen; sekonder dönemde mukoza plakları, eritemli alanlar veya ülseratif lezyonlar gelişir. Dil, lezyonların sık görüldüğü bölge olup, özellikle lateral kenar ve dorsumda görülen plaklar veya ülserler karakteristiktir. Sekonder sifilizde bu lezyonlar bazen çoklu ve değişken görünümlü olabilir. (Zhou et al., 2021). Tanı klinik bulgularla birlikte serolojik testler ile doğrulanır. Şüpheli olgularda biyopsi ve histopatoloji tanıyı destekleyebilir; özellikle sekonder sifilizde lezyonlar sıklıkla serolojik pozitiflik ile birlikte değerlendirilir. Ayırıcı tanıda aftöz ülserler, travmatik ülserler, malign lezyonlar, oral lichen planus ve diğer enfeksiyöz ülseratif hastalıklar düşünülmelidir; çünkü sifilitik lezyonlar geniş spektrumda görülebilir ve farklı hastalıklarla karışabilir. Tedavisi için benzatin penisilin G intramüsküler olarak uygulanır; erken tanı ve tedavi ile prognoz genellikle iyidir. Penisilin alerjisi durumunda alternatif rejimler kullanılabilir ancak tedavi yaklaşımı enfeksiyon kontrolü ve bulaşın durdurulmasına odaklanır (Khan et al., 2025).

4.2.2. Viral Enfeksiyonlar

Herpes Simpleks Virüs (HSV)

Herpes simplex virüs (HSV) enfeksiyonları, özellikle HSV-1 tipi, dil ve oral mukozada ağrılı vezikül ve ülseratif lezyonlarla seyreden viral enfeksiyonlardır. Lezyonlar sıklıkla dilin lateral kenar ve dorsumunda ortaya çıkar; primer enfeksiyon genellikle daha geniş alanları etkilerken, tekrar eden ataklarda sınırlı bölgede tekrarlayan semptomlarla görülür. Reaksiyonlar genellikle yanma-ağrı ve ağız fonksiyon bozukluğu ile ilişkilidir (PA et al., 2025). Tanı çoğunlukla karakteristik bulgular ve klinik öykü ile konur. Atipik veya immün yetmezlikli olgularda, PCR-temelli moleküler testler ile HSV DNA'sı saptanarak doğrulama yapılabilir. Ayrıca gerekirse viral kültür ve antijen testleri tanısal desteğe katkı sağlar. Aftöz ülserler, travmatik ülserler, eritema multiforme ve diğer viral stomatit tabloları ile ayırt edilmelidir. Klinik görünüm, lezyonların tekrarlama paterni ve lokalizasyonu ayırıcı tanıda yardımcıdır. Antiviral ajanlar (örn. asiklovir, valasiklovir) hem primer hem de rekürren lezyonlarda semptom süresini ve şiddetini azaltmak için kullanılır. Yeni tedavi yaklaşımları ve farklı uygulama şekilleri (topikal + sistemik rejimler) hastada daha iyi kontrol sağlayabilir (Mancini et al., 2025).

HPV İlişkili Lezyonlar

HPV (Human Papillomavirus) ile ilişkili oral lezyonlar, dil dahil oral kavitenin çeşitli bölgelerinde görülebilir ve genellikle benign papillomatöz veya verrüköz yüzeyleli nodüller şeklindedir. Bu lezyonlar çoğunlukla dil, yumuşak damak ve dudak gibi mukozal yüzeylerde papiller veya karnabahara benzer görünümle izlenir ve genellikle ağrısızdır. HPV ile ilişkili lezyonlar arasında en sık skuamöz papilloma, kondiloma aküminatum ve verruka vulgaris yer alır ve nadiren fokal epitelyal hiperplazi de görülebilir (Di Spirito et al., 2023). Tanı büyük ölçüde klinik muayene ve histopatolojik inceleme ile konur. Lezyonların papillomatöz morfolojisi, biopsi ile alınan örneğin mikroskopik incelemesi ve gerekirse HPV DNA'sının moleküler yöntemlerle tespiti tanıyı destekler. HPV tanısını doğrulamak için PCR gibi moleküler testler kullanılabilir (Betz, 2019). Lezyonun ayırıcı tanısında verrüköz karsinom, multifokal epitelyal hiperplazi, oral lökoplaki ve diğer papillomatöz ya da nodüler lezyonlar düşünülmelidir. Benign HPV-ilişkili papillomatöz lezyonlar ile malign lezyonların ayırt edilmesi klinik ve histopatolojik değerlendirmeye yapılmalıdır. Tedavi çoğunlukla cerrahi eksizyondur; papillomatöz lezyonların biyopsi ve tam eksizyonu hem tanı hem de tedavi amaçlıdır. Düşük riskli HPV tiplerine bağlı benign lezyonlar genellikle cerrahi sonrası nüks etmezler, ancak takip önerilir (de la Cour et al., 2021).

4.2.3. Mantar Enfeksiyonları

Oral Kandidiyazis

Oral kandidiyazis, en sık *Candida albicans* olmak üzere Candida türlerine bağlı gelişen ve dil dorsumu ile lateral kenarları sıklıkla tutan fırsatçı bir enfeksiyondur. Klinik olarak dil üzerinde beyaz, kazınabilir plaklar veya eritematöz, atrofik alanlar şeklinde izlenebilir. Hastalarda yanma hissi, tat bozukluğu ve hassasiyet sık bildirilen semptomlardır. Özellikle immünsüpresyon, diyabet ve uzun süreli antibiyotik kullanımı önemli predispozan faktörlerdir. Tanı çoğunlukla karakteristik klinik görünüm ile konur. Atipik, dirençli veya tekrarlayan olgularda direkt mikroskopi, kültür veya sitolojik inceleme ile Candida türlerinin gösterilmesi tanıyı destekler. Lökoplaki, oral lichen planus, travmatik lezyonlar ve kimyasal irritasyonlara bağlı mukozal değişiklikler ayırıcı tanıda yer alır.

Tedavi, hastalığın yaygınlığına göre topikal antifungal ajanlar (nistatin, mikonazol) veya sistemik antifungal tedavi (flukonazol) ile yapılır. Tedavi başarısı için altta yatan sistemik veya lokal predispozan faktörlerin kontrol altına alınması gereklidir (Lu, 2021).

4.3 İnflamatuvar ve İmmünolojik Hastalıklar

Oral Liken Planus

Oral liken planus (OLP), kronik inflamatuvar ve immün aracılı bir mukozal hastalıktır ve dil dahil olmak üzere oral mukozanın en sık görülen immünolojik hastalıklarından biridir. Dilde en yaygın olarak retiküler form izlenir ve bu form, beyaz renkli, dantel benzeri çizgiler (Wickham çizgileri) ile karakterizedir. Eroziv ve atrofik tipler ise daha nadir olmakla birlikte ağrı, yanma ve hassasiyet gibi semptomlara neden olabilir. Lezyonlar genellikle bilateral ve simetrik yerleşimlidir. Tanı klinik bulgular ile desteklenen histopatolojik inceleme ile konur. Histopatolojide bazal hücre dejenerasyonu, bant şeklinde lenfosit infiltrasyonu ve epitel–konnektif doku sınırında düzensizlik tipiktir. Atipik klinik görünüm veya malign transformasyon şüphesinde biyopsi mutlaka endikedir. Oral lökoplaki, kronik hiperplastik kandidiyazis ve lichenoid ilaç reaksiyonları ayırıcı tanıda yer alır. Özellikle eroziv OLP olgularında skuamöz hücreli karsinom ile karışabileceği unutulmamalıdır. Tedavide temel amaç semptom kontrolüdür. Topikal kortikosteroidler birinci basamak tedavi olarak kabul edilir. Dirençli veya yaygın olgularda sistemik immünmodülatör tedaviler değerlendirilebilir. Uzun dönem takip, olası malign transformasyon riski nedeniyle önerilmektedir (Carbone et al., 2009; Isola et al., 2023).

Behçet Hastalığı

Behçet hastalığı, tekrarlayan oral aftlar ile karakterize, multisistemik, kronik inflamatuvar bir vaskülitir. Oral lezyonlar hastalığın en erken ve en sık görülen bulgusu olup, dil dorsumu, lateral kenarları ve ventral yüzeyi sıklıkla etkilenir. Lezyonlar genellikle ağrılı, yuvarlak veya oval, eritemli halo ile çevrili ülserler şeklindedir ve iyileşme sırasında skar bırakmaz. Dilin tutulumu hastaların yaşam kalitesini belirgin bir şekilde etkileyebilir. Tanı esas olarak klinik kriterlere dayanır. Oral aftların tekrarlayıcı olması ve genital ülserler, oküler tutulum, cilt lezyonları gibi sistemik bulguların eşlik etmesi tanı koymamızı destekler. Oral lezyonlar için rutin biyopsi genellikle gerekli değildir; ancak atipik veya iyileşmeyen ülserlerde malignite dışlanmalıdır. Rekürren aftöz stomatit, herpes simpleks enfeksiyonları,

inflamatuvar bağırsak hastalıkları ile ilişkili oral ülserler ve pemfigus vulgaris ayırıcı tanıda yer alır. Lezyonların tekrarlayıcı karakteri ve sistemik bulgular ayırıcı tanıda yol göstericidir. Oral lezyonların tedavisinde **topikal kortikosteroidler** ve antiseptik gargaralar ilk basamakta kullanılır. Sık nüks eden veya şiddetli olgularda sistemik immünmodülatör tedaviler gerekebilir. Tedavi, hastalığın sistemik aktivitesine göre planlanır (Alpsoy, 2016; Hatemi et al., 2018).

Pemfigus Vulgaris ve Diğer Büllöz Hastalıklar

Pemfigus vulgaris (PV), desmogleinlere karşı gelişen otoantikorlar sonucu ortaya çıkan otoimmün bir büllöz hastalıktır. Oral mukoza, hastalığın erken ve sık tutulan bölgelerindendir. Genellikle cilt lezyonlarından önce ortaya çıkabilir. Dil, bukkal mukoza ve yumuşak damak ile birlikte etkilenen oral bölgeler arasında yer alır. Klinik olarak dil üzerinde ağrılı erozyonlar, yüzeysel ülserasyonlar ve kolay rüptüre olan büller izlenebilir. Tanı, klinik bulguların yanı sıra histopatolojik inceleme ve direkt immünfloresan (DIF) ile konur. Histopatolojide suprabazal akantoliz, DIF incelemede epitel hücreleri arasında IgG ve C3 birikimi tipiktir. Mukozal pemfigoid, eroziv oral liken planus, Behçet hastalığı ve rekürren aftöz ülserler ayırıcı tanıda yer alır. Tedavide sistemik kortikosteroidler temel yaklaşımı oluşturur. Orta ve ağır olgularda immünsüpresif veya biyolojik ajanlar tedaviye eklenebilir (Murrell et al., 2020).

Atrofik Glossit

Atrofik glossit, dil papillalarının kaybı ile karakterize inflamatuvar bir durumdur ve sıklıkla vitamin B12, demir veya folat eksikliği ile ilişkilidir. Klinik olarak dil yüzeyi düz, parlak ve eritematöz görünümde izlenir. Hastalar genellikle yanma, hassasiyet ve tat değişikliği gibi subjektif semptomlardan yakınırlar. Lezyonlar çoğunlukla diffüzdür ve dil dorsumunu yaygın şekilde tutar. Tanı, karakteristik klinik görünüm ile birlikte laboratuvar bulgularına dayanır. B12 vitamini, ferritin ve tam kan sayımı gibi tetkiklerde eksiklik saptanması tanıyı destekler. Oral kandidiyazis (özellikle eritematöz tip), coğrafi dil, oral liken planus ve kimyasal veya mekanik irritasyonlara bağlı mukozal değişiklikler ayırıcı tanıda yer alır. Kandidiyazis ile ilişkili olgularda antifungal tedaviye yanıt ayırıcı tanıda yol göstericidir. Tedavi, altta yatan eksikliğin nedene yönelik replasmanı esasına dayanır. Vitamin B12 veya demir eksikliğinin düzeltilmesiyle dil bulguları çoğu olguda geriler. Semptomatik hastalarda geçici olarak topikal ajanlar destekleyici amaçla kullanılabilir (Green et al., 2017; LANGAN and ZAWISTOSKI, 2011).

4.4 Travmatik ve İrritan Lezyonlar

Dil mukozası, anatomik konumu ve fonksiyonel hareketliliği nedeniyle travmatik ve irritatif etkenlere sık maruz kalan bir yapıdır. Mekanik travmalar, keskin diş kenarları, uyumsuz restorasyonlar, protezler veya para-fonksiyonel alışkanlıklar sonucu gelişebilir. Bu tür lezyonlar klinik olarak genellikle lokalize eritem, yüzeysel ülserasyon veya hiperkeratotik alanlar şeklinde görülür ve çoğu zaman travmanın devam ettiği bölgede sınırlıdır. Travmatik etken ortadan kaldırıldığında lezyonların kısa sürede iyileşmesi beklenir; iyileşmeyen olgularda premalign veya malign süreçler ayırıcı tanıda değerlendirilmelidir. Termal ve kimyasal irritasyonlar, sıcak yiyecek ve içecekler ya da asidik/alkalik maddelerle temas sonucu ortaya çıkabilir. Termal yanıklar genellikle ani gelişen ağrı ve yüzeysel mukozal hasar ile seyrederken, kimyasal yanıklar daha yaygın eritem, nekroz veya ülserasyonlara yol açabilir. Klinik öykü tanıda belirleyici olup, enfeksiyöz ve inflamatuvar dil hastalıkları ayırıcı tanıda dikkate alınmalıdır (McKinney et al., 2025).

Para-fonksiyonel alışkanlıklar

Dil ısırma, dili dişler arasında sıkıştırma veya sürekli emme gibi kronik irritasyona bağlı olarak dil kenarlarında ödem ve hassasiyet neden olabilir. Bu durum sıklıkla bilateral ve simetrik yerleşimlidir ve kronik travmanın klinik yansıması olarak değerlendirilir. Alışkanlığın fark edilmesi ve ortadan kaldırılması lezyonların gerilemesinde temel yaklaşımdır

Dil piercingi ise mekanik travma ve kronik irritasyonun yanı sıra enfeksiyon riskini de artıran önemli bir faktördür. Piercinge bağlı olarak dilde **ödem, erozyon, ülserasyon ve skarlaşma** gelişebilir; ayrıca komşu dişler ve periodontal dokular da olumsuz etkilenebilir. Komplikasyon gelişen olgularda piercingin çıkarılması ve lokal tedavi genellikle yeterlidir (McKinney et al., 2025; Sree Vijayabala et al., 2021).

4.5 Neoplastik ve Prekanseröz Lezyonlar

Dil, oral kavite içinde malign ve premalign lezyonların en sık görüldüğü anatomik bölgelerden biridir. Bu lezyonlar genellikle uzun süreli iritanlara maruziyet, özellikle tütün kullanımı ve bazı viral enfeksiyonlarla ilişkilidir. Klinik olarak erken tanı, prognoz açısından kritik öneme sahiptir.

Lökoplaki

Lökoplaki, oral kavitenin en sık görülen prekanseröz lezyonudur ve ileri yaş erişkinlerde daha sık izlenir. Dilin özellikle lateral kenarlarda daha çok görülmektedir. Klinik olarak kazınamayan, beyaz renkli plaklar şeklinde görülür. Homojen veya non-homojen tipleri bulunur; non-homojen lökoplakiler malign dönüşüm açısından daha yüksek risk taşır. Başta tütün kullanımı olmak üzere alkol, kronik mekanik irritasyon ve bazı olgularda HPV enfeksiyonu ile ilişkilidir. Tedavi yaklaşımı lezyonun histopatolojik özelliklerine göre belirlenir. Displazi saptanan olgularda cerrahi eksizyon ve uzun dönem klinik takip önerilir (Yardımcı et al., 2014).

Eritroplaki

Eritroplaki, lökoplakiye kıyasla daha nadir görülmekle birlikte malignite veya displazi ile ilişki oranı daha yüksektir. Dilde iyi sınırlı, kadifemsi görünümlü, parlak kırmızı plaklar şeklinde izlenir. Genellikle asemptomatiktir ancak palpasyonda hassasiyet olabilir. Tütün ve alkol kullanımı başlıca risk faktörleridir. Eritroplaki saptanan tüm olgularda malignite olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır. Tanı amacıyla mutlaka biyopsi yapılmalı ve histopatolojik sonuca göre cerrahi tedavi planlanmalıdır (Gonzalez and March, 2023).

Skvamöz Hücreli Karsinom

Skvamöz hücreli karsinom, dilin en sık görülen malign tümörüdür. Özellikle dilin lateral kenarları ve ventral yüzeyi sık tutulan alanlardır. Klinik olarak iyileşmeyen ülser, sertlik, düzensiz kenarlı kitle veya indürasyon şeklinde ortaya çıkabilir. İleri evrelerde ağrı, kanama ve konuşma-yutma güçlüğü görülebilir. En önemli risk faktörleri tütün ve alkol kullanımıdır. Ayrıca HPV enfeksiyonu, özellikle genç hastalarda etiyolojide rol oynayabilir. Tedavi, tümör evresine bağlı olarak cerrahi rezeksiyon, radyoterapi ve/veya kemoterapiyi içeren multidisipliner bir yaklaşım gerektirir (Gonzalez and March, 2023).

4.6. Benign Tümörler

Papillom:

Genellikle HPV ile ilişkili, küçük, ekzofitik, verrüköz görünümlü lezyonlardır. Dilde sık görülür ve çoğunlukla asemptomatiktir. Tedavi cerrahi eksizyondur (Betz, 2019).

Hemanjiyom:

Vasküler kökenli benign tümörlerdir ve dilde mor-kırmızı renkli, basmakla solan lezyonlar şeklinde izlenir. Çocukluk çağında daha sık görülür. Tedavi, lezyonun boyutu ve semptomlara göre planlanır (Lyssy and Puckett, 2023).

Nörom:

Sinir dokusundan köken alan benign lezyonlardır. Dil üzerinde nodüler, genellikle ağrısız kitleler şeklinde görülebilir. Kesin tanı histopatolojik inceleme ile konur ve tedavi cerrahidir (Tamiolakis et al., 2019).

4.7. Fonksiyonel Bozukluklar

Fonksiyonel dil bozuklukları, klinik muayenede belirgin yapısal veya inflamatuvar lezyon olmaksızın ortaya çıkan ve genellikle nörolojik veya metabolik mekanizmalarla ilişkili semptomları kapsar. Bu bozukluklar, hasta tarafından yanma hissi, tat değişikliği veya motor kontrol problemleri olarak ifade edilir ve kapsamlı değerlendirme gerektirir. Motor fonksiyon bozuklukları dilin hareket ve koordinasyonunu etkileyebilir ve sıklıkla altta yatan nöropatik veya sistemik hastalıklarla ilişkilidir. Örneğin diabetik nöropati, periferik sinir liflerini etkileyerek glossodynia ile benzer kalitede yanma veya parestezi semptomlarına neden olabilir; bu durumda hastalar dilde yanma hissi ve tat bozuklukları ile birlikte motor kontrol zorlukları da bildirebilirler. Ayrıca dilin sinir kontrolünü sağlayan kranial sinirlerden biri olan N. hypoglossus'un hasarı, dil hareketlerinde zayıflık ve koordinasyon bozukluklarına yol açabilir; bu tip motor fonksiyon bozuklukları, nörolojik değerlendirmeye ihtiyaç duyulan klinik tablolar arasında yer alır (Węgiel et al., 2024). Bu fonksiyonel bozuklukların yönetimi, olası altta yatan sistemik veya nörolojik nedenlerin ayrıntılı değerlendirilmesi, semptomatik tedaviler ve gerektiğinde multidisipliner bir yaklaşım gerektirir (Kumari and Gnanasundaram, 2021)

4.6 Sistemik Hastalıklara Bağlı Dil Bulguları

Dil, sistemik hastalıkların ağız içi bulgularının bir yansıması olarak önemli ipuçları verebilir. Bazı durumlarda bu bulgular, altta yatan sistemik bozukluğun erken tanısında yardımcı olabilir (CHI et al., 2010).

Anemi: Demir eksikliği veya diğer anemik durumlarda dil papilla kaybı ve eritematoz görünüm görülür; bu tablo atrofik glossit olarak tanımlanır ve papilla kaybı, yanma hissi ile birlikte olabilir (CHI et al., 2010).

Vitamin B12 Eksikliği: Vitamin B12 eksikliğinde glossodynia (dilde yanma), papilla kaybı ve atrofik glossit gibi oral bulgular sık izlenir. Klinik raporlarda B12 eksikliğine bağlı glossodynia, eritem ve papilla kaybının B12 replasmanı ile iyileştiği bildirilmektedir (da Silva et al., 2022).

Diyabet Mellitus: Diyabetli bireylerde oral bulgular arasında tat bozuklukları, xerostomia (ağız kuruluğu), periodontal hastalık ve mukozal değişiklikler bildirilmiştir; bu değişiklikler glisemik kontrol ile ilişkilidir (Mauri-Obradors et al., 2017).

Tiroid Bozuklukları: Endokrin hastalıklar, özellikle tiroid bozuklukları, dil ve ağız mukozasında değişen özelliklerle ilişkilendirilebilir. Örneğin hipotiroidide makroglossi ve dil ödemi görülebilir; bu bulgu sistemik semptomlarla birlikte değerlendirilmelidir (CHI et al., 2010).

Gastrointestinal Hastalıklar (Çölyak): Çölyak hastalığı hastalarında atrofik glossit, coğrafik dil, yanma hissi ve oral yumuşak doku değişiklikleri gibi bulgular görülmüştür. Sistemik incelemeler, bu oral bulguların çölyak hastalığı ile ilişkisini ortaya koymuştur (Lucchese et al., 2023).

HIV İlişkili Lezyonlar: HIV pozitif bireylerde dil ve oral mukozada sık görülen bulgular arasında oral kandidiyazis, hairy leukoplakia ve nonspesifik glossitis yer alır; HIV ile ilişkili immün yetmezlik, oral bulguların ortaya çıkışını kolaylaştırır (CHI et al., 2010).

Bu bulguların değerlendirilmesi, sadece lokal mukozal hastalıkları değil, aynı zamanda genel sağlık durumunu da yansıtabilir ve kapsamlı bir sistemik değerlendirme yapılmasına yol açabilir (CHI et al., 2010).

5. Tedavi ve Yaklaşımlar

Dil hastalıklarının tedavisi, lezyonun etiyolojisine, klinik şiddetine ve altta yatan lokal veya sistemik faktörlere bağlı olarak planlanmalıdır. Tedavi yaklaşımı çoğu zaman semptom kontrolü, etiyolojik faktörlerin ortadan kaldırılması ve olası komplikasyonların önlenmesi esasına dayanır.

Farmakolojik tedaviler, enfeksiyöz, inflamatuvar veya nöropatik kökenli dil hastalıklarında önemli yer tutar. Antifungal, antiviral veya antibakteriyel ajanlar enfeksiyöz durumlarda tercih edilirken; inflamatuvar ve immünolojik hastalıklarda topikal veya sistemik kortikosteroidler ve immünomodülatör tedaviler uygulanabilir. Yanan ağız sendromu gibi fonksiyonel bozukluklarda ise nöropatik ağrıya yönelik farmakolojik ajanlar semptomatik rahatlama sağlayabilir.

Dental tedavilerle ilişkili yaklaşımlar, özellikle travmatik ve iritan lezyonların yönetiminde önemlidir. Keskin diş kenarlarının düzeltilmesi, uyumsuz protezlerin revizyonu, oral hijyenin iyileştirilmesi ve parafonksiyonel alışkanlıkların kontrol altına alınması, birçok dil lezyonunda iyileşmeyi destekleyici temel adımlardır.

Beslenme destekleri, vitamin ve mineral eksikliklerine bağlı dil bulgularında tedavinin temelini oluşturur. Özellikle demir, vitamin B12 ve folat eksikliklerinin düzeltilmesiyle atrofik glossit ve ilişkili semptomlarda belirgin gerileme sağlanabilir. Bu nedenle beslenme durumu ve laboratuvar bulguları tedavi planlamasında dikkate alınmalıdır.

Cerrahi tedavi seçenekleri, benign veya malign neoplastik lezyonlarda, tanı amacıyla yapılan biyopsilerde ve semptomatik kitle lezyonlarında uygulanır. Ayrıca premalign lezyonların eksizyonu, uygun olgularda hem tanısal hem de terapötik değer taşır. Cerrahi karar, lezyonun boyutu, lokalizasyonu ve malignite riski göz önünde bulundurularak verilmelidir.

Birçok dil hastalığı, lokal bulguların ötesinde sistemik hastalıkların bir yansıması olabileceğinden, multidisipliner yaklaşım büyük önem taşır. Gerekğinde kulak burun boğaz, dermatoloji, endokrinoloji, nöroloji veya gastroenteroloji gibi ilgili branşlara yönlendirme yapılması, doğru tanı ve etkin tedavi sürecinin sağlanmasına katkıda bulunur (Bhattacharyya and Cohen, 2023; McKinney et al., 2025).

6. Sonuç

Dil, ağız boşluğunda hem fonksiyonel hem de tanısal açıdan önemli bir organdır. Dil muayenesi, lokal patolojilerin yanı sıra birçok sistemik hastalığın erken bulgularını ortaya koyabilmesi nedeniyle ağız sağlığının ayrılmaz bir parçasıdır. Renk, yüzey yapısı, hareket kabiliyeti ve lezyonların dikkatli değerlendirilmesi; enfeksiyöz, inflamatuvar, neoplastik ve sistemik kökenli hastalıkların ayırıcı tanısında klinisyene önemli ipuçları sunar.

Erken tanı, özellikle premalign ve malign lezyonlar ile sistemik hastalıklara bağlı dil bulgularında prognozun iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle dilin rutin ağız muayenesinin standart bir parçası olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Pratik açıdan, şüpheli veya iyileşmeyen lezyonların yakından izlenmesi, gerekli durumlarda biyopsi ve yardımcı tanı yöntemlerine başvurulması ve multidisipliner yaklaşım benimsenmesi, etkin hasta yönetimini destekler. Diş hekimlerinin dil hastalıkları konusunda farkındalığının artırılması hem ağız sağlığının korunmasına hem de sistemik hastalıkların erken tanınmasına katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Abati S, Bramati C, Bondi S, Lissoni A, Trimarchi M. Oral Cancer and Precancer: A Narrative Review on the Relevance of Early Diagnosis. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:1–14. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17249160>.
- Alpsoy E. Behçet's disease: A comprehensive review with a focus on epidemiology, etiology and clinical features, and management of mucocutaneous lesions. *Journal of Dermatology* 2016;43:620–32. <https://doi.org/10.1111/1346-8138.13381>
- Bakshi SS. Fissured tongue. *Cleve Clin J Med* 2019;86:714–714. <https://doi.org/10.3949/CCJM.86A.19060>.
- Bandara HMHN, Samaranayake LP. Viral, bacterial, and fungal infections of the oral mucosa: Types, incidence, predisposing factors, diagnostic algorithms, and management. *Periodontol 2000* 2019;80:148–76. <https://doi.org/10.1111/PRD.12273>.
- Betz SJ. HPV-Related Papillary Lesions of the Oral Mucosa: A Review. *Head Neck Pathol* 2019;13:80. <https://doi.org/10.1007/S12105-019-01003-7>.
- Bhattacharyya I, Cohen DM. Overview of Diagnosis and Management of Oral Mucosal Lesions. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2023;35:ix. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2022.10.011>.
- Borgnakke WS. IDF Diabetes Atlas: Diabetes and oral health – A two-way relationship of clinical importance. *Diabetes Res Clin Pract* 2019;157. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.107839>.
- Carbone M, Arduino PG, Carrozzo M, Gandolfo S, Argiolas MR, Bertolusso G, et al. Course of oral lichen planus: a retrospective study of 808 northern Italian patients. *Oral Dis* 2009;15:235–43. <https://doi.org/10.1111/J.1601-0825.2009.01516.X>.
- Chi Ac, Neville Bw, Krayner Jw, Gonsalves Wc. Oral Manifestations of Systemic Disease. *Am Fam Physician* 2010;82:1381–8.
- Farhangian S, Jaafari-Ashkavandi Z. Clinicopathological Study of Biopsied Tongue Lesions Among 5284 Dental Outpatients in Southern Iran. *J Maxillofac Oral Surg* 2020;21:307. <https://doi.org/10.1007/S12663-020-01450-8>.

- Friedman M, Chow J, Toriumi DM, Storigl T, Grybauskas V. Benign neoplasms of the oral cavity. Clin Plast Surg 1987;14:223–31. [https://doi.org/10.1016/s0094-1298\(20\)30594-0](https://doi.org/10.1016/s0094-1298(20)30594-0).
- Yardimci G, Kutlubay Z, Engin B, Tuzun Y. Precancerous lesions of oral mucosa. World J Clin Cases. 2014;2(12):866-872. doi:10.12998/wjcc.v2.i12.866
- Gaddey HL. Diseases of the tongue. Clin Dermatol 2016;34:458–69. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2016.02.018>.
- Gonzalez M, Riera March A. Tongue Cancer. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; May 2, 2023.
- Gray's Anatomy, 39th Edition: The Anatomical Basis of Clinical Practice. AJNR Am J Neuroradiol 2005;26:2703.
- Green R, Allen LH, Bjørke-Monsen AL, Brito A, Guéant JL, Miller JW, et al. Correction: Vitamin B12 deficiency. Nat Rev Dis Primers 2017;3:17054. <https://doi.org/10.1038/NRDP.2017.54>.
- Gutierrez R, Simon SA. Physiology of Taste Processing in the Tongue, Gut, and Brain. Compr Physiol 2021;11:2489–523. <https://doi.org/10.1002/CPHY.C210002>.
- Hatemi G, Christensen R, Bang D, Bodaghi B, Celik AF, Fortune F, et al. 2018 Update of the EULAR recommendations for the management of Behçet's syndrome. Ann Rheum Dis 2018;77:808–18. <https://doi.org/10.1136/ANNRHEUMDIS-2018-213225>.
- Hermans R, Lenz M. Imaging of the oropharynx and oral cavity. Part I: Normal anatomy. Eur Radiol 1996;6. <https://doi.org/10.1007/BF00180613>.
- Isola G, Santonocito S, Leonardi R, Polizzi A. Oral Lichen Planus and Lichenoid Lesions: Etiopathogenesis, Diagnosis and Treatment. Oral Lichen Planus and Lichenoid Lesions: Etiopathogenesis, Diagnosis and Treatment 2023:1–230. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-29765-6/COVER>.
- Jenzer AC, Pepper T. Oral Surgery, Biopsies. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; July 17, 2023.

- Khan M, Sharma A, Hathorn T, Sandhu M, Rosen R, Riddle N, et al. The Mucosal Manifestations of Syphilis in the Head and Neck. *Ear Nose Throat J* 2025;104:NP868–81. <https://doi.org/10.1177/01455613231165159>
- Kumari S, Gnanasundaram N. Oral manifestations in diabetes mellitus- a review. *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology* 2021;33:352–6. https://doi.org/10.4103/JIAOMR.JIAOMR_325_21.
- de la Cour CD, Sperling CD, Belmonte F, Syrjänen S, Kjaer SK. Human papillomavirus prevalence in oral potentially malignant disorders: Systematic review and meta-analysis. *Oral Dis* 2021;27:431–8. <https://doi.org/10.1111/ODI.13322>.
- LANGAN RC, ZAWISTOSKI KJ. Update on Vitamin B12 Deficiency. *Am Fam Physician* 2011;83:1425–30.
- Li J, Zhang Z, Zhu X, Zhao Y, Ma Y, Zang J, et al. Automatic Classification Framework of Tongue Feature Based on Convolutional Neural Networks. *Micromachines (Basel)* 2022;13. <https://doi.org/10.3390/MI13040501>.
- Li X, Zhang Yin, Cui Q, Yi X, Zhang Yi. Tooth-Marked Tongue Recognition Using Multiple Instance Learning and CNN Features. *IEEE Trans Cybern* 2019;49:380–7. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2017.2772289>.
- Lu SY. Oral Candidosis: Pathophysiology and Best Practice for Diagnosis, Classification, and Successful Management. *J Fungi (Basel)* 2021;7. <https://doi.org/10.3390/JOF7070555>.
- Lucchese A, Di Stasio D, De Stefano S, Nardone M, Carinci F. Beyond the Gut: A Systematic Review of Oral Manifestations in Celiac Disease. *J Clin Med* 2023;12. <https://doi.org/10.3390/JCM12123874>.
- Lyssy LA, Puckett Y. Oral Hemangiomas. *RadiopaediaOrg* 2023. <https://doi.org/10.53347/rid-167900>.
- Mancini A, Inchingolo AM, Marinelli G, Trilli I, Sardano R, Pezzolla C, et al. Topical and Systemic Therapeutic Approaches in the Treatment of Oral Herpes Simplex Virus Infection: A Systematic Review. *Int J Mol Sci* 2025;26. <https://doi.org/10.3390/IJMS26178490>.

- Mauri-Obradors E, Estrugo-Devesa A, Jané-Salas E, Viñas M, López-López J. Oral manifestations of Diabetes Mellitus. A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2017;22:e586–94. <https://doi.org/10.4317/MEDORAL.21655>.
- Mays JW, Sarmadi M, Moutsopoulos NM. Oral manifestations of systemic autoimmune and inflammatory diseases: Diagnosis and clinical management. *Journal of Evidence-Based Dental Practice* 2012;12:265–82. [https://doi.org/10.1016/S1532-3382\(12\)70051-9](https://doi.org/10.1016/S1532-3382(12)70051-9).
- McKinney R, Brizuela M, Olmo H. Physical and Chemical Lesions of the Oral Mucosa. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; January 22, 2025.
- Mills N, Keough N, Geddes DT, Pransky SM, Mirjalili SA. Defining the anatomy of the neonatal lingual frenulum. *Clin Anat* 2019;32:824–35. <https://doi.org/10.1002/CA.23410>.
- Mo X, Zhang J, Fan Y, Svensson P, Wang K. Thermal and mechanical quantitative sensory testing in Chinese patients with burning mouth syndrome--a probable neuropathic pain condition? *J Headache Pain* 2015;16. <https://doi.org/10.1186/S10194-015-0565-X>.
- Murrell DF, Peña S, Joly P, Marinovic B, Hashimoto T, Diaz LA, et al. Diagnosis and management of pemphigus: Recommendations of an international panel of experts. *J Am Acad Dermatol* 2020;82:575-585.e1. <https://doi.org/10.1016/J.JAAD.2018.02.021>.
- Ohta M, Ryu M, Ogami K, Ueda T. Oral Function for Diagnosing Oral Hypofunction in Healthy Young Adults: A Comparison with the Literature. *Bull Tokyo Dent Coll* 2023;64:105–11. <https://doi.org/10.2209/TDCPUBLICATION.2022-0022>.
- PA K, MA A, M J, AJ B, KJ B, RS R. The Dermatologic Oral Examination: Navigating the Oral Dermatoses Map. *J Am Acad Dermatol* 2025. <https://doi.org/10.1016/J.JAAD.2024.10.125>.
- Patil S, Rao R, Majumdar B. Hamartomas of the oral cavity. *J Int Soc Prev Community Dent* 2015;5:347. <https://doi.org/10.4103/2231-0762.164789>.
- da Silva WR, dos Santos AA, Xerez MC, de Moraes EF, de Oliveira PT, da Silveira ÉJD. Recognition and management of vitamin B12 deficiency: Report of four cases with oral manifestations. *Spec Care Dentist* 2022;42:410–5. <https://doi.org/10.1111/SCD.12685>.
- Ślebioda Z, Drożdżyńska J, Karpińska A, Krzyżaniak A, Kasperczak M, Tomoń N, et al. Clinical Characteristics and Risk Factors of Geographic Tongue: A Retrospective

- Analysis of 100 Polish Patients. *Healthcare (Basel)* 2025;13. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE13111299>.
- Soares LEC, Startari DM, Ribeiro ACP, Schussel JL. Geographic Tongue. *Photobiomodulation Therapy in Oral Medicine: Evidence-Based Clinical Protocols* 2023:107–9. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85048-6_20.
- Di Spirito F, Pantaleo G, Di Palo MP, Amato A, Raimondo A, Amato M. Oral Human Papillomavirus Benign Lesions and HPV-Related Cancer in Healthy Children: A Systematic Review. *Cancers (Basel)* 2023;15. <https://doi.org/10.3390/CANCERS15041096>.
- Sree Vijayabala G, Mohanavalli S, Ellampalli H, Janagarathinam VA. Trauma-induced oral mucosal pathologies. *The Saint's International Dental Journal* 2021;5:64–7. https://doi.org/10.4103/SIDJ.SIDJ_15_21.
- Sugawara C, Takahashi A, Kawano F, Kudo Y, Ishimaru N, Miyamoto Y. Intraoral ultrasonography of tongue mass lesions. *Dentomaxillofacial Radiology* 2016;45:20150362. <https://doi.org/10.1259/DMFR.20150362>.
- Suter VGA, Bornstein MM. Ankyloglossia: facts and myths in diagnosis and treatment. *J Periodontol* 2009;80:1204–19. <https://doi.org/10.1902/JOP.2009.090086>.
- Tamiolakis P, Chrysomali E, Sklavounou-Andrikopoulou A, Nikitakis NG. Oral neural tumors: Clinicopathologic analysis of 157 cases and review of the literature. *J Clin Exp Dent* 2019;11:e721–31. <https://doi.org/10.4317/JCED.55944>.
- Węgiel A, Zielinska N, Głowacka M, Olewnik Ł. Hypoglossal Nerve Neuropathies-Analysis of Causes and Anatomical Background. *Biomedicines* 2024;12. <https://doi.org/10.3390/BIOMEDICINES12040864>.
- Witt E, Palla S. [Burning mouth]. *Schmerz* 2002;16:389–94. <https://doi.org/10.1007/S00482-002-0149-Y>.
- Wolowski A, Schwarzbach N, Hörning H. Thermal quantitative sensory testing in burning mouth syndrome. *Clin Oral Investig* 2021;25:3059–66. <https://doi.org/10.1007/S00784-020-03626-5>.
- Yang SW, Lee YS, Chang LC, Yang CH, Luo CM. An anatomical perspective on clinicopathological characteristics and treatment outcomes of dorsal and ventrolateral

tongue leukoplakia after carbon dioxide laser surgery. BMC Oral Health 2021;21.
<https://doi.org/10.1186/S12903-021-01403-8>.

Zaghi S, Shamtoob S, Peterson C, Christianson L, Valcu-Pinkerton S, Peeran Z, et al.
Assessment of posterior tongue mobility using lingual-palatal suction: Progress towards
a functional definition of ankyloglossia. J Oral Rehabil 2021;48:692–700.
<https://doi.org/10.1111/JOOR.13144>.

Zhou X, Wu MZ, Jiang TT, Chen XS. Oral Manifestations of Early Syphilis in Adults: A
Systematic Review of Case Reports and Series. Sex Transm Dis 2021;48:E209–14.
<https://doi.org/10.1097/OLQ.0000000000001538>.

BÖLÜM 2

DENTAL MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMEDE TEMEL İLKELER VE TEKNOLOJİK GELİŞMELER

Emre SÖZEN¹, Kevser SÖZEN²

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-9767-7162> dtemresozen@gmail.com

² Öğr. Gör. Dr., Necmettin Erbakan Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Konya, Türkiye, <https://orcid.org/0009-0005-9561-4674>kevser07@gmail.com

1. GİRİŞ

Dental görüntüleme, tanı ve tedavi planlamasının temel bileşenidir ve günümüzde çoğunlukla iyonizan radyasyon içeren yöntemlere dayanır. Periapikal radyografi, panoramik radyografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) sert dokuların değerlendirilmesinde etkili olsa da yumuşak doku kontrastı ve erken inflamatuvar değişikliklerin görüntülenmesinde sınırlıdır. Ayrıca bu yöntemlerdeki kümülatif radyasyon maruziyeti, özellikle genç ve radyasyona duyarlı hasta gruplarında dikkate değer bir dezavantaj oluşturur. Buna karşın manyetik rezonans görüntüleme (MRG) iyonizan radyasyon kullanmaksızın detaylı yumuşak doku kontrastı sağlayarak önemli bir alternatif sunar (Chockattu, Suryakant, & Thakur, 2018; Reda et al., 2021; Vaddi, Parasher, & Khurana, 2025).

MRG'nin dental alanda uygulanması, yüksek mineralizasyon derecesine sahip olan mine ve dentinin çok kısa T2 süreleri ve düşük serbest proton içeriği nedeniyle tarihsel olarak sınırlı olmuştur. Mineralize dokuların T2 relaksasyon zamanlarının mikrosaniyeler düzeyinde olması, geleneksel T1- ve T2-ağırlıklı sekansların (spin-echo ve gradient-echo gibi) sinyali yeterince hızlı yakalamasını güçleştirir. Bu nedenle konvansiyonel MRG görüntülerinde sert dokular çoğunlukla düşük sinyalli, homojen olmayan alanlar şeklinde ortaya çıkar. Bu fiziksel özellikler dental MRG'nin erken dönemlerde yumuşak doku odaklı bir modalite olarak görülmesine yol açmıştır (Kocasarac, Geha, Gaalaas, & Nixdorf, 2018; Vaddi et al., 2025).

Bununla birlikte MRG'nin üstün yumuşak doku kontrastı, diş pulpası, periodontal ligament, periapikal inflamasyon ve kistik oluşumlar gibi klinik açıdan kritik yapıların değerlendirilmesini mümkün kılar. Periapikal lezyonlarda sıvı içerikli kistlerin T2-ağırlıklı görüntülerde yüksek sinyal göstermesi, fibrotik veya granülatöz dokuların ise izointens (benzer sinyal göstermesi) karakterde olması; lezyonun niteliğinin non-invaziv biçimde belirlenebilmesine olanak tanır. MRG ayrıca lezyonların gerçek boyutlarının ve mandibular kanal veya maksiller sinüs tabanı gibi anatomik yapılarla ilişkilerinin daha doğru değerlendirilebilmesini sağlar. Bu özellikler, MRG'nin belirli klinik durumlarda radyografik yöntemlere tamamlayıcı veya üstün bir rol üstlenebileceğini göstermektedir (Mendes, Rinne, Schmidt, Dagassan-Berndt, & Walter, 2020; Reda et al., 2021).

Son yıllarda geliştirilen kısa T2 sinyallerini yakalamaya yönelik özel pulse sekansları—Ultrashort Echo Time (UTE), Zero Echo Time (ZTE) ve Sweep Imaging With Fourier Transformation (SWIFT)—dental sert dokuların da görüntülenebilmesini mümkün hâle getirmiştir. Bu sekanslar, eko zamanının (Echo Time; TE) mikrosaniyeler düzeyine düşürülmesiyle sert dokularda hızla kaybolan sinyalin yakalanmasını sağlar. Böylece mine ve dentin tabakaları, erken demineralizasyon alanları, çürük lezyonları ve kök çatlakları daha yüksek doğrulukla değerlendirilebilir. Bu teknik gelişmeler, MRG'nin dental alandaki kullanımını yalnızca yumuşak doku ile sınırlı olmaktan çıkararak çok yönlü bir görüntüleme aracı hâline getirmiştir (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

MRG'nin dental uygulamalardaki ilerlemesinde coil tasarımı da belirleyici bir rol oynamıştır. Geleneksel head coil'ler dental anatomide istenen çözünürlüğü sağlayamazken, intraoral coil'ler görüntülenecek bölgeye milimetre düzeyinde yakın yerleşerek sinyal-gürültü oranını biçimde artırır. Kablosuz intraoral coil sistemleri kablolu coil tasarımlarının yarattığı hareket kısıtlılığını azaltırken hasta konforunu da artırır. Ekstraoral yüzey coil'leri ile birlikte kullanıldığında hem lokal hem bölgesel anatomiye yüksek çözünürlükle değerlendirmek mümkün hâle gelir. Bu donanım gelişmeleri, MRG'nin dental kliniklerde uygulanabilirliğini doğrudan artırmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Mendes et al., 2020).

Donanım ve sekans alanındaki bu ilerlemeler, metal restorasyonlar veya ortodontik teller gibi artefakt oluşturan unsurların neden olduğu görüntü bozulmalarını azaltmak için de önemli katkılar sağlamıştır. Kısa TE'ye sahip sekanslar, geniş bant genişliği seçenekleri ve optimize edilmiş görüntü rekonstrüksiyon teknikleri sayesinde dental MRG artık çok daha kararlı görüntüler üretebilmektedir. Metal duyarlılığına bağlı artefaktlar tamamen ortadan kalkmasa da etkileri önemli ölçüde kontrol altına alınabilmektedir. Bu gelişmeler, dental MRG'nin klinik uygulanabilirliğini artıran temel teknik kazanımlardır (Al-Haj Husain et al., 2024; Bohner, Hanisch, Sesma, Blanck-Lubarsch, & Kleinheinz, 2022; Mendes et al., 2020; Vaddi et al., 2025).

Genel olarak değerlendirildiğinde dental MRG, hem sert hem yumuşak dokuların yüksek çözünürlükte, radyasyon içermeyen bir yöntemle değerlendirilmesini mümkün kılan ve teknik sınırlılıklarını modern sekans ve donanım teknolojileriyle giderek aşan bir görüntüleme modalitesidir. Bu bölümde ele alınan temel ilkeler, takip

eden başlıklarda ayrıntılı biçimde açıklanacak olan kısa T2 sekansları, coil tasarımları, artefakt yönetimi ve cihaz teknolojilerinin anlaşılması için gerekli temeli sunmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

2. MRG'nin Fiziksel Temelleri ve Dış Dokularıyla Etkileşimi

MRG vücuttaki hidrojen protonlarının güçlü bir manyetik alan içinde hizalanması, radyo frekans darbesiyle uyarılması ve bu uyarı sonrası enerjinin algılanması prensibine dayanır. Relaksasyon süreçleri olan T1 ve T2, dokuların sinyal karakteristiklerini belirleyerek yumuşak dokular arasında yüksek kontrast elde edilmesini sağlar. Dental anatomide ise dokuların heterojen yapısı, küçük hacimleri ve sert-yumuşak doku kombinasyonu MRG sinyal davranışını karmaşık hâle getirir. Mine ve dentin gibi yüksek mineral içeren sert dokuların düşük proton yoğunluğu ve çok kısa T2 süreleri nedeniyle konvansiyonel MRG sekanslarında sinyalleri hızla kaybolur ve bu dokular görüntüde düşük intensiteli alanlar şeklinde yer alır. Bu durum dental görüntülemede fiziksel sınırlılıkların temelini oluşturur (Kocasarac et al., 2018; Niraj et al., 2016; Vaddi et al., 2025).

MRG'de bir radyo frekans darbesiyle protonların enerjisi artırılır. Radyo frekans darbesi kesildiğinde protonlar eski haline dönerken enerji kaybeder. Bu enerji kaybı ve dengeye dönüş sürecine relaksasyon denir. T1 – T2 Dokuların manyetik rezonans sonrası ne kadar sürede dengeye döndüğünü ifade eden relaksasyon zamanlarıdır. Birimi milisaniyedir.

T1 = Longitudinal relaksasyon süresi

T2 = Transversal relaksasyon süresi

T (Tesla) → Manyetik alan gücü

T1, T2 (Time 1, Time 2) → Relaksasyon süreleri

Manyetik alan gücü arttıkça (1.5T → 3T): T1 süreleri uzar ve T2 çok az değişir veya kısalabilir. İkisinde de T harfi olsa da tamamen farklı şeyi sembolize ederler.

MRI görüntüsünde hem T1 hem T2 etkisi her zaman vardır. Ama cihaz ayarları değiştirilerek; T1 etkisi baskın hâle getirildiyse T1 ağırlıklı veya T2 etkisi baskın hâle

getirilerek T2 ağırlıklı hale getirilebilir. Ayrıca T1’de kısa süre, T2’de ise uzun süre parlaklığa neden olur.

Diş sert dokularının hem yüksek mineralizasyonu hem de mikrosaniyeler düzeyinde T2 relaksasyon süresine sahip olması, geleneksel T1 ve T2 ağırlıklı spin-echo veya gradient-echo sekanslarıyla görüntülenmesini zorlaştırır. Bu sekanslar sinyali ancak milisaniye mertebesinde örnekleyebildiği için mine ve dentinden gelen sinyal örnekleme anına kadar kaybolur. Bu nedenle klasik MRG görüntülerinde diş sert dokuları sıklıkla sinyal içermeyen homojen koyu alanlar şeklinde görülür. Ayrıca mine prizmalarının yönelimi, dentin tübüllerinin yoğunluğu ve mineral içerik varyasyonları lokal manyetik alan dağılımını etkileyerek sinyal kaybını daha da belirgin hâle getirebilir. Bu fiziksel sınırlılık, dental MRG’nin başlangıçta yalnızca yumuşak doku değerlendirmesine uygun bir yöntem olarak kabul edilmesine yol açmıştır (Mendes et al., 2020; Niraj et al., 2016; Vaddi et al., 2025).

Buna karşın yumuşak dokuların yüksek su içerikleri nedeniyle T2 süreleri daha uzun olduğundan, pulpa dokusu, periodontal ligament ve periapikal inflamatuvar alanlar MRG’de güçlü sinyal verir. Bu özellik, MRG’nin yumuşak doku zengin dental anatomide belirgin bir tanısal avantaj sağlamasına olanak tanır. Periapikal inflamasyonun sıvı içeriğine bağlı olarak T2-ağırlıklı görüntülerde hiperintens görünmesi, erken inflamatuvar değişikliklerin radyografik yöntemlere kıyasla daha erken saptanmasını mümkün kılar. Ayrıca pulpa dokusunun sinyal karakteristikleri, vitalite değerlendirmesi için potansiyel bir biyo-belirteç niteliğindedir; inflamasyon, nekroz ve vasküler değişiklikler MRG sinyalinde farklı desenler oluşturabilir. Bu fizyolojik yanıtlar MRG’nin dental tanıdaki rolünü güçlendiren temel biyofiziksel mekanizmalardır (Han et al., 2025; Kocasarac et al., 2018; Reda et al., 2021).

MRG sinyal oluşumu yalnızca dokunun içsel özelliklerine değil, aynı zamanda uygulanan pulse sekansının yapısına son derece duyarlıdır. Geleneksel spin-echo sekansları diş sert dokularından sinyal alamazken, kısa TE’ye (eko zamanı) sahip sekanslar mine ve dentindeki hızlı sinyal kaybını yakalayabilir. Bu nedenle dental MRG teknolojisinin gelişiminde UTE, ZTE ve SWIFT gibi kısa T2 odaklı sekanslar kritik bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bu sekanslar TE’yi mikrosaniyeler düzeyine indirerek sert dokularda dahi ölçülebilir sinyal üretebilmekte, böylece diş sert dokularının MRG ile görüntülenmesini mümkün kılmaktadır. Bu fiziksel uyum,

modern dental görüntüleme yaklaşımlarının temelini oluşturmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Tymofiyeva et al., 2008; Vaddi et al., 2025).

Dental anatomide MRG sinyalini etkileyen bir diğer önemli unsur manyetik duyarlılık (susceptibility) farklarıdır. Restoratif materyaller, implantlar ve ortodontik teller, çevre dokulara kıyasla farklı manyetik özelliklere sahiptir ve bu fark lokal manyetik alan bozulmalarına yol açarak sinyal kaybı, distorsiyon ve geometrik artefaktlara neden olabilir. Manyetik duyarlılık farkı özellikle yüksek manyetik alanlarda (3T ve üzeri) daha belirgin hâle gelir. Bu fenomen, metal restorasyonların veya ortodontik tellerin yakınında sinyal çökmesi ya da büyümüş artefakt alanları şeklinde görülebilir. Dental MRG’de artefakt kontrolünün önemi, ağız içinde bu tür materyallerin son derece yaygın olması nedeniyle daha da artmaktadır (Mendes et al., 2020; Niraj et al., 2016).

Anatomik ve geometrik faktörler de MRG sinyal davranışını etkiler. Dişlerin küçük hacimleri, karmaşık morfolojileri ve ağız içi hareketlere yatkınlıkları sinyal homojenliğini azaltabilir. Küçük yapıların değerlendirilebilmesi için yüksek sinyal-gürültü oranına ve yüksek uzaysal çözünürlüğe ihtiyaç vardır. İntraoral coil tasarımları ile coil’in görüntülenecek bölgeye milimetre düzeyinde yaklaştırılması, sinyal-gürültü oranını dramatik biçimde artırarak bu fiziksel sınırlılıkların büyük ölçüde aşılmasını sağlar. Ayrıca non-Cartesian k-uzayı örnekleme teknikleri ve hızlı 3D sekanslar küçük diş yapılarında sinyal verimliliğini artırarak görüntüleme sürecini daha kararlı hâle getirmektedir. Bu iyileştirmeler, dental MRG’nin fiziksel sınırlılıklarının yalnızca sekanslarla değil, donanım ve rekonstrüksiyon teknolojileriyle de aşılabildiğini göstermektedir (Flügge et al., 2023; Kocasarac et al., 2018; Mendes et al., 2020).

MRG’nin fiziksel özellikleri ile dental dokuların biyomekanik özelliklerinin bir arada değerlendirilmesi, dental MRG’nin neden özel sekanslar ve coil sistemleri gerektirdiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Sert dokuların kısa T2 süreleri, yumuşak dokuların yüksek sinyal potansiyeli, metal restorasyonların neden olduğu manyetik alan bozulmaları ve dental anatomideki küçük yapıların çözünürlük gereksinimi, dental MRG’nin klasik tıbbi MRG uygulamalarından farklı olarak kendine özgü teknik gereklilikler barındırdığını göstermektedir. Bu bölümde açıklanan fiziksel temeller, kısa T2 sekanslarının, gelişmiş coil tasarımlarının ve artefakt azaltma

stratejilerinin neden zorunlu olduğuna ilişkin bilimsel arka planı oluşturmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

3. Kısa T2 Sekansları: UTE, ZTE ve SWIFT

Dental sert dokuların görüntülenmesini güçleştiren temel faktör, mine ve dentinin çok kısa T2 relaksasyon süreleri ve düşük serbest proton yoğunluğudur. Konvansiyonel T1 ve T2 ağırlıklı spin-echo veya gradient-echo sekanslarında sinyal, örnekleme gerçekleşmeden önce kaybolduğu için sert dokular çoğunlukla sinyal içermeyen koyu alanlar olarak görünür. Bu durum uzun yıllar boyunca MRG'nin sert doku görüntülemesinde sınırlı kalmasına yol açmış ve yöntemin daha çok yumuşak dokulara yönelik bir modalite olarak değerlendirilmesine neden olmuştur. Kısa T2 sekanslarının geliştirilmesi, dental MRG'nin bu temel teknik sınırlılığını aşan kritik bir adım olmuştur (Vaddi et al., 2025).

3.1. Ultrashort Echo Time (UTE)

UTE sekansları, adından da anlaşılacağı üzere, TE'nin mikrosaniye mertebesine düşürerek kısa T2'ye sahip dokulardan sinyal elde etmeyi amaçlar. Sert dokulardaki T2 süresi milisaniyelerin çok altında olduğundan, TE'nin ultra kısa tutulması dentin ve mine sinyalinin henüz kaybolmadan yakalanmasına imkân tanır. UTE, dental görüntülemelerde özellikle çürük saptama ve erken demineralizasyonun belirlenmesinde yüksek duyarlılık sunar. Erken çürük lezyonlarının konvansiyonel radyografik yöntemlerden daha önce görünür hâle gelmesi, tekniğin tanısal potansiyelini artırmaktadır. Bununla birlikte, tek bir dişin görüntülenmesinin yaklaşık 25 dakikayı bulabilmesi, klinik uygulamalar için daha kısa çekim sürelerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Ayrıca UTE'nin mineral kaybını ve radyografik olarak görünür hâle gelmeden önce başlayan demineralizasyon süreçlerini saptayabilmesi, dental sert dokularda biyokimyasal değişimlerin MRG ile görüntülenmesine olanak tanımaktadır (Kocasarac et al., 2018).

UTE sekansının sert dokuların görüntülenmesini belirgin ölçüde iyileştirdiği bilinmektedir. Üç boyutlu UTE protokollerinde çürük tespitinin yüksek doğrulukla yapılabilmesi ve özellikle restoratif materyallerin komşuluğunda bulunan lezyonların daha net görünür hâle gelmesi, bu tekniğin önemli avantajları arasındadır. Bununla birlikte UTE ile ölçülen lezyon boyutlarının gerçekte olduğundan daha büyük

görünebilmesi, klinik karar verme sürecinde aşırı tedavi eğilimine yol açabileceğinden dikkat gerektirir. Bu durum, tekniğin yüksek duyarlılığının beraberinde getirdiği özgün değerlendirme gerekliliklerini ortaya koymaktadır (Mendes et al., 2020).

3.2. Zero Echo Time (ZTE)

ZTE sekanslarında uzaysal kodlama gradyanlarının radyo frekans darbesinden önce uygulanması, teorik olarak TE'nin sıfıra yakın değerlere indirgenmesini sağlar ve bu sayede dentin ve mine gibi çok kısa T2 sürelerine sahip dokulardan sinyal alınabilir. Bu yaklaşım, sert dokuların yapısal özelliklerini daha doğru şekilde yakalayarak bilgisayarlı tomografi benzeri görüntülerin elde edilmesine imkân tanır. Yüksek manyetik alanlarda gerçekleştirilen ZTE çekimlerinde mine ve dentin tabakalarının ayrımının yüksek doğrulukla yapılabilmesi ve mikro-CT ile karşılaştırıldığında restoratif materyallerden kaynaklanan artefaktlara karşı daha yüksek tolerans gösterilmesi, dental restorasyonların yaygın olduğu ağız ortamında önemli bir avantaj sağlar (Kocasarac et al., 2018).

ZTE'nin bir diğer önemli özelliği, erken demineralizasyonu yüksek hassasiyetle tespit edebilmesidir. Mikro-BT karşılaştırmalarında başlangıç çürük lezyonlarının daha belirgin şekilde görünmesi ve sert doku mineral yoğunluğundaki küçük değişikliklerin daha iyi ayırt edilebilmesi, tekniğin erken tanı açısından güçlü bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca ZTE'nin dijital dedektör tabanlı radyografi yöntemlerine kıyasla daha erken tanı imkânı sunması ve metal restorasyonların neden olduğu artefaktların belirgin şekilde azalması, yöntemi dental sert dokuların radyasyonsuz değerlendirilmesinde dikkat çekici bir alternatif hâline getirmektedir (Vaddi et al., 2025).

3.3. Sweep Imaging With Fourier Transform (SWIFT)

SWIFT teknolojisi, kısa T2 süreli dokuların görüntülenmesi açısından en önemli yeniliklerden biri olarak kabul edilir. Radyo frekans uyarımı ile sinyal toplama işleminin neredeyse eşzamanlı gerçekleşmesi, T2 süresi son derece kısa olan dokulardan bile sinyal kaybı oluşmadan veri elde edilebilmesini sağlar. Bu özellik, SWIFT'i hem sert hem yumuşak dokuların aynı anda görüntülenmesine olanak tanıyan benzersiz bir teknik hâline getirir. Uygulamada hem pulpa dokusunun hem de mine-dentin yapılarının yüksek çözünürlükle görüntülenebilmesi ve çekim süresinin

klirik açıdan kabul edilebilir düzeylere indirilebilmesi, yöntemin pratik değerini artırmaktadır. Ayrıca SWIFT'in pulpa dokusundaki inflamatuvar değişiklikleri yansıtabilmesi ve reversible–irreversible pulpitis ayırımında potansiyel bir tanısal araç olarak kullanılabilmesi dikkat çekicidir (Kocasarac et al., 2018).

SWIFT'in klinik uygulanabilirliğini artıran en önemli unsurlardan biri, intraoral coil ile birlikte kullanılabilmesidir. İn vivo uygulamalarda intraoral coil eşliğinde mandibular ve maksiller dişlerin yaklaşık 4,5 dakikalık kısa bir sürede görüntülenebilmesi ve 0.3 mm³ düzeyinde nominal çözünürlükle panoramik benzeri görüntüler elde edilebilmesi, tekniğin pratik değerini önemli ölçüde yükseltmektedir. İntraoral coil'in sağladığı yüksek sinyal-gürültü oranı, inferior alveolar sinirin dalları gibi küçük anatomik yapıların net biçimde izlenebilmesine de imkân tanır. Bu özellikler, SWIFT'in hem sert dokular hem de nörovasküler yumuşak doku bileşenleri için dikkat çekici bir görüntüleme yaklaşımı sunduğunu göstermektedir (Kocasarac et al., 2018).

3.4. Kısa T2 Sekanslarının Dental Uygulamalara Katkısı

Üç kısa T2 sekansı değerlendirildiğinde, her birinin dental görüntülemede farklı güçlü yönleri sahip olduğu görülür. UTE, yüksek çözünürlük sağlaması ve erken çürük tespitine olanak vermesiyle öne çıkar. ZTE, BT-benzeri sert doku görüntüleri oluşturabilmesi ve metal artefaktlarına karşı daha dirençli yapısıyla implantoloji ve ayrıntılı sert doku analizleri için uygun bir seçenektir. SWIFT ise hem sert hem yumuşak dokuları aynı anda görüntüleyebilme yeteneği sayesinde özellikle pulpa dokusunun değerlendirilmesinde önemli bir avantaj sunar. Bu teknik gelişmeler, dental MRG'nin yalnızca yumuşak dokuya odaklanan bir modalite olmaktan çıkarak sert dokuları da etkin biçimde görüntüleyebilen, radyasyonsuz ve çok yönlü bir tanısal yöntem hâline gelmesine katkı sağlamıştır (Vaddi et al., 2025).

4. Coil Tasarımları ve Donanım Gelişmeleri

MRG'nin dental alanda kullanılabilirliğini belirleyen en kritik teknik unsurlardan biri coil tasarımıdır. Dental anatominin küçük boyutları, çene hareketlerinin sinyal bozulmasına yol açabilmesi ve ağız boşluğunun sınırlı hacmi, standart baş-boyun coil'lerinin çözünürlük ve sinyal verimliliği açısından yetersiz kalmasına neden olur. Bu nedenle dental kullanım için geliştirilen özel coil sistemleri,

görüntü kalitesini belirgin ölçüde artırmıştır. İntraoral ve ekstraoral yüzey coil'lerinin kısa T2 sekanslarıyla birlikte kullanılması, dental MRG'nin çözünürlüğünü klinik açıdan anlamlı bir seviyeye taşırken, coil teknolojisindeki ilerlemeler kısa T2 sinyallerinin etkili biçimde yakalanmasında kilit bir rol oynamaktadır (Vaddi et al., 2025).

4.1. Ekstraoral (Surface) Coil'ler

Ekstraoral yüzey coil'leri, mandibula ve maksilla üzerine dışarıdan yerleştirilen radyo frekans algılayıcılarıdır. Standart head coil'lere kıyasla dişlere daha yakın konumlanabilmeleri, sinyal-gürültü oranını belirgin biçimde artırır. Coil'in dişle yaklaştırılmasıyla sinyal yoğunluğunun doğrusal olarak artması, coil geometrisinin görüntü kalitesindeki belirleyici rolünü açıkça gösterir. Ayrıca ağız içine yerleştirme gerektirmemeleri, hasta konforunu artıran önemli bir avantajdır ve bu nedenle özellikle geniş alanlı maksillofasiyal görüntülemelerde yaygın şekilde tercih edilir (Kocasarac et al., 2018).

Bu coil'lerin bir diğer önemli katkısı, metal artefaktlarının kontrolüne yardımcı olmalarıdır. Ekstraoral coil kullanımı, metal restorasyonlara bağlı distorsiyonları tamamen ortadan kaldırırsa da uygun şekilde optimize edilmiş sekanslarla birlikte uygulandığında artefaktların etkisini belirgin ölçüde azaltır. Bu özellik, ekstraoral coil'leri özellikle artefakt azaltıcı protokollerle kombine edildiğinde dental sert ve yumuşak dokulardan daha güvenilir sinyal elde edilmesini sağlayan önemli bir bileşen hâline getirir (Mendes et al., 2020).

4.2. İntraoral Coil'ler

Dental MRG'de en önemli teknik ilerlemelerden biri, intraoral coil'lerin geliştirilmesiyle sağlanmıştır. Bu coil'lerin doğrudan ağız içine yerleştirilerek görüntülenecek bölgeye birkaç milimetre yaklaşabilmesi, özellikle küçük dental yapılar için sinyal-gürültü oranını belirgin biçimde artırır ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesine olanak tanır. İntraoral coil ile yapılan görüntülemelerde 200–300 µm düzeyinde çözünürlük sağlanabilmesi ve pulpa–dentin sınırlarının net biçimde izlenebilmesi, yöntemin sert dokuların detaylı anatomisini yansıtmaya kapasitesini güçlendirmektedir. Ayrıca 3D-FLASH protokolleriyle mandibular kanalın dalları gibi küçük anatomik yapıların belirginleşmesi, dental MRG'nin sert dokularda

BT'ye yaklaşan bir ayrıntı düzeyi sunmasını mümkün kılan önemli bir gelişmedir (Kocasarac et al., 2018).

İntraoral coil'lerin SWIFT ve UTE gibi kısa T2 sekanslarıyla birlikte kullanılması, görüntü kalitesindeki artışı daha da belirgin hâle getirir. SWIFT protokollerinde intraoral coil ile yapılan görüntülemelerde hem sert hem yumuşak dokuların eşzamanlı olarak izlenebilmesi, çekim süresinin yaklaşık 4,5 dakikaya kadar düşebilmesi ve 0.3 mm³ düzeyinde nominal çözünürlükle panoramik benzeri görüntülerin elde edilebilmesi, yöntemin klinik açıdan güçlü bir potansiyel taşıdığını gösterir. Bu çözünürlük düzeyi, intraoral coil teknolojisinin dental MRG'nin araştırma uygulamalarından klinik kullanım alanına doğru ilerlemesini destekleyen başlıca unsurlardan biridir (Kocasarac et al., 2018).

4.3. Kablosuz ve İndüktif Coil Sistemleri

K Kablo bağlantılı intraoral coil'ler sinyal kalitesi açısından etkili olsa da hareket kısıtlaması ve hasta konforu açısından bazı zorluklar yaratır. Bu nedenle kablosuz intraoral coil tasarımları önemli bir yenilik olarak dikkat çeker. İndüktif kuplaj ile head coil'e sinyal aktarımı sağlayan bu sistemlerde kablo gereksiniminin ortadan kalkması, kullanım sırasında önemli avantajlar sunar. Kablosuz intraoral coil'lerin öne çıkan özellikleri arasında: ağız içi hareketin daha az kısıtlanması, kablo kaynaklı artefaktların ortadan kalkması, hasta konforunun artması, coil'in ağız içinde daha doğal ve stabil biçimde konumlandırılabilmesi yer alır. Bu tasarım, gingiva ve pulpa dokusunda sinyal yoğunluğunu artırması ve kök seviyesindeki düşük sinyalli alanların daha net izlenebilmesini sağlamasıyla dental MRG'nin geleceğinde önemli bir teknik bileşen olma potansiyeli taşır (Kocasarac et al., 2018).

Ek olarak, indüktif coil tasarımları farklı ağız anatomilerine uyum sağlayabilmeleri nedeniyle ortodonti, implantoloji ve endodonti gibi çeşitli dental uygulamalarda geniş kullanım potansiyeli taşır. Kablosuz coil sistemlerinin, restoratif materyallerin bulunduğu bölgelerde dahi sinyal kalitesini iyileştirebilmesi, coil teknolojisinin yalnızca görüntü netliğini artırmakla kalmayıp artefakt yönetiminde de önemli bir rol üstlenebileceğini ortaya koyar (Mendes et al., 2020).

4.4. Transverse Loop Coil (tLoop) ve Multi-Transverse Loop (mtLoop) Tasarımları

Son yıllarda dental MRG için geliştirilen en dikkat çekici coil sistemlerinden biri tLoop (transverse loop) tasarımıdır. Bu coil, ağız çevresinde yatay düzlemde konumlandırılarak dental ark boyunca geniş bir kapsama alanı oluşturur. tLoop yapılandırmasının tüm çene boyunca daha homojen sinyal dağılımı sağlaması ve özellikle 3D görüntüleme protokollerinde güçlü bir performans sunması, geniş alanlı dental görüntüleme için standardize edilmeye uygun bir prototip niteliği taşıdığını göstermektedir (Kocasarac et al., 2018).

tLoop'un geliştirilmiş versiyonu olan mtLoop (multi-transverse loop), çok kanallı radyo frekans dizisiyle daha yüksek sinyal-gürültü oranı elde edilmesini sağlar. Multi-loop yapı sayesinde coil, hem maksilla hem de mandibulada daha homojen sinyal üretir ve çekim süreleri kısalır. Geniş alan kapsamı, implantoloji, periodontoloji ve travma görüntülemeleri gibi farklı klinik uygulamalarda önemli bir avantaj sunar. Bu coil tasarımları, intraoral coil'lerin sınırlı kapsama alanını tamamlayarak dental MRG'nin hem lokal hem de bölgesel anatomiye aynı çekimde değerlendirebilmesini mümkün hâle getirmiştir (Kocasarac et al., 2018).

5. Dental MRG'de Artefaktlar ve Yönetimi

Dental MRG'nin gelişiminde en önemli teknik engellerden biri artefakt oluşumudur. Diş ve ağız bölgesinde metal restorasyonlar, implantlar, ortodontik teller ve farklı sertlikteki mineral yapıların bir arada bulunması, MRG görüntülerini diğer anatomik bölgelerde görülmeyen ölçüde karmaşık hâle getirir. Artefaktlar yalnızca görüntü kalitesini düşürmekle kalmaz, tanısal yorumlamayı güçleştirerek yanlış pozitif veya yanlış negatif sonuçlara da yol açabilir. Dental restorasyonların bulunduğu bölgelerde sinyal kaybı, distorsiyon, blooming etkisi ve lokal manyetik alan bozulmalarının sık görülmesi, artefakt yönetiminin dental MRG'nin güvenilirliği açısından kritik bir öneme sahip olduğunu gösterir. Bu nedenle ortodontik teller veya retainer bulunan hastaların bazı MRG protokollerinde değerlendirme dışı bırakılması, artefaktların tanısal doğruluk üzerindeki etkisini azaltma amacı taşır (Mendes et al., 2020).

5.1. Manyetik Duyarlılık (Susceptibility) Artefaktları

Manyetik duyarlılık farkı, dental bölgede artefakt oluşumunun başlıca nedenlerinden biridir. Amalgam, altın alaşımları, titanyum implantlar ve nikel-titanyum ortodontik teller gibi materyaller, çevre dokulara kıyasla farklı manyetik özellikler taşır ve bu farklılık manyetik alanın lokal olarak bozulmasına yol açar. Bu bozulma sinyal kaybı, geometrik distorsiyon, blooming etkisi ve k-uzayında (MRG’de sinyallerin frekans şeklinde kaydedildiği ham veri alanı) faz bozulması şeklinde görüntüye yansır. Titanyum implant çevresinde ortaya çıkan manyetik duyarlılık artefaktlarının görüntü kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmesi, implantların bulunduğu bölgelerde MRG protokollerinin dikkatle seçilmesini gerektirir. Uygun sekans parametrelerinin kullanılmasıyla bu etkilerin azaltılabilmesi, metal içeren alanlarda özel teknik optimizasyonların önemini vurgular ve dental MRG’nin bu bölgelerde neden özelleştirilmiş yaklaşımlar gerektirdiğini açıkça ortaya koyar (Niraj et al., 2016).

Ayrıca özellikle amalgam restorasyonlarda distorsiyonun belirgin şekilde ortaya çıkması, buna karşın kompozit materyallerde artefakt oluşumunun çok daha sınırlı olması, restoratif materyalin fiziksel özelliklerinin MRG görüntüsü üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koyar. Bu farklılık, kullanılan materyalin manyetik uyumluluğunun değerlendirilmesinin bile dental MRG’nin doğruluğu ve güvenilirliği açısından önemli olabileceğini göstermektedir (Mendes et al., 2020).

5.2. Restoratif ve Protez Materyallerinden Kaynaklanan Artefaktlar

Restoratif materyaller yalnızca manyetik duyarlılık farkı nedeniyle değil, elektriksel iletkenlikleri ve ağız içindeki geometrik konumlanmaları nedeniyle de artefakt oluşumuna yol açabilir. Metal restorasyonların bulunduğu dişlerde çürük tespitinin doğruluğunun azalması ve bazı durumlarda ortodontik tellerin belirli bölgelerin tamamen değerlendirilebilmesini engellemesi, dental MRG’nin restoratif materyaller içeren ağızlarda dikkatli bir şekilde uygulanması gerektiğini gösterir. Bu nedenle uygun sekans seçimi ve protokol optimizasyonu, tanısal doğruluğun korunması açısından kritik öneme sahiptir (Mendes et al., 2020).

Diğer taraftan, ZTE gibi kısa T2 sekanslarının restoratif materyallerden kaynaklanan artefaktlara karşı daha dirençli olması, özellikle metal restorasyonların

çevresindeki sinyal kaybının daha sınırlı düzeyde kalması açısından önem taşır. Mikro-BT ile yapılan karşılaştırmalarda bu bölgelerde daha stabil ve okunabilir görüntüler elde edilebilmesi, kısa T2 sekanslarının yalnızca sert dokuların görüntülenmesinde değil, aynı zamanda artefakt yönetiminde de önemli bir teknik avantaj sunduğunu ortaya koyar (Kocasarac et al., 2018).

5.3. Hareket Artefaktları

Ağız bölgesi, çiğneme, yutkunma ve dil hareketleri nedeniyle hareket artefaktlarına son derece yatkındır. MRG çekimleri sırasında ağız içine coil yerleştirilmesi veya uzun çekim süreleri, hastalarda huzursuzluk yaratabilir ve incelemenin tamamlanmasını güçleştirebilir. Bu durum, dental MRG’de hareket artefaktlarının yalnızca teknik bir sorun olmaktan çıkarak davranışsal ve klinik bir zorluk hâline geldiğini ortaya koyar. Ayrıca intraoral coil kullanıldığında coil’in sabitlenmesinin zorlaşması, hareket kaynaklı sinyal bozulmalarını artırabilir. Bu nedenle hızlı sekansların tercih edilmesi, çekim sürelerinin kısaltılması ve uygun pozisyonlama stratejilerinin uygulanması dental MRG protokollerinde kritik önem taşır (Mendes et al., 2020).

Çene travması durumlarında hareket artefaktları daha da belirgin hâle gelir. Travmalı hastalarda ağrı, kas spazmı ve bilinç durumundaki değişiklikler, görüntüleme sırasında hareketi artırarak tanısal doğruluğu olumsuz etkileyebilir. Bu tür klinik koşullarda hızlı T1/T2 sekanslarının kullanılması ve düşük alan MRG sistemlerinin tercih edilmesi, hareket kaynaklı bozulmanın azaltılmasına yardımcı olabilir (Han et al., 2025; Van der Cruyssen et al., 2019).

5.4. Artefakt Azaltma Teknikleri (MAVRIC, SEMAC, MSVAT, vb.)

Metal artefaktlarını azaltmaya yönelik gelişmiş sekans teknikleri, dental MRG’nin klinik uygulanabilirliğini artırmada önemli bir rol oynar. MAVRIC (Multi-Acquisition Variable-Resonance Image Combination), SEMAC (Slice Encoding for Metal Artifact Correction) ve MSVAT (Multi-Spectral VAT) gibi yöntemler, metal içeren bölgelerde oluşan bozulmaları sınırlamaya yönelik tasarlanmıştır ve uygun koşullarda görüntü kalitesini belirgin ölçüde iyileştirebilir. Farklı MRG ayarlarının metal artefaktlarını azaltmadaki etkisi, restoratif materyallerin neden olduğu bozulmaların sekans parametreleri ve optimizasyon stratejileriyle kontrol altına

alınabileceğini göstermektedir. Bu da dental MRG protokollerinde metal duyarlılığının azaltılmasına yönelik ayarların önemini vurgular (Mendes et al., 2020).

Kısa T2 sekansları, artefakt yönetiminde belirgin bir teknik avantaj sunar. UTE, ZTE ve SWIFT, metal duyarlılığına karşı konvansiyonel sekanslara oranla daha yüksek tolerans gösterir. Özellikle ZTE'nin sifıra yakın TE sayesinde metal kaynaklı faz bozulmalarını büyük ölçüde azaltabilmesi, bu sekansların metal içeren ağız ortamlarında daha kararlı görüntüler elde edilmesine katkı sağlar. Bu özellikleri nedeniyle kısa T2 sekansları, hem sert doku görüntülemesi hem de artefakt azaltma açısından dental MRG teknolojisinin temel bileşenleri arasında yer alır (Vaddi et al., 2025).

Son olarak, coil seçimi de artefakt yönetiminin önemli bir parçasıdır. İntraoral coil'in lokal alan duyarlılığını artırarak sinyal yoğunluğunu yükseltmesi, restoratif materyallerin neden olduğu sinyal kayıplarının daha belirgin sınırlarla izlenebilmesine olanak tanır. Bu durum, coil tasarımının yalnızca çözünürlük açısından değil, aynı zamanda artefakt kontrolünde de kritik bir rol üstlendiğini ortaya koyar (Kocasarac et al., 2018).

6. Dental MR Sistemleri – Donanım ve Yazılım Gelişmeleri

Dental MRG, uzun yıllar boyunca klinik uygulamalara sınırlı şekilde entegre olmuştur; bunun temel nedenleri arasında küçük anatomik yapıların yüksek çözünürlük gereksinimi, kısa T2 süreleri ve metal artefaktlarına duyarlılık yer alır. Ancak son yıllarda hem donanım hem de yazılım alanında kaydedilen önemli gelişmeler, dental MRG'nin klinik kullanıma daha yakın bir konuma gelmesini sağlamıştır. Özellikle kısa T2 sekanslarının başarısı, yeni coil tasarımlarının sağladığı yüksek sinyal verimliliği ve yüksek çözünürlüklü 3D sekansların geliştirilmesi, dental MRG'nin teknik kapasitesini belirgin ölçüde artırmıştır (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

6.1. Yüksek Alan MRG Sistemleri (3T–7T)

Yüksek manyetik alan gücü (3T ve üzeri), teorik olarak daha yüksek sinyal-gürültü oranı sağlayarak dental yapılara ait mikro düzeyde anatomik detayların görüntülenmesini kolaylaştırır. Özellikle kısa T2 sekanslarıyla birlikte kullanıldığında

sert doku görüntülemesinde belirgin avantaj sağlanabilir; erken demineralizasyonun, pulpa dokusunun sinyal özelliklerinin ve dentin–mine ayrımının daha net biçimde ortaya konması bu avantajlar arasındadır. Bununla birlikte yüksek alan gücünün bir dezavantajı, manyetik duyarlılık artefaktlarının şiddetinin artmasıdır. Metal restorasyonlar yüksek alanlarda daha belirgin distorsiyona neden olabilir ve bu durum görüntü kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle yüksek alan MRG, sağladığı çözünürlük avantajına rağmen artefaktlar açısından dikkatli bir protokol planlaması gerektirir (Mendes et al., 2020; Vaddi et al., 2025).

6.2. Düşük Alan MRG Sistemleri (0.55T ve altı)

Düşük manyetik alan gücü, metal duyarlılığına bağlı artefaktların azalması nedeniyle dental görüntülemelerde önemli bir avantaja sahiptir. Metal restorasyonların bulunduğu ağız ortamında daha stabil görüntüler elde edilebilmesi ve distorsiyon ile sinyal kaybının daha sınırlı olması, bu sistemleri özellikle ortodontik teller, implantlar veya geniş restorasyonların bulunduğu hastalarda daha güvenilir bir seçenek hâline getirir. Ayrıca travmalı hastalarda düşük alan MRG'nin hareket artefaktlarına karşı daha toleranslı olması, acil klinik ortamlarda kullanımını kolaylaştırır. Bu özellikler birlikte değerlendirildiğinde, düşük alan MRG sistemlerinin dental uygulamalarda hem artefakt yönetimi hem de hasta uyumu açısından önemli bir potansiyel sunduğu görülmektedir (Han et al., 2025; Vaddi et al., 2025).

6.3. Dental Odaklı Kompakt MRG Sistemleri

Son yıllarda dental alana özel kompakt MRG cihazlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu cihazların amacı, ağız bölgesine optimize edilmiş çalışma alanı, daha küçük gantri yapısı, kısa çekim süreleri ve maliyetin azaltılması gibi avantajlar sunmaktır. Dental MRG'nin ilerlemesi, yalnızca sekans gelişimine değil aynı zamanda cihaz tasarımının optimize edilmesine de bağlıdır. Küçük FOV (field-of-view), intraoral coil uyumluluğu ve hedefe yönelik radyo frekans sistemlerinin daha etkin biçimde kullanılabilmesi, dental odaklı cihazlarda önemli bir avantaj sağlar. Kompakt dental MRG sistemleri, klinik uygulamaya geçişte kritik bir dönüm noktası niteliğindedir çünkü bu cihazlar hem görüntü kalitesini artırmakta hem de maliyetleri düşürerek teknolojinin daha geniş klinik ortamlarda

kullanılabilir olmasını mümkün kılmaktadır (Idiyatullin, Corum, Nixdorf, & Garwood, 2014; Kocasarac et al., 2018; Sutter, Tresch, Buck, & Pfirrmann, 2014).

Buna ek olarak kompakt MRG cihazlarının, düşük maliyet, kısa sekans süreleri ve hasta uyumunda artış gibi avantajlar sağlaması, dental MRG'nin geleceğinde kritik bir rol oynayacağına işaret eder. Bu tür cihazların geliştirilmesi, dental MRG'nin yalnızca radyoloji kliniklerinde değil, doğrudan diş hekimliği muayenehanelerinde bile uygulanabilir hâle gelmesini mümkün kılacak önemli bir adımdır (Vaddi et al., 2025).

6.4. Yazılım Temelli Gelişmeler: Non-Cartesian k-Space, Rekonstrüksiyon ve Artefakt Azaltma

Dental MRG'deki donanım ilerlemelerini tamamlayan bir diğer kritik alan, gelişmiş yazılım ve görüntü rekonstrüksiyon teknikleridir. Dental anatomide kısa T2 süreleri ve küçük hacimler nedeniyle hızlı örnekleme gereklidir; bu nedenle radial, spiral ve diğer non-Cartesian k-space teknikleri büyük önem taşır. 3D-FLASH ve yüksek çözünürlüklü volumetrik sekansların intraoral coil ile birlikte kullanılması, diş kökleri, periodontal ligament ve mandibular kanal gibi kritik yapıların daha net görüntülenmesine olanak tanır. Ayrıca kısa çekim sürelerinin sağlanabilmesi, klinik uygulamayı kolaylaştırarak zaman kaybını azaltır (Kocasarac et al., 2018).

Metal artefaktlarının azaltılmasında sekans parametrelerinin ve rekonstrüksiyon algoritmalarının optimize edilmesi önemli bir rol oynar. Bant genişliğinin artırılması, yüksek matrix çözünürlüğü kullanılması ve TE'nin kısaltılması, restoratif materyallerin neden olduğu bozulmaların daha sınırlı düzeyde kalmasına yardımcı olur. Bu durum, yazılım temelli optimizasyonun dental MRG görüntü kalitesinde donanım kadar kritik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Mendes et al., 2020; Tartaglino, Flanders, Vinitski, & Friedman, 1994; Timme et al., 2020).

6.5. Donanım ve Yazılım Gelişmelerinin Klinik Etkiye Yansımaları

Donanım (coil tasarımları, manyetik alan gücü, kompakt cihazlar) ve yazılım (sekans optimizasyonu, rekonstrüksiyon teknikleri, artefakt azaltma algoritmaları) alanındaki gelişmeler birlikte değerlendirildiğinde, dental MRG'nin klinik

uygulanabilirliğinin geçmişe kıyasla belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Kısa T2 sekanslarının kullanıma girmesi, coil teknolojilerindeki ilerlemeler ve cihaz optimizasyonu, dental görüntülemelerde yüksek çözünürlük ve güvenilir sinyal elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Donanım ve yazılım bileşenlerinin entegre biçimde çalışması, sert ve yumuşak dokuların aynı anda ve yüksek anatomik doğrulukla görüntülenebilmesini sağlayarak dental tanıda benzersiz bir avantaj sunar. Bu gelişmeler, dental MRG'nin önceki teknik sınırlılıklarının büyük ölçüde aşılabilir hâle geldiğini göstermektedir (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

7. SONUÇ

Dental MRG, sert dokuların kısa T2 süreleri ve metal duyarlılığı gibi başlangıçtaki teknik sınırlılıklarına rağmen, modern kısa T2 sekansları ve gelişmiş coil tasarımlarının ortaya çıkışıyla önemli ölçüde güçlenmiştir. Bu teknolojik ilerlemeler, hem sert hem yumuşak dokuların radyasyonsuz, yüksek çözünürlükte ve anatomik bütünlük içinde değerlendirilebilmesini mümkün kılarak dental MRG'yi giderek daha uygulanabilir ve güvenilir bir görüntüleme seçeneği hâline getirmiştir. Buna rağmen, çözünürlüğün hâlen CBCT'nin gerisinde olması, çekim sürelerinin uzunluğu ve hareket artefaktlarına duyarlılık, dental metallerin oluşturduğu sinyal bozulmaları, maliyet ve erişilebilirlik sorunları ile standart klinik protokollerin tam olarak oturmamış olması dental MRG'nin rutin kullanıma girmesini şu aşamada sınırlamaktadır. Ancak kısa T2'ye duyarlı daha hızlı sekansların, metal artefakt azaltma tekniklerinin ve dental bölgeye özel coil tasarımlarının gelişmesiyle birlikte, dental MRG'nin gelecekte çok daha yaygın, pratik ve klinik olarak değerli bir görüntüleme yöntemi hâline gelmesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Al-Haj Husain, A., Zollinger, M., Stadlinger, B., Özcan, M., Winklhofer, S., Al-Haj Husain, N., . . . Valdec, S. (2024). Magnetic resonance imaging in dental implant surgery: a systematic review. *International journal of implant dentistry*, 10(1), 14.
- Bohner, L., Hanisch, M., Sesma, N., Blanck-Lubarsch, M., & Kleinheinz, J. (2022). Artifacts in magnetic resonance imaging caused by dental materials: a systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(6), 20210450.
- Chockattu, S. J., Suryakant, D. B., & Thakur, S. (2018). Unwanted effects due to interactions between dental materials and magnetic resonance imaging: a review of the literature. *Restorative dentistry & endodontics*, 43(4), e39.
- Flügge, T., Gross, C., Ludwig, U., Schmitz, J., Nahles, S., Heiland, M., & Nelson, K. (2023). Dental MRI—only a future vision or standard of care? A literature review on current indications and applications of MRI in dentistry. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(4), 20220333.
- Han, B., Chen, N., Luo, J., Afkhami, F., Peters, O. A., & Wang, X. (2025). Magnetic Resonance Imaging for Dental Pulp Assessment: A Comprehensive Review. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*.
- Idiyatullin, D., Corum, C. A., Nixdorf, D. R., & Garwood, M. (2014). Intraoral approach for imaging teeth using the transverse B1 field components of an occlusally oriented loop coil. *Magnetic resonance in medicine*, 72(1), 160-165.
- Kocasarac, H. D., Geha, H., Gaalaas, L. R., & Nixdorf, D. R. (2018). MRI for dental applications. *Dental Clinics*, 62(3), 467-480.
- Mendes, S., Rinne, C. A., Schmidt, J. C., Dagassan-Berndt, D., & Walter, C. (2020). Evaluation of magnetic resonance imaging for diagnostic purposes in operative dentistry—a systematic review. *Clinical oral investigations*, 24(2), 547-557.
- Niraj, L. K., Patthi, B., Singla, A., Gupta, R., Ali, I., Dhama, K., . . . Prasad, M. (2016). MRI in dentistry-A future towards radiation free imaging—systematic review. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 10(10), ZE14.
- Reda, R., Zanza, A., Mazzoni, A., Cicconetti, A., Testarelli, L., & Di Nardo, D. (2021). An update of the possible applications of magnetic resonance imaging (MRI) in dentistry: a literature review. *Journal of imaging*, 7(5), 75.

- Sutter, R., Tresch, F., Buck, F. M., & Pfirrmann, C. W. (2014). Is dedicated extremity 1.5-T MRI equivalent to standard large-bore 1.5-T MRI for foot and knee examinations? *American Journal of Roentgenology*, 203(6), 1293-1302.
- Tartaglino, L. M., Flanders, A. E., Vinitski, S., & Friedman, D. P. (1994). Metallic artifacts on MR images of the postoperative spine: reduction with fast spin-echo techniques. *Radiology*, 190(2), 565-569.
- Timme, M., Masthoff, M., Nagelmann, N., Masthoff, M., Faber, C., & Bürklein, S. (2020). Imaging of root canal treatment using ultra high field 9.4 T UTE-MRI—a preliminary study. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(1), 20190183.
- Tymofiyeva, O., Rottner, K., Gareis, D., Boldt, J., Schmid, F., Lopez, M., . . . Jakob, P. (2008). In vivo MRI-based dental impression using an intraoral RF receiver coil. *Concepts in Magnetic Resonance Part B: Magnetic Resonance Engineering: An Educational Journal*, 33(4), 244-251.
- Vaddi, A., Parasher, P., & Khurana, S. (2025). Beyond X-Rays: Unveiling the Future of Dental Diagnosis with Dental Magnetic Resonance Imaging. *Diagnostics*, 15(9), 1153.
- Van der Cruyssen, F., de Faria Vasconcelos, K., Verhelst, P.-J., Shujaat, S., Delsupehe, A.-M., Hauben, E., . . . Jacobs, R. (2019). Metal debris after dental implant placement: A proof-of-concept study in fresh frozen cadavers using MRI and histological analysis. *Int J Oral Implantol (Berl)*, 12(3), 349-356.

BÖLÜM 3

DİŞ HEKİMLİĞİNDE RADYOGRAFİK YORUMLAMA VE GÖZ İZLEME TEKNOLOJİSİ

Sema Nur ERSOY KÖLEGE¹ , Özlem GÖRMEZ²

¹ Arş. Gör., Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, ORCID ID: 0009-0006-9549-8033

² Dr. Öğr. Üyesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, ORCID ID: 0000-0001-9516-6625

1. Giriş

Diş hekimliğinde radyografik görüntüleme, tanı ve tedavi planlamasının vazgeçilmez bir parçası olup, klinik karar verme süreçlerinin temel dayanaklarından birini oluşturmaktadır. Klinik muayene sırasında doğrudan görülemeyen yapılar, radyografik inceleme sayesinde görünür hâle gelmektedir. Radyografik görüntülerin klinik değeri yalnızca teknik olarak doğru şekilde elde edilmelerine değil, aynı zamanda bu görüntülerin klinisyen tarafından doğru ve sistematik biçimde yorumlanmasına da bağlıdır. Bu nedenle radyografik değerlendirme, diş hekimliğinde tanısal doğruluğu ve hasta tedavisinin kalitesini artıran temel bir klinik süreç olarak kabul edilmektedir (An et al., 2007; Choi, 2011). Radyografik yorumlama, çok katmanlı algısal ve bilişsel süreçlerin ardışık veya eş zamanlı olarak devreye girdiği karmaşık bir yapıya sahiptir. Yüksek düzeyde dikkat, görsel ayırt etme becerisi ve klinik bilgi gerektiren çok aşamalı bir süreçtir. Bir görüntünün tanısal açıdan doğru şekilde değerlendirilmesi; önce anormalliğin fark edilmesi (tespit), ardından bunun patolojik olup olmadığının ayırt edilmesi (tanıma), lezyonun özelliklerinin değerlendirilmesi (ayırt etme) ve son olarak tanının oluşturulması gibi bir dizi aşamayı içerir (Waite et al., 2019). Bu aşamaların herhangi birinde ortaya çıkan aksaklıklar tanısal hatalara yol açabilmektedir. Radyografik yorumlamada ortaya çıkan bu algısal ve bilişsel değişkenlerin, yalnızca tanısal doğruluk üzerinden değil, görsel dikkat ve bakış davranışları üzerinden de değerlendirilmesi gerektiği giderek daha fazla vurgulanmaktadır. Bu noktada, radyografik yorumlama sırasında görsel tarama sürecini ölçmeye olanak tanıyan teknolojik yaklaşımlar önem kazanmaktadır (Kim & Mansfield, 2014; Zhang et al., 2023).

Göz izleme teknolojisi, bireylerin görsel bir uyarıyı nasıl incelediğini nesnel olarak değerlendirme olanağı sunan yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Kişinin bakış yönü, odaklanılan noktalar ve bu noktalarda geçirilen süre gibi okülomotor parametreleri özel donanım ve yazılımlar aracılığıyla kaydeden bir sistemdir. Genellikle ekran tabanlı kızılötesi kameralar veya giyilebilir sensörler kullanılarak pupilla hareketleri ile kornea yansımaları gerçek zamanlı olarak izlenmektedir (Holmqvist et al., 2011; Duchowski, 2017; Klaib et al., 2021, Srivastava & Priyadarshi, 2024). Göz takip sistemlerinde sensörler tarafından kaydedilen yansımalar, özel algoritmalar aracılığıyla işlenerek bakış noktalarının konumu, göz hareket örüntüleri ve görsel tarama stratejileri şeklinde anlamlı verilere dönüştürülür (Zammarchi & Conversano, 2021; Dönmez, 2023). Bu teknik; dikkat süreçleri, görsel bilgi işleme davranışları ve bilişsel yükün değerlendirilmesi amacıyla psikoloji, tıp, mühendislik ve pazarlama gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Holmqvist et al., 2011; Duchowski, 2017; Klaib et al., 2021).

Bu bölümün amacı, diş hekimliğinde radyografik yorumlama sürecinin görsel ve bilişsel bileşenlerini göz izleme teknolojisi perspektifinden ele almak; mevcut literatür ışığında bu teknolojinin tanısal performansın değerlendirilmesi ve geliştirilmesindeki rolünü ortaya koymaktır.

2. Göz İzleme Teknolojisi

Göz izleme teknolojisi, bireylerin görsel uyaranları algılama ve işleme süreçlerini doğrudan göz hareketleri üzerinden incelemeyi amaçlayan disiplinler arası bir araştırma alanı olarak gelişmiştir. Göz hareketleri, görsel dikkat ve bilişsel süreçlerle yakından ilişkili olduğundan, bu teknoloji algısal farkındalık, dikkat dağılımı ve karar verme mekanizmalarının nesnel olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle karmaşık görsel uyaranların değerlendirildiği klinik alanlarda, göz izleme yöntemleri tanısal süreçlerin anlaşılmasında önemli bir boşluğu doldurmaktadır (Klaib et al., 2021, Srivastava & Priyadarshi, 2024).

Göz izleme alanındaki ilk çalışmalar, bireylerin çevresel uyaranları nasıl algıladıklarını ve bu uyaranlarla nasıl etkileşime girdiklerini incelemek amacıyla 19. yüzyılın sonlarına kadar uzanan bir geçmişe sahiptir. Fransız oftalmolog Louis Émile Javal, göz hareketlerini yansıtan bir ayna sistemi geliştirerek okuma davranışını incelemiştir. Javal, okuma esnasında gözlerin satır boyunca kesintisiz bir şekilde ilerlemediğini; bunun yerine kısa duraklamalar (fiksasyonlar) ve hızlı sıçrayıcı hareketler (sakkadlar) şeklinde ilerlediğini tanımlayan ilk araştırmacılarından biri olmuştur (Holmqvist & Andersson, 2017). Bu bulgular, okuma ve görsel algı süreçlerine ilişkin modern göz takip çalışmalarının temelini oluşturmuştur. Erken dönem çalışmalar, görsel bilginin sürekli değil, seçici ve aşamalı olarak işlendiğini ortaya koyarak algısal süreçlere dair farklı bir bakış açısı getirmiştir. Ancak bu dönemde kullanılan invaziv yöntemler, bu sistemin klinik ve geniş ölçekli araştırmalarda kullanımını sınırlamıştır (Omur & Aydoğdu, 2017). Teknolojik gelişmelerle birlikte göz izleme sistemleri önemli bir gelişme kaydetmiştir. Günümüzde göz izleme sistemleri hem donanım hem yazılım açısından çok daha hassas, hızlı ve kullanıcı dostu hâle gelmiş, katılımcı fark etmeden bile ölçüm yapabilir duruma gelmiştir. Bu ilerlemeler, göz izlemeyi sadece akademik araştırmalarda değil; pazarlama, reklam, ergonomi, web tasarımı, sürüş simülasyonları, eğitim ve sağlık gibi birçok ticari ve uygulamalı alanda yaygın kullanılan bir teknoloji hâline getirmiştir (Beesley et al., 2019). Zamanla kullanım alanı genişleyen teknoloji, diş hekimliğinde protez, restoratif diş hekimliği ve ortodonti gibi diğer klinik branşlarda uygulanmaya başlanmış; özellikle klinisyenlerin tedavi planlama ve estetik değerlendirme sırasında sergiledikleri görsel davranışların anlaşılmasında önemli katkılar sağlamıştır (Srivastava & Priyadarshi, 2024).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan cihazlar, optik ve elektronik temelli olup kızılötesi ışık kaynakları aracılığıyla pupilla konumunu ve kornea yansımalarını yüksek doğrulukla algılayabilmektedir. Bu sistemler, bireye fiziksel bir müdahale gerektirmeden göz hareketlerini kaydedebilmektedir. Elde edilen ham veriler, gelişmiş yazılım algoritmaları aracılığıyla işlenerek bakış noktaları, fiksasyon süreleri, sakkad uzunlukları ve tarama yolları gibi anlamlı parametrelere dönüştürülmektedir. Göz izleme çalışmalarında en sık kullanılan temel kavramlar fiksasyon ve sakkadlardır. Fiksasyonlar, gözün belirli bir noktada kısa süreli olarak sabit kaldığı ve bilişsel işlemenin yoğunlaştığı anları temsil ederken; sakkadlar, bu odaklanma noktaları arasındaki hızlı geçişleri ifade etmektedir. Literatürde, bilgi işleme ve karar verme süreçlerinin esas olarak fiksasyonlar sırasında gerçekleştiği kabul edilmektedir. Bu nedenle fiksasyon sayısı ve süresi, görsel dikkat yoğunluğu ve bilişsel yük düzeyi hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Buna ek olarak, pupil çapındaki değişimler de zihinsel çaba ve bilişsel zorlanmanın fizyolojik göstergeleri arasında yer almakta ve göz izleme çalışmalarında tamamlayıcı bir parametre olarak kullanılmaktadır (Holmqvist et al., 2011; Duchowski, 2017, Klaib et al., 2021, Srivastava & Priyadarshi, 2024). Elde edilen göz izleme verileri, ısı haritaları (heatmap), bakış izleri (scanpath) aracılığıyla görselleştirilmektedir. Isı haritaları, bir görüntü üzerinde hangi bölgelerin daha yoğun ilgi gördüğünü renk skalalarıyla ortaya koyarken; bakış izleri, gözün görüntü üzerindeki tarama sırasını ve yönünü göstermektedir. Genellikle kırmızı tonları en yüksek bakış yoğunluğunu, sarı ve yeşil tonları ise daha düşük düzeyde odaklanmayı temsil eder. Böylece kullanıcıların ekranın hangi bölgelerine daha fazla dikkat yönelttiği, hangi alanların daha az ilgi gördüğü ve görsel bilginin nasıl dağıldığı hızlı bir biçimde anlaşılabilir (Korkmaz, 2021).

3. Göz İzleme Teknolojisi ve Diş Hekimliği

Diş hekimliği alanında göz izleme teknolojisinin kullanımı görece yeni olmakla birlikte, özellikle radyografik yorumlama, estetik değerlendirme ve tedavi planlama süreçlerinde önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle radyoloji alanında klinisyenlerin radyografik görüntülerde nasıl bir tarama stratejisi izlediğini ve görsel dikkati hangi bölgelere yönlendirdiğini objektif olarak değerlendirmede önemli bir araç hâline gelmiştir (Ashraf et al., 2018, Srivastava & Priyadarshi, 2024).

Bu teknoloji sayesinde deneyimli klinisyenlerle öğrenciler arasındaki görsel dikkat örüntüleri, tanısal karar verme süreçleri karşılaştırılabilmekte; elde edilen veriler, eğitim programlarının geliştirilmesine ve öğrenci performansının iyileştirilmesine yönelik geri bildirimler sunmaktadır. Göz izleme, radyografik değerlendirmelerde gözden kaçan patolojik

bulguların, yetersiz tarama alışkanlıklarının veya bilişsel yüklerle ilişkili dikkat sapmalarının belirlenmesine imkân tanımaktadır. Bu sayede, tanısal hataların yalnızca bilgi eksikliğiyle değil, aynı zamanda yetersiz veya hatalı görsel tarama stratejileriyle ilişkili olduğu daha net biçimde ortaya konulabilmektedir. Öğrencilerin radyografik görüntüler karşısında sergiledikleri bakış davranışları, yalnızca doğru veya yanlış tanı üzerinden değil; tanıya giden sürecin kendisi üzerinden analiz edilebilmektedir. Bu durum, eğitim sürecinde öğrencilerin hangi aşamalarda zorlandığının, hangi kritik bölgeleri gözden kaçırdığının ve bilişsel yüklerinin hangi noktalarda arttığının belirlenmesine olanak tanımaktadır. Böylece öğretim stratejileri, öğrenci performansına özgü veriler ışığında yeniden yapılandırılabilir. Bu bulgular dijital panoramik, periapikal ve üç boyutlu görüntüler için hazırlanan eğitim modüllerinde kullanılmaktadır (Bhadila et al., 2023). Simülasyon temelli diş hekimliği eğitiminde de göz izleme yönteminin entegrasyonu önemli faydalar sağlamıştır. Eğitimciler, simülasyon işlemleri sırasında katılımcıların bakış kalıplarını analiz ederek, belirlenen görsel zorluklara yönelik eğitim içeriklerini yeniden düzenleyebilmektedir. Bu kişiselleştirilmiş yaklaşım, eğitim programlarının etkinliğini artırarak diş hekimlerinin gerçek klinik uygulamalarda gerekli dikkat, odaklanma ve motor becerileri geliştirmesine olanak tanır (Srivastava & Priyadarshi, 2024).

Zamanla kullanım alanı genişleyen teknoloji, protetik ve restoratif diş hekimliği, ağız, diş ve çene cerrahisi ve ortodonti gibi diğer klinik branşlarda da uygulanmaya başlanmıştır (Srivastava & Priyadarshi, 2024). Protetik ve restoratif diş hekimliği alanlarında göz izleme teknolojisi, klinik karar süreçlerinin anlaşılmasına ve iyileştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Protez tasarımının değerlendirilmesi sırasında hekimlerin hangi bölgelere daha fazla dikkat yönelttiğinin analiz edilmesi, estetik ve fonksiyon açısından kritik unsurların belirlenmesine yardımcı olur. Bu tür veriler, hem tasarım sürecinin daha bilinçli yürütülmesini hem de hasta memnuniyetini artıracak daha uygun protezlerin geliştirilmesini desteklemektedir. Benzer şekilde, restoratif diş hekimliği uygulamalarında göz izleme teknikleri, klinisyenlerin işlem sırasındaki görsel odaklanmalarını ortaya koyarak hangi aşamaların daha fazla dikkat gerektirdiğini göstermektedir. Özellikle karmaşık vakalarda bakış hareketlerinin analiz edilmesi hem işlem hatalarının azaltılmasını hem de klinik verimliliğin artırılmasını mümkün kılar. Bu bilgiler, klinik iş akışlarının iyileştirilmesine katkı sağlayarak daha başarılı restoratif sonuçlar elde edilmesine zemin hazırlar (Srivastava & Priyadarshi, 2024).

Ağız, diş ve çene cerrahisi alanında göz izleme teknolojisi, hem klinik muayene sürecinin hem de cerrahi planlamanın değerlendirilmesine olanak tanıyan bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. Bu teknolojinin kullanımı, klinisyenin muayene sırasında hangi bölgelere

odaklandığını, görsel dikkatin nasıl dağıldığını ve potansiyel lezyonların ne ölçüde fark edildiğini objektif biçimde ortaya koymaktadır. Puladi ve ark. (2024), simüle edilmiş oral lezyonlar üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, geleneksel muayene yaklaşımı ile standartlaştırılmış muayene tekniği karşılaştırılmış; göz izleme verilerinin analizi, yapılandırılmış muayene yönteminin lezyonları belirlemede %85,4 oranında doğruluk sağladığını göstermiştir. Bu bulgu, standartlaştırılmış muayene protokollerinin hem eğitim süreçlerinde hem de klinik uygulamalarda dikkati daha verimli yönlendirebildiğini ve tanısal doğruluğu artırabildiğini ortaya koymaktadır.

4. Radyografik Yorumlamayı Etkileyen Faktörler

Radyografik yorumlama, yalnızca görüntü üzerindeki patolojik bulguların fark edilmesiyle sınırlı olmayan; algısal, bilişsel ve çevresel bileşenlerin etkileşimiyle şekillenen karmaşık bir süreçtir. Tıp alanında radyografik yorumlamayı etkileyen faktörler uzun süredir araştırılmakta ve bu süreçte gözlemciye, görüntüye ve çalışma ortamına ilişkin çok sayıda değişkenin tanısal performans üzerinde etkili olduğu gösterilmektedir. Buna karşın, diş hekimliği alanında radyografik yorumlamayı etkileyen faktörleri bütüncül bir yaklaşımla ele alan çalışmaların görece sınırlı olduğu dikkat çekmektedir (Kim & Mansfield, 2014; Waite et al., 2019, Zhang et al., 2023).

Diş hekimliği literatüründe yapılan güncel çalışmalardan birinde Hegde ve ark. (2023), diş radyograflarının yorumlanmasını etkileyen altı temel faktörü tanımlamıştır. Bu faktörler; radyografların yapısal karmaşıklığı, klinik bilgi ve teknik yetkinlik, klinik deneyim, bilişsel yük, zaman baskısı ile diş hekimliği eğitim ve öğretim programlarının yapısı olarak sıralanmıştır. Ayrıca, görüntü kalitesi, çekim hataları ve artefaktlar gibi görüntüye bağlı faktörlerin yanı sıra; hastanın ağrı durumu, anksiyete düzeyi veya diş hekimi korkusu gibi hasta kaynaklı değişkenlerin de radyografik yorumlama sürecini dolaylı olarak etkileyebileceği bildirilmiştir (Hegde et al., 2024). Bu çok boyutlu yapı göz önünde bulundurulduğunda, mevcut literatür temel alınarak radyografik yorumlamayı etkileyen faktörler beş ana başlık altında ele alınabilir: (1) klinisyene bağlı faktörler, (2) görüntüye bağlı faktörler, (3) çevresel faktörler, (4) zaman baskısı ve (5) bilişsel yük. Aşağıda bu faktörler, radyografik yorumlama süreci üzerindeki etkileri açısından ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

4.1. Klinisyene bağlı faktörler: Radyografik yorumlamanın doğruluğunu belirleyen temel unsurlardır. Eğitim düzeyi, klinik deneyim ve bireysel özellikler; görsel tarama stratejilerinin oluşumunu ve patolojik bulguların fark edilme olasılığını doğrudan etkilemektedir. Bu faktörler, aynı radyografik görüntünün farklı klinisyenler tarafından farklı şekillerde

değerlendirilmesine yol açabilmektedir. Deneyimli klinisyenlerin daha hedefe yönelik ve sistematik bakış paternleri geliştirdiği, deneyimsiz gözlemcilerin ise daha düzensiz ve geniş tarama eğiliminde olduğu gösterilmiştir. Ayrıca literatür genel olarak, deneyimli klinisyenlerin radyografik görüntüleri hem daha kısa sürede hem de daha yüksek doğrulukla değerlendirebildiklerini göstermektedir (Diniz et al. 2010, Grünheid et al., 2013, Bussanelli et al., 2015). Radyografik görüntülerin doğru biçimde değerlendirilmesi yalnızca klinik deneyime bağlı bir süreç değildir; aynı zamanda anatomik yapıların normal görünüşleri ve olası varyasyonları konusunda sağlam bir teorik bilgi birikimi gerektirir. Tipik radyografik anatomiye iyi bilmek, görüntü üzerinde ayırt edici ipuçlarının tanınmasını kolaylaştırmakta ve doğru yorumlama için temel oluşturmaktadır. Bu nedenle başarılı bir değerlendirme sürecinde temel bilgilerin yeterliliği, deneyim kadar belirleyici bir unsur hâline gelmektedir. Normal anatomik yapıların ve varyasyonların doğru tanınması, patolojik bulguların daha erken fark edilmesini sağlamakta ve yorumlama hatalarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Kaya, 2017). Bu bağlamda, klinik deneyimin yanı sıra kapsamlı teorik altyapıya sahip olmak anatomik detayların ve patolojik süreçlerin yorumlanmasını kolaylaştırarak tanısal doğruluğun artmasına yardımcı olmaktadır (Amin et al., 2025).

4.2. Görüntüye bağlı faktörler: Radyografik yorumlama sürecinin teknik boyutunu oluşturmaktadır. Radyografik görüntüleme diş hekimliğinde temel bir araç olmakla birlikte çoğu intraoral veya panoramik yöntem, üç boyutlu anatomiye iki boyutlu düzleme aktardığı için bazı sınırlılıklar taşır. Bu bağlamda süperpozisyon, farklı anatomik yapıların görüntüde üst üste binmesi sonucu detayların maskelenmesi ve ayırt edilebilirliğin azalması olarak tanımlanır. Anatomik yapıların yoğun biçimde süperpoze olduğu bölgelerde, detayların görülememesi tanısal doğruluğun azalmasına yol açabilir (Şener & Baksı, 2013). Radyografik görüntülerde artefakt, gerçek anatomik yapıları yansıtmayan, görüntüleme sürecindeki teknik hatalardan, cihazdan ya da hastadan kaynaklanan istenmeyen görüntüler olarak tanımlanır. Bu bozulmalar sensör hasarı, tarayıcıya bağlı hatalar, ışık sızıntıları, metalik restorasyonların oluşturduğu ışın saçılması veya hastanın hareketi gibi çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir. Artefaktlar, gerçek yapıları taklit edebildikleri veya anatomik detayları maskeleyebildikleri için tanısal doğruluğu olumsuz etkileyebilir; özellikle küçük lezyonların gözden kaçmasına veya var olmayan patolojilerin yanlışlıkla yorumlanmasına yol açabilir. Düşük kaliteli veya hatalı çekilmiş radyograflarda, klinisyenlerin görsel dikkati daha uzun süre aynı alanlarda yoğunlaşmakta ve bilişsel yük artmaktadır (Taylor-Weetman et al., 2004, Şener & Baksı, 2013, Yurttaş, 2024). Radyografik tanının doğruluğu, patolojik oluşumların yapısal özellikleriyle de yakından ilişkilidir. Lezyonun boyutu, anatomik konumu ve çevre dokularla olan ilişkisi, görüntüde

oluşturduğu kontrastı ve bu nedenle fark edilebilirliğini doğrudan etkiler. Özellikle küçük ya da erken evre lezyonlar, çevre dokudan yeterince ayrıışmadıkları için radyografide gözden kaçabilmekte; mine dokusunda belirli bir demineralizasyon eşiği gerçekleşmedikçe çürük lezyonlarının görünür hâle gelmediği bildirilmiştir (Wenzel, 2014; Abdelaziz, 2023). Wenzel (2006), dijital ve konvansiyonel görüntüleme sistemlerine ilişkin çalışmasında da bu durumu desteklemektedir. Radyografik tespit başarısının büyük ölçüde lezyonun boyutuna ve yarattığı yoğunluk farkına bağlı olduğunu; küçük radyolusent değişikliklerin erken dönemde sınırlı görünürlük sergileyebildiğini belirtmektedir. Ayrıca iki boyutlu görüntülemeye sık görülen anatomik süperpozisyonun, özellikle aproksimal bölgelerde lezyon sınırlarını belirsizleştirerek gerçek boyutun olduğundan farklı algılanmasına yol açabileceği ifade edilmiştir. Bu durum, lezyonun anatomik konumu ve çevre yapılar tarafından gölgelenme olasılığıyla birlikte değerlendirildiğinde, tanısal süreci zorlaştıran önemli bir etkidir. Sonuç olarak, patolojinin yapısal özellikleri (boyutu, lokalizasyonu ve çevre dokulardan ayrışma kapasitesi gibi) radyografik görünürlüğün temel belirleyicileridir. Bu nedenle radyografik değerlendirme sırasında lezyonun konumu, beklenen kontrast düzeyi ve olası süperpozisyon etkileri göz önünde bulundurulmalı; gerektiğinde farklı açılardan alınan ek görüntülerle tanısal doğruluk desteklenmelidir.

4.3. Çevresel faktörler: Radyografik değerlendirme sırasında klinisyenin çalışma koşullarını kapsamaktadır. Aydınlatma düzeyi, ekran özellikleri, ortam gürültüsü ve ergonomik düzen, görsel konforu ve dikkat süresini etkileyerek tanısal performansı dolaylı biçimde belirleyebilmektedir. Ortam ışığının düzeyi ve ekran yüzeyindeki yansımalar, görüntü kontrastını azaltarak özellikle düşük yoğunluk farklarına sahip erken lezyonların algılanmasını güçleştirebilmekte; bu durum tanısal doğruluğu olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle klinik ortamlarda monitörlerin pencere, tavan lambası gibi doğrudan ışık kaynaklarının karşısına yerleştirilmemesi ve mümkünse yansıma önleyici yüzeye sahip ekranların kullanılması önerilmektedir (Hastie et al., 2021; Amin et al., 2025). Ortam aydınlatma düzeyi de tanısal performans üzerinde belirleyicidir. Parlak çevresel ışık, özellikle düşük kontrastlı patolojilerin görünürlüğünü azaltırken; daha düşük ışık seviyeleri erken evre çürük gibi minimal yoğunluk farklarının daha kolay algılanmasına katkı sağlayabilmektedir (Alsaati et al., 2018). Benzer şekilde monitörün çözünürlüğü, parlaklık ve kontrast ayarları, gri ton ayrımını doğrudan etkileyerek normal anatomik yapılar ile patolojik bulguların ayırt edilmesini belirgin biçimde etkilemektedir. Ergonomik olmayan çalışma pozisyonları, ekran–göz mesafesinin uygun olmaması ve monitörün yanlış açıyla konumlandırılması hem görsel konforu azaltmakta hem de uzun süreli değerlendirmelerde dikkat sürekliliğini bozabilmektedir (Amin et al., 2025).

Buna ek olarak, çevresel gürültü gibi dikkat dağıtıcı uyaranlar, radyografik görüntülerin sistematik taranmasını zorlaştırarak bilişsel yükü artırmakta ve tanısal performansın düşmesine neden olabilmektedir. Ortamdaki ani ve beklenmedik sesler, kişinin mevcut göreve odaklanmasını zorlaştırmakta ve artan uyarılmışlık düzeyi bilişsel işlemlerde kesintilere yol açabilmektedir (Kobald et al., 2016). Radyograf yorumlamasının yüksek dikkat gerektiren bir süreç olduğu göz önünde bulundurulduğunda, çevresel gürültünün kontrol altına alınması tanısal doğruluğu artırmaya yönelik basit ancak etkili bir önlem olarak değerlendirilebilir.

4.4. Zaman Baskısı: Zaman baskısı, bir görevin tamamlanması için mevcut sürenin yetersiz olması şeklinde tanımlanan ve karar verme süreçlerini zorlaştıran önemli bir stres unsurudur (Roxburgh, 2004; Kleiner, 2014; Denovan & Dagnall, 2019). İş yaşamında zaman baskısı, görevlerin öngörülen sürede tamamlanmasını güçleştirirken, tıp alanında ise yüksek dikkat ve bilişsel işlem gerektiren klinik değerlendirme süreçlerini daha da karmaşık hâle getirmektedir (Teuchmann et al., 1999; DeDonno & Demaree, 2008; Kleiner, 2014). Hekimler bir gün içinde farklı zorluk düzeylerine sahip çok sayıda vakayla ilgilenmekte ve her biri için sınırlı süreye sahip olmaktadır; bu durum zaman baskısının kaçınılmaz bir parçası hâline gelmesine ve klinik hizmet kalitesini etkilemesine neden olabilmektedir (McMurray et al., 2000; Wetterneck et al., 2002). Literatürde zaman baskısının stres, tükenmişlik, iş tatminsizliği ve yetersiz bakım gibi sonuçlarla ilişkili olduğu bildirilmektedir (ALQahtani et al., 2016). ALQahtani ve ark. (2016), zaman baskısının tanısal performans üzerindeki etkisini doğrudan incelemiş ve tıp hekimlerinin zaman kısıtı altında normal koşullara benzer doğrulukta tanı koyabildiğini, ancak karmaşık vakaları değerlendirmek için basit vakalara kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla süreye ihtiyaç duyduklarını göstermiştir. Buna rağmen, daha uzun inceleme süresi her zaman daha doğru tanıya ulaşmayı sağlamamış; bazı zor vakaların büyük çoğunluk tarafından doğru tanımlanamadığı bildirilmiştir. Bu bulgular, karmaşık klinik problemlerin daha fazla analitik düşünme gerektirdiğini, ancak bilgi birikimi ve klinik şemaların tanısal başarıda zaman faktöründen daha belirleyici olduğunu göstermektedir. Diş hekimliği alanında da benzer şekilde yoğun klinik tempo ve zaman kısıtlamalarının karar verme süreçlerini etkilediği bilinmektedir (Chapman et al., 2015; Chipchase et al., 2017). Plessas ve ark. (2019), bitewing radyografların zaman baskısı altında değerlendirilmesine yönelik yaptıkları çalışmalarında, zaman baskısının radyografik yorum doğruluğunu azalttığını, özellikle hassasiyeti düşürdüğünü ve buna bağlı olarak yorumlama hatalarında artışa yol açtığını ortaya koymuştur.

4.5. Bilişsel Yük: Radyolojik görüntülerin değerlendirilmesi, yoğun dikkat, bilgi işleme ve karar verme gerektiren çok yönlü bir bilişsel süreçtir. Bu süreçte ortaya çıkan bilişsel yük, kişinin aynı anda işlemeye çalıştığı bilgi miktarının artmasıyla ilişkilidir ve zihinsel zorlanmaya

yol açabilir. Klinik uygulamalarda artan iş temposu, yüksek görüntü hacmi ve zaman kısıtlamaları, bilişsel yükün yükselmesine ve buna bağlı olarak tanısal doğrulukta azalmaya neden olabilmektedir. Nitekim Kasalak ve ark. (2023) çalışmasında, radyologların yoğun çalışma günlerinde bilgisayarlı tomografi raporlarında hata oranlarının belirgin düzeyde arttığı bildirilmiştir; bu bulgu bilişsel yükün tanısal performans üzerindeki etkisini göstermektedir. Zihinsel yorgunluk, artan bilişsel yükün en belirgin sonuçlarından biri olup radyografik yorumlamayı doğrudan etkiler. Uzun süre aralıksız görüntü okuyan klinisyenlerde dikkat ve görsel algı süreçlerinin zayıfladığı, odaklanma becerisinin azaldığı ve buna paralel olarak tanısal doğrulukta düşüş görüldüğü çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Örneğin Krupinski (2010), bir tam günlük görüntü okuma sonrasında radyologlarda hem görsel yorgunluk belirtilerinin arttığını hem de tanısal başarılarının azaldığını rapor etmiştir. Benzer şekilde Hanna ve ark. (2018), gece nöbeti sonrası yorulmuş radyologların hem daha uzun inceleme sürelerine ihtiyaç duyduğunu hem de doğru tanıya ulaşmak için daha fazla fiksasyon yaptığını bildirmiştir. Bu bulgular, zihinsel yorgunluğun karar verme hızını ve doğruluğunu olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Dikkat dağınıklığı da bilişsel yükü artıran ve hata riskini yükselten önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Klinik ortamlarda telefon aramaları, danışma talepleri veya ani çevresel gürültüler gibi dış etmenler, zihinsel süreci kesintiye uğratarak bilgi işlemenin sürekliliğini bozabilir. Bu durum kritik ayrıntıların gözden kaçmasına zemin hazırlayabilmektedir (Balint et al., 2014). Bilişsel yük kuramı da benzer şekilde, her görevin çalışma belleğinden belirli bir bilişsel kaynak talep ettiğini; bu kapasite aşıldığında performansın kaçınılmaz olarak düştüğünü belirtir (Sweller, 1988; Sweller et al., 1998). Bilişsel yükün fizyolojik göstergelerinden biri olan göz bebeği çapı da bu bağlamda önem taşır. Göz bebeği büyümesi, zihinsel etkinlik ve problem çözme süreçleri ile ilişkili olup bilişsel zorlanmanın bir biyobelirteci olarak kullanılmaktadır (Hess & Polt, 1964). Güncel literatürde, özellikle diş hekimliği eğitiminde bu ilişkinin göz izleme yöntemleri ile incelendiği araştırmalar bulunmaktadır. Diş hekimliği öğrencilerinin panoramik radyograf yorumlama süreçleri sırasında fiksasyon sayısı, fiksasyon süresi ve pupil tepkileri gibi metriklerin Tobii Pro Spark gibi ekran tabanlı sistemlerle kaydedildiği çalışmalar, öğrencilerin bilişsel yük düzeyini nesnel olarak ortaya koymaktadır (Borchers et al., 2023). Castner ve ark. (2020), uzman diş hekimlerinin yalnızca en karmaşık anomalilerde belirgin pupil genişlemesi sergilediğini, öğrencilerin ise vakaların çoğunda daha yüksek pupil yanıtı verdiğini bildirmiştir. Bu farklılık, uzmanların sahip olduğu görsel şemalar ve otomatikleşmiş tanısal stratejilerin bilişsel yükü azalttığını; öğrencilerin ise daha yoğun zihinsel işlem gerektiren bir değerlendirme süreci yürüttüğünü düşündürmektedir.

5. Avantajlar ve Sınırlılıklar

Göz izleme teknolojisinin diş hekimliğinde kullanımına ilişkin en önemli avantajlarından biri, görsel dikkat ve bilişsel süreçlerin öznel değerlendirmelerden bağımsız olarak nesnel, nicel ve tekrarlanabilir verilerle ortaya konulabilmesidir. Özellikle radyografik yorumlama gibi yüksek düzeyde algısal ve bilişsel beceri gerektiren süreçlerin ayrıntılı biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır (Holmqvist et al., 2011; Duchowski, 2017). Klinik deneyim, eğitim düzeyi ve uzmanlık alanı gibi değişkenlerin görsel tarama stratejileri üzerindeki etkileri, göz izleme metrikleri sayesinde somut olarak gösterilebilmekte; bu durum tanısal performansın altında yatan mekanizmaların daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır (Bhadila et al., 2023, Hegde et al., 2023).

Eğitim açısından değerlendirildiğinde, göz izleme teknolojisi bireyselleştirilmiş geri bildirim olanakları sunması bakımından önemli bir avantaja sahiptir. Öğrencilerin radyografik görüntülerde hangi alanlara odaklandıkları, hangi kritik bölgeleri gözden kaçırdıkları ve tanısal süreci nasıl yapılandırıdıkları objektif biçimde analiz edilebilmektedir. Bu sayede eğitim programları, yalnızca sonuç odaklı değil süreç odaklı olarak da değerlendirilebilmekte ve yapılandırılabilir (Bhadila et al., 2023, Srivastava & Priyadarshi, 2024).

Bununla birlikte, göz izleme teknolojisinin tanısal uygulamalarda kullanımına ilişkin bazı metodolojik ve uygulamaya özgü sınırlılıkları da bulunmaktadır. Kullanılan cihazların yüksek maliyeti ve veri toplama ile analiz süreçlerinin teknik uzmanlık gerektirmesi, bu teknolojinin klinik ve eğitim ortamlarında yaygın kullanımını kısıtlayan temel faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle göz izleme verilerinin yorumlanması ve klinik pratiğe taşınması konusunda hâlâ araştırma gerektiren alanların bulunduğu ve teknolojideki gelişmeler sayesinde, göz izleme cihazlarının kullanımının iyileştirilmeye çalışıldığı bildirilmektedir (Holmqvist et al., 2011, Duchowski, 2017, Brunyé et al., 2019).

6. Sonuç

Radyografik yorumlama; algısal farkındalık, görsel tarama stratejileri, klinik bilgi ve bilişsel süreçlerin eş zamanlı olarak etkileşimde bulunduğu karmaşık bir yapıya sahiptir. Göz izleme teknolojisi, bu çok boyutlu sürecin doğrudan gözlemlenemeyen bileşenlerini nesnel ve nicel verilerle ortaya koyarak tanısal performansın altında yatan mekanizmaların daha net biçimde anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji sayesinde klinik performans, yalnızca elde edilen tanısal sonuçlar üzerinden değil, karar verme sürecinin kendisi ve bu süreci oluşturan görsel-bilişsel örüntüler üzerinden de değerlendirilebilmektedir. Bu bağlamda göz

izleme teknolojisi, diş hekimliğinde tanısal süreçlerin değerlendirilmesine süreç odaklı ve kanıta dayalı bir yaklaşım kazandırmakta; eğitim programlarının yapılandırılması, tanısal hataların belirlenmesi ve klinik karar verme mekanizmalarının geliştirilmesi açısından tamamlayıcı bir araç olarak öne çıkmaktadır. Teknolojik altyapı ve analiz yöntemlerindeki ilerlemelerle birlikte, göz izleme verilerinin yapay zekâ destekli sistemlerle bütünleştirilmesinin, gelecekte radyografik yorumlama süreçlerinin standartlaştırılmasına ve tanısal performansın artırılmasına önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelaziz, M. (2023). Detection, diagnosis, and monitoring of early caries: The future of individualized dental care. *Diagnostics*, 13(24), 3649. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13243649>
- ALQahtani, D. A., Rotgans, J. I., Ahmed, N. E., Alalwan, I. A., & Magzoub, M. E. M. (2016). The influence of time pressure and case complexity on physicians' diagnostic performance. *Health Professions Education*, 2(2), 99-105.
- Alsaati, M., Deahl, T., & Noujeim, M. (2018). Effect of Different Lighting Conditions on Proximal Caries Detection in Dental School Settings. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 12(7).
- Amin, A., Butt, M., & Ngu, R. (2025). Variables affecting the interpretation of digital dental radiographs. *Faculty Dental Journal*, 16(2), 58-63.
- An, S. Y., An, C. H., & Choi, K. S. (2007). Efficacy of panoramic radiography as a screening procedure in dental examination compared with clinical evaluation. *Korean Journal of Oral and Maxillofacial Radiology*, 37, 83–86.
- Ashraf, H., Sodergren, M. H., Merali, N., Mylonas, G., Singh, H., & Darzi, A. (2018). Eye-tracking technology in medical education: A systematic review. *Medical Teacher*, 40(1), 62-69.
- Balint, B. J., Steenburg, S. D., Lin, H., Shen, C., Steele, J. L., & Gunderman, R. B. (2014). Do telephone call interruptions have an impact on radiology resident diagnostic accuracy? *Academic Radiology*, 21(12), 1623–1628. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2014.08.001>
- Beesley, T., Pearson, D., & Le Pelley, M. (2019). Eye tracking as a tool for examining cognitive processes. In *Biophysical measurement in experimental social science research* (pp. 1-30). Academic Press.
- Bhadila, G. Y., Alsharif, S. I., Almarei, S., Almashaikhi, J. A., & Bahdila, D. (2023). Visual analysis of panoramic radiographs among pediatric dental residents using eye-tracking technology: A cross-sectional study. *Children*, 10(9), 1476.

- Borchers, C., Eder, T. F., Richter, J., Keutel, C., Huettig, F., & Scheiter, K. (2023). A time slice analysis of dentistry students' visual search strategies and pupil dilation during diagnosing radiographs. *PLOS ONE*, 18(6), e0283376.
- Brunyé, T. T., Drew, T., Weaver, D. L., & Elmore, J. G. (2019). A review of eye tracking for understanding and improving diagnostic interpretation. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s41235-019-0159-2>
- Bussaneli, D. G., Boldieri, T., Diniz, M. B., Lima Rivera, L. M., Santos-Pinto, L., & Cordeiro, R. D. C. L. (2015). Influence of professional experience on detection and treatment decision of occlusal caries lesions in primary teeth. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 25(6), 418-427.
- Castner, N., Appel, T., Eder, T., Richter, J., Scheiter, K., Keutel, C., & Kasneci, E. (2020). Pupil diameter differentiates expertise in dental radiography visual search. *PLOS ONE*, 15(5), e0223941.
- Chapman, H. R., Chipchase, S. Y., & Bretherton, R. (2015). Understanding emotionally relevant situations in primary care dental practice: 1. Clinical situations and emotional responses. *British Dental Journal*, 219(8), 401-409.
- Chipchase, S. Y., Chapman, H. R., & Bretherton, R. (2017). A study to explore if dentists' anxiety affects their clinical decision-making. *British Dental Journal*, 222(4), 277-290.
- Choi J. W. (2011). Assessment of panoramic radiography as a national oral examination tool: review of the literature. *Imaging Science in Dentistry*, 41(1), 1–6. <https://doi.org/10.5624/isd.2011.41.1.1>
- DeDonno, M. A., & Demaree, H. A. (2008). Perceived time pressure and the Iowa Gambling Task. *Judgment and Decision making*, 3(8), 636-640.
- Denovan, A., & Dagnall, N. (2019). Development and evaluation of the chronic time pressure inventory. *Frontiers in Psychology*, 10, 2717.
- Diniz, M. B., Rodrigues, J. A., Neuhaus, K. W., Cordeiro, R. C., & Lussi, A. (2010). Influence of examiner's clinical experience on the reproducibility and accuracy of radiographic examination in detecting occlusal caries. *Clinical Oral Investigations*, 14, 515-523.

- Donmez, M. (2023). A systematic literature review for the use of eye-tracking in special education. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6515-6540.
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. London: Springer.
- Grünheid, T., Hollevoet, D. A., Miller, J. R., & Larson, B. E. (2013). Visual scan behavior of new and experienced clinicians assessing panoramic radiographs. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 2(1), e3-e7.
- Hanna, T. N., Zygmunt, M. E., Peterson, R., Theriot, D., Shekhani, H., Johnson, J. O., & Krupinski, E. A. (2018). The effects of fatigue from overnight shifts on radiology search patterns and diagnostic performance. *Journal of the American College of Radiology*, 15(12), 1709–1716. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.12.019>
- Hastie, T., Venske-Parker, S., & Aps, J. K. (2021). Impact of viewing conditions on the performance assessment of different computer monitors used for dental diagnostics. *Imaging Science in Dentistry*, 51(2), 137-145.
- Hegde, S., Gao, J., Vasa, R., & Cox, S. (2023). Factors affecting interpretation of dental radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(2), 20220279. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20220279>
- Hegde, S., Gao, J., Vasa, R., Nanayakkara, S., & Cox, S. (2024). Australian Dentist's Knowledge and Perceptions of Factors Affecting Radiographic Interpretation. *International Dental Journal*, 74(3), 589-596.
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1964). Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. *Science*, 143(3611), 1190-1192.
- Holmqvist, K., & Andersson, R. (2017). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms and measures*. Lund Eye-Tracking Research Institute.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.

- Kasalak, Ö., Alnahwi, H., Toxopeus, R., Pennings, J. P., Yakar, D., & Kwee, T. C. (2023). Work overload and diagnostic errors in radiology. *European Journal of Radiology*, 167, 111032. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.111032>
- Kaya, T. (2017). Radyografinin Temel Prensipleri ve Radyografik Yorumda Temel İlkeler. *Türk Radyoloji Seminerleri*, 5, 1-22.
- Kim, Y. W., & Mansfield, L. T. (2014). Fool me twice: Delayed diagnoses in radiology with emphasis on perpetuated errors. *American Journal of Roentgenology*, 202(3), 465-470.
- Klaib, A. F., Alsrehin, N. O., Melhem, W. Y., Bashtawi, H. O., & Magableh, A. A. (2021). Eye tracking algorithms, techniques, tools and applications with an emphasis on machine learning and Internet of Things technologies. *Expert Systems with Applications*, 166, 114037. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114037>
- Kleiner, S. (2014). Subjective time pressure: General or domain specific?. *Social Science Research*, 47, 108-120.
- Kobald, S. O., Getzmann, S., Beste, C., & Wascher, E. (2016). The impact of simulated MRI scanner background noise on visual attention processes as measured by the EEG. *Scientific Reports*, 6(1), 28371.
- Korkmaz, A. (2021). *Görsel içeriklerdeki örtük bilginin göz izleme tekniği ile ortaya çıkarılması* (Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Krupinski, E. A. (2010). Current perspectives in medical image perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(5), 1205–1217. <https://doi.org/10.3758/APP.72.5.1205>
- McMurray, J. E., Linzer, M., Konrad, T. R., Douglas, J., Shugerman, R., Nelson, K., & SGIM Career Satisfaction Study Group. (2000). The work lives of women physicians: results from the physician work life study. *Journal of general internal medicine*, 15, 372-380.
- Omur, S., & Aydoğdu, A. G. (2017). Eye tracking researches and new trends in the field of communication. *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 3(4), 1296-1307.

- Plessas, A., Nasser, M., Hanoch, Y., O'Brien, T., Delgado, M. B., & Moles, D. (2019). Impact of time pressure on dentists' diagnostic performance. *Journal of dentistry*, 82, 38-44.
- Puladi, B., Coldewey, B., Volmerg, J. S., Grunert, K., Berens, J., Rashad, A., & Lipprandt, M. (2024). Improving detection of oral lesions: Eye tracking insights from a randomized controlled trial comparing standardized to conventional approach. *Head & Neck*, 46(10), 2440-2452.
- Roxburgh, S. (2004). "There just aren't enough hours in the day": the mental health consequences of time pressure. *Journal of Health and Social Behavior*, 45(2), 115-131.
- Srivastava, R., & Priyadarshi, S. (2024). Eyes on the future: Navigating dentistry's revolution with eye tracking technology. *International Dental Journal of Student Research*, 12(2), 69-73. <https://doi.org/10.18231/j.idjsr.2024.014>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10(3), 251-296.
- Şener, E., & Baksı, B. G. (2013). Periodontal patolojilerin tanısında kullanılan görüntüleme teknikleri: Bölüm 1. İki ve üç boyutlu görüntüleme sistemleri. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 34(2), 79-85.
- Taylor-Weetman, K., Wake, B., & Hyde, C. (2004). *Comparison of panoramic and bitewing radiography for the detection of dental caries: A systematic review of diagnostic tests*. University of Birmingham.
- Teuchmann, K., Totterdell, P., & Parker, S. K. (1999). Rushed, unhappy, and drained: an experience sampling study of relations between time pressure, perceived control, mood, and emotional exhaustion in a group of accountants. *Journal of Occupational Health Psychology*, 4(1), 37-54.
- Waite, S., Grigorian, A., Alexander, R. G., Macknik, S. L., Carrasco, M., Heeger, D. J., & Martinez-Conde, S. (2019). Analysis of Perceptual Expertise in Radiology - Current Knowledge and a New Perspective. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 213. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00213>

- Wenzel, A. (2006). A review of dentists' use of digital radiography and caries diagnosis with digital systems. *Dentomaxillofacial Radiology*, 35(5), 307-314.
- Wenzel, A. (2014). Radiographic display of carious lesions and cavitation in approximal surfaces: Advantages and drawbacks of conventional and advanced modalities. *Acta Odontologica Scandinavica*, 72(4), 251-264.
- Wetterneck, T. B., Linzer, M., McMurray, J. E., Douglas, J., Schwartz, M. D., Bigby, J., & Society of General Internal Medicine Career Satisfaction Study Group. (2002). Worklife and satisfaction of general internists. *Archives of Internal Medicine*, 162(6), 649-656.
- Yurttaş, M. (2024). Analysis of artifacts and errors on intraoral phosphor plate radiographs: A retrospective study. *Galician Medical Journal*. <https://doi.org/10.21802/E-GMJ2024-A06>
- Zammarchi, G., & Conversano, C. (2021). Application of eye tracking technology in medicine: A bibliometric analysis. *Vision*, 5(4), 56. <https://doi.org/10.3390/vision5040056>
- Zhang, L., Wen, X., Li, J. W., Jiang, X., Yang, X. F., & Li, M. (2023). Diagnostic error and bias in the department of radiology: a pictorial essay. *Insights into Imaging*, 14(1), 163.

BÖLÜM 4

DENTAL MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMENİN KLİNİK UYGULAMALARI

Emre SÖZEN¹, Kevser SÖZEN²

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-9767-7162> dtemresozen@gmail.com

² Öğr. Gör. Dr., Necmettin Erbakan Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Konya, Türkiye, <https://orcid.org/0009-0005-9561-4674>kevser07@gmail.com

1. GİRİŞ

Dental tanı süreçlerinde görüntüleme yöntemleri, hem hastalıkların erken tanınmasında hem de tedavi planlamasında kritik bir bileşen oluşturmaktadır. Geleneksel iki boyutlu radyografiler ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), kemik yapılarının değerlendirilmesinde yaygın kullanılan araçlar olmakla birlikte, yumuşak dokuların sınırlı kontrastıyla, süperspozisyon artefaktlarıyla ve iyonizan radyasyon içerikleriyle klinik uygulamalarda bazı kısıtlılıklara sahiptir. Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), iyonizan radyasyon içermemesi, yumuşak dokuların belirgin kontrastla görüntülenmesi ve son yıllarda kısa T2 dokular için geliştirilmiş sekansların uygulanabilir hâle gelmesiyle dental görüntüleme alanında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle UTE (Ultrashort Echo Time), ZTE (Zero Echo Time) ve SWIFT (Sweep Imaging with Fourier Transformation) gibi kısa T2 odaklı gelişmiş görüntüleme teknikleri, mine ve dentin gibi daha önce sinyal üretmesi zor olan dental sert dokuların doğrudan görüntülenmesine olanak sağlayarak dental MRG'nin kapsamını genişletmiştir (Kocasarac, Geha, Gaalaas, & Nixdorf, 2018; Vaddi, Parasher, & Khurana, 2025).

MRG'nin temel fiziksel mekanizması, hidrojen protonlarının güçlü bir manyetik alan içinde hizalanması ve radyofrekans (RF) uyarımı sonrası relaksasyon süreçlerinin (T1 ve T2) dokuların su ve yağ içeriklerine göre farklı sinyaller üretmesi üzerine kuruludur. Bu nedenle pulpa, periodontal ligament, temporomandibular eklem (TME) disk ve kapsülü gibi yüksek su içeriğine sahip anatomik yapılar MRG ile yüksek çözünürlükte değerlendirilebilmektedir. Konvansiyonel MRG sekanslarının mine ve dentin gibi mineralize dokularda sinyal oluşturmaması uzun yıllar dental kullanım alanlarını sınırlamış; ancak yukarıda belirtilen kısa T2 sekanslarının geliştirilmesi ile hem sert hem yumuşak dokular tek bir incelemede değerlendirilebilir hâle gelmiştir. Bu teknik dönüşüm, özellikle erken dönem çürük tespiti, pulpa-dentin sınırının gösterilmesi, periodontal inflamasyonun tanınması ve implant çevresi kemik değerlendirmesi gibi alanlarda MRG'nin tamamlayıcı değil, bazı klinik sorularda potansiyel olarak üstün bir yöntem olabileceğini göstermektedir (Reda et al., 2021; Vaddi et al., 2025).

Görüntüleme kalitesini belirleyen önemli bir başka faktör, coil tasarımı ve manyetik alan gücüdür. Yeni geliştirilen intraoral coil'ler, yüzeye yakın küçük anatomik bölgelerde sinyal-gürültü oranını önemli ölçüde artırarak daha kısa sürede yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesini sağlamaktadır. Ekstraoral yüzey coil'lerinin modüler çok kanallı yapıları ise daha geniş görüş alanlarında dentoalveoler yapıları net bir şekilde

gösterebilmektedir. Hem düşük alan (0.55–1.5 T) hem yüksek alan (3–7 T) sistemlerde yapılan çalışmalar, uygun sekans optimizasyonu ile dental MRG'nin klinik kullanıma uygun sürelerde gerçekleştirilebildiğini ortaya koymaktadır. Son yıllarda coil tasarımındaki ilerlemeler ile birlikte MRG'nin implant çevresi kemik dokusunun değerlendirilmesi, sinirlerin lokalizasyonu, travma sonrası yumuşak-doku hasarının gösterilmesi ve periapikal inflamasyonun radyasyonsuz olarak izlenmesi gibi alanlarda giderek daha fazla uygulanabilir hâle geldiği bildirilmektedir (Al-Haj Husain et al., 2024; Husain et al., 2025).

Teknolojik ilerlemelere paralel olarak artefakt azaltma yöntemlerinin gelişmesi de dental MRG'nin klinik kabul edilebilirliğini artırmıştır. Diş hekimliğinde sıklıkla karşılaşılan metal restorasyon ve implantların neden olduğu manyetik duyarlılık artefaktları, yüksek bant genişliği kullanımı, MAVRIC SL ve MSVAT-SPACE gibi metal artefakt azaltıcı algoritmalar ve kısa TE'ye sahip görüntüleme protokolleri ile önemli ölçüde kontrol altına alınabilmektedir. Ayrıca ZTE ve Black Bone benzeri sekansların kemik kenarlarını belirgin biçimde gösterebilmesi, kırık hatlarının ve kemik konturlarının iyonizan radyasyon gerektirmeden değerlendirilebilmesini sağlamaktadır. Bu gelişmeler, dental MRG'nin yalnızca araştırma amaçlı bir yöntem olmaktan çıkarak klinik karar süreçlerine doğrudan katkı sağlayabilecek bir modaliteye dönüşmekte olduğunu göstermektedir (Bohner, Hanisch, Sesma, Blanck-Lubarsch, & Kleinheinz, 2022; Vaddi et al., 2025).

2. TME Görüntülemesi

TME, çene fonksiyonlarının sağlıklı şekilde sürdürülebilmesi için karmaşık bir biyomekanik yapıya sahiptir ve disk-konfigürasyonu, eklem kapsülü, sinovyal yapı ve çevre yumuşak dokuların ayrıntılı değerlendirilmesi gerekir. MRG, iyonizan radyasyon içermemesi ve yüksek yumuşak doku kontrastı sağlaması nedeniyle TME'nin değerlendirilmesinde uzun yıllardır referans yöntem olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda geliştirilen hızlı 3D sekanslar, artırılmış sinyal-gürültü oranı sağlayan yüzey coil'leri ve hareket artefaktlarını azaltan teknikler sayesinde TME'nin hem statik hem fonksiyonel görüntülemesi daha kısa sürede ve daha yüksek çözünürlükle gerçekleştirilebilmekte; bu da internal derangement, diskin anterior veya posterior yer değiştirmesi, disk perforasyonları ve eklem sıvı birikimi gibi patolojilerin ayrıntılı şekilde görüntülenmesini mümkün kılmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

MRG, TME'nin anatomik ve fonksiyonel bileşenlerini yumuşak doku kontrastı ile ortaya koyabildiği için özellikle disk pozisyonu değerlendirmesinde diğer görüntüleme yöntemlerine üstünlük sağlar. Geleneksel T2 ağırlıklı sekanslar sinovyal sıvının tespitinde duyarlı iken, proton yoğunluklu kesitler disk morfolojisinin değerlendirilmesinde yüksek tanısal doğruluk sağlar. Ayrıca Black Bone ve benzeri kısa T2 odaklı sekansların gelişmesiyle birlikte kondilin kortikal sınırları ve subkondral kemik özellikleri de daha belirgin hâle gelmiş, böylece hem disk hem kemik yapıları aynı inceleme içinde değerlendirme olanağı doğmuştur. Bu durum, TME bozukluklarında eklem ilişkilerinin bütüncül analizine katkı sağlamakta ve gerek konservatif gerek cerrahi tedavi kararlarında daha ayrıntılı klinik bilgi sunmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Reda et al., 2021).

Özel coil tasarımları TME görüntü kalitesinde belirleyici rol oynamaktadır. Ekstraoral yüzey coil'leri ile eklem bölgesine yakın, yüksek sinyal-gürültü oranına sahip görüntüler elde edilebilmekte; bu sayede ince disk yapıları ve kapsül bölgesindeki inflamatuvar değişiklikler daha net ortaya konulabilmektedir. Yüksek manyetik alan gücüne sahip sistemlerde (3 T gibi) çözünürlüğün artması, eklemde minimal effüzyon, retrodiscal dokudaki ödem ve sinovyal proliferasyon gibi erken evre patolojilerin dahi tanınmasını kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte yüksek alan MRG'de görülebilen manyetik duyarlılık artefaktları, artmış bant genişliği ve daha uygun sekans seçimi ile önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu teknik iyileştirmeler, TME değerlendirmesinde MRG'nin standardize edilebilir ve tekrar edilebilir bir tanısal yöntem olmasını desteklemektedir (Bohner et al., 2022; Vaddi et al., 2025).

Fonksiyonel TME MRG uygulamaları, ağız açma-kapama sırasında disk ve kondilin dinamik ilişkisini değerlendirmeye olanak tanıyarak klinik muayeneye saptanması güç olan hareket bozukluklarını görüntüleyebilmektedir. Hızlı görüntüleme sekansları ve hareket düzeltme algoritmaları sayesinde eklem diskinin translasyon hareketi, açılma sırasında diskin yerine dönüp dönmediği ve kondilin eklem çukuru içindeki rotasyonel hareketi yüksek zaman çözünürlüğüyle takip edilebilmektedir. Bu yöntem özellikle redüksiyonlu veya redüksiyonsuz disk deplasmanlarının ayırt edilmesinde, ileri evre dejeneratif eklem bozukluklarının dinamik seyrinin belirlenmesinde ve cerrahi planlamada önemli avantajlar sağlamaktadır (Kocasarac et al., 2018; Reda et al., 2021).

TME patolojilerinin değerlendirilmesinde MRG'nin tanısal gücünü artıran bir diğer unsur, eklem çevresindeki kemik ve yumuşak dokularda eş zamanlı değişiklikleri ortaya koyabilmesidir. Yumuşak dokuların sinyal özellikleri ile kemik iliği ödemi, subkondral

skleroz, kistik değişiklikler ve kondilde morfolojik düzensizlikler aynı inceleme içinde değerlendirilebilmekte; böylece hem inflamatuvar hem dejeneratif süreçler hakkında kapsamlı bilgi elde edilmektedir. Kısa T2 sekansları ile kemik konturlarının belirginleşmesi, ZTE ve Black Bone sekanslarının kondiler korteksin detaylı görüntülenmesine olanak sağlaması TME patolojilerinin erken tanısına katkıda bulunmaktadır. Bu bütüncül yaklaşım hem konservatif tedavilerin başarısını artırmakta hem de cerrahi girişim gereken olgularda daha doğru anatomik bilgi sunmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Lee et al., 2020; Vaddi et al., 2025).

3. Endodontik Uygulamalar ve Dental Pulpa Değerlendirmesi

Dental pulpanın anatomik yapısının ve patolojik durumlarının değerlendirilmesi, endodontik tanı ve tedavi planlamasının en kritik aşamalarından biridir. Ancak konvansiyonel radyografiler ve KIBT, pulpa dokusunun doğrudan görüntülenmesine olanak vermediğinden, pulpa vitalitesi, inflamasyon varlığı veya yapısal değişiklikler hakkında sınırlı bilgi sağlar. MRG, yumuşak doku kontrastının yüksek olması sayesinde pulpa dokusunun morfolojisini ve patolojik durumlarını ionizan radyasyon içermeden değerlendirebilme potansiyeli sunmaktadır. MRG'nin bu alanda kullanılabilirliğini artıran en önemli gelişmeler arasında, SWIFT, UTE ve ZTE gibi kısa T2'ye duyarlı sekansların uygulanabilir hâle gelmesi yer almakta; bu sekanslar dentin ve pulpa gibi farklı dokuları eş zamanlı olarak görüntüleyebilmekte ve özellikle erken dönem endodontik patolojilerin saptanmasında avantaj sağlamaktadır (Han et al., 2025; Vaddi et al., 2025).

Pulpa dokusunun inflamatuvar değişiklikleri MRG'de sinyal yoğunluğu farklılaşmaları şeklinde ortaya konulabilir. T2 ağırlıklı sekanslarda inflamasyonun artmış sıvı içeriği nedeniyle hiperintens görünmesi, vital ve nekrotik pulpa ayırımında tamamlayıcı bilgi sunmaktadır. Ayrıca periapikal bölgelerde oluşan ödem, granülomatöz dokular ve kistik oluşumlar, yağ baskılı kesitlerde belirgin kontrast farklarıyla değerlendirilebilmekte; bu sayede geleneksel radyografilerde ayırt edilmesi zor olan erken inflamatuvar değişiklikler daha net şekilde tanımlanabilmektedir. MR görüntülemenin periapikal bölgelerdeki yumuşak doku yanıtlarını ortaya koyabilmesi, özellikle kronik inflamasyonun erken evrelerde takibi ve tedavi planlamasında önemli avantaj sağlamaktadır (Han et al., 2025; Vaddi et al., 2025).

İntraoral coil'lerin geliştirilmesi, endodontik görüntülemelerde çözünürlüğü belirgin ölçüde artırmış ve pulpa odası ile kök kanallarının sınırlarının daha ayrıntılı biçimde görüntülenebilmesini mümkün kılmıştır. Bu coil tasarımları, küçük hacimli bölgelerde sinyal yoğunluğunu yükselterek yüksek çözünürlüklü 3D görüntüler elde edilmesini sağlamakta; böylece kök kanal anatomisi, varyasyonları, internal rezorpsiyon alanları ve kompleks kanal sistemleri geleneksel yöntemlere göre daha detaylı değerlendirilebilmektedir. Yüksek sinyal gürültü oranının sağladığı bu görüntüler, endodontik girişim öncesi kanal morfolojisinin belirlenmesinde ve özellikle retreatment planlamasında klinik doğruluğu artırmaktadır. Ayrıca kısa görüntüleme sürelerinin mümkün hâle gelmesi, intraoral coil kullanımını klinik açıdan daha uygulanabilir yapmaktadır (Han et al., 2025; Kocasarac et al., 2018; Seracchiani et al., 2020).

Endodontik tedavi sonrası kanal dolgu materyallerinin oluşturduğu metalik artefaktlar, KIBT'de sıklıkla görüntü kalitesini bozan faktörler arasında yer alır. Buna karşın MRG'de gutta-perka gibi non-metal içerikli materyaller anlamlı manyetik duyarlılık oluşturmadığı için artefakt oluşumu minimaldir. Bu özellik, tedavi sonrası periapikal iyileşme sürecinin radyasyonsuz biçimde izlenebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca kemik iliği ödemi, fibrotik dokular ve rejeneratif süreçlerin sinyal değişiklikleri ile tanımlanabilmesi, endodontik tedavi başarısının değerlendirilmesinde yeni bir görüntüleme yaklaşımı sunmaktadır. ZTE ve SWIFT gibi sekansların kemik ve yumuşak dokuları eş zamanlı görüntüleyebilmesi, hem kök ucu bölgesindeki kemik cevabını hem de periapikal dokuların inflamatuvar yanıtını aynı protokol içinde değerlendirmeyi mümkün kılarak klinik takibi kolaylaştırmaktadır (Han et al., 2025; Vaddi et al., 2025).

Pulpa duyarlılığı testlerinde MRG'nin gelecekte tamamlayıcı veya alternatif bir yöntem olabileceği yönünde bulgular da giderek güçlenmektedir. Pulpa içindeki vasküler yapılar ve kanlanma düzeyleri, özellikle T1 ağırlıklı sekanslar ve bazı perfüzyon temelli görüntüleme teknikleriyle değerlendirilebilmekte; bu da vitalite testlerinin objektif bir görüntüleme yöntemine dönüştürülmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Yumuşak doku sinyal özelliklerinin detaylı analizinin, reversible pulpitis ile irreversible pulpitis ayırımında kullanılabilirliği üzerine yapılan araştırmalar, MRG'nin ilerleyen yıllarda endodonti pratiğinde daha geniş bir role sahip olabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım, klasik sensitif testlerin sınırlamalarını aşabilecek daha güvenilir bir tanısal çerçeve sunma potansiyeline sahiptir (Han et al., 2025; Reda et al., 2021).

4. Operatif ve Restoratif Diş Hekimliğinde MRG Kullanımı

Dental çürüklerin erken teşhisi ve restorasyonların altındaki sekonder lezyonların belirlenmesi, operatif diş hekimliğinde doğru tedavi planlamasının temel unsurlarıdır. Konvansiyonel radyografiler demineralizasyonu ancak belirli bir yoğunluk kaybı sonrası gösterebildiğinden, çürüğün başlangıç evreleri çoğu zaman tespit edilemeyebilir. MRG, yumuşak doku kontrastının yanı sıra kısa T2 sekansları ile mine ve dentin gibi sert dokularda sinyal oluşumunu mümkün kılan yeni tekniklerin geliştirilmesi sayesinde erken çürük lezyonlarının değerlendirilmesinde giderek daha fazla araştırılan bir yöntem hâline gelmiştir. SWIFT, UTE ve ZTE türü sekanslar, mine içindeki mineral kaybı bölgelerini sinyal değişiklikleri aracılığıyla gösterebilmekte; bu da radyografide görünmeyen erken lezyonların non-invaziv olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Mendes, Rinne, Schmidt, Dagassan-Berndt, & Walter, 2020; Vaddi et al., 2025).

Restoratif materyallerin altında gelişen sekonder çürüklerin tespiti, klasik radyografilerde süperspozisyon ve artefaktlar nedeniyle önemli ölçüde zorlaşabilmektedir. MRG, metalik olmayan restorasyonlarda manyetik duyarlılık farkı oluşturmadığından görüntüyü bozmaz ve restorasyon altı dokuların daha net değerlendirilmesine imkân tanır. Kısa T2 sekansları ve yüksek çözünürlüklü 3D görüntüleme protokolleri, restorasyon marjinlerinde oluşan mikrosızıntı ve başlangıç demineralizasyon odaklarının belirlenmesinde önemli potansiyel sunmaktadır. Ayrıca MRG'nin hem sert hem yumuşak dokuyu aynı inceleme içinde gösterebilmesi, restoratif girişimlerin pulpa yakınlığını ve dentin-pulpa kompleksi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi kolaylaştırmakta; bu durum özellikle derin çürüklerde tedavi yaklaşımını yönlendirebilmektedir (Mendes et al., 2020; Reda et al., 2021).

Operatif diş hekimliğinde bir diğer önemli sorun, görüntü kalitesini düşüren metal restorasyon artefaktlarıdır. KIBT ve panoramik görüntülerde metal restorasyonların oluşturduğu saçılım ve sert ışın etkileri tanısal doğruluğu azaltırken, MRG'de metalik restorasyonların manyetik duyarlılığa bağlı artefaktları sekans optimizasyonu, artan bant genişliği ve metal artefakt azaltıcı algoritmalar sayesinde önemli ölçüde kontrol altına alınabilmektedir. Özellikle MAVRIC ve MSVAT-SPACE gibi tekniklerin kullanılması, dental materyallerin neden olduğu bozulmaları azaltarak restorasyon çevresi dokuların daha net görüntülenmesini sağlamaktadır. Bu teknik iyileştirmeler, MRG'nin restoratif değerlendirmede daha güvenilir bir araç hâline gelmesine katkı sunmaktadır (Bohner et al., 2022; Vaddi et al., 2025).

Mine, dentin ve çürük yapısının değerlendirilmesinde MRG'nin potansiyel kullanım alanlarından biri de minimal invaziv tedavi planlamasında ortaya çıkmaktadır. Kaviteasyonun derecesi, lezyonun dentin tübüllerindeki yayılımı ve pulpa yakınlığı gibi klinik açıdan kritik bilgiler, yüksek çözünürlüklü MRG ile invaziv bir işlem gerektirmeden elde edilebilmektedir. Böylelikle restoratif tedavinin sınırlarının belirlenmesi, remineralizasyon tedavilerine karar verilmesi veya invaziv işlem gerekliliğinin değerlendirilmesi daha objektif bir zemine oturmaktadır. Delineasyonun bu denli net oluşu, gelecekte MRG'nin çürük yönetimi protokollerinin kişiselleştirilmesi için kullanılabileceğini göstermektedir (Kocasarac et al., 2018; Mendes et al., 2020).

Operatif ve restoratif diş hekimliği açısından bir başka önemli uygulama alanı ise mikroçatlakların ve mine-dentin sınırındaki yapısal bütünlüğün değerlendirilmesidir. Konvansiyonel radyografilerde görülemeyen bu ince çatlaklar, yüksek çözünürlüklü kısa T2 sekansları ile belirginleşebilmekte; bu da kırık riskini artıran yapısal zayıflıkların erken tanınmasını sağlamaktadır. Ayrıca termal değişimlere bağlı mine-dentin bağlantısındaki stres bölgelerinin sinyal farklılıklarıyla belirlenebilmesi, restorasyon tasarımının biyomekanik olarak optimize edilmesine katkı sunabilir. Bu yönüyle MRG, restoratif planlamada yalnızca patolojiyi tespit eden değil, aynı zamanda restorasyonun uzun dönem başarısını etkileyen parametrelerin değerlendirilmesini sağlayan bir araç hâline gelmektedir (Idiyatullin, Corum, Nixdorf, & Garwood, 2014; Reda et al., 2021; Vaddi et al., 2025).

5. Periodontal Dokular ve Alveoler Kemiğin Değerlendirilmesi

Periodontal dokuların değerlendirilmesi, klinik muayene ve radyografiler ile desteklenmekle birlikte, bu yöntemlerin yumuşak dokuları sınırlı göstermesi ve kemik kaybının ancak belirli bir eşik üzerinde görünebilmesi nedeniyle erken tanıda yetersiz kalabilmektedir. MRG, periodontal ligament, gingiva, alveoler mukozanın yanı sıra kemik iliği ve kortikal kemik sınırlarının non-invaziv olarak görüntülenmesine olanak sağlayan bir yöntem olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle kısa T2'ye duyarlı sekansların gelişmesi ile alveoler kemiğin konturları belirginleşmiş, periodontal ligament boşluğu gibi ince yapılar bile yüksek çözünürlükte değerlendirilebilir hâle gelmiştir. Bu durum periodontal hastalıkların erken tanısında ve progresyonunun izlenmesinde MRG'nin potansiyel rollerini artırmaktadır (Reda et al., 2021; Vaddi et al., 2025).

Alveoler kemiğin morfolojisi ve mineralizasyon paternleri, periodontal hastalıkların klinik yönetiminde belirleyici unsurlar arasındadır. Geleneksel radyografiler yalnızca iki boyutlu bir görünüm sunarken, MRG çok düzlemli ve üç boyutlu görüntüleme sağlayarak alveoler kemik yüksekliğinin ve konturlarının distorsiyonsuz değerlendirilmesine imkân tanır. Black Bone, UTE ve ZTE gibi sekansların mineralize dokulardan yeterli sinyal elde edebilmesi, kortikal kemik sınırlarını belirgin hâle getirmekte ve kemik kaybının erken dönemlerde tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Bu teknik gelişmeler, özellikle anterior bölgede implant planlaması öncesi bukkal kemik kalınlığının değerlendirilmesi gibi klinik açıdan kritik uygulamalarda MRG'nin değerini artırmaktadır (Al-Haj Husain et al., 2024; Kocasarac et al., 2018).

Periodontal ligament boşluğu ve çevre yumuşak dokuların MRG ile görüntülenebilmesi, periodontal inflamasyonun hem erken hem geç dönem özelliklerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar. Periodontal ligament boşluğunda sıvı artışı, T2 ağırlıklı görüntülerde hiperintens sinyallerle ortaya çıkmakta; bu durum periodontal yüklenme, travma ya da inflamasyonun tanınmasına katkıda bulunmaktadır. Gingival ve periodontal yumuşak dokulardaki inflamatuvar değişikliklerin belirgin kontrastla görüntülenebilmesi, periodontal hastalığın aktivite düzeyinin belirlenmesinde ve tedaviye yanıtın takip edilmesinde ek bir değer sunar. MRG'nin radyasyonsuz oluşu, özellikle genç hastalarda ve sık kontrol gerektiren periodontal tedavilerde önemli bir avantaj yaratmaktadır (Greiser et al., 2024; Reda et al., 2021; Vaddi et al., 2025).

Alveoler kemikte meydana gelen erken ödem ve inflamatuvar değişikliklerin tespit edilmesi, periodontal yıkımın başlangıç evrelerinde müdahale edilebilmesi açısından kritik önemdedir. MRG, kemik iliği ödemi ve subkortikal inflamasyon gibi radyografilerle görüntülenemeyen değişiklikleri hassas bir şekilde gösterebilir. Bu tür sinyal farklılıkları, özellikle travma, okluzal aşırı yüklenme ve periodontal hastalığın erken evrelerinde tanı koymada büyük katkı sağlar. Ayrıca ZTE ve Black Bone sekansları ile kortikal kemik bütünlüğünün net olarak gösterilmesi, kemik desteğinin değerlendirilmesinde KIBT'ye radyasyonsuz bir alternatif sunmaktadır. Bu yönüyle MRG, periodontal dokuların hem biyolojik hem mekanik bileşenlerini aynı inceleme içinde değerlendirme olanağı vermektedir (Reda et al., 2021; Vaddi et al., 2025).

Periodontal rejenerasyon uygulamalarında doku yanıtının değerlendirilmesi de MRG'nin potansiyel kullanım alanlarından biridir. Kemik greftleri, membranlar ve biyomateryallerin çevre dokularla ilişkisi, klasik görüntüleme yöntemlerinde çoğu zaman

net ayrımla belirlenemezken, MRG bu materyallerin çevresindeki yumuşak doku reaksiyonlarını ve greft bölgesindeki erken iyileşme süreçlerini ortaya koyabilir. Ayrıca vaskülarizasyonun izlenmesi, rejeneratif tedavilerin başarısı hakkında bilgi sunabilir. Bu özellikler, uzun vadede periodontal tedavilerin sonuçlarını değerlendirmede daha objektif ve radyasyonsuz bir yaklaşım geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (Al-Haj Husain et al., 2024; Kocasarac et al., 2018).

6. Dental ve Maksillofasiyal Travmaların MRG ile İncelenmesi

Dental ve maksillofasiyal travmaların değerlendirilmesinde doğru görüntüleme yöntemi, hem tanının doğruluğunu hem de uygulanacak tedavinin başarısını doğrudan etkiler. Konvansiyonel radyografiler ve KIBT, mineralize dokuları görüntülemeye etkili olmakla birlikte, yumuşak dokuların, kemik iliği ödeminin veya erken kırık hatlarının değerlendirilmesinde önemli sınırlılıklara sahiptir. MRG, yumuşak dokuların yüksek kontrastla gösterilmesi ve iyonizan radyasyon içermemesi sayesinde travma sonrası oluşan inflamatuvar değişiklikler, hematomlar, ligament ve kas yaralanmaları gibi bulguların belirlenmesinde belirgin avantaj sağlar. Ayrıca kısa T2'li sekansların (Black Bone, UTE, ZTE) gelişmesi ile kemik yapıların da daha net görüntülenebilmesi, MRG'yi dental travma tanısında giderek daha güçlü bir araç hâline getirmiştir (Husain et al., 2025; Vaddi et al., 2025).

Travmatik dental yaralanmalarda kök kırıkları, periodontal ligament yaralanmaları ve periapikal bölgedeki ödem gibi patolojiler, MRG'nin yüksek yumuşak doku duyarlılığı ile konvansiyonel yöntemlere göre daha erken evrede tespit edilebilir. T2 ağırlıklı sekanslarda görülen hiperintens sinyal artışları, ligamentöz hasar veya periodontal ligament boşluğundaki sıvı toplanması gibi travmatik değişikliklerin değerlendirilmesini sağlar. Ayrıca kemik iliği ödemi, radyografilerde görünmeyen ancak travmanın şiddeti ve iyileşme sürecini etkileyen önemli bir parametredir; MRG bu ödemi net biçimde göstererek tanısız doğruluğu artırır. Bu özellikler, özellikle subklinik travmaların değerlendirilmesinde ve tedavi gereksiniminin belirlenmesinde MRG'yi önemli bir tanısız modalite hâline getirir (Husain et al., 2025; Kocasarac et al., 2018).

Çene kırıklarının değerlendirilmesinde KIBT'nin yüksek uzaysal çözünürlüğü avantaj sunmakla birlikte, kırık hatlarında eşlik eden yumuşak doku hasarı, eklem kapsülü yaralanmaları veya kondiler bölgedeki hematomların tespitinde MRG daha üstündür.

Özellikle mandibular kondil kırıklarında kısa T2 sekanslarla kortikal hatların belirginleştirilmesi, subkondral ödemin tespiti ve eklem içi sıvının değerlendirilmesi tedavi planlamasında kritik bilgiler sağlar. Ayrıca MRG'nin multiplanar görüntüleme kapasitesi, kırık fragmanlarının konumunu ve çevre anatomik yapılarla ilişkisini üç boyutlu olarak değerlendirmeye imkân tanır. Bu özellik, özellikle konservatif veya cerrahi tedavi stratejilerinin belirlenmesi açısından değerlidir (Husain et al., 2025; Vaddi et al., 2025).

Travmaya bağlı dişlerde meydana gelen pulpa hasarı ve periapikal değişiklikler de MRG ile ayrıntılı olarak incelenebilir. Pulpa içi kanlanma bozuklukları, hemorajiler ve inflamasyon odakları, T1 ve T2 ağırlıklı sekanslarda sinyal farklılıklarıyla tanımlanabilir. Endodontik açıdan pulpanın vitalitesini ve dolaşım özelliklerini görüntüleyebilme kapasitesi, MRG'yi travma sonrası vitalite testlerinin ötesine geçen objektif bir değerlendirme aracı hâline getirmektedir. Periapikal bölgede oluşan ödem ve erken inflamatuvar yanıtların radyasyonsuz bir yöntemle saptanabilmesi, özellikle genç hastalarda takip süreçlerini güvenli ve tekrarlanabilir hâle getirir (Han et al., 2025; Husain et al., 2025).

Travma sonrası implantların yer aldığı bölgelerde MRG kullanımına yönelik yeni çalışmalar, metal artefakt azaltıcı tekniklerin gelişmesi ile anlamlı şekilde genişlemiştir. MAVRIC, SEMAC ve MSVAT-SPACE gibi algoritmaların uygulanması, implant çevresi kemik ve yumuşak dokuların bozulma olmaksızın görüntülenmesini mümkün kılar. Bu özellik, implant çevresi kırıklar, peri-implant inflamatuvar değişiklikler ve yumuşak doku yaralanmalarının değerlendirilmesinde MRG'yi önemli bir araç hâline getirir. Ayrıca radyasyonsuz olması, travma sonrası tekrarlayan kontrollerde MRG'ye belirgin avantaj sağlar (Al-Haj Husain et al., 2024; Bohner et al., 2022).

7. Dental İmplantoloji Uygulamaları

Dental implantolojide başarılı bir tedavi için preoperatif planlama, anatomik yapıların doğru değerlendirilmesi ve postoperatif iyileşme sürecinin güvenilir şekilde izlenmesi kritik öneme sahiptir. Konvansiyonel olarak bu amaçla KIBT tercih edilse de, iyonizan radyasyon içermesi ve metalik restorasyonlarla ilişkili artefaktlara duyarlılığı nedeniyle bazı sınırlamalar barındırır. MRG, radyasyon içermemesi ve yumuşak dokuları üstün kontrastla göstermesi sayesinde implant öncesi kemik ve yumuşak doku değerlendirmesinde güçlü bir alternatif hâline gelmiştir. Özellikle yeni geliştirilen Black Bone, MSVAT-SPACE ve UTE/ZTE gibi kısa T2 sekansları, sert dokuların yüksek

çözünürlüklü görüntülenmesine imkân tanıyarak MRG'nin dental implantolojide kullanılabilirliğini artırmıştır (Al-Haj Husain et al., 2024; Vaddi et al., 2025)

Preoperatif değerlendirmede implant yerleştirilecek bölgedeki kemik hacmi, kortikal kalınlık, alveoler kret morfolojisi ve kemik yoğunluğu gibi parametrelerin doğru belirlenmesi tedavinin başarısını doğrudan etkiler. MRG, radyasyon içermeyen bir yöntemle bu anatomik bilgileri üç boyutlu ve distorsiyon içermeyen görüntülerle sunabilmektedir. Mandibular kanal, mental foramen ve posterior maksillada sinüs tabanı gibi kritik anatomik yapılara olan mesafenin metal artefaktlarından etkilenmeden görüntülenebilmesi, MRG'yi yüksek riskli bölgelerde özellikle değerli kılar. Ayrıca MRG'nin yumuşak dokuları detaylı göstermesi, implant planlamasında keratinize doku miktarı, mukozal kalınlık ve hibrit protez planlamasına yönelik yumuşak doku profillerinin de değerlendirilmesine olanak tanır (Al-Haj Husain et al., 2024; Kocasarac et al., 2018).

MRG'nin implant cerrahisinde önem kazanan bir diğer kullanım alanı, cerrahi rehberlerin hazırlanması ve implant yerleştirme sürecinin görüntü kılavuzluğunda desteklenmesidir. Son yıllarda görüntü rehberli implant cerrahisi üzerine yapılan çalışmalar, MRG'nin geometrik doğruluğunun implant planlamasında kullanılabilir düzeye ulaştığını göstermektedir. Bu doğruluk, kısa sürede elde edilen yüksek çözünürlüklü izotropik 3D görüntüler sayesinde sağlanmaktadır. Ayrıca hareket artefaktlarını azaltan sekanslar ve coil teknolojisinin gelişmesi, implant cerrahisi için CAD/CAM tabanlı kılavuz üretiminde MRG'yi uygulanabilir bir seçenek hâline getirmiştir. Böylelikle MRG, radyasyonsuz bir preoperatif planlama aracı olarak klinik iş akışına entegre olma potansiyeli taşır (Al-Haj Husain et al., 2024; Vaddi et al., 2025).

Postoperatif dönemde implant çevresi dokuların değerlendirilmesi tedavi başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Osseointegrasyon sürecinin izlenmesi, peri-implant kemik kaybının saptanması ve erken inflamatuvar reaksiyonların tanınması MRG'nin güçlü yönleri arasındadır. T2 ağırlıklı sekanslarda peri-implant yumuşak dokularda oluşan ödem veya inflamasyon hiperintens görünürken, kısa T2 sekanslar implant çevresi kemik konturlarını belirginleştirir. Ayrıca MRG'nin metal artefaktlarına karşı dayanıklı hâle gelmesini sağlayan MAVRIC ve MSVAT-SPACE gibi sekanslar sayesinde implant gövdesi çevresindeki görüntü bozulmaları azaltılmış; bu da peri-implantitis ve erken kemik kaybının daha net değerlendirilmesine olanak tanımıştır (Al-Haj Husain et al., 2024; Bohner et al., 2022).

Sinüs lifting, kemik augmentasyonu ve onlay greftler gibi ileri cerrahi işlemlerde MRG'nin sunduğu radyasyonsuz görüntüleme avantajı, iyileşme sürecinin dinamik olarak

takip edilmesine imkân tanır. Greft materyallerinin çevre dokularla ilişkisi, greft bölgesindeki ödem ve iyileşme yanıtları T1 ve T2 sinyal değişimleriyle değerlendirilebilir. Ayrıca sinüs içi anatomik varyasyonlar, membran kalınlığı ve patolojiler MRG ile ayrıntılı biçimde ortaya konabilir. Bu yönüyle MRG, ileri cerrahi işlemler sonrası komplikasyonların tanınması ve tedavi planlamasının optimize edilmesi için tamamlayıcı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Al-Haj Husain et al., 2024; Kocasarac et al., 2018).

8. Oral ve Maksillofasiyal Patolojilerin Değerlendirilmesi

Oral ve maksillofasiyal bölgedeki patolojilerin doğru şekilde değerlendirilmesi, tedavi yaklaşımının belirlenmesi ve klinik prognozun doğru tahmini için kritik öneme sahiptir. MRG, yumuşak dokuların yüksek kontrastla gösterilmesi, multiplanar görüntüleme kapasitesi ve iyonizan radyasyon içermemesi nedeniyle bu bölgedeki patolojilerin incelenmesinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Konvansiyonel görüntüleme yöntemlerinin yumuşak doku sınırlılıkları, özellikle kas, mukozal yüzeyler, sinovyal yapılar, tükürük bezleri ve sinirlerin görüntülenmesini zorlaştırırken, MRG bu anatomik bölgeleri ayrıntılı biçimde ortaya koyabilmektedir. Ayrıca kısa T2 sekanslarının geliştirilmesi, daha önce yeterli sinyal alınamayan sert doku sınırlarının dahi belirginleşmesini sağlayarak patolojilerin bütüncül değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

Kistik lezyonlar, odontojenik tümörler ve inflamatuvar prosesler gibi patolojiler, MRG'nin yüksek yumuşak doku duyarlılığı sayesinde karakteristik sinyal paternleriyle değerlendirilebilir. T2 ağırlıklı görüntüler, sıvı içerikli kistik yapıları hiperintens görünümle kolayca tanımlarken, T1 ağırlıklı kesitlerde protein içeriği yüksek lezyonlar veya hemorajik alanlar spesifik sinyal özellikleri gösterebilir. Ayrıca kontrastlı MRG protokolleri, solid ve kistik komponentlerin ayırımında, inflamasyonun derecesinin değerlendirilmesinde ve tümöral lezyonların sınırlarının belirlenmesinde önemli bilgi sunar. Bu yönüyle MRG, özellikle odontojenik tümörlerin lokal invazyon paternlerinin değerlendirilmesinde cerrahi planlamayı destekleyici güçlü bir araçtır (Kocasarac et al., 2018; Reda et al., 2021).

Tükürük bezi patolojilerinin değerlendirilmesinde de MRG temel yöntemlerden biridir. MRG, glandüler parankimi, duktal yapıları ve çevre bağ dokularını yüksek çözünürlük ve kontrastla göstererek sialolitiazis, inflamatuvar süreçler, benign ve malign tümörlerin ayırt edilmesini kolaylaştırır. Ayrıca difüzyon ağırlıklı görüntüleme gibi

fonksiyonel MRG teknikleri, tümörlerin hücrel yoğunluğu ve agresif özellikleri hakkında ek bilgi sunabilir. Tükürük bezlerinin çevre anatomik yapılarla ilişkisi ve potansiyel sinir kompresyonları gibi bulguların radyasyonsuz olarak görüntülenmesi, özellikle pediatrik ve genç erişkin hastalarda önemli klinik avantaj sağlar (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

Paranasal sinüs patolojileri ve maksiller sinüsle ilişkili dental durumlar da MRG ile kapsamlı şekilde değerlendirilebilir. MRG, sinüs mukozasında inflamasyon, mukozal kalınlaşma, sıvı birikimi ve kistik oluşumları yüksek hassasiyetle gösterirken, aynı zamanda sinüs tabanı ve alveoler kemik ilişkisini belirginleştiren kısa T2 sekanslarıyla ileri cerrahi planlama için gerekli anatomik detayları sunar. Sinüs lifting gibi işlemler öncesi sinüs membranının durumu ve var olan patolojilerin tespiti, komplikasyon riskini azaltmak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca metal artefakt azaltıcı sekanslar, implant veya dental materyallerin bulunduğu bölgelerde dahi sinüs anatomisinin bozulmadan görüntülenmesini sağlar (Al-Haj Husain et al., 2024; Kocasarac et al., 2018).

Periferik sinirlerin değerlendirilmesi, maksillofasiyal bölge patolojilerinde tanısal açıdan büyük önem taşır. MRG'nin sinirlerin morfolojisini ve çevre dokularla ilişkisini yüksek çözünürlükle göstermesi, özellikle trigeminal nevralji, tümöral kompresyonlar, travmatik sinir hasarları ve lokal enflamasyon gibi durumların tanısında belirleyici olabilir. Modern MRG protokollerinde geliştirilen nörografi teknikleri, sinir kalibrasyonu, sinyal değişiklikleri ve kompresyon bölgelerinin detaylı incelenmesine olanak tanıyarak nörolojik semptomların kaynağının doğru belirlenmesini sağlar. Bu yaklaşım, özellikle dental tedaviler sonrası gelişen sinir yaralanmalarının değerlendirilmesinde klinik değeri yüksek bir tanısal araç sunar (Reda et al., 2021; Vaddi et al., 2025).

9. Dental MRG'de Artefaktlar ve Görüntü Optimizasyonu

Dental MRG, görüntü kalitesini etkileyen artefaktların doğru anlaşılması ve azaltılması tanısal doğruluk açısından kritik öneme sahiptir. MRG, iyonizan radyasyon içermemesi ve yüksek yumuşak doku kontrastı sağlaması gibi önemli avantajlar sunmakla birlikte, baş ve boyun bölgesinin anatomik karmaşıklığı, hasta hareketine duyarlılık ve dental materyallerin manyetik özellikleri nedeniyle artefakt oluşumuna yatkındır. Bu artefaktların kaynaklarının doğru tanımlanması, uygun sekans seçimleri ve teknik optimizasyon sayesinde görüntü kalitesinin artırılması mümkündür. Özellikle bant

genişliğinin yükseltilmesi, spin eko tabanlı sekansların tercih edilmesi ve hızlı görüntüleme protokollerinin uygulanması artefaktların büyük bölümünü kontrol altına almayı sağlar (Bohner et al., 2022; Kocasarac et al., 2018).

Metal artefaktları dental görüntülemede en sık karşılaşılan sorunlardan biridir. Amalgam restorasyonlar, metal kronlar, cerrahi plaklar ve dental implantlar manyetik duyarlılık farkı oluşturarak sinyal kaybı, distorsiyon ve geometrik bozulmalara yol açabilir. Bu etkiler özellikle gradient-eko tabanlı sekanslarda belirginleşirken, spin eko sekansları metalik duyarlılığa daha dayanıklı bir görüntü sunar. Geniş bant genişliği kullanımı, kısa eko zamanı (TE) ve yüksek matris çözünürlüğü gibi parametrelerin optimize edilmesi metal artefaktlarını önemli ölçüde azaltır. Ayrıca MAVRIC, SEMAC ve MSVAT-SPACE gibi ileri artefakt azaltma algoritmaları implant çevresindeki bozulmaları minimize ederek hem sert hem yumuşak dokuların daha net değerlendirilmesini mümkün kılar (Al-Haj Husain et al., 2024; Bohner et al., 2022).

Hareket artefaktları dental MRG’de görüntü kalitesini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Baş ve boyun bölgesindeki istemsiz hareketler, yutkunma ve nefes alma gibi fizyolojik hareketler görüntülerde hayalet (ghosting) oluşumuna neden olabilir. Bu nedenle hızlı görüntüleme tekniklerinin kullanılması, nefes tutma protokollerinin uygulanması ve gerekirse saturasyon bantlarının yerleştirilmesi artefakt kontrolünde büyük rol oynar. Ayrıca, echo-planar imaging (EPI) gibi hızlı sekanslar hareket kaynaklı bozulmaları azaltabilir; ancak bu sekanslar metalik duyarlılığa daha yatkın olabileceği için klinik durumda dikkatle seçilmelidir. Hareket artefaktlarının azaltılması, özellikle travma, implant planlaması ve TME incelemelerinde görüntü kalitesinin güvenilirliğini artırır (Bohner et al., 2022; Kocasarac et al., 2018; Krupa & Bekiesińska-Figatowska, 2015).

Çift sinyal kayması (chemical shift) ve aliasing gibi diğer fiziksel sınırlılıklar da dental MRG’de görüntü kalitesini etkileyebilir. Chemical shift, yağ ve su protonlarının rezonans frekanslarındaki farklılık nedeniyle sınır bölgelerinde koyu veya parlak bantlara yol açabilir; bu etki özellikle T2 ağırlıklı görüntülerde belirgindir. Yağ baskılama teknikleri (fat-sat) ve genişletilmiş bant genişliği chemical shift artefaktını önemli ölçüde azaltır. Aliasing ise görüntü alanı (FOV) dışındaki yapıların görüntü içine katlanması ile oluşur ve FOV’un artırılması ya da faz kodlama yönünün değiştirilmesi ile çözülebilir. Bu optimizasyonlar, dentoalveoler bölge gibi anatomik olarak dar alanların görüntülenmesinde kritik öneme sahiptir (Bohner et al., 2022; Vaddi et al., 2025).

Son yıllarda kısa T2'ye duyarlı sekansların gelişmesi, artefakt azaltımı açısından önemli teknik yenilikler sunmuştur. Black Bone, UTE ve ZTE gibi sekanslar hem sert dokularda sinyal elde edebilmekte hem de metalik duyarlılığa bağlı bozulmaları daha sınırlı düzeyde göstermektedir. Bu sekansların implant çevresi kemik kalitesinin değerlendirilmesinde, kırık hatlarının tespitinde ve sinüs tabanı ile alveoler kret ilişkilerinin belirlenmesinde sağladığı avantajlar, dental MRG'nin klinik uygulanabilirliğini belirgin biçimde artırmaktadır. Ayrıca coil teknolojisinin gelişmesiyle artan sinyal-gürültü oranı (SNR), özellikle intraoral coil kullanımında yüksek çözünürlüklü görüntülerin daha kısa sürede elde edilmesini sağlayarak hareket artefaktlarını da dolaylı olarak azaltmaktadır (Al-Haj Husain et al., 2024; Kocasarac et al., 2018; Krupa & Bekiesińska-Figatowska, 2015).

10. Sınırlılıklar ve Gelecek Perspektifleri

Dental MRG klinik uygulama alanları son yıllarda önemli ölçüde genişlemiş olsa da, yöntemin bazı teknik ve pratik sınırlılıkları bulunmaktadır. Her ne kadar modern sekanslar ve coil tasarımları görüntü kalitesini artırmış olsa da, dental materyallerin oluşturduğu manyetik duyarlılık artefaktları hâlâ belirli klinik durumlarda görüntü yorumunu güçleştirebilir. Metal restorasyonlar, implantlar ve ortodontik elemanlar özellikle gradient-eko tabanlı sekanslarda belirgin distorsiyonlara yol açabilir. Spin eko sekansları ve bant genişliği optimizasyonu ile bu etkiler önemli ölçüde azaltılabilse de, artefaktların tamamen ortadan kaldırılması her zaman mümkün değildir. Bu nedenle metal varlığında MRG'nin yorumlanması hâlâ deneyim gerektiren bir süreçtir (Al-Haj Husain et al., 2024; Bohner et al., 2022).

Dental MRG'nin bir diğer sınırlılığı, görüntüleme süresinin bazı klinik durumlarda hâlâ uzun olabilmesidir. Geniş görüş alanı gerektiren çene-yüz bölgesi incelemeleri, yüksek çözünürlüklü 3D veri setleri ve metal artefakt azaltma algoritmaları görüntüleme sürelerini uzatabilir. Uzun çekim süreleri, hareket artefaktlarının artmasına ve özellikle çocuklar veya hareket kısıtlılığı olan hastalarda uygulamada zorluklara neden olabilir. Her ne kadar hızlı görüntüleme protokolleri, kısa T2 sekansları ve optimize edilmiş coil tasarımları çekim sürelerini azaltmış olsa da, dental MRG'nin yoğun klinik akışlarda daha yaygın kullanılabilmesi için ek hızlandırma tekniklerine olan ihtiyaç devam etmektedir (Bohner et al., 2022; Reda et al., 2021).

MRG'nin yüksek maliyeti ve sınırlı erişilebilirliği de dental uygulamalar açısından önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Çoğu sağlık merkezinde dental endikasyonlar için optimize edilmiş coil sistemleri bulunmamakta ve geleneksel kafa-boyun coil'leri her zaman yeterli çözünürlüğü sağlayamamaktadır. Özellikle intraoral coil'lerin hâlen geliştirilmeye devam etmesi ve klinik kullanımının yaygınlaşmamış olması, yüksek çözünürlüklü dental MRG'nin rutin pratiğe tam olarak entegre edilmesini geciktirmektedir. Ayrıca radyolog ve diş hekimlerinin dental odaklı MRG yorumlama deneyiminin sınırlı olması, yöntemin yaygın klinik adaptasyonunda eğitim gereksinimini artırmaktadır (Kocasarac et al., 2018; Vaddi et al., 2025).

Bununla birlikte dental MRG'nin geleceği son derece umut verici görünmektedir. Kısa T2 sekansları, metal artefakt azaltma algoritmaları ve hızlı görüntüleme tekniklerindeki gelişmeler, yöntemin klinik uygulanabilirliğini artırırken, coil teknolojilerinin kişiye özel çözümlerle geliştirilmesi daha yüksek çözünürlük ve daha kısa görüntüleme süreleri sağlayacaktır. Ayrıca düşük manyetik alanlı sistemlerin (ör. 0.55 T) dental kullanım potansiyelinin araştırılması, hem maliyetleri hem de cihaz boyutunu azaltarak erişilebilirliği artırabilir. Bu teknolojik ilerlemeler, dental MRG'nin gelecekte implant planlaması, endodontik tanı, periodontal değerlendirme ve travma yönetiminde daha yaygın kullanılması için güçlü bir temel oluşturmaktadır (Al-Haj Husain et al., 2024; Vaddi et al., 2025).

Gelecek perspektifleri arasında fonksiyonel MRG tekniklerinin dental alana uyarlanması da önemli bir araştırma alanıdır. Perfüzyon, difüzyon ve elastografi tabanlı yaklaşımlar pulpa vitalitesi, periodontal inflamasyon ve eklem fonksiyon bozukluklarının daha objektif değerlendirilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca MR nörografisinin trigeminal sinir dal yaralanmalarının değerlendirilmesinde daha yaygın kullanılması, dental cerrahi sonrası nörolojik komplikasyonların tanısında önemli bir ilerleme sunacaktır. Yapay zekâ destekli görüntü optimizasyonu ve otomatik doku segmentasyonu gibi gelişmeler ise dental MRG'nin yorumlanmasını hızlandırarak klinik iş akışına entegrasyonunu kolaylaştırabilir (Kocasarac et al., 2018; Reda et al., 2021).

11. Sonuç

MRG'nin üstün yumuşak doku kontrastı, radyasyonsuz oluşu ve modern kısa T2 sekansları sayesinde sert dokuları da görüntüleyebilmesi, onu endodonti, periodontoloji, implantoloji, travma yönetimi, TME değerlendirmesi ve oral patolojilerin incelenmesi gibi birçok alanda güçlü bir tanısal araç hâline getirmektedir. Coil tasarımlarındaki gelişmeler, artefakt azaltıcı teknikler ve hızlı görüntüleme protokolleri MRG'nin klinik uygulanabilirliğini artırmış; buna karşın maliyet, erişilebilirlik ve metalik yapıların oluşturduğu artefaktlar gibi bazı sınırlılıklar devam etmektedir. Genel olarak dental MRG, hem yumuşak hem sert dokular hakkında ayrıntılı ve güvenilir bilgi sunarak modern diş hekimliğinde giderek daha önemli bir yer edinmekte olup, gelecekte teknolojik ilerlemelerle birlikte daha geniş bir klinik uygulama alanına sahip olması beklenen çok yönlü bir görüntüleme yaklaşımıdır.

KAYNAKÇA

- Al-Haj Husain, A., Zollinger, M., Stadlinger, B., Özcan, M., Winklhofer, S., Al-Haj Husain, N., . . . Valdec, S. (2024). Magnetic resonance imaging in dental implant surgery: a systematic review. *International journal of implant dentistry*, 10(1), 14.
- Bohner, L., Hanisch, M., Sesma, N., Blanck-Lubarsch, M., & Kleinheinz, J. (2022). Artifacts in magnetic resonance imaging caused by dental materials: a systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(6), 20210450.
- Greiser, A., Christensen, J., Fuglsig, J. M., Johannsen, K. M., Nixdorf, D. R., Burzan, K., . . . Kettless, K. (2024). Dental-dedicated MRI, a novel approach for dentomaxillofacial diagnostic imaging: technical specifications and feasibility. *Dentomaxillofacial Radiology*, 53(1), 74-85.
- Han, B., Chen, N., Luo, J., Afkhami, F., Peters, O. A., & Wang, X. (2025). Magnetic Resonance Imaging for Dental Pulp Assessment: A Comprehensive Review. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*.
- Husain, A. A.-H., Lie, S. A. N., Sandhu, S., Wagner, M. E. H., Stadlinger, B., Burian, E., . . . Essig, H. (2025). Magnetic resonance imaging in dental, oral and maxillofacial trauma: A systematic review. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*.
- Idiyatullin, D., Corum, C. A., Nixdorf, D. R., & Garwood, M. (2014). Intraoral approach for imaging teeth using the transverse B1 field components of an occlusally oriented loop coil. *Magnetic resonance in medicine*, 72(1), 160-165.
- Kocasarac, H. D., Geha, H., Gaalaas, L. R., & Nixdorf, D. R. (2018). MRI for dental applications. *Dental Clinics*, 62(3), 467-480.
- Krupa, K., & Bekiesińska-Figatowska, M. (2015). Artifacts in magnetic resonance imaging. *Polish journal of radiology*, 80, 93.
- Lee, C., Jeon, K. J., Han, S.-S., Kim, Y. H., Choi, Y. J., Lee, A., & Choi, J. H. (2020). CT-like MRI using the zero-TE technique for osseous changes of the TMJ. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(3), 20190272.
- Mendes, S., Rinne, C. A., Schmidt, J. C., Dagassan-Berndt, D., & Walter, C. (2020). Evaluation of magnetic resonance imaging for diagnostic purposes in operative dentistry—a systematic review. *Clinical oral investigations*, 24(2), 547-557.
- Reda, R., Zanza, A., Mazzoni, A., Cicconetti, A., Testarelli, L., & Di Nardo, D. (2021). An update of the possible applications of magnetic resonance imaging (MRI) in dentistry: a literature review. *Journal of imaging*, 7(5), 75.

- Seracchiani, M., Miccoli, G., Reda, R., Zanza, A., Valenti Obino, F., Bhandi, S., . . . Testarelli, L. (2020). A comprehensive in vitro comparison of mechanical properties of two rotary endodontic instruments. *World Journal of Dentistry*, 11(3), 185-188.
- Vaddi, A., Parasher, P., & Khurana, S. (2025). Beyond X-Rays: Unveiling the Future of Dental Diagnosis with Dental Magnetic Resonance Imaging. *Diagnostics*, 15(9), 1153.

BÖLÜM 5

LAMİNA DURA'YI ETKİLEYEN SİSTEMİK VE LOKAL FAKTÖRLER

Merve YILMAZ¹, Şebnem ERÇALIK YALÇINKAYA²

1 1. Arş. Gör. Dt, Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, ORCID ID: 0009-0000-9416-6877

2 1. Prof., Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, ORCID ID: 0000-0003-2924-1935

LAMİNA DURA'YI ETKİLEYEN SİSTEMİK VE LOKAL FAKTÖRLER

Normal dental arkta sağlıklı diş kökünü çevreleyen alveolar soketin iç yüzünde periodontal ligament liflerinin de tutunduğu yoğun kortikal kemik tabakası dental radyografilerde radyopak bant şeklinde izlenir. Lamina dura adı verilen bu tabaka radyolojik görüntülerde X-ışınının ince kemik duvar kalınlığının birçok katmanı boyunca teğetsel olarak geçmesi sonucunda kortikal kemiğin yansmasıyla devamlılık gösterir ve kesintisiz radyopak bant şeklinde izlenir. (White&Pharoah,2009)

Lamina dura periodontal ligament ve kret ile komşu, ince radyopak sınır şeklinde gözlenen bir iç septum şeklinde de tanımlanmakta ve bu yapıda gözlenen bazı değişikliklerin patolojik durumları yansıtabileceği ifade edilmektedir. (White&Pharaoh,2009; Balmuchu et al.,2022)

Lamina duranın radyolojik görüntüsü yoğunluk ve genişlik açısından çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ağız içerisindeki farklı dişlerin ve hatta aynı dişlerin etrafında bile lamina dura kalınlığında değişiklikler gözlenebilir. Radyografinin çekilme şekli de elde edilen görüntüde lamina durada düzensizlik izlenimine neden olabilir. Bununla birlikte, lamina duradaki süreklilik kaybının genellikle yaygın kalsifikasyonun bir göstergesi olduğunu belirten araştırmacılar bulunmaktadır. Lamina duranın izlenmesi tanı açısından değerli olsa da, süreklilik kaybı kansellöz kemik ve kemik iliği boşluklarından periodontal ligamente uzanan beslenme kanallarından da kaynaklanabileceğinden sürekliliğindeki bozulmaları patolojik durumla ilişkilendirmek kolay değildir. Mevcut literatürde, birçok sistemik hastalıkta ve ağız hastalığında lamina durada belirli düzeyde değişiklikler gözlendiğini ortaya konmuş olsa da; lamina durada bozulmaya neden olan hastalıkların yanı sıra sağlıklı durumda da nasıl görüldüğü net bir şekilde tanımlanmamıştır. (Choudhary,2022)

Lamina Dura'nın Tarihçesi

Maury Massler [1945] lamina duranın önemini ve yapısal özelliklerini, çeşitli diş hareketleri sırasında ve sistemik hastalıklarda meydana gelen görünümündeki değişiklikleri araştırmıştır. Alveoler kemik ve sementin onarımındaki çeşitli faktörler Frank E. Beube [1949] tarafından öne sürülmüştür. Grace Petrikowsk [1995] osteojenik sarkom, osteomyelit ve çenelerin fibröz displazisini radyografik olarak ayırt etmeyi denemiş ve tanının yalnızca radyografik özelliklere dayandırılmayacağı sonucuna varmıştır. Araştırmacı bazı hastalıklarda radyografik bulguların diğerlerinden daha yararlı olduğunu göstermiştir. (Balmuchu,2022)

Domenico Ricucci ve ark. [2006], periapikal lezyonların tanısının radyopak bir laminanın varlığına veya yokluğuna dayanarak yapılamayacağını, bunun için seri kesitlerin

histolojik incelemesinin yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Öte yandan kemik oluşumunun, alt çenedeki yatay, kısmen gömülü üçüncü azı dişinin kronunun altındaki lamina duranın bozulmasıyla olan ilişkisini gösteren araştırmacılar da bulunmaktadır (Balmuchu,2022)

Lamina Durada Görülen Değişikliklerinin Sınıflandırılması (Balmuchu,2022)

A – Etiyolojik Nedenlere Dayalı Lamina Dura Kaybı

1-Lokal Faktörler

- Periapikal Enflamatuvar Lezyonlar
- Periodontal Enflamatuvar Lezyonlar
- Çenelerin Odontojenik Kistleri
- Ortodontik Tedaviler
- Benign ve Malign Tümörler

2-Sistemik Faktörler

- Fibröz Displazi
- Paget Hastalığı
- Raşitizm
- Osteomalazi
- Hipofosfazya
- Renal Osteodistrofi
- Hiperparatiroidizm

3-Diğer

- Çenelerin Metastatik Maligniteleri

B - Lokalize Lamina Dura Kaybı

1-Yaygın Normal Varyasyonlar

- Rotasyon gösteren maksiller kanin diş apeksi
- Maturasyon öncesi maksiller premolarlar
- Maksiller sinüs üzerindeki projeksiyon
- Mandibular kanal üzerindeki projeksiyon
- Mental foramen üzerindeki projeksiyon

2-Patolojik Durumlar

- Enflamatuvar Periapikal Hastalıklar
- Apikal Osteitis
- Radiküler Kist
- Basit Kemik Kisti
- Periapikal Semental Displazi
- Osteomyelit
- Benign ve Malign Tümörler
- Fibröz Histiyositoma
- Histiyozis-X

C - Generalize Lamina Dura Kaybı

- İdiopatik Sebepler
- Paget Hastalığı
- Fibröz Displazi
- Lösemi
- Metastatik Maligniteler
- Hiperparatiroidizm
- Multiple Myeloma
- Osteomalazi
- Raşitizm
- Cushing Sendromu
- Postmenapozal Osteoporoz
- Renal Osteodistrofi
- Akromegali
- Hipervitaminoz D
- Sistemik Skleroz (Skleroderma)
- Hipofosfatazya

D - Lamina Dura'da Kalınlaşma

- Osteopetrosis
- Oklüzal Travma

Osteomyelit ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Osteomyelit kısaca kemik iliğinin ilerleme eğilimi gösteren enfeksiyonu olarak tanımlanabilir. Enfeksiyon, komşu kemik korteksi ve sıklıkla periosteal dokuları içine alır. Akut osteomyelitte, derin dokularda enfeksiyon sürecinin sellülit evresi; üstteki dokularda ise eritem ve şişlik yaygın görülen belirtilerdir. (Balmuchu,2022)

Osteomyelitin akut evresinde lamina durada önemli değişiklikler bulunmamaktadır. Ancak kök çevresinde rezorpsiyonla birlikte lamina duranın çevredeki granüler sklerotik kemikle kaynaştıkça belirginliğin kaybolabildiği, kronik osteomyelitte ise lamina duranın daha az belirgin görüldüğünü ifade edilmektedir (White&Pharoah,2009; Balmuchu,2022)

Oklüzal Travma ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Oklüzal travma bir etki karşısındaki tepkiyi ifade eder ve kısaca; aşırı oklüzal kuvvetlerin sonucunda dişin veya bağlantı noktasının hasar görmesi olarak tanımlanabilir. Primer oklüzal travma, normal destek dokulara sahip bir veya daha fazla dişe uygulanan aşırı oklüzal kuvvetlerden kaynaklanan hasardır. Sekonder oklüzal travma ise yetersiz periodontal desteğe sahip bir veya daha fazla dişe uygulanan normal oklüzal kuvvetlerden kaynaklanan hasar olarak ifade edilebilir. (Balmuchu, 2022)

Davies [2001], oklüzal travmanın yaygın radyografik belirtilerini lamina duranın kalınlaşması ve lamina durada süreklilik kaybı, periodontal ligament boşluğunda genişleme, alveolar kemikte görülen yoğunlaşma veya radyolüsentlik ve kök rezorpsiyonu olarak tanımlamıştır. (Balmuchu, 2022)

Kistler ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Kist; sıvı, yarı sıvı veya gaz içeriğine sahip, epitelle çevrili patolojik bir boşluktur. (Rajendran& Sivapathasundharam, 2009)

Odontojenik kistlerde çoğunlukla enflamasyonla birlikte periodontal ligamentin genişlediğini, ilgili dişlerin lamina durasının radyolojik görünürlüğünün azaldığı belirtilmektedir. (White&Pharoah, 2009; Balmuchu 2022). Nonodontojenik kistlerin ise dişlerde mobilitateye neden olabileceği ancak periodontal ligament ve lamina duranın sağlam kaldığı ifade edilmektedir (Balmuchu, 2022)

Çenelerin Benign Tümörleri ve Lamina Dura Üzerine Olan Etkileri

Benign tümörler yavaş genişler ve metastaza neden olmazlar. Öte yandan benign lezyonların dişleri mobilize ederek lamina duranın izlenmesini etkileyebileceği ve sementin

iyi huylu lezyonlarının da lamina dura kaybına neden olabileceği belirtilmektedir. (Balmuchu, 2022)

Fibroosseoz Lezyonlar ve Lamina Dura Üzerindeki Etkileri

Fibröz displazi, değişmiş lamina dura patterni gösterir. Paget Hastalığı'nda lamina dura kaybı ve periodontal aralığın kaybı belirgindir. Öte yandan periapikal semental displazide de lamina dura kaybı görülmektedir Malign tümörler kortikal sınırları etkilediğinden lamina dura izlenemeyebilmektedir. (Balmuchu, 2022)

Primer İntraosseoz Karsinoma ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Bu durum asemptomatik, ağrılı olabilir ve lokalize periodontal hastalığı taklit edebilir, ilk klinik belirtilerinden biri mobil dişlerdir. Hem lamina dura hem de destekleyici kemik kaybı görülen dişler, boşlukta yüzme eğilimindedir. (Balmuchu, 2022)

Tablo: Sistemik Hastalıkların Lamina Dura'ya Olan Etkileri (White&Pharoah, 2009)

Sistemik Hastalık	Lamina Durada Kayıp	Lamina Dura'da Kalınlaşma
Hiperparatiroidizm	Evet	
Hipoparatiroidizm	Hayır	
Hiperpituitarizm	Hayır	
Hipopituitarizm	Hayır	
Hipertiroidizm	İnce	
Hipotiroidizm	Hayır	
Cushing Sendromu	Parsiyel Kayıp	
Osteoporoz	İnce	
Raşitizm	İnce	
Osteomalazi	İnce	
Hipofosfazya	Evet	
Renal Osteodistrofi	Evet	
Hipofosfatem	Evet	
Osteopetrozis		Evet

Hiperparatiroidizm ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Hiperparatiroidizm, paratiroid bezlerinin artan aktivitesi ve buna bağlı olarak paratiroid hormonu (PTH) seviyelerinin yükselmesi ile karakterizedir. (Guimarães, 2022)

Serum parathormon fazlalığı, kalsiyumu iskelet sisteminden serbest bırakan osteoklastik rezorpsiyona ağırlık vererek kemik *remodeling* ini artırır. (White&Pharoah, 2009)

Primer hiperparatiroidizm, üçüncü en sık görülen endokrin bozukluktur ve vakaların % 80' inden fazlasında paratiroid adenomu ile ilişkilidir. Sekonder hiperparatiroidizm, çoğunlukla kronik böbrek hastalığı ile ilişkili hipokalsemi nedeniyle ortaya çıkar. Üçüncül hiperparatiroidizm nadirdir ve uzun süreli sekonder hiperparatiroidizm sonucu hiperplastik paratiroid bezlerinin otonom PTH salgılaması ile ilişkilidir. (Guimarães, 2022)

Primer hiperparatiroidizm sonucu gelişen serum kalsiyum seviyesindeki artış sebebiyle dişlerde kademeli olarak mobilite, yer değiştirme ve diş kayıpları görülebilir. (White&Pharoah, 2009)

Hiperparatiroidi bulunan hastalarda bazen (%10'unda) lamina duranın kaybı görülür. Hastalığın süresine ve şiddetine bağlı olarak lamina dura kaybı yalnızca bir dişin etrafında görülebileceği gibi tüm dişlerin etrafında da ortaya çıkabilir. (White&Pharoah, 2009)

Hipertiroidizm ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Hipertiroidizm, tiroid hormonlarının kontrolsüz bir şekilde üretilmesiyle meydana gelir. Tirotoksikoz ise dokularda dolaşan tiroid hormonunun aşırı fazlalığından kaynaklanan tehlikeli bir hipertiroidizm komplikasyonudur. (Achanta&Kasbage, 2022)

Titreme, duygusal dengesizlik, ısı toleransı, sinüs taşikardisi, belirgin kronotropik ve iyonotropik etkiler, artmış kalp debisi (konjestif kalp yetmezliğine yatkınlığın artması), sistolik kalp üfürümü, hipertansiyon, iştah artışı ve kilo kaybı bu durumun belirtileridir. Tiroid bezinin aşırı çalışması sonucunda, metabolik bozukluklar veya bez dışındaki bölgelerde hormon üretimi meydana gelebilir. (Achanta&Kasbage, 2022)

Hipertiroidizmde osteoporoz hızı büyük ölçüde artarken kemik yapım süresi ise kısalmaktadır. Kemik yapım ve yıkımı arasındaki denge yıkım lehine bozularak kemik kaybına neden olur. Bu durum en nihayetinde çene kemiklerini etkileyip, diş soketlerinde genişlemeye yol açabilir ve bazı durumlarda çene kemiklerinde patolojik kırıklar meydana gelebilir. (Achanta&Kasbage, 2022) Ayrıca lamina durada incelme görülebilir. (White&Pharoah, 2009)

Cushing Sendromu ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Glukokortikoidler, birçok insan dokusunun gelişimi ve birçok sistemin düzgün ilerleyişinde önemli bir rol oynar. En önemli glukokortikoid, adrenal kortekste üretilen kortizoldür. Kortizol salgılanmasını kontrol eden ana faktör adrenokortikotropik hormondur (ACTH). Endojen Cushing Sendromu, aşırı kortizon üretiminden kaynaklanır. Kortizol seviyesindeki yükselmenin kemik metabolizması üzerinde olumsuz etkileri vardır ve esas olarak trabeküler kemik etkilenmektedir. Glukokortikoid kaynaklı osteoporoz, sekonder osteoporozun en yaygın nedenlerinden biridir. Glukokortikoid fazlalığının nihai sonucu, kemikte mineral kaybı ve kemik kırılabilirliğinin artmasıdır. (Cylke-Falkowska&Stelmachowska-Banaś, 2023)

Cushing Sendromlu hastalarda sıklıkla obezite, omurgada buffalo hörgücü benzeri görüntü, halsizlik, hipertansiyon, çatlaklar ve eş zamanlı diyabet görülür. Bu durum kadınları erkeklerden 3 ila 5 kat daha sık etkiler. Kafatasında benekli bir görünümle birlikte yaygın incelme görülebilir. Dişler erken sürebilir ve lamina dura kısmi kayıp meydana gelebilir. (White&Pharoah, 2009)

Osteoporoz ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Osteoporoz, kemik kütlesi kaybı, kemik mineral yoğunluğunda azalma ve kemik mikro mimarisinin bozulmasıyla karakterize bir iskelet hastalığıdır ve bu da kemik kırılabilirliğine ve kırık riskinin artmasına neden olur. Osteoporoz, yaşlılarda en sık görülen metabolik bozukluklardan biridir. (Koth, 2021) En sık görülen yerleşim yerleri distal radius, proksimal femur, kaburgalar ve omurlardır. Hastalarda kemik ağrısı görülebilir. (White&Pharoah, 2009). Menapoz sonrası kadınlarda östrojen eksikliği, kemik erimesinin artmasına ve kemik kütlesinin azalmasına neden olur. Bu nedenle, osteoporoz hastalarının çoğu 50 yaş üstü kadınlardır. (Koth, 2021)

Osteoporoz kaynaklı meydana gelen kemik yoğunluğundaki azalma sonucunda kortikal sınırların yoğunluğunda azalma ve incelme belirtileri gözlemlenebilir. Bazen lamina dura normalden daha ince görülebilir. Mandibulanın diğer bölgelerinde de trabekül sayısında bir azalma görülebilir. (White&Pharoah, 2009)

Raşitizm, Osteomalazi ve Lamina Dura Üzerindeki Etkileri

Hipofosfatemik D vitamini dirençli raşitizm veya X'e bağlı hipofosfatemi(XLH), böbrek tübülllerinden meydana gelen fosfat kaybı ve buna bağlı olarak gelişen kalsiyum ve potasyum seviyesinde azalma ile belirgin hipofosfatemi gösteren kalıtsal bir hastalıktır. Hastalığın

patofizyolojisinin, özellikle böbrek proksimal tübülünde ve bağırsakta fosfat emiliminin azalması olmak üzere, fosfat taşınmasında bozulma olduğu düşünülmektedir. (Murayama et al., 2000)

Tarihsel olarak raşitizm ve osteomalazi, 17. Yüzyıldan günümüze kadar uzanan dönemde D vitamini eksikliğiyle eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Kelimenin tam anlamıyla yumuşak kemik anlamına gelen osteomalazi terimi, radyolojik veya histolojik olarak belgelenmiş karakteristik iskelet hastalıkları için kullanılmıştır. (Minisola et al., 2020)

Raşıitizm terimi genellikle hastalık bebeklerde ve çocuklarda gelişmekte olan iskeleti etkilediğinde kullanılır. Osteomalazi terimi ise hastalık yetişkinlerde olgun iskeleti etkilediğinde kullanılır. (White&Pharoah, 2009)

Raşıitizmde çene kemiklerinin kortikal yapısında incelme görülebilir. Çenelerdeki değişiklikler genellikle kaburga ve uzun kemiklerdeki değişikliklerden sonra ortaya çıkar. Çenelerin süngerimsi kısmındaki trabekül yoğunluğu, sayısı ve kalınlığı azalır. Şiddetli vakalarda çene kemikleri oldukça radyolüsent görünür öyle ki, dişler kemik desteğinden yoksunmuş gibi radyolojik görüntü verebilir. Çoğu osteomalazi vakasında çenelerde radyografik bulgular görülmez ancak, radyolojik bulgular mevcut olduğunda, genel olarak radyolüsent bir görünüm ve seyrek trabeküller görülebilir. Raşıitizmde lamina dura kortikal sınırında incelme veya devamlılık kaybı görülebilir. (White&Pharoah, 2009)

Hipofosfatazya ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Hipofosfatazya, ilk olarak 1948 yılında Rathbun tarafından bildirilen metabolik bir hastalıktır. Süt dişlerinin erken sürmesi, kısa bir süre sonra bu hastalığın karakteristik bir klinik bulgusu olarak bildirilmiştir. Hipofosfatazya, kemik ve dişlerin mineralizasyonunda bozuklukla karakterize nadir bir genetik hastalıktır. Hipofosfatazyalı hastalar, ölü doğumlardan şiddetli iskeletsel bozukluklara kadar geniş bir yelpazede belirtiler gösterir. (Okawa&Nakano, 2022)

Süt dişlerinin erken kaybı gibi dental belirtiler bazen hafif düzeyli hipofosfatazya hastalığında tanıya götürebilir. (Okawa&Nakano, 2022)

Şiddetli hipofosfatazyalı hastaların, hafif düzeyli hastalara göre daha karmaşık ve çeşitli ağız bulguları gösterdiği kabul edilmiştir. (Okawa&Nakano, 2022). Karmaşık ve değişken klinik bulgulara dayanarak, hipofosfatazyalı hastalar; çocuk diş hekimleri, periodontoloji uzmanları, ortodontistler ve protetik diş tedavisi uzmanlarını da içeren multidisipliner bir yaklaşımla tedavi edilmelidir. (Foster et al., 2025)

Süt dişlerinin erken kaybı, dişlerin alveol kemiğine tutunmasını tehlikeye atan gelişimsel sement kusurları nedeniyle meydana gelir. Ayrıca hipofosfatazyalı hastalarda alveolar kemik

mineralizasyonu bozulur ve alveolar kemik miktarında azalma görülür. Zayıflamış sement ve alveol kemik yapısı, diş eti çekilmesi ve periodontal cep oluşum riskini artırabilir. Bu şekilde artan inflamasyon enflamatuar ve yıkıcı bir durum olan periodontitis gelişimine katkıda bulunabilir. (Foster et al., 2025) Ayrıca hipofosfatazyalı hastalarda kortikal kemik ve lamina durada incelme görülür. (White&Pharoah, 2009)

Renal Osteodistrofi ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Renal osteodistrofi, kronik böbrek hastalığı ile ilişkili kemik metabolizmasının komplikasyonlarını kapsayan bir terimdir. Böbrek seviyelerinin ilerleyici kaybı, paratiroid hormon (PTH) seviyelerini yükseltir ve artan kemik turn-over ı ve iskeletsel bulguların ortaya çıkmasına neden olur. Klinik durum, tanı ve tedavi açısından zorluk teşkil eder. (Subarnbhesaj et al., 2020)

Diyabet, hipertansiyon, kronik glomerülonefrit ve sistemik lupus eritematozus bu hastalığın en yaygın nedenleridir.(Bellorin-Font et al., 2023)

Renal osteodistrofi, düzenli olmayan kalsiyum, fosfor ve D vitamini metabolizmasıyla ilişkili artan paratiroid fonksiyonundan kaynaklandığına inanılan bir kemik değişikliğidir. Renal osteodistrofi, kronik böbrek hastalığının yaygın bir komplikasyonudur ve kronik böbrek yetmezliğinin erken dönemlerinde ortaya çıkar. (Bellorin-Font et al., 2023)

Renal osteodistrofide görülen en yaygın kemik lezyonu osteitis fibrosa sistikaya benzer kemik değişikliklerine ve raşitizme benzer fiziksel değişikliklere yol açan sekonder hiperparatiroidizmin bir sonucudur. (Parthiban et al., 2014)

Osteitis fibroza, son dönem böbrek hastalığı olan hastaların yaklaşık %30'unu etkileyen en yaygın renal osteodistrofi türüdür. Erken dönem kronik böbrek yetmezliği olan yetişkinlerde serum 1,25-dihidroksivitamin D seviyeleri normal olsa da, kronik böbrek yetmezliği olan çocuklarda erken dönemde D vitamini bozukluğu görülür. Sağlıklı böbrekler tarafından üretilen dihidroksile D vitamini formunun eksikliği nedeniyle kalsiyumun gastrointestinal emiliminin zayıf olması da hipokalsemiye ve sekonder hiperparatiroidizme katkıda bulunur. Sekonder hiperparatiroidizm, hemodiyaliz alan hastaların %92 kadarını etkiler. (Parthiban et al., 2014)

Diğer tüm sistemik hastalıklar gibi, kronik böbrek hastalığı da ağızda belirtilere neden olabilir. Erken belirtilerden biri, özellikle sabahları ağızda hoş olmayan bir koku olabilir. Bu amonyak kokusu, tükürükteki yüksek üre konsantrasyonundan kaynaklanan tüm üremik hastalıkların tipik belirtisidir. Şiddetli kserostomi yaygın bir bulgudur. Kronik böbrek hastalığı, yaşamın erken dönemlerinde başlarsa, kalsiyum ve fosfat metabolizmasındaki bozukluklara bağlı olarak mine hipoplazisi gelişebilir. Gelişmekte olan dişlerde kırmızı-kahverengi renk

değişikliği, gecikmiş veya değişmiş sürme zamanları görülebilir. Diş mobilitesi sonucunda maloklüzyon gelişebilir. (Parthiban et al., 2014) Renal osteodistrofi hastalığında lamina dura belirginliği azalabilir veya lamina dura izlenemeyebilir. (White&Pharoah, 2009)

Hipofosfatemi ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

X'e bağlı hipofosfatemi, raşitizmin en yaygın genetik formudur. Büyüme geriliği, alt ekstremitelerde deformiteleri, kemik ve kas ağrısı ile karakterizedir. Fosfat düzenleyici endopeptidaz homologu X'e bağlı (PHEX) gen dizisi varyasyonları, böbrek fosfat kaybına ve iskelet mineralizasyonunun bozulmasına neden olan fibroblast büyüme faktörü 23'ün (FGF23) aşırı üretimine yol açar. (Okawa et al., 2024)

Fosfat eksikliği ayrıca dişlerde mineralizasyon kusurlarına da yol açar. Dentin displazisinin neden olduğu endodontik enfeksiyonlardan kaynaklanan spontan diş enfeksiyonları, iyi bilinen dental belirtilerdir. (Okawa et al., 2024)

Diş çürüğü veya travma öyküsü olmamasına rağmen, görünüşte sağlıklı bir dişin etrafında periapikal diş eti apsesi veya fistül oluşması mümkündür. Bu belirti XLH tanısından önce görülebilir. Dentin, mikroçatlaklar veya minenin aşınması yoluyla bakterilere maruz kalabilir. Bakteriler daha sonra hipomineralize dentine girerek pulpa nekrozuna neden olurlar. Nekrotik pulpa sebebiyle meydana gelen pü, bir fistül veya abse oluşumu yoluyla drene olur. (Okawa et al., 2024)

Hipofosfatemi hastalarında çene kemikleri genellikle osteoporotiktir ve aşırı durumlarda radyografide belirgin radyolüsent görüntü verir. Kortikal sınırlar alışılmışın dışında radyolüsent olabilir veya belirginliğini kaybedebilir. Lamina durada devamlılık kaybı görülebilir ve dişler etrafındaki kortikal sınırlar inceleyebilir veya tamamen yok olabilir. (White&Pharoah, 2009)

Osteopetrozis ve Lamina Dura Üzerindeki Etkisi

Osteopetrozis, genellikle “mermer kemik hastalığı” veya “Albers-Schönberg Hastalığı” olarak adlandırılan, kemik yoğunluğunda önemli bir artış ve kemik iliği boşluklarında daralma ile karakterize nadir görülen kalıtsal bir iskelet hastalığıdır. Bu durum, osteoklastların işlev bozukluğuna bağlı olarak kemik yeniden yapılanmasındaki bir kusurdan kaynaklanır ve kemik döngüsünün azalmasına neden olur. Kemik yoğunluğunda belirgin bir artış ve kemik iliği boşluklarının daralması ile karakterize değişken klinik özellikler gösterir. (Al-Johany, 2024)

Osteopetrozisli hastalarda görülen diş belirtileri arasında eksik dişler, gecikmiş diş sürmesi, ankiloze dişler, kuron ve kök anormallikleri, mine hipoplazisi, periodontal defektler, pulpa odalarında daralma ve mandibular prognatizm yer alabilir. Ayrıca, kalsiyum-fosfor

oranın bozulması, mine defektleri ve kuron anormalliklerinin plak tutulumunu artırdığı ve hastayı diş çürüklerine karşı daha duyarlı hale getirdiği bildirilmiştir. (Okawa et al., 2023)

Osteosklerozdan etkilenen çene kemikleri kırılmaya karşı oldukça hassastır. Vasküler beslenmenin bozulması nedeniyle, diş çekimi, diş çürükleri ve periodontitisin bir sonucu olarak osteomyelit meydana gelebilir. Çene kemiği kırıkları ve osteomyelit genellikle semptomatik olarak tedavi edilir. Bu nedenle osteopetrozis hastalarının bu komplikasyonları önlemek için iyi düzeyde ağız hijyenine sahip olmaları oldukça önemlidir. (Okawa et al., 2023)

Osteopeteozisin tüm formlarındaki radyolojik bulgular, merkezi biyolojik kusur olan düzensiz osteoklast fonksiyonu ile kolayca açıklanabilir. Bu da şu sonuçlara yol açar:

- Kemik yoğunluğunda artış
- Şiddetli vakalarda kortikal kemik hacminde artış (hiperosteoz)
- Kusurlu kemik oluşumu
- Kemik kırılabilirliği (kırıklar ve kemik deformiteleri) (Calder et al.,2022)

Osteopetroziste çenelerin artan radyoopasitesi sebebiyle radyografik görüntüde herhangi bir iç yapı gözlenemeyebilir. Artan kemik yoğunluğu ve nispeten zayıf damarlanma, mandibulanın genellikle odontojenik inflamatuvar lezyonlardan kaynaklanan osteomyelite karşı duyarlılığına neden olur. Lamina dura ve kortikal sınırlar normalden daha ince gözlenebilir. (White&Pharoah, 2009)

Sonuç olarak, alveolar kemiğin periodontal ligament ile ilişkili kompakt tabakasının radyografik görüntüsü olan lamina dura, yalnızca lokal dişe bağlı durumların değil, sistemik hastalıkların kemik metabolizması üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde de önemli tanısal ipuçları sunmaktadır. Metabolik, endokrin ve hematolojik hastalıklarda lamina dura kalınlığında, sürekliliğinde ve yoğunluğunda gözlenen değişiklikler, sistemik kemik döngüsündeki bozulmaların çene kemikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bu nedenle lamina dura bütünlüğünün dikkatli radyolojik analizi, sistemik hastalıkların erken bulgularının saptanmasında ve dental radyolojik görüntülemenin multidisipliner tanı sürecine katkısının artırılmasında oldukça önemlidir.

KAYNAKÇA

- Achanta, A., & Kasbage, S. D. (2022). Oral Manifestations of Thyroid Disorders. *Journal of Research in Medical and Dental Science*, 10(8).
- Al-Johany, S. A. (2024). Oral and Radiographic Characteristics Osteopetrosis: Unveiling a Rare Clinical Case. *Ayden Journal of Drug and Pharmaceutical Research*, 1(1), 33-38.
- Balmuchu, I., et al. (2022). Implications of Lamina Dura in Dental Radiology: An Overview. *Acta Scientific Dental Sciences*, 6(11), 123-125.
- Bellorin-Font, E., et al. (2023). Bone Disease in Chronic Kidney Disease and Kidney Transplant. *Nutrients*, 15(1), 167.
- Calder, et al. (2022). Imaging in Osteopetrosis. *Bone*, 165.
- Choudhary, A. (2022). Relevance of Lamina Dura in Health and Disease: A Diagnostic Landmark. *International Journal of Dental Science and Innovative Research*, 2(5), 304-311.
- Cylke-Falkowska, K., & Stelmachowska-Banaś, M. (2023). Bone Metabolism Disorders in Endogenous Cushing Syndrome. *Wiedza Medyczna*, 5(2), 15-20.
- Foster, B. L., et al. (2025). Dental Manifestations of Hypophosphatasia: Translational and Clinical Advances. *JBMR Plus*, 9(2).
- Guimarães, et al. (2022). Manifestations of Hyperparathyroidism in the Jaws: Concepts, Mechanisms and Clinical Aspects. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol*, 133(5), 547-555.
- Koth, V. S. (2021). Repercussions of Osteoporosis on the Maxillofacial Complex: A Critical Overview. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 39, 117-125.
- Minisola, S., et al. (2020). Osteomalacia and Vitamin D Status: A Clinical Update 2020. *JBMR Plus*, 5(1).
- Murayama, et al. (2000). Familial Hypophosphatemic Vitamin D-resistant Rickets: Dental Findings and Histologic Study of Teeth. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol, and Endod*, 90(3), 310-316.
- Okawa, R., & Nakano, K. (2022). Dental Manifestation and Management of Hypophosphatasia. *Japanese Dental Science Review*, 58, 208-216.
- Okawa, R., et al. (2023). Case of Osteopetrosis with Multiple Impacted Primary and Permanent Teeth Diagnosed at Eight Years Old. *Pediatric Dental Journal*, 33(1), 80-84.
- Okawa, R., et al. (2024). Evaluation of Dental Manifestations in X-linked Hypophosphatemia Using Orthopantomography. *PLoS ONE*, 19(7).

- Parthiban, J., et al. (2014). Oral Manifestations in a Renal Osteodystrophy Patient: A Case Report with Review of Literature. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 8(8), 28-30.
- Rajendran, R., & Sivapathasundharam, B. (2009). *Shafer's Textbook of Oral Pathology* (6. bs.). Mosby Elsevier.
- Subarnbhesaj, et al. (2020). Renal Osteodystrophy in Patients with Chronic Renal Failure and Secondary Hyperparathyroidism: A Case Series. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol and Oral Radiol*, 130(3).
- White, S. C., & Pharoah, M. J. (2009a). Normal radiographic anatomy (Chapter 10). *Oral radiology: Principles and interpretation* (6. bs., ss. 152-174). Mosby Elsevier.
- White, S. C., & Pharoah, M. J. (2009b). Systemic diseases manifested in the jaws (Chapter 25). *Oral radiology: Principles and interpretation* (6. bs., ss. 454-472). Mosby Elsevier.