

SAĞLIK BİLİMLERİNDE GÜNCEL EĞİLİMLER VE İLERİ ÇALIŞMALAR



All Sciences Academy

*SAĞLIK
BİLİMLERİNDE
GÜNCEL
EĞİLİMLER VE
İLERİ
ÇALIŞMALAR*

Editor

Prof. Dr. Fatih HATİPOĞLU





Sağlık Bilimlerinde Güncel Eğilimler ve İleri Çalışmalar

Editör: Prof. Dr. Fatih HATİPOĞLU

Dizayn: All Sciences Academy Design

Basım Tarihi: Temmuz 2026

Yayıncı Sertifika Numarası: 72273

ISBN: 978-625-8839-14-2

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

1. Bölüm	6
Süt Sığırlarında Uzun Ömürlülük (Longevity): Tanımı, Önemi, Genetik Değerlendirme ve Sürdürülebilirliğe Etkileri <i>Ali KAYGISIZ, İbrahim TAPKI</i>	
2. Bölüm	29
Lenfödemde Güncel Rehabilitasyon ve Modern Fizyoterapi Stratejileri <i>Berna KAYGUSUZOĞLU, Aziz AKSOY</i>	
3. Bölüm	50
Poliendeokrin Metabolik Over Sendromunda Diyet Yaklaşımlarının Hormonlar Üzerindeki Etkisi <i>Aleyna ÇINAR, Pelin YURTSEVER, Zeynep YILMAZ, Ezgi KAR</i>	
4. Bölüm	73
Periodontal Doku Rejenerasyonunda Kök Hücre Temelli Tedavi Yaklaşımları <i>İzzet Melih GÜRKAN, Sibel ÖZDEMİR</i>	
5. Bölüm	91
Periodontal Defektlerin Görüntüleme Yöntemleri <i>İzzet Melih GÜRKAN, Hakan ÖZDEMİR</i>	
6. Bölüm	109
Eczane Hizmetlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği <i>Fatih Mehmet ATEŞ, Mevlüt ALBAYRAK</i>	
7. Bölüm	122
Sağlık Hizmetlerinde Hasta Güvenliği <i>Neriman NALDÖKEN</i>	

8. Bölüm	136
Periodontolojide Yapay Zeka Uygulamaları: Güncel Eğilimler ve Gelecek Perspektifleri	
<i>Ramazan AĞIRAĞAÇ</i>	
9. Bölüm	152
Büyük Azı Keser Hipomineralizasyonu: Literatüre Güncel Bir Bakış	
<i>Sena SAKIN ULUBAY, Serra ÖZKAN</i>	
10. Bölüm	178
Geviş Getiren Hayvanlarda Ön Midenin Değişken Morfolojisi	
<i>Şükrü Hakan ATALGIN, Zekeriya ÖZÜDOĞRU</i>	
11. Bölüm	196
Kuşlarda Glandula Uropygialis'in (Bursel Bez) Makroanatomik, Morfometrik, Histolojik ve Vasküler Özellikleri	
<i>Şükrü Hakan ATALGIN, Mehmet CAN</i>	
12. Bölüm	210
2023 Kahramanmaraş Depremleri Bağlamında Kırılgan Gruplar: Engelli Bireyler, Yaşlı Bireyler, Kadınlar Ve Çocukların Afet Deneyimlerine Kesişimsel Bir Bakış	
<i>Teslime ÇAKALOĞLU</i>	
13. Bölüm	227
Bitkilerin Antidiyabetik Etki Mekanizması	
<i>Kübra Nur TANKIZ, Zehra Tuğba MURATHAN</i>	
14. Bölüm	250
Sanal Gerçeklik Gözlüklerinin Hemodiyaliz Hastalarının Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisi	
<i>İzzettin EKİNCİ</i>	

Süt Sığırlarında Uzun Ömürlülük (Longevity): Tanımı, Önemi, Genetik Değerlendirme ve Sürdürülebilirliğe Etkileri

**Ali KAYGISIZ¹
İbrahim TAPKI²**

¹ Prof. Dr. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, ali.kaygisiz@ksu.edu.tr, ORCID No:0000-0002-5302-2735

² Prof. Dr. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 31100 Hatay, itapki@mku.edu.tr, ORCID No:0000-0002-4552-6941

1. GİRİŞ

1.1. Sürü Ömrünün Tanımı ve Kapsamı

En basit tanımıyla sürü ömrü (longevity), “uzun süre sürüde kalma yeteneği” olarak ifade edilmektedir (Schuster ve ark. 2020). Süt sığırcılığında bu kavram, bir ineğin doğumundan sürüden çıkarıldığı ana (kesim veya ölüm) kadar sürüde kalabildiği süreyi kapsamaktadır (Han ve ark. 2022; Schuster ve ark. 2020).

Schuster ve ark. (2020) ile Dallago ve ark. (2021), uzun ömürlülük kavramını iki temel süreç çerçevesinde ele almaktadır. Bunlardan ilki, ineğin kendi doğumundan sürüden çıkarılmasına kadar geçen süreyi ifade eden sürü ömrü (herd life) iken (Schuster ve ark. 2020; Han ve ark. 2022), diğeri ineğin doğurmasından sürüden çıkarılmasına kadar geçen süre olan üretken yaşam süresidir (length of productive life, LPL) (Schuster ve ark. 2020; Hu ve ark. 2021; Rostellato ve ark. 2021). Bununla birlikte, pratik uygulamalarda “longevity” terimi çoğunlukla üretken yaşam süresi, yani ilk buzağılama ile sürüden çıkarılma arasındaki dönemi ifade edecek şekilde kullanılmaktadır (Shabalina ve ark. 2020; Hu ve ark. 2021).

Genetik çalışmalar, longevity kavramını daha ayrıntılı biçimde alt kategorilere ayırmaktadır (Hu ve ark. 2021; Dallago ve ark. 2021). Bu kapsamda gerçek (true) longevity, bir ineğin ayıklanma yaşını uzatma yeteneğini ifade etmekte olup, verim düzeltmesi yapılmaksızın toplam sürüde kalış süresine dayanmaktadır (Hu ve ark. 2021). Fonksiyonel longevity ise sağlık ve döl verimi gibi zorunlu nedenlere bağlı ayıklanma yaşını uzatma yeteneğini ifade etmekte olup, genellikle süt verimine göre düzeltilen bir ölçüt olarak ele alınmaktadır (Hu ve ark. 2021; Rostellato ve ark. 2021). Diğer yandan sürüde kalma yeteneği (stayability), belirli bir yaşa ya da laktasyon sayısına kadar hayvanın sürüde kalıp, kalmadığını gösteren var ya da yok şeklinde ifade edilen bir ölçüt olarak Kabul edilmektedir. Örneğin bir ineğin en az üç kez buzağılayabilmesi ve süt üretebilmesi bu kapsamda değerlendirilmektedir (Hu ve ark. 2021).

Son olarak sürü ömrü, yalnızca hayvanın erken yaşta sürüye katılması değil, aynı zamanda ekonomik açıdan kârlı bir şekilde uzun süre sürüde kalabilme yeteneğini de kapsayan bütüncül bir özellik olarak değerlendirilmektedir (Dallago ve ark. 2021).

1.2. Sürü Ömrünün Önemi

Mevcut araştırma bulguları, uzun sürü ömrünün tek başına yeterli olmadığını; hayvan başına yüksek süt verimi, etkin atık yönetimi ve yüksek refah standartları ile birlikte değerlendirildiğinde ekonomik, çevresel ve etik açısından en sürdürülebilir bir sonuç elde edilebileceğini göstermektedir. Günümüzde halen süt sığırlarında sürü ömrü kapsamında modelleme çalışmaları devam etmektedir.

1.3. Sürü ömrü ve kârlılık / verimlilik ilişkisi

İsviçre’de 2010–2018 yılları arasında 1.959 işletme üzerinde yürütülen bir çalışmada, hem yaşam süresinin ve hem de üretken yaşam süresinin arttığında teknik verimliliğin, kârlılık ve inek başına süt veriminin genel olarak yükseldiği; ancak belirli bir eşik değerinin aşılmasının ardından daha uzun sürü ömrünün ekonomik performansı olumsuz yönde etkileyebileceği bildirilmiştir (Adamie ve ark. 2023). Hollanda’da 855 işletmeye ait 10 yıllık verilerin değerlendirildiği bir çalışmada ise, ineklerin sürüden çıkarılma yaşı ve yaşam boyu süt verimi ile brüt kar marjı arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmemiş; daha uzun ömürlü sürülerin ortalama olarak ne daha iyi ne de daha düşük ekonomik performans sergilediği ortaya konmuştur (Vredenberg ve ark., 2021). Bu bulgu, mevcut yetiştirme ve yönetim koşulları altında sürü ömrünün artırılmasının mümkün olduğu ve bunun kârlılığı olumsuz etkilemeden sürdürülebileceği şeklinde yorumlanmaktadır. Hollanda verilerine dayalı bir diğer çalışmada ise, ineklerin sürüden çıkarılma yaşındaki artışın toplam girdi teknik etkinsizliği ile negatif ilişkili olduğu belirlenmiş; başka bir ifadeyle, daha uzun sürü ömrünün özellikle yem kullanımı ve hayvan varlığı gibi girdilerin daha etkin kullanılmasına katkı sağladığı ifade edilmiştir (Han ve ark., 2022).

Dinamik verimlilik analizine dayanan bulgular ise, sürüde ergin inek oranının artmasının (daha yüksek uzun ömürlülük) teknik gelişme ve toplam faktör verimliliğindeki artış ile pozitif ilişkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, ineklerin yaşlanmasına bağlı olarak bireysel verimde meydana gelen düşüşün, teknik etkinsizlik bileşeni üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu da belirtilmektedir (Ali, 2020).

1.3.1. “Çok kısa” ve “çok uzun” sürü ömrünün ekonomik maliyetleri

Klasik sürü yenileme modelleri, ekonomik açıdan optimal üretken ömrün 40 ayın üzerinde olduğunu; ancak güncel fiyatlar, genetik ilerleme ve düve arzındaki artışa bağlı olarak bu sürenin yaklaşık 5 yıl civarına yükseldiğini göstermektedir (De Vries, 2020).

İsviçre koşullarında biyoekonomik modellemeye dayanan bir çalışmada, düve maliyeti, süt kaybı riski ve genetik ilerleme birlikte değerlendirildiğinde, 4–6 yıllık bir üretken ömür aralığının çiftlik geliri açısından en uygun bir düzey olduğu ve bu aralıkta inek başına gelirin %10–15 oranında daha yüksek olabildiği belirlenmiştir (Gazzarin ve ark., 2025).

Organik işletmelerde yapılan dinamik programlama analizleri ise, uygun koşullarda daha uzun üretken ömür ve geç ayıklama stratejisinin, özellikle sürü yenileme maliyetlerini düşürerek toplam kârlılığı artırdığını ortaya koymaktadır (Shrestha ve ark., 2025).

1.3.2. Yönetim uygulamaları ve sürü ömrü–kârlılık takası

“Geleneksel” sürü yönetiminin uygulandığı (pastörize edilmemiş süt, bireysel barındırma vb.) 1.658 işletmede daha uzun sürü ömrüne karşın daha düşük düzeyde üretkenlik ve kârlılık; “modern” sürü yönetiminin uygulandığı (otomatik yemleme, grup barındırma vb.) işletmelerde ise daha kısa sürü ömrüne karşın daha yüksek düzeyde üretkenlik ve kârlılık olduğu belirlenmiştir (Dallago, Warner & Vasseur 2025). Bu durum, sürü ömrünün artırılmasının tek başına yeterli olmadığını, süt verimi ve maliyet yönetimi ile birlikte analiz edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Dallago ve ark. (2021) zorunlu kesimlerin azaltılması yoluyla sürü ömrünün uzatılmasının, sağlık maliyetlerini düşürerek inek başına yaşam boyu kârlılığın artırabileceğini ve kaynak kullanım etkinliğini iyileştirebileceğini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, sürü ömrü ekonomik açıdan ne çok uzun ve ne de çok kısa olmamalıdır. Araştırma bulguları, çok kısa sürü ömrünün yüksek sürü yenileme maliyetleri ve hayvanların erken yaşta sürüden çıkarılması nedeniyle ekonomik kayıplara yol açtığını; çok uzun sürü ömrünün ise yaşa bağlı verim düşüşü ve artan sağlık harcamaları nedeniyle işletme karlılığını düşürdüğünü ortaya koymaktadır (De Vries 2020; Adamie ve ark. 2023; Gazzarin ve ark. 2025). En uygun ekonomik sonuçların, zorunlu ayıklama oranının azaltıldığı, sağlıklı ve yüksek verimli ineklerin yaklaşık 3–5 laktasyon boyunca sürüde tutulduğu ve sürü yenileme oranının dengelendiği yetiştirme sistemlerinde elde edildiği bildirilmektedir.

1.4. Sürü Ömrü ile Hayvan Refahı Arasındaki Temel İlişki

Sürü/inek ömrü ile refah arasındaki ilişki karmaşık bir düzeydedir. Kısa ömür, çoğu zaman refah sorunlarının bir göstergesi olarak görülürken, uzun ömrün de tek başına iyi refahın bir göstergesi olduğu düşünülmemelidir.

Yüksek orandaki zorunlu kesim (sağlık sorunları, döl tutmama, ayak–bacak ve yapısal problemler nedeniyle), hayvan refahının bozulduğunu gösteren temel göstergelerden biridir. Bu konuda yürütülen araştırmalar, ortalama 3–4 yıllık üretken ömür sonrasında hayvanların bu tür sağlık, döl verimi ve yapısal sorunlara bağlı olarak erken yaşta sürüden ayıklandığını ve zorunlu kesime gönderildiğini ortaya koymaktadır (Vries & Marcondes 2020; Dallago ve ark. 2021).

Özellikle topallık ve ayak hastalıkları, hem ciddi bir ağrı kaynağı olması hem de zorunlu kesimin başlıca nedenleri arasında yer alması nedeniyle çok önemlidir. Bu bağlamda, kısa sürü ömrü çoğunlukla ayak–bacak kaynaklı refah sorunlarıyla yakından ilişkili kabul edilmektedir (Bruijnjs ve ark. 2013).

Vries ve Marcondes (2020), uzun üretken ömrün ise tek başına iyi refahın bir göstergesi olmadığını, benzer şekilde kısa üretken ömrün de her zaman kötü refah anlamına gelmediğini ortaya koymuştur. Uzun ömürlülük, yaşa, kronik mastitis ve somatik hücre sayısındaki artışa bağlıdır. Nitekim İsviçrede yürütülen bir çalışmada, daha uzun üretken ömre sahip sürülerde

somatik hücre sayısının daha yüksek olduğu, mastitis görülme sıklığının ise aynı düzeyde kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, uygun sürü yönetimi koşullarında uzun ömürlülüğün sağlık açısından bir olumsuzluğa neden olmadığını göstermektedir (Bieber ve ark. 2024).

Uzun üretken ömrün refah açısından olumlu değerlendirilebilmesi, zorunlu kesimlerin azaltılmasına, sağlık ve konfor koşullarının iyileştirilmesine ve erken dönem bakımının iyileştirilmesine bağlıdır. Bu yaklaşım ile, sağlık giderleri azaltılarak hem hayvan refahını ve hem de yaşam boyu kârlılık artırılabilir (Dallago ve ark. 2021; Dallago, Warner & Vasseur 2025). Bu kapsamda uzun ömürlülük, yalnızca bir performans göstergesi değil, aynı zamanda hayvanın türüne özgü doğal yaşamını sürdürebilme imkânı açısından refahın temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Brujnis ve ark. 2013; Mann 2023).

Sonuç olarak sürü ömrü, süt sığırcılığında hayvan refahının güçlü bir göstergesi olmasına karşın, tek başına yeterli değildir. Hayvan refahı açısından en uygun yaklaşım, zorunlu ayıklama oranının azaltıldığı, sağlıklı ve konforlu koşullar altında hayvanlara uzun ancak optimal bir üretken ömür sağlayan yetiştirme sistemlerinin benimsenmesidir.

1.5. Süt Verimi ile Sürü Ömrü Arasındaki İlişki

Süt Süt verimi ile sürü ömrü arasındaki genetik korelasyonların belirlendiği araştırma sonuçları arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Nitekim, Brezilya’da yüksek verimli bir Holstein sığır sürüsünde yapılan çalışmada, ilk laktasyon 305 günlük süt verimi ile üretken ömür arasındaki genetik korelasyonun çok düşük (0.02) olduğu bildirilirken (Oliveira ve ark., 2012). İngilteredeki Holstein popülasyonunda süt ve yağ verimi ile üretken ömür arasında antagonistik bir genetik ilişki tespit edilmiş; verimi artırmaya yönelik seleksiyonun, sürü ömrünü genetik olarak azalttığı ortaya konmuştur (Pritchard ve ark., 2013). Benzer şekilde Sırbistan Holstein sığırlarında süt verimi ile üretken ömür arasındaki genetik korelasyon -0.18 olarak tahmin edilmiş, bu ilişkinin negatif ancak düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir (Djedović ve ark., 2023).

Olechnowicz ve Kneblewski (2016) tarafından yapılan bir çalışmada düşük verimli ineklerin, ortalama verime sahip ineklere oranla sürüden çıkarılma riskinin yaklaşık 2.7 kat daha yüksek olduğunu; bunun temel nedeninin ise yetiştiricilerin düşük verimli hayvanları gönüllü olarak kendilerinin ayıklaması olduğunu, bu durumun, fenotipik olarak yüksek verimli ineklerin sürüde daha uzun süre kalmasına ve gerçek genetik ilişkinin maskelenmesine neden olduğunu belirtmiştir.

Dallago ve ark. (2021)’de yüksek süt verimli sürülere sahip ülkelerde sürü ömrünün zaman içinde kısaldığını, ancak süt verimi ile sürü ömrü arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını vurgulamıştır. Benzer şekilde Dechow (2015), ABD’de verim ile sürü ömrü arasındaki ilişkinin zamanla

değiştirdiğini, başlangıçta orta düzeyde pozitif olan korelasyonun giderek zayıfladığını bildirmiştir.

Vollema'nın (1998) Hollanda da yürüttüğü çalışmasında ise fonksiyonel sürü ömrü, süt verimine göre düzeltilmiş bir ölçüt olarak tanımlanmış ve zorunlu ayıklamanın daha iyi bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu özelliğin kalıtım derecesinin düşük (yaklaşık 0.03–0.07) olduğu, ancak meme sistemi ile ayak–bacak konformasyonu gibi özelliklerle güçlü korelasyonlar gösterdiği belirtilmiştir.

Fransa'da 122.000'den fazla Holstein ineği üzerinde yapılan bir çalışmada da, yetiştiricilerin düşük verimli hayvanları diğer özellikleri iyi olsa dahi, daha yüksek oranda sürüden çıkardığı ortaya konmuştur (Rostellato ve ark., 2021).

Sonuç olarak, süt verimi yönündeki yoğun seleksiyon uygulaması, fonksiyonel sürü ömrü üzerinde genellikle düşük ya da orta düzeyde olumsuz genetik etkilere sahiptir; özellikle döl verimi ve metabolik sağlık problemleri kapsamında dolaylı bir antagonizm söz konusudur. Bununla birlikte bu ilişkinin mutlak olmadığı ve büyüklüğünün popülasyondan, popülasyona değiştiği görülmektedir. Bu nedenle, modern ıslah programlarında, toplam seleksiyon indekslerine sürü ömrü, döl verimi ve sağlık özellikleri birlikte dahil edilerek dengeleyici bir yaklaşım benimsemektedir. Fenotipik düzeyde ise düşük verimli hayvanların yetiştiriciler tarafından gönüllü olarak daha erken yaşta sürüden çıkarılması nedeniyle “yüksek verim = kısa ömür” gibi bir sonuç ile karşı karşıya kalındığından, gerçek sonuca ulaşmak ulaşmak neredeyse imkansız bir hale gelmektedir.

2. SÜRÜ ÖMRÜNÜN EKONOMİK ÖNEMİ

2.1. Yenileme Maliyetleri: En Büyük Kalem

Sürü ömrü, düve yetiştirme ve sürü yenileme maliyetleri açısından çok önemli bir yere sahiptir. Sürü ömrünün ıslah hedefinden çıkarılması genetik kazancı azaltmakta; buna karşılık üretken yaşam süresine yönelik seleksiyon, verimliliği artırmakta ve sağlık göstergelerini iyileştirmektedir. Bu bulgular, uzun ömürlülüğün ekonomik değerinin yüksek olduğunu ve seleksiyon indekslerine mutlaka dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir (Shokri-Sangari ve ark. 2026). Bu avantajın, sürünün verim düzeyi veya süt-et fiyat oranından büyük ölçüde bağımsız olduğu bildirilmektedir. Benzer şekilde, Honarvar ve ark. (2010) tarafından yapılan simülasyon çalışmasında üretken ömrün 35 aydan 65 aya çıkarılması, kümülatif kârı yaklaşık 1.9 kat artırmıştır.

2.2. Genetik İlerleme ile Sürü Ömrü Arasındaki İlişki

De Vries'in (2017) ABD'inde yürüttüğü bir çalışmada, sürüdeki genetik olarak üstün özelliklere sahip düvelerin ileride inek olduklarında erken ayıklanmasının ekonomik açıdan değerlendirmesini yapmıştır. Araştırma sonuçları, üretken yaşam (productive life) için tahmini damızlık

değerinin son 50 yılda artış göstermesine rağmen, ineklerin sürüde kalma süresinin benzer şekilde artmadığını ve yıllık ayıklama oranının ise yaklaşık %36 düzeyinde sabit kaldığını, optimizasyon modellerinde genetik ilerlemenin, optimal ayıklama oranı üzerine etkisinin sınırlı olduğunu ve ineğin amortisman maliyetinin (depreciation), hızlanan genetik ilerlemeye oranla daha belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymuştur.

2.3. Bireysel İnek Ekonomik Değeri

Cabrera (2012) Markov zinciri modeli ile, ineğin sürüde kalmasının, bir düve ile yer değiştirmesine oranla beklenen ek kârı ifade eden “sürüde tutulma maliyeti” (RPO) değerini hesaplamıştır. İkinci laktasyondaki ortalama bir ineğin RPO değeri laktasyonun başında yaklaşık 897\$, 8. ayda ise 68\$ düzeyine düştüğünü, gebe ineklerin RPO değerlerinin ise her zaman gebe olmayan ineklerden daha yüksek olduğu bildirmiştir. Habel ve ark. (2021), 32 Almanya’da 4.962 baş sürüden ayıklanmış ineği analiz etmiştir. Araştırma sonuçları, işletmelerin %59’unda ortalama ömür boyu gelir-maliyet dengesinin negatif olduğunu, laktasyon sayısının kârlılığı belirleyen en önemli faktörlerden biri olduğunu ortaya koymuştur.

Yine başka bir araştırmada ise, Warner ve ark. (2022) Quebec’teki 114 sürüde 22.747 inek üzerinde yaşam ömür boyu gelir-maliyet-analizini gerçekleştirmiştir. Araştırma bulguları, yetiştiricilerin ayıklama kararlarını genellikle yalnızca mevcut laktasyona göre verdiklerini, önceki laktasyonlara ait kümülatif maliyetleri ise dikkate almadıklarını ve bu yaklaşımın, düşük kârlı ineklerin sürüde gereğinden çok fazla süre tutulmasına neden olabileceğini ortaya koymuştur.

2.4. Toplam İndeks Hesaplamalarında Sürü Ömrünün Önemi

Modern ıslah programlarında, sürü ömrünün ekonomik değeri, çok önemli bir yere sahiptir. İskandinav ülkelerinde hesaplanan (Danimarka, Finlandiya ve İsveç) toplam değer indekslerinde, sürü ömrü, fertilitite ve sağlık gibi fonksiyonel özellikler önemli bir paya sahiptir. Avusturya’daki Fleckvieh ve Brown Swiss ırkları için Fuerst-Waltl ve ark. (2016) tarafından yapılan hesaplamalara göre, fonksiyonel özelliklerin toplam ekonomik ağırlık içindeki payı %44–48 düzeyindedir. Benzer şekilde, Veerkamp ve ark. (1995) tarafından İngiltere’de yapılan hesaplamalarda genetik standart sapma esas alınmış ve, sürü ömrünün protein verimi üzerindeki ağırlığı 0.55:1.0 olarak belirlenmiştir.

2.5. Erken Ayıklama ve Görünmeyen Maliyetler

İsviçre’de yürütülen güncel bir çalışmada (Schlebusch ve ark., 2025), optimal olmayan ayıklama oranlarının çiftlik başına aylık ortalama 161 İsviçre Frangı ekonomik kayba yol açtığını ve ekonomik verim seviyesine sahip olmayan ineklerin sürüde tutulmasının, erken ayıklamaya kıyasla yaklaşık üç kat daha maliyetli olduğunu ortaya koymuştur. Özetle, sürü ömrünün

ekonomik önemi yalnızca “ineğin daha uzun süre yaşaması ve daha fazla süt üretmesi” yle sınırlı değildir.

Düve yetiştirme maliyetlerinin hesaplanmasında amortisman miktarı genetik ilerlemenin fırsat maliyeti, sağlık giderleri ve çevresel etki birlikte değerlendirildiğinde, zorunlu ayıklama oranının azaltılmasının karlılığı belirgin biçimde artırdığı bir çok araştırma ile ortaya konmuştur. Bu kapsamda özellikle çevresel faktörler ile karbon ayak izinin de ayrıntılı bir biçimde incelenmesi gerekmektedir.

3. SÜT SIĞIRLARINDA UZUN ÖMÜRLÜLÜĞÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Süt sığırlarında uzun ömürlülük, genetik yapı ile çevresel koşulların etkileşimi altında şekillenen çok faktörlü bir özelliktir. Genetik açıdan verimlilik, hastalıklara direnç, üreme performansı ve vücut yapısı gibi özellikler uzun ömürlülüğün temel belirleyicileri arasında yer almakla birlikte bu özelliklerin kalıtım derecesi genellikle düşük ya da orta düzeyde (0.01–0.30) olup, populasyon ve generasyondan generasyona değişkenlik gösterebilmektedir (Heise ve ark., 2016; Hu ve ark., 2021; Reisi-Vanani ve ark., 2024). Bu durum, genetik ilerlemenin düşük hızda olacağını ve seleksiyonun tek başına yeterli olamayacağını göstermektedir.

Buna karşılık, beslenme, barınma, hijyen, sağlık koruma ve stres gibi çevresel faktörler; hayvan sağlığı ile üretkenliği üzerinde doğrudan ve çoğu zaman daha hızlı etkiler oluşturmaktadır (Olechnowicz ve ark., 2016; De Vries ve Marcondes, 2020; Schuster ve ark., 2020). Uygun olmayan sürü yönetimi ile genetik potansiyelin tam olarak ortaya konulamaması, genetik ve çevresel faktörler arasındaki etkileşimin önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, genetik çeşitliliğin korunması ve artırılması, hayvanların çevresel streslere karşı dayanıklılığının ve uzun ömürlülüğünün artırılmasında büyük katkı sağlayabilecektir.

Diğer yandan, erken yaşam dönemine ait faktörler de uzun ömürlülük üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. İlk buzağılama yaşı, ikizlik durumu ve doğum ağırlığı gibi özellikler, ilerleyen dönemlerdeki üretim performansını ve sürüde kalma süresini etkileyebilmektedir (Thomsen, 2025). Bu durum, sürü ömrünün yalnızca yetişkin döneme ait bir özellik olmayıp, yaşamın erken evrelerinden itibaren şekillendiğini göstermektedir. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, genetik ilerleme ve üreme performansındaki iyileşmeler uzun ömürlülüğün optimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Hayvan refahına yönelik artan hassasiyet te daha uzun ve sağlıklı üretim yaşamını teşvik etmektedir (De Vries, 2020). Bu nedenle, yalnızca verim odaklı değil, aynı zamanda dayanıklılık ve refah unsurlarını da içeren dengeli bir ıslah yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, süt sığırlarında uzun ömürlülüğün artırılması; genetik seleksiyon, uygun çevresel koşulların sağlanması ve etkin sürü yönetimi

uygulamalarının bütüncül biçimde ele alınmasını gerektirmektedir. Türkiye’de bu konuya ilişkin çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, mevcut literatürler, genetik ve çevresel faktörlerin birlikte değerlendirildiği stratejilerin uzun ömürlülüğün artırılmasında kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Pritchard ve ark., 2013).

4. UZUN ÖMÜRLÜLÜĞÜN GENETİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Süt sığırcılığında uzun ömürlülüğün genetik değerlendirilmesi, hayvanların doğumdan kesime ya da ilk laktasyondan kesime kadar ki geçen süresinin ölçülmesine dayanmakta; bu süreler literatürde “uzun ömürlülük” ve “üretken yaşam süresi” olarak tanımlanmaktadır (Schuster ve ark., 2020). Bu yaklaşım, yalnızca yaşam süresini değil, hayvanın üretim sistemine sağladığı katkıyı da dikkate aldığından, sürüde kalma süresi boyunca ekonomik ve biyolojik verimlilik birlikte değerlendirilmektedir.

Genetik değerlendirmelerin daha doğru yapılabilmesi için tek bir özelliğe odaklanmak yerine çoklu özelliklerin birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda fonksiyonel uzun ömür (functional longevity) gibi özellikler; somatik hücre sayısı, mastitis görülme sıklığı, gebe kalma oranı ve meme yapısı gibi sağlık ve verimle ilişkili kriterlerle birlikte değerlendirilmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, daha güvenilir genomik seleksiyona olanak sağlamaktadır (Maugan ve ark., 2023).

Holstein ırkı başta olmak üzere sığırlar üzerinde yapılan çalışmalar, sürü ömrünün kalıtım derecesinin genellikle düşük ya da orta düzeyde (0.01–0.16) olduğunu ortaya koymaktadır. (Djedović ve ark., 2023; Hu ve ark., 2025; Baycan ve Duru, 2025). Bu sonuçlar, uzun ömürlülüğün sadece seleksiyonla iyileştirilemeyeceğini; mutlaka uzun ömürlülük ile ilişkili diğer özelliklerin de dikkate alınmasının zorunlu olduğunu ortaya koymuştur.

Uzun ömürlülüğün genetik değerlendirilmesinde yalnızca genetik parametreler değil, hayvan sağlığı, üreme performansı ve çevresel koşullar da dikkate alınmalıdır. Uygulamada hedef, yalnızca uzun yaşayan bireyler değil, aynı zamanda üretim süresince yüksek performans sergileyen hayvanların damızlığa seçilmesidir. Bu nedenle “optimize edilmiş üretken yaşam süresi” kavramı ön plana çıkarılmıştır (Schuster ve ark., 2020; De Vries, 2020; Sdiri ve ark., 2023). Bu yaklaşımla, bağlamda ekonomik verimlilik ile biyolojik sürdürülebilirlik arasında bir denge kurmaya çalışılmıştır. İstatistiki açıdan, şansa bağlı regresyon modeli ve hayatta kalma analizleri (survival) gibi ileri istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak uzun ömürlülüğün zaman içerisindeki değişimi ve genetik parametreleri daha ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir (Pelt ve ark., 2015; Hu ve ark., 2021). Bu gelişmiş yöntemler, değişken süreçlerin, klasik modellere göre daha doğru analiz edilmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, süt sığırcılığında uzun ömürlülüğün genetik değerlendirilmesi, çok sayıda özelliğin birlikte ele alındığı bütüncül bir yaklaşımı gerektirmekte; bu sayede yalnızca uzun yaşayan değil, aynı

zamanda sağlıklı, verimli ve sürdürülebilir üretime katkı sağlayan hayvanların damızlık olarak seçimini mümkün kılacaktır (Hu ve ark., 2021; Hu ve ark., 2023).

5. GELİŞMİŞ ÜLKELERDE ULUSAL UZUN ÖMÜRLÜLÜK DEĞERLENDİRME PROGRAMLARI

Gelişmiş ülkelerde ulusal süt sığırcılığı değerlendirme programlarında uzun ömürlülük (longevity), toplam indeks değerlendirmesinde önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, ülkeler arasında hem özelliğin tanımı hem de indeks içindeki ağırlığı açısından belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Interbull'un 19 ülke ve 123.833 baş boğaya ait verileri kullanarak yürüttüğü bir çalışmada, Holstein ırkında ülkeler arası genetik korelasyonların 0,49 ile 0,76 aralığında olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumun, özelliklerin farklı tanımlanmasından, ayıklama nedenlerinden ve değerlendirme yöntemlerinin farklı olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Forabosco ve ark., 2019).

5.1. Amerika Birleşik Devletlerindeki Değerlendirme Programı

ABD Tarım Bakanlığı (USDA) ve Süt Sığırı Yetiştiriciliği Konseyinin (CDCB) kullanmış olduğu USDA-CDCB sistemi, 1994 yılından itibaren “Üretken Yaşam (Productive Life, PL)” özelliğini genetik olarak değerlendirmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. PL, ilk buzağılamadan itibaren sürüde kalma süresini ifade etmekte olup, erken laktasyon dönemine daha fazla ağırlık vermektedir. PL'nin kalıtım derecesi yaklaşık 0,08 düzeyindedir (Carvalho ve ark., 2015). Net Kar (Net Merit, NM\$) indeksi 1971'de yalnızca verim özellikleri üzerinden hesaplanmış, 1994'te PL ve somatik hücre sayısı (SCS), 2000'de tip özellikleri, 2003'te ise döl verimi ve doğum kolaylığı indekse dahil edilmiştir. PL, Net Kar indeksinde yaklaşık %7–11 oranında ağırlığa sahiptir. Ayrıca Holstein Association tarafından kullanılan TPI (Type-Production Index) değerlendirme sisteminde de PL özelliği eklenmiştir (VanRaden, 2004).

5.2. Kanadadaki Değerlendirme Programı

Kanada'nın Yaşam Boyu Performans İndeks (Lifetime Performance Index, LPI) sistemi; üretim, dayanıklılık (durability) ve sağlık/döl verimi özelliklerinden oluşmaktadır. Uzun ömürlülük, ve dayanıklılık alt indeksinin temel bileşenlerindendir.

5.3. Hollandadaki Değerlendirme Programı

Hollanda'da 1999 yılından itibaren Fonksiyonel Uzun Ömürlülük (Functional Longevity, FL - Durability, DU) için damızlık değerleri hesaplanmakta ve yayınlanmaktadır. Bu değer, süt veriminin etkisinden arındırılmış olup, uzun ömürlülüğün yanı sıra sağrı eğimi, meme başı

yerleşimi, meme derinliği, ayak-bacak yapısı ve somatik hücre sayısı gibi özellikleri birlikte dikkate almaktadır (Vollema ve ark., 2000). Ancak, 2008 yılından itibaren ise fonksiyonel sürü ömrü yerine “productive longevity” kullanılmaya başlanmış ve bu özellik DPS (Durable Performance Sum) ve daha sonraki versiyonlarıyla NVI toplam indeksine dahil edilmiştir (Van der Linde ve ark., 2007).

5.4. Nordik ülkelerindeki (Danimarka, Finlandiya, İsveç) Değerlendirme Programı

Nordik Toplam Kar İndeksinde (NTMI\$) yer alan bileşenlerden birisi de uzun ömürlülüktür. Daha sonra 2016 yılında genç hayvanların hayatta kalma gücü (Youngstock Survival) indekse eklenmiştir (Carlen ve ark., 2016). İsveç’te uzun ömürlülük indekslerinde özellikler arasındaki korelasyonların oldukça yüksek ($>0,89$) olduğu bildirilmiş; döl verimi ve meme sağlığı, uzun ömürlülük ile en güçlü pozitif ilişkili özellikler olarak öne çıkmıştır (Bengtsson, 2011). Finlandiya’da uzun ömürlülük değerlendirmeleri 2003 yılında başlamış, ancak uzun ömürlülük doğrudan indekse dahil edilmemiş, sağlık ve döl verimi ile dolaylı olarak ilişkilendirilerek toplam kar indeksine eklenmiştir (Toivakka ve ark., 2005).

5.5. Fransa ve Avusturyadaki Değerlendirme Programı

Fransa ve Avusturya’da uzun ömürlülük değerlendirmelerinde, Weibull tabanlı yaşam süresi analizleri kullanılarak fonksiyonel uzun ömürlülük rutin olarak hesaplanmaktadır (Ducrocq & Sölkner, 1998).

5.6. İsviçre’deki Değerlendirme Programı

İsviçre’de Braunvieh, Simmental ve Holstein popülasyonları için Weibull mixed sire-maternal grandsire survival regresyon modeli kullanılmaktadır Kalıtım dereceleri 0,18 ile 0,20 arasında hesaplanmakta olup, damızlık değerleri “fonksiyonel üretken ömür” ay olarak hesaplanmaktadır.

5.7. Almanyadaki Değerlendirme Programı

Alman Holstein popülasyonunda uzun ömürlülük değerlendirmesi, farklı laktasyon dönemleri için ikili (binary) hayatta kalma kodları kullanılarak yürütülmektedir. Bu kapsamda, laktasyonun 0-49. gün arası, 50–249. gün arası ve 250. günden sonraki dönemler olmak üzere ilk üç laktasyonda toplam dokuz dönem arasındaki genetik korelasyonlar değerlendirmeye alınmaktadır.

5.8. İngiltere’deki Değerlendirme Programı

İngiltere’de Hayat Boyu Karlılık İndeksi (Profitable Lifetime Index, PLI£), süt, yağ, protein verimi ve Ömür (Lifespan) bileşenlerinden oluşmaktadır. Hastalık direnci ve döl verimi özelliklerinin indekse dahil edilmesi ile sistem geliştirilmiştir (Kadarmideen & Simm, 2002).

5.9. İtalyadaki Değerlendirme Raporu

İtalya'da İsviçre Esmeri sığır ırkı için fonksiyonel uzun ömürlülük 1998 yılından itibaren seleksiyon indeksine dahil edilmiştir. Bu kapsamda boy, arka bacak yapısı, ön meme bağlantısı, meme derinliği ve meme başı uzunluğu gibi morfolojik özellikler yardımcı kriterler olarak kullanılmaktadır (Cassandro, 1999).

5.10. Genetik Korelasyonlar Bakımından Ülkeler Arası Karşılaştırma

Gelişmiş ülkelerin büyük çoğunluğunda uzun ömürlülük, ulusal toplam indekslerinin önemli bir bileşeni olarak yer almaktadır. Ancak, özelliğin tanımı, kullanılan analiz yöntemleri ve indeks içindeki ağırlıklar bakımından ülkeler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Interbull aracılığıyla yapılan uluslararası karşılaştırmalarda Holstein ırkı için ülkeler arası genetik korelasyonların 0,49 ile 0,76 arasında olduğu bildirilmiş olup, bu farklılığın farklı tanımlama, yönetim ve seleksiyon uygulamalarından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Forabosco ve ark., 2009).

6. TÜRKİYE'DE UZUN ÖMÜRLÜLÜK İLE İLGİLİ MEVCUT DURUM, YAPILAN ARAŞTIRMALAR VE YETİŞTİRME PROGRAMLARINDAKİ YERİ

Türkiye'de uzun ömürlülük, gelişmiş ülkelerin aksine ulusal bir genetik değerlendirme programına veya seleksiyon indeksine henüz dahil edilmemiştir. Hu ve ark. (2021)'in Frontiers in Genetics dergisinde yayımlanan yayımlanan derlemelerinde, gelişmekte olan ülkelerdeki genel durumu şu şekilde özetlemektedir: “Uzun ömürlülük özelliği, sütç hayvancılığı gelişmiş birçok ülkede kapsamlı bir seleksiyon indeksinin önemli bir ıslah hedefi olarak kullanılmaktadır; ancak, gelişmekte olan birçok ülkede bu özellik performans indeksine dahil edilmemiştir. Şu anda bu ülkelerdeki inekler hala yüksek miktar, düşük kalite, yüksek maliyet ve düşük verim' şeklindeki ilkel aşamadır. Süt ineklerinin ortalama doğum/laktasyon sayısı ise 2.7'nin altındadır.”

Türkiye'deki çalışmalar ağırlıklı olarak tanımlayıcı niteliktedir. Yaylak (2003), İzmir bölgesindeki 15 sürüden ayıklanan 229 Siyah Alaca ineği incelemiş; uzun ömürlülük süresini ortalama 2.073 gün (yaklaşık 5,7 yıl), damızlıkta kullanma süresini (productive life) ise 1.060 gün (yaklaşık 2,9 yıl) olarak belirlemiştir. Ayıklama nedenleri arasında canlı hayvan satışı (%40,2), kısırılık (%17,9) ve meme hastalıkları (%16,2) öne çıkmaktadır. Tatar ve ark. (2017) ise derleme çalışmalarında Türkiye'de sürü yenileme ve ayıklama nedenlerini değerlendirerek, gönüllü ve zorunlu ayıklama oranlarını sırasıyla %43,7 ve %56,3 olarak bildirmişlerdir.

Seleksiyon indeksleri açısından Türkiye’de en kapsamlı değerlendirmelerden biri Duru ve ark. (2012) tarafından yapılmıştır. “Çeşitli Ülkelerde Siyah Alaca Sığırlar için Kullanılan Seleksiyon İndeksleri ve Türkiye İçin Öneriler” başlıklı bu çalışmada, 100 boğanın 150 işletmedeki 3.000 kızına ait verim, somatik hücre sayısı (SHS) ve dış görünüş özellikleri kullanıldığı beş farklı indeks Türkiye için tartışılmıştır. Bununla birlikte, söz konusu indeksler henüz ulusal ölçekte kullanılmamaktadır. Atıl ve ark. (2005) ise Türkiye’deki Holstein Friesian ineklerde 305 günlük süt verimi, laktasyon süresi ve ilk buzağılama yaşı gibi özellikleri içeren seleksiyon indekslerini karşılaştırmış; ancak uzun ömürlülük bu indekslere dahil edilmemiştir.

Türkiye’de genomik düzeyde çalışmalar da başlamış olmakla birlikte, bu çalışmalar uzun ömürlülüğten ziyade verim özelliklerine dayanmaktadır. Örneğin Erdoğan ve ark. (2024) tarafından Afyonkarahisar’daki Holstein sığırlarda yürütülen GWAS çalışması, süt verim özellikleri ve persistensi genomik olarak analiz edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’de sürü ömrü için ulusal düzeyde rutin bir genetik değerlendirme sistemi bulunmamaktadır. Mevcut seleksiyon indeksleri ağırlıklı olarak süt verimi, tip özellikleri ve somatik hücre sayısı gibi bileşenleri içermekte; uzun ömürlülük ise bu bileşenlere dahil edilmemiştir. Araştırmalar çoğunlukla ayıklama nedenleri ve uzun ömürlülük ortalamaları gibi tanımlayıcı epidemiyolojik alanda yoğunlaşmakta, genetik parametre tahmini ve hayatta kalma özellikleri ise sınırlı düzeyde kalmaktadır. Ortalama damızlıkta kullanma süresi yaklaşık 2,7–3,0 laktasyon civarında olup, bu değer gelişmiş ülkelerdeki düzeylerle benzerlik göstermekle birlikte, genetik iyileştirmelerin eksikliği nedeniyle sürdürülebilir bir iyileşme sağlanamamaktadır.

7. UZUN ÖMÜRLÜLÜK ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Süt sığırcılığında uzun ömürlülük, sürdürülebilirlik ve hayvan refahı ile yakından ilişkili olup, işletmelerin uzun dönemde devamlılığı açısından kritik öneme sahiptir. Ancak, mevcut literatürler üreticilerin bu konudaki farkındalık düzeylerinin düşük olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de yoğun olarak yetiştirilen sığır ırklarında uzun ömürlülük süresi ortalama 1.600–1.675 gün arasında değişmektedir. Sürüden çıkarma nedenleri ise kısırılık (%30,32) ve satış (%32,45) öne çıkmaktadır (Koç ve ark., 2017). Bu bulgular, sürü yönetiminde döl verimi ile ekonomik kararların belirleyicisi olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca uzun ömürlülük, hem ekonomik açıdan önemli bir özellik olarak değerlendirilmekte ve hem de günümüzde ıslah programlarına dahil edilmektedir (Akbulut, 2023).

Sürdürülebilirlik açısından ırklar arasında farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, Siyah-Alaca sığırların Simmental ırkına oranla enerji kullanım etkinliği bakımından daha avantajlı olduğu bildirilmektedir (Köknaoğlu ve ark., 2019). Bununla birlikte, bir süt sığırcılığı işletmesinin sürdürülebilirliği

yalnızca biyolojik performansla sınırlı olmayıp, işletmenin karlılığı ve yetiştiricinin memnuniyeti ile de doğrudan ilişkilidir (Bakır ve ark., 2019).

Hayvan refahı değerlendirmeleri, temel olarak hayvan sağlığı ve davranış kriterlerine göre yapılmaktadır (Metin ve Asan, 2019). Ancak sahada yürütülen çalışmalar, yetiştiricilerin bilgi düzeyi ile uygulama arasında önemli farklılıkların olduğunu göstermiştir. Nitekim yetiştiricilerin yaklaşık %80'i hayvan refahı konusunda bilgi sahibi olduğunu belirtmesine rağmen, işletmelerin %38'inde yetersiz havalandırma bulunduğu ve %80'inde hasta veya doğum yapan hayvanlar için ayrı bölmelerin olmadığı bildirilmiştir (Kaygısız ve ark., 2024). Barınak konforunun iyileştirilmesi, hayvanların verim düzeyini artırmakta ve dolaylı olarak işletme karlılığına olumlu katkı sağlamaktadır. Bu nedenle refah uygulamaları, yalnızca etik bir gereklilik değil, aynı zamanda ekonomik bir strateji olarak da değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, uzun ömürlülük, sürdürülebilirlik ile hayvan refahı birbirini tamamlayan unsurlar olup, bu alanlarda yapılacak iyileştirmeler hem üretim verimliliğini hem de işletmelerin uzun dönem karlılığını doğrudan etkileyecektir. Bununla birlikte mevcut durum, özellikle uygulama düzeyinin geliştirilebileceğini göstermektedir.

8. UZUN ÖMÜRLÜLÜK İLE ve DOLAYLI SELEKSİYON ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Meme özellikleri, uzun ömürlülük ile en güçlü genetik korelasyon göstermektedir. Vollema ve Groen (1997), Hollanda Holstein populasyonunda meme özellikleri ile fonksiyonel uzun ömürlülük arasında 0.93'e varan genetik korelasyonlar bildirmiştir. Ancak, yüksek genetik korelasyona rağmen, memenin süt üretimi dışında ayıklama nedenleri arasında en önemli özellik olduğu diğer çalışmalarla da desteklenmektedir. Güney Afrika Jersey populasyonunda Du-Toit ve ark. (2012), ön meme bağlantısı (0.63), arka meme yüksekliği (0.48) ve meme derinliği ile fonksiyonel sürü ömrü arasında orta ya da yüksek düzeyde pozitif genetik korelasyonlar tahmin etmiştir. Çek Holstein sığır populasyonunda ise Zavadilová ve Štípková (2018), arka meme genişliği ile fonksiyonel uzun ömürlülük arasında -0.22, merkezi askı bağı ile laktasyon sayısı arasında ise -0.18 ile -0.19 arasında korelasyonlar bildirmiş ve meme özelliklerinin özellikle ileriki laktasyonlarda fonksiyonel yaşam süresi ile daha güçlü ilişkili olduğunu göstermiştir.

Ayak-bacak özellikleri, uzun ömürlülük ile ilişkili ikinci önemli özellik grubu olmakla birlikte, meme özelliklerine oranla daha zayıf ilişkiler göstermektedir. Vollema (1998), ayak-bacak puanı ile fonksiyonel yaşam süresi arasında 0.43 düzeyinde korelasyon bildirmiştir. Çek Holstein populasyonunda ayak ve bacak yapısı puanı ile doğrudan ilişkili olup, fonksiyonel uzun ömürlülük ile arasında düşük düzeyde pozitif korelasyonlar (0.14–0.19) tahmin edilmiştir. Barınak tipi de bu ilişkileri etkileyen önemli bir

faktör olarak belirlenmiştir. Araştırmalar, süt sığırlarında serbest barınma sistemlerinin hayvanlara daha fazla hareket imkânı sunduğunu; bu durumun inek konforunu artırdığını, bacak ve toynak sağlığını iyileştirdiğini ve doğal yatma davranışlarını desteklediğini göstermektedir (Shepley & Vasseur, 2021).

Vücut kondisyon puanı (BCS) ise, özellikle erken laktasyonlarda uzun ömürlülük süresini tahmin etmede önemli bir göstergedir. Yeni Zelanda'da Stachowicz ve ark. (2017), vücut kondisyon puanı ile birinci ve ikinci laktasyondaki fonksiyonel uzun ömürlülük arasında sırasıyla; 0.46 ve 0.38 düzeyinde genetik korelasyonlar bildirmiş; ancak bu ilişkinin ileriki laktasyonlarda zayıfladığını (0.15–0.19) ortaya koymuştur. Buna karşılık meme özelliklerinin ileriki laktasyonlarda daha güçlü korelasyonlar gösterdiği (0.29–0.40) belirlenmiştir.

Hayvanların sağlık durumları da uzun ömürlülük ile yakından ilişkili olup, dolaylı faktörler-arasında yer almaktadır. Shabalina ve ark. (2020), klinik mastitis ile üretken yaşam süresi arasında -0.28 ile -0.69 arasında değişen genetik korelasyonlar tahmin etmiş ve özellikle erken laktasyondaki mastitisin uzun ömürlülük süresini ortalama 95 gün kısalttığını bildirmiştir. Hollanda'da uygulanan uzun ömürlülük indeksinde meme derinliği, meme başı yerleşimi, ayak ve bacak özellikleri, somatik hücre sayısı ve buzağılama ile ilk tohumlama arasında geçen süre birlikte kullanılarak, dolaylı damızlık değeri hesaplanmakta olup, bu yaklaşım indeksin güvenilirliğini 0.43'ten 0.55'e yükseltmektedir.

Fransa'da Maugan ve ark. (2023) tarafından uygulanan kombine tek-aşamalı (CSS) değerlendirme yönteminde ise somatik hücre sayısı, klinik mastitis, gebe kalma oranı ve meme derinliği gibi özellikler fonksiyonel uzun ömürlülük ile birlikte ele alınmış; bu sayede genomik damızlık değerlerinin doğruluğu önemli ölçüde artırılmış ve düşük Genomik Tahmini Damızlık Değere (GEBV) sahip düvelerin uzun ömürlülük sürelerinin daha kısa olduğu ifade edilmiştir.

Sonuç olarak, ilk laktasyondaki meme özellikleri (meme derinliği, ön meme bağlantısı, arka meme yüksekliği ve merkezi askı bağı) uzun ömürlülüğün en güçlü erken dönem göstergeleri arasında yer almaktadır. Ayak ve bacak özellikleri ile vücut kondisyon puanı özellikle erken laktasyonlarda ek bilgi sağlarken, sağlık özellikleri (somatik hücre sayısı, klinik mastitis) hem doğrudan ve hem de indeks bileşeni olarak dahil edildiklerinde tahminin doğruluğu artmaktadır. Bu bulgular, uzun ömürlülüğün dolaylı olarak çok sayıda morfolojik, fizyolojik ve sağlık özellikleri ile ilişkili olduğunu ve bütüncül bir değerlendirme yaklaşımı gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

9. SONUÇ

Süt Süt sığırlarında uzun ömürlülük (longevity), yalnızca bir hayvanın yaşam süresini değil, aynı zamanda üretim sistemi içinde ne kadar süre verimli ve sağlıklı kalabildiğini ifade eden çok boyutlu bir özelliktir. Yapılan araştırma sonuçları, uzun ömürlülüğün ekonomik, genetik, refah ve çevresel sürdürülebilirlik kapsamında birlikte bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Ekonomik açıdan uzun ömürlülük ile karlılık arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Kısa ömür süresi, yüksek yenileme maliyetleri ve hayvanların optimum verim dönemine ulaşmadan sürüden ayıklanması nedeniyle ekonomik kayıplara yol açarken; aşırı uzun ömür süresi ise yaşlanmaya bağlı verim düşüklüğüne ve sağlık problemlerinin artışına neden olabilmektedir. Çalışmalar, optimum üretken ömrün yaklaşık 4–6 yıl (3–5 laktasyon) aralığında olduğunu ve bu aralıkta inek başına gelirin %10–15 oranında daha yüksek olabildiğini ortaya koymaktadır. Düve yetiştirme maliyetlerinin amortismanı, genetik ilerleme fırsat maliyeti ve sağlık giderleri birlikte değerlendirildiğinde, zorunlu ayıklama oranlarının azaltılması çoğu durumda karlılığı artırmaktadır.

Genetik açıdan sürü ömrü, düşük kalıtım derecesine (0.01–0.20) sahip bir özellik olup, seleksiyonla doğrudan iyileştirilmesi sınırlıdır. Bununla birlikte meme sistemi özellikleri, ayak-bacak yapısı, vücut kondisyonu ve sağlık özellikleri (mastitis, somatik hücre sayısı, döl verimi) ile olan genetik ilişkiler, dolaylı seleksiyonu damızlık seçiminde etkili bir araç haline getirmektedir. Gelişmiş birçok ülke, sürü ömrünü ulusal toplam değer indekslerine (NM\$, LPI, NTM, £PLI vb.) dahil etmektedir. Ancak ülkeler arasında özellik tanımı (fonksiyonel vs. düzeltilmemiş), analiz yöntemleri (survival analizi, lineer ve çoklu özellik modelleri) ve indeks içindeki ağırlıklandırma bakımından farklılıklar bulunmaktadır.

Hayvan refahı ile sürü ömrü arasındaki ilişki karmaşık olmakla birlikte, zorunlu ayıklama oranlarının yüksek olması genellikle refah sorunlarının bir göstergesidir. Uzun sürü ömrü, tek başına iyi refah göstergesi olmasada, zorunlu kesimlerin azaltıldığı ve sağlık ile çevresel koşulların iyileştirildiği sistemlerde hem refah hem de yaşam boyu verimlilik birlikte artırılabilir.

Sürdürülebilirlik açısından sürü ömrünün uzatılması, yenileme ihtiyacını azaltarak düve yetiştirme kaynak kullanımını düşürmekte, karbon ayak izini iyileştirmekte ve hayvan başına yaşam boyu verimliliği artırmaktadır. Bununla birlikte, bu kazanımların sürdürülebilir olması için sürü ömrü artışının yüksek bireysel verim, etkin sağlık yönetimi ve uygun barınak koşulları ile birlikte optimize edilmesi gerekmektedir.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, sürü ömrü henüz ulusal genetik değerlendirme programlarına veya seleksiyon indekslerine dahil edilmiş bir özellik değildir. Mevcut çalışmalar daha çok tanımlayıcı düzeyde olup,

ortalama damızlıkta kullanım süresi yaklaşık 2.7–3 laktasyon civarındadır. Gelişmiş ülke uygulamaları dikkate alındığında, veri altyapısının güçlendirilmesi, genomik değerlendirme sistemlerinin yaygınlaştırılması ve sürü ömrünün ulusal ıslah programlarına dahil edilmesi önemli bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak sürü ömrü; ekonomik verimlilik, genetik ilerleme, hayvan refahı ve çevresel sürdürülebilirlik arasında denge gerektiren stratejik bir özelliktir. Optimal sürü ömrü, mümkün olan en uzun yaşam süresi değil; sağlıklı ve yüksek verimli ineklerin, zorunlu ayıklamaların minimize edildiği koşullarda yaklaşık 3–5 laktasyon boyunca sürüde tutulduğu dengeli sistemlerde elde edilmektedir. Gelecekteki çalışmaların, farklı üretim sistemleri ve ırklara özgü optimum sürü ömrü modellerinin geliştirilmesi, genomik seleksiyon yaklaşımlarının iyileştirilmesi ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu özelliğin ulusal ıslah programlarına entegrasyonu üzerine odaklanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adamie, B., Owusu-Sekyere, E., Lindberg, M., Agenäs, S., Nyman, A., & Hansson, H. (2023). Dairy cow longevity and farm economic performance: Evidence from Swedish dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 8926-894 <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23436>.
- Akbulut, Ö. (2023). Süt Sığırlarında Uzun Ömürlülük (Longevity) Ölçüleri. *Hayvan Bilimi ve Ürünleri Dergisi*, 6(1), 89-102.
- Ali, B. (2020). The effect of cow longevity on dynamic productivity growth of dairy farming. *Livestock Science*, 250, 104582. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-110276/v1>.
- Atıl, H., Khattab, A. S., & Gevrekci, Y. (2005). A comparison of different selection indices for genetic improvement of some dairy milk traits in Holstein Friesian cows in Turkey. *Journal of Applied Animal Research*, 27(2), 117-120.
- Bakır, G., & Kibar, M. (2019). Süt sığırcılığı işletmelerinin memnuniyet ve sürdürülebilirliğine etkili olan faktörler: Muş ili örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 123-135.
- Baycan, S., & Duru, S. (2025). Estimation of heritability and genetic trend for herd life and productive life in Organic Holstein Cattle. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 28(2), 283-289 . <https://doi.org/10.24425/pjvs.2025.154947>.
- Bengtsson, C. (2011). What traits make Swedish dairy cows survive? Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept. of Animal Breeding and Genetics (until 231231). <https://stud.epsilon.slu.se/2353/>
- Bieber, A., Lozano-Jaramillo, M., Walkenhorst, M., & Eppenstein, R. (2024). Comparison of fertility traits, health traits and health-related management routines of Swiss dairy farms with long vs. short productive lifespan profiles. *Journal of Dairy Research*, 91, 403 - 409. <https://doi.org/10.1017/s0022029925000032>.

- Bruijnis, M., Meijboom, F., & Stassen, E. (2013). Longevity as an Animal Welfare Issue Applied to the Case of Foot Disorders in Dairy Cattle. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 26, 191-205. <https://doi.org/10.1007/s10806-012-9376-0>.
- Cabrera, V. E. (2012). A simple formulation and solution to the replacement problem: A practical tool to assess the economic cow value, the value of a new pregnancy, and the cost of a pregnancy loss. *Journal of dairy science*, 95(8), 4683-4698.
- Carlen, E., Pedersen, J., Pösö, J., Eriksson, J. Å., Nielsen, U. S., & Aamand, G. P. (2016). Youngstock survival in Nordic cattle genetic evaluation. *Interbull bulletin*, 50 (October), 24-28.
- Carvalho, A. S., Fricke, P., Mateus Toledo, R., Sartori, J. S., Pontes, G., Luchini, D., ... & Shaver, R. (2015). ADSA Production Division Symposium: Production efficiency of the dairy cow. *J. Anim. Sci.* 93 (Suppl. s3), 504.
- Cassandro, M., Ghiroldi, S., Bagnato, A., Gallo, L., Carnier, P., & Santus, E. (1999). Genetic evaluation of longevity in Italian Brown cattle breed. *Interbull bulletin*, 21, 73-73.
- Dallago, G. M., Wade, K. M., Cue, R. I., McClure, J. T., Lacroix, R., Pellerin, D., & Vasseur, E. (2021). Keeping dairy cows for longer: A critical literature review on dairy cow longevity in high milk-producing countries. *Animals*, 11(3), 808. <https://doi.org/10.3390/ani11030808>
- Dallago, G., Warner, D., & Vasseur, E. (2025). Early-life management practices and their association with dairy herd longevity, productivity, and profitability. *Journal of Dairy Science*. 108(8), 8594-8605 <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26191>.
- De Vries, A. (2017). Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 4184-4192.
- De Vries, A. (2020). Symposium review: Why revisit dairy cattle productive lifespan? *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3838-3845. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17361>.
- De Vries, A., & Marcondes, M. I. (2020). Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. *Animal*, 14(S1), s155-s164. <https://doi.org/10.1017/s1751731119003264>.
- Dechow, C (2015). Genetics of productive life. <https://www.adsa.org/Portals/0/SiteContent/Docs/Meetings/PastMeetings/Annual/2015/504.pdf>
- Djedović, R., Vukasinovic, N., Stanojević, D., Bogdanović, V., Ismael, H., Janković, D., ... & Štrbac, L. (2023). Genetic parameters for functional longevity, type traits, and production in the Serbian Holstein. *Animals*, 13(3), 534. <https://doi.org/10.3390/ani13030534>
- Du Toit, J., Maiwashe, A., & Van Wyk, J. B. (2012). Relationships between functional herd life and conformation traits in the South African Jersey breed. *South African Journal of Animal Science*, 42(1), 47-54.
- Ducrocq, V., & Sölkner, J. (1998, January). Implementation of a routine breeding value evaluation for longevity of dairy cows using survival analysis techniques. In *Proc. 6th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Armidale, Australia* 23, 359-362).

- Duru, S., Kumlu, S., & Tuncel, E. (2012). Suggestions for Turkey about for using selection indices for Holstein cattle in various countries. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(1), 43-48.
- Erdoğan, M., Çinkaya, S., Brenig, B., Çelikeloglu, K., Demirtaş, M., Sarıbrahimoğlu, S., & Tekerli, M. (2024). Genome-wide association studies for milk production traits and persistency of first calving Holstein cattle in Türkiye. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1461075.
- Forabosco, F., Jakobsen, J. H., & Fikse, W. F. (2009). International genetic evaluation for direct longevity in dairy bulls. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 2338-2347.
- Fuerst-Waltl, B., Fuerst, C., Obritzhauser, W., & Egger-Danner, C. (2016). Sustainable breeding objectives and possible selection response: Finding the balance between economics and breeders' preferences. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 9796-9809.
- Gazzarin, C., Schmid, D., & Bieber, A. (2025). Economic drivers of the optimal productive lifespan of dairy cows in two different Swiss milk production systems. *Journal of Dairy Science*, 108(11), 12352-12372. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26086>.
- Habel, J., Uhlig, V., Hoischen-Taubner, S., Schwabenbauer, E. M., Rumphorst, T., Ebert, L., ... & Sundrum, A. (2021). Income over service life cost–Estimation of individual profitability of dairy cows at time of death reveals farm-specific economic trade-offs. *Livestock Science*, 254, 104765.
- Han, R., Mourits, M., & Hogeveen, H. (2022). The association of dairy cattle longevity with farm level technical inefficiency. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1001015. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1001015>.
- Heise, J., Liu, Z., Stock, K., Rensing, S., Reinhardt, F., & Simianer, H. (2016). The genetic structure of longevity in dairy cows.. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 1253-1265 . <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10163>.
- Honarvar, M., Javaremi, A. N., Ashtiani, S. M., & Banadaki, M. D. (2010). Effect of length of productive life on genetic trend of milk production and profitability: A simulation study. *African Journal of Biotechnology*, 9(20), 3000-3010.
- Hu, H., Li, F., Mu, T., Han, L., Feng, X., , Y., Jiang, Y., Xue, X., Du, B., Li, R., & , Y. (2023). Genetic analysis of longevity and their associations with fertility traits in Holstein cattle.. *Animal : an international Journal of Animal Bioscience*, 17(6), 100851 . <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100851>.
- Hu, H., Mu, T., , Y., Wang, X., & , Y. (2021). Analysis of Longevity Traits in Holstein Cattle: A Review. *Frontiers in Genetics*, 12, 695543. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.695543>.
- Hu, H., Xu, Z., Han, L., Qiao, Z., Wang, Y., Jia, Y., Mu, T., & , Y. (2025). Genetic Analysis of Stayability and its Relationships with Production, Conformation, Fertility and Health Traits in Holstein Cattle. *Veterinary Sciences*, 12(11), 1105. <https://doi.org/10.3390/vetsci12111105>.
- Kadarmideen, H. N., & Simm, G. (2002). Selection responses expected from index selection including disease resistance, fertility and longevity in dairy cattle. Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France, August, 2002.
- Kaygısız, A., Yılmaz, İ., & Yurdagül, H. (2024). Sığır çiftliklerinde yetiştirici uygulamaları ve hayvan refahı üzerine bir araştırma. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 366-379.

- Koç, A. (2017). Siyah–Alaca, Kırmızı–Alaca ve Simmental Irkı Sığırların Sürü Ömrü Üzerine Bir Araştırma. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2), 63-68.
- Köknaroğlu, H., & Çınar, İ. (2019). Süt sığırcılığında irkin sürdürülebilirlik üzerine etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2), 143-155.
- Mann, S. (2023). Evaluating Longevity as a Farm Animal Welfare Indicator. *Food Ethics*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s41055-023-00137-3>.
- Maugan, L. H., Rostellato, R., Tribout, T., Mattalia, S., & Ducrocq, V. (2023). Combined single-step evaluation of functional longevity of dairy cows including correlated traits. *Genetics Selection Evolution*, 55(1), 75. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00839-6>.
- Metin, M. Ö., & Asan, H. (2019). Sütçü Sığırlarda Refah Kalitesinin Değerlendirilmesi 2. İyi Sağlık, Uygun Davranış. *Veterinary Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 1(2), 65-74.
- Olechnowicz, J., Kneblewski, P., Jaśkowski, J. M., & Włodarek, J. (2016). Effect of selected factors on longevity in cattle: a review. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(6), 1533–1541
- Oliveira, E. J., da Silva, S. C., de Paz, C. C. P., Bignardi, A. B., Cardoso, V. L., & El Faro, L. (2012). Parâmetros genéticos para longevidade em vacas da raça Holandesa. *Boletim de Indústria Animal*, 69, 38-38.
- Pelt, M., Meuwissen, T., Jong, G., & Veerkamp, R. (2015). Genetic analysis of longevity in Dutch dairy cattle using random regression. *Journal of Dairy Science*, 98(6), 4117-30 . <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9090>.
- Pritchard, T., Coffey, M., Mrode, R., & Wall, E. (2013). Understanding the genetics of survival in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(5), 3296-3309 . <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6219>.
- Reisi-Vanani, R., Ansari-Mahyari, S., Pakdel, A., & Cue, R. (2024). Estimation of genetic and non-genetic effects on productive life of Iranian Holstein dairy cows. *Animal Science Journal*, 95(1), e70010. <https://doi.org/10.1111/asj.70010>.
- Rostellato, R., Promp, J., Leclerc, H., Mattalia, S., Friggens, N. C., Boichard, D., & Ducrocq, V. (2021). Influence of production, reproduction, morphology, and health traits on true and functional longevity in French Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12664-12678. . <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19974>
- Schlebusch, S., Eppenstein, R., Hoop, D., & von Rohr, P. (2025). Are Dairy Cow Replacement Decisions Economically Justified? Evidence from Swiss Farms. *Animals*, 15(16), 2442.
- Schuster, J., Barkema, H., De Vries, A., Kelton, D., & Orsel, K. (2020). Invited review: Academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 11008-11024 . <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19043>.
- Sdiri, C., Souf, I., Salem, B., M’Hamdi, N., & Hamouda, M. (2023). Assessment of Genetic and Health Management of Tunisian Holstein Dairy Herds with a Focus on Longevity. *Genes*, 14(3), 670. <https://doi.org/10.3390/genes14030670>.

- Shabalina, T., Yin, T., & König, S. (2020). Influence of common health disorders on the length of productive life and stayability in German Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 583-596. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16985>.
- Shepley, E., & Vasseur, E. (2021). Graduate Student Literature Review: The effect of housing systems on movement opportunity of dairy cows and the implications on cow health and comfort... *Journal of dairy science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19525>
- Shokri-Sangari F, Sadeghi-Sefidmazgi A, Ansari-Mahyari S, Atashi H. Economic modeling and selection for longevity traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Research*. Published online 2026:1-10. doi:10.1017/S0022029926102192.
- Shrestha, B., Paudyal, S., Kaniyamattam, K., & Grohn, Y. (2025). Organic Dairy Cattle Longevity and Economic Implications: Contemporary Perspectives. *Journal of Dairy Science*. 108(4), 3734-3745. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25767>.
- Stachowicz, K., Quinton, C., Meyer, S., Amer, P., & Phyn, C. (2017). Genetic parameters of cow functional survival and correlations with predictor conformation and farmer-opinion traits with recommendations for genetic evaluation. *Interbull Bulletin*, 51 (1), 1-6..
- Tatar, A. M., Şireli, H. D., & Tutkun, M. (2017). Reasons for culling and replacement rate in dairy cattle. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. LX (1), 49-51.
- Thomsen, P. T. (2025). A good start: early-life risk factors associated with dairy cow longevity. *Journal of Dairy Research*, 92(4), 525-530. <https://doi.org/10.1017/s0022029925101635>.
- Toivakka, M., Nousiainen, J. I., & Mäntysaari, E. (2005). Estimation of economic values of longevity and other functional traits in Finnish dairy cattle. *Wageningen, se, Wageningen*, 9076998663
- Van der Linde, C., Harbers, A., & De Jong, G. (2007). From functional to productive longevity in the Netherlands. *Interbull Bulletin*, 37, 203-203.
- VanRaden, P. M. (2004). Invited review: Selection on net merit to improve lifetime profit. *Journal of Dairy Science*, 87(10), 3125-3131.
- Veerkamp, R. F., Hill, W. G., Stott, A. W., Brotherstone, S., & Simm, G. (1995). Selection for longevity and yield in dairy cows using transmitting abilities for type and yield. *Animal Science*, 61(2), 189-197.
- Vollema, A. R. (1998). Selection for longevity in dairy cattle. Doctoral thesis, Animal Breeding and Genetics Group, Wageningen Agricultural University, P.O. Box 338, 6700 AH Wageningen, The Netherlands.
- Vollema, A. R., & Groen, A. F. (1997). Genetic correlations between longevity and conformation traits in an upgrading dairy cattle population. *Journal of Dairy Science*, 80(11), 3006-3014.
- Vollema, A. R., Van Der Beek, S., Harbers, A. G. F., & De Jong, G. (2000). Genetic evaluation for longevity of Dutch dairy bulls. *Journal of Dairy Science*, 83(11), 2629-2639.
- Vredenberg, I., Han, R., Mourits, M., Hogeveen, H., & Steeneveld, W. (2021). An Empirical Analysis on the Longevity of Dairy Cows in Relation to Economic Herd Performance. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 646672. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.646672>.
- Vries, A., & Marcondes, M. (2020). Review: Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows.. *Animal : an international journal of Animal*

Bioscience, 14(S1), 155-s164 . <https://doi.org/10.1017/ s1751731119003264>.

- Yaylak, E. (2003). Siyah Alaca ineklerde sürüden çıkarılma nedenleri, sürü ömrü ve damızlıkta yararlanma süresi. Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture, 16(2), 179-185.
- Zavadilová, L., & Štípková, M. (2012). Genetic correlations between longevity and conformation traits in the Czech Holstein population. Czech J. Anim. Sci, 57(3), 125-136.

Lenfödemde Güncel Rehabilitasyon ve Modern Fizyoterapi Stratejileri

Berna KAYGUSUZOĞLU¹

Aziz AKSOY²

¹ Fizyoterapist, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilimdalı, Orcid: 0009-0004-6433-4621

² Prof. Dr., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü Orcid: 0000-0002-9683-6691

ÖZET

Lenfödem (LÖ), lenfatik sistemin yapısal veya fonksiyonel bozukluklarına bağlı olarak interstisyel alanda protein zengin sıvının birikmesiyle karakterize, kronik, ilerleyici ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen bir patolojidir. Genellikle onkolojik cerrahiler ve radyoterapi sonrasında sekonder olarak gelişen bu tablo, kalıcı ekstremitte hacim artışının yanı sıra fibrozis, enfeksiyon riski ve fonksiyonel kısıtlılıklara yol açmaktadır. Hastalığın yönetiminde kesin bir kürün çoğunlukla mümkün olmaması, erken tanı, doğru evreleme ve kanıta dayalı fizyoterapi yaklaşımlarının multidisipliner bir yaklaşımla entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır. Lenfödem rehabilitasyonunda Kompleks Dekonjestif Terapi (KDT); manuel lenf drenajı, çok tabakalı kısa gerimli bandajlama, titiz cilt bakımı ve terapötik egzersiz bileşenleriyle altın standart tedavi yöntemi olma özelliğini korumaktadır. Son yıllarda, geleneksel hareketsiz bırakma yaklaşımlarının aksine, kademeli artırılan progresif dirençli egzersizler, klinik pilates, yoga ve hidrostatik basınçtan yararlanan su içi terapilerin lenfatik akışı desteklemede güvenli ve efektif olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, kinezyolojik bantlama ve düşük yoğunluklu lazer tedavisi (LLLT) gibi non-invaziv modern fizyoterapi modaliteleri, özellikle kutanöz fibrozisi inhibe etmede, inflamasyonu baskılamada ve hasta konforunu artırmada işlevsel adjuvan seçenekler olarak klinik pratikte öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, lenfödem karmaşık patofizyolojisinin kontrol altına alınması ve sürdürülebilir bir klinik başarının sağlanması; erken dönemde Biyoempedans Spektroskopisi (BIS) gibi objektif yöntemlerle yapılan değerlendirmelere ve hastaya özgü, kombine modern fizyoterapi stratejilerinin uzun dönemli takibine bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Lenfödem, Kompleks Dekonjestif Terapi, Modern Fizyoterapi, Terapötik Egzersiz, Rehabilitasyon.

GİRİŞ

Lenfatik sistem, doku sıvısının dengelenmesi, proteinlerin interstisyel alandan uzaklaştırılması ve immün yanıtın düzenlenmesinde önemli görevler üstlenen kompleks bir dolaşım ağıdır. Lenfatik sistemde meydana gelen yapısal veya fonksiyonel bozukluklar sonucunda lenf sıvısının dokularda birikmesi sonucunda lenfödem meydana gelir ve kronik bir hastalıktır (Lee & Kim, 2024). Lenf düğümü diseksiyonu uygulanan hastaların yaklaşık yarısında lenfödem gelişebildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte, sık görülmesine rağmen lenfödem tedavisinde uygulanan yaklaşımlar çoğunlukla semptomları kontrol altına almaya ve hastalığın ilerlemesini yavaşlatmaya yöneliktir; kesin iyileşme sağlamak çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle lenfödem, yalnızca fiziksel fonksiyon kaybı ve deformiteye neden olmakla kalmayıp, bireylerde psikolojik açıdan da olumsuz etkiler oluşturmakta ve

kanser sürecinin sürekli bir hatırlatıcısı olarak değerlendirilmektedir (Zampell vd., 2012). Lenfödem gelişiminde obezite, fiziksel aktivite düzeyinin azalması ve sık enfeksiyon geçirilmesi önemli risk faktörleri arasında yer almaktadır. Tedavi sürecinde ise erken tanının sağlanması, enfeksiyonlardan korunma, düzenli cilt bakımı, egzersiz uygulamaları, kilo kontrolü ve kompresyon giysilerinin kullanımı temel yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca etkili bir lenfödem yönetimi için hastaların eğitilmesi ve manuel lenfatik drenaj gibi kendi kendine bakım yöntemlerinin öğretilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte klinisyenler, sertifikalı lenfödem terapistleri, hemşireler, fizyoterapistler, ergoterapistler, eczacılar ve ruh sağlığı uzmanlarının birlikte çalıştığı multidisipliner bir yaklaşım, hem fiziksel hem de psikososyal gereksinimlerin karşılanmasında önemli rol oynamaktadır (Nimmana vd., 2025).

Son yıllarda rehabilitasyon alanındaki gelişmelerle birlikte bu uygulamaların etkinliğini inceleyen çalışmaların sayısı artmış ve güncel kanıtlar doğrultusunda tedavi yaklaşımları yeniden şekillenmeye başlamıştır. Bu bölümde lenfödemde kullanılan güncel rehabilitasyon yaklaşımlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Lenfödem

Lenfödem, lenfatik sistemin işlev bozukluğu sonucunda gelişen ve protein içeriği yüksek sıvının ekstremitelere ya da vücudun farklı bölgelerinde birikmesine bağlı olarak kalıcı şişlik ile karakterize bir hastalıktır (Fife vd., 2012). Lenf kılcal damarlarının kesintili bazal membran yapısı, bağışıklık hücreleri, proteinler ve hücrelerel artıklar gibi çeşitli maddelerin lenfatik sisteme geçişini kolaylaştırmaktadır. Ancak lenfatik yapıda meydana gelen herhangi bir hasar, interstisyel sıvının lenfatik dolaşıma taşınmasını bozarak lenf sıvısında staza neden olmaktadır. Oluşan bu durgunluk süreci ise inflamasyon, fibrotik değişiklikler ve yağ dokusu artışı gibi patolojik mekanizmaların gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Null vd.,2024).

Lenf Sisteminin Tarihçesi

Lenfatik sisteme dair ilk gözlemler, Hipokrat (MÖ 460-377) zamanında "içi sıvı dolu bezler" şeklinde tanımlanmıştır. Aristoteles (MÖ 384-322) ise bu yapıları içi renksiz sıvı barındıran "beyaz kan damarları" olarak isimlendirmiştir. Sonrasında İskenderiye Tıp Okulu'ndan Erasistratus (MÖ 310-250), aç bırakılan hayvanlarda bu yapıları "süt dolu kanallar" şeklinde tasvir ederek mezenterik lenf sistemine dikkat çekmiştir. Modern lenfolojinin temelleri ise 1622'de Gasparo Aselli'nin, iyi beslenmiş bir köpeğin mezenterinde lenfatik yapıları saptaması ve bunlara "süt damarları" anlamına gelen *vasa lacteae* adını vermesiyle atılmıştır (Aselli, 1627). Bu anatomik rotanın takibinde Jean Pecquet (1651), mezenterik lenf akımının

aslında kendi adıyla anılan *cisterna chyli* (reseptakulum şili) ve *ductus thoracicus* (torasik kanal) yoluyla sol subklavyen vene ilerlediğini kanıtlamıştır. Keşfedilen bu yeni dolaşım ağına "lenfatik" (*vasa lymphatica*) terminolojisini kazandıran ve karaciğerin ana lenf organı olmadığını gösteren isim Thomas Bartholin (1653) olmuştur. Sistemin tüm vücudu saran bağımsız bir emilim ve dolaşım ağı olarak tıp literatüründe tam anlamıyla yer alması ise 18. yüzyılın sonunda William Hunter (1784) ve onun ekolünden William Cruikshank (1786) sayesinde gerçekleşmiştir. Günümüz modern lenfatik anlayışı, Ernest Starling'in (1896) kapiller filtrasyonu hidrostatik ve plazma onkotik basınçları arasındaki dengeyle formüle etmesiyle bilimsel bir zemine oturmuş; 1950'lerde Kinmonth'un (1952) geliştirdiği kontrast lenfanjiografi tekniği ile de sistem klinik ortamda ilk kez canlıda görselleştirilebilir bir boyut kazanmıştır.

Lenf Sisteminin Yapısı

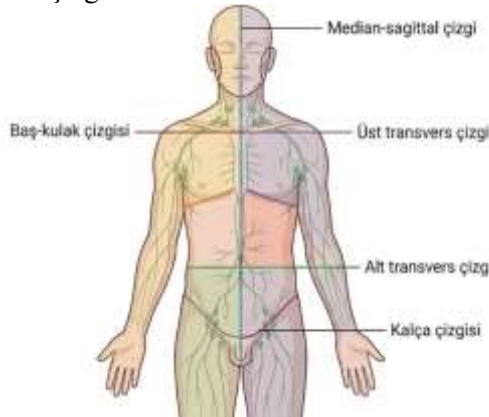
Lenfatik sistem; lenf damarları ile lenfatik organlardan oluşan kompleks bir yapıdır. Lenf damarları, interstisyel sıvının toplanarak venöz dolaşıma taşınmasında görev alırken, lenfatik organlar bağışıklık sisteminin önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu organlar; patojenler, yabancı proteinler, anormal hücreler ve malign yapılara karşı savunma mekanizmalarının düzenlenmesinde rol oynamaktadır (Kubik & Kretz, 2006).

Lenfatik sistemin embriyolojik gelişimi, kardiyovasküler sistemin gelişimini takiben gebeliğin yaklaşık altıncı haftasının sonlarında başlamaktadır. Lenfatik damarların, bölgesel mezenkimal dokudan ya da venöz endotelden köken alan kese benzeri yapılardan geliştiği bildirilmektedir. Embriyolojik süreç boyunca iki juguler, iki iliak, bir retroperitoneal lenf kesesi ve bir *cisterna chyli* olmak üzere toplam altı primer lenf kesesi oluşmaktadır. Daha sonra bu yapılar çok sayıda lenfatik kanal aracılığıyla birbirleriyle bağlantı kurmakta ve gelişen anastomozlar sonucunda iki ana lenfatik kanal ile *ductus thoracicus* meydana gelmektedir (Yıldırım, 2004).

Lenfatik Su Yolları

Lenfatik akım yolları kesin sınırlarla birbirinden ayrılmış yapılar değildir. Kapakçık içermeyen lenf kapillerleri aracılığıyla farklı bölgelerdeki lenfatik ağlar arasında bağlantılar kurulabilmekte ve bu alanlar arasında anastomozlar oluşabilmektedir. Örneğin gövdenin ön yüzünde, skapulalar arasında bulunan lenfatik yapılar her iki aksiller lenf nodu ile bağlantı gösterebilmektedir (Kostanoğlu, 2013). Lenfatik ayırım çizgileri (Şekil 2);

1. Median-sagittal (vücudu sağ-sol olarak ayırır)
2. Üst transversal çizgi (önde klavikula, arkada skapula seviyesindedir)
3. Alt transvers çizgi (önde umblikus ve alt kotsalar arkada L 2-3 seviyesindedir)
4. Kalça çizgisi
5. Baş-kulak çizgisi



Şekil 2. Temel Lenfatik Ayırım Çizgileri (su bölmeleri / watersheds)

Lenfödem Etiyolojisi ve Patofizyolojisi

Lenfödem; doğuştan gelen nedenlerle oluşan primer ve cerrahi, travma veya enfeksiyon gibi sonradan gelişen hasarlarla ortaya çıkan sekonder lenfödem olarak ikiye ayrılır.

Primer lenfödem oldukça nadir görülen bir hastalık olup yaklaşık 100.000 kişide 1 oranında ortaya çıktığı belirtilmektedir. Hastalık çoğunlukla alt ekstremité tutulumuyla karakterizedir (Turna, 2020). Hastalığın bu doğuştan gelen yapısı incelendiğinde, özellikle kalıtsal formuna ilişkin prevalans verilerinin net olmadığı ve farklı çalışmalarda bildirilen oranların değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir (Nimmana vd., 2025). Genetik ya da gelişimsel anomalilerden kaynaklanan primer lenfödem klinik başlangıç

yaşına göre; konjenital (doğumdan itibaren ilk yaşam yılına kadar), prekoks (1-35 yaş arası) ve tarda (35 yaş ve sonrası) olmak üzere üç alt grupta incelenir. Anatomik dağılım açısından lenfödem, yaklaşık %80'lik baskın bir oranla en sık alt ekstremiteler lokalizasyonunda izlenmekle birlikte; üst ekstremiteler, baş-boyun bölgesi, yüz ve eksternal genital organlarda da klinik tablo oluşturabilmektedir (Öz vd., 2005).

Lenfatik sistem patofizyolojisinde temel olarak üç farklı mekanizma rol oynamaktadır. Bunlar; lenfatik akımın obstrüksiyona uğraması, reflü gelişimi ve lenf sıvısının normalden fazla üretilmesidir. Bu mekanizmalar arasında en sık karşılaşılan durumun lenfatik obstrüksiyon olduğu bildirilmektedir. Lenfödem her yaş grubunda ve her iki cinsiyette görülebilmekle birlikte kadınlarda daha yüksek sıklıkta ortaya çıkmaktadır. Ayrıca hastalık çoğu olguda tek taraflı tutulum göstermektedir (Toktaş vd., 2016). Primer lenfödem oldukça nadir görülen bir hastalık olup toplumda düşük prevalansa sahiptir ve lenfödem olgularının küçük bir bölümünü oluşturmaktadır (Soria-Blanco vd., 2021). Hastalık çoğunlukla ergenlik veya erken erişkinlik döneminde ortaya çıkmakta, sporadik ya da ailesel geçişli şekilde görülebilmektedir (Brouillard vd., 2021). Bazı olgularda ise Turner sendromunda olduğu gibi doğumsal dönemde klinik bulgular gelişebilmektedir (Gordon vd., 2020). Lenfödem vakalarının büyük çoğunluğunu oluşturan sekonder lenfödem ise lenfatik sistemin sonradan hasarlanması veya obstrüksiyona uğraması sonucunda gelişmektedir.

Sekonder lenfödem patolojisi; enfeksiyonlar, kronik inflamatuvar süreçler, maligniteler, cerrahi girişimler, travmatik hasarlar veya radyoterapi uygulamaları gibi edinsel faktörlere bağlı olarak lenfatik sistemin anatomik ve fonksiyonel bütünlüğünün bozulmasıyla gelişme gösterir. Bu edinsel hasarların sadece mekanik bir tıkanıklığa yol açmadığı, aynı zamanda kronik doku inflamasyonunu, adipogenezi ve ilerleyici fibrozisi tetikleyen karmaşık bir hücresel kaskadı başlattığı vurgulanmaktadır (Kataru vd., 2019; Rockson, 2021). Özellikle kanser cerrahisi sonrası uygulanan lenf nodu diseksiyonu ve radyoterapinin, lenfatik endotelial hücre hasarını derinleştirerek ve lenfanjiyogenez mekanizmalarını baskılayarak sekonder lenfödem riskini multipl artırdığı belirtilmektedir.

Lenfödem Epidemiyolojisi:

Dünya genelinde milyonlarca insanı etkilemesine rağmen yeterince fark edilmeyen lenfödem hastalığında, güvenilir insidans verilerine ulaşmak oldukça güçtür. Bu durumun temel nedenleri; standart tanı kriterlerinin eksikliği, terminolojideki kavram karmaşası ve klinik uygulamadaki yetersiz tanılamadır. Özellikle meme kanseri tedavisi sonrası gelişen lenfödem önemli bir klinik problem olmaya devam etmektedir. Cerrahi ve radyoterapi uygulamalarındaki gelişmelere rağmen, aksiller bölge cerrahisi

geçiren hastaların belirli bir kısmında klinik olarak anlamlı üst ekstremité lenfödemí gelişebildiği bildirilmektedir (Lurie vd., 2022).

Günümüzde özellikle gelişmiş ölkelerde kanser tedavilerine bağlı lenfödem önemli bir neden olarak öne çıkarken, tropikal ve subtropikal bölgelerde lenfatik filaryaz en sık etiyolojik faktörlerden biri olmaya devam etmektedir. Hastalığın görölme sıklığı; kanser türü, uygulanan tedavi yöntemi ve lenfatik sistemde oluşan hasarın derecesine göre değişiklik göstermektedir (Nimmana vd., 2025).

Lenfödemín etiyolojisi cinsiyete göre farklılık gösterebilmektedir. Erkeklerde hastalık daha çok travma, enfeksiyon ve kronik venöz yetmezlik ile ilişkiliyken, kadınlarda kanser tedavisine bağlı gelişen lenfödem daha sık görölmektedir. Güney Kore’de gerçekleştirilen geniş kapsamlı bir veri tabanı analizinde, lenfödem insidansının zamanla arttığı ve yaş ile cinsiyete bağlı belirgin farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir. Bu bulgular, lenfödemín sağlık sistemi üzerindeki yükünün giderek arttığını ortaya koymaktadır (Kim vd., 2024).

Lenfödemde Risk Faktörleri

Obezite, diyabet, böbrek ve kalp hastalıkları gibi sistemik durumlar, kronik venöz yetmezlik ve paralizisi de lenfödem gelişim riskini artırmaktadır. Radyoterapi de lenf nodlarında fibrozis ve doku hasarı oluşturarak yeni lenfatik damar gelişimini engelleyebilmektedir. Özellikle aksiller, inguinal, pelvik ve supraklavikular bölgelere uygulanan radyoterapi sonrasında lenfödem görölme olasılığı yükselmektedir. Bunun yanı sıra travmalar, lenf damarlarına bası yapan intraabdominal veya intrapelvik tümörler ve enfeksiyonlar da lenfatik drenajı bozarak lenfödem gelişimine katkıda bulunmaktadır (Gürsoy vd., 2006).

Lenfödem Sınıflandırması

Güvenilir bir evreleme mekanizmasının hem klinik semptomlarla hem de görüntölleme bulgularıyla örtüşmesi, aynı zamanda tekrarlanabilir ve kapsayıcı bir nitelik taşıması açısından önemlidir. Literatürde farklı sınıflandırma modelleri yer alsa da, klinik pratikte en yaygın kabul göreni, lenfatik patolojiyi evre 0 ile evre III arasında dört farklı dereceye ayıran Uluslararası Lenfödem Derneği (ISL) kılavuzudur. Bu doğrultuda, söz konusu evrelerin takibinde esas alınan klinik kriterler ve derecelendirme basamakları, ISL (2023) verilerinden adapte edilerek tablo 1’de detaylandırılmıştır (Uluslararası Lenfoloji Derneği Yürütme Kurulu, 2023).

Tablo 1. Klinik belirtiler ve sınıflandırma kriterleri (Wu vd., 2025)

ISL Evresi	Klinik Dönem	Doku Karakteristiği ve Gode Durumu	Klinik Görünüm ve Hacimsel Şiddet Derecesi
Evre 0	Latent/ Subklinik	Görünür ödem yoktur; lenfatik taşıma kapasitesi azalmıştır ancak sıvı birikimi subklinik düzeydedir.	Ekstremitelerde ağırlık, gerginlik veya sızlama hissi mevcuttur. Hafif Derece: < % 20 hacim farkı dönemi öncesi
Evre I	Spontan Geri Dönüşümlü	Protein zengin sıvı birikimi başlamıştır; dokuya bastırıldığında belirgin gode pozitifdir.	Ekstremitenin elevasyonu ile ödem tamamen veya tamamen yakını hafifler.
Evre II (Erken)	Spontan Geri Dönüşümsüz	Sadece elevasyon ile ödem azalmaz; dokuda erken dönem ilerleyici fibrozis başlar ancak gode halen pozitifdir.	Uzuvda belirgin kalınlaşma ve kontur bozukluğu dikkat çeker. Orta Derece: %20 - % 40 hacim farkı aralığı
Evre II (Geç)	Spontan Geri Dönüşümsüz	Yoğun doku fibrozisi ve adipogenez gelişmiştir; doku sertleştiği için gode negatifleşir.	Doku sert, sıkı bir kıvam almıştır; cilt bütünlüğü bozulmaya başlar ve enfeksiyon riski artar.
Evre III	Lenfostatik Elefantiyasis	Geri dönüşümsüz lenfostazın en ileri aşamasıdır; fibrotik doku nedeniyle gode tamamen negatifdir.	Devasa hacim artışı, trofik deri değişiklikleri ve derin cilt katlantıları. Ağır Derece: > % 40 hacim farkı

Lenfödem Tanısı ve Değerlendirme Süreçleri

Lenfödem kliniğinde doğru tanı, evreleme ve takip süreçleri; detaylı bir anamnez alımı, sistemik inspeksiyon, palpasyon bulguları ile çevre ve volüm ölçümlerini kapsayan multidisipliner bir değerlendirme kriterleridir (ILF, 2006).

1. Detaylı Anamnez Alımı

Anamnez aşamasında, hastanın mevcut ödem tablosuna zemin hazırlayabilecek etiyolojik faktörler titizlikle sorgulanmalıdır. Bu faktörler:

- Cerrahi öyküsü ve diseke edilen lenf nodu sayısı,
- Aksiller/inguinal radyoterapi ve kemoterapi gibi uygulanan onkolojik tedaviler,
- Genetik yatkınlığı belirlemek adına aile öyküsü detaylandırılır (Rockson, 2019).

Bunun yanı sıra ödemin başlangıç zamanı, semptomların kronolojik seyri, tetikleyici mekanizmalar, eşlik eden enfeksiyon öyküsü ile hastanın ağrı, dolgunluk ve ağırlık hissi gibi subjektif semptomları ve bu klinik tabloyu algılama düzeyi derinlemesine sorgulanmalıdır (ISL, 2020).

2. Sistematik İnspeksiyon ve Palpasyon

İnspeksiyon sürecinde ödemin anatomik lokalizasyonu ve yayılımı, malign nüks veya aktif enfeksiyon patolojilerine işaret edebilecek cilt rengi

değişiklikleri incelenir (Browse vd., 2003). Lenfatik akışı mekanik olarak kesebilecek skar ve insizyon hatları ile kronik dönemde gelişen cilt katlanmaları değerlendirilir (Stemmer, 1999). Ek olarak:

- Lenfangiektazi varlığı,
- Baş-boyun, göğüs ve sırt bölgelerindeki asimetrier,
- Tırnak yapısındaki değişiklikler
- Sıkı giysi veya çamaşır basısına bağlı mikrotravmalar,
- Ödemin postüral duruş üzerindeki biyomekanik etkileri sistematik olarak gözlemlenir.

Palpasyonda ise doku kıvamı ve patognomonik bir bulgu olan Stemmer işareti değerlendirilerek lenfödem tanısı klinik olarak doğrulanır (ISL, 2020).

3. Çevre ve Volüm Ölçümleri

Klinik takibin ve tedavi etkinliğinin objektif olarak değerlendirilmesi amacıyla antropometrik çevre ölçümleri ve bu ölçümlerden formüller aracılığıyla hesaplanan volüm analizleri veya su taşıma yöntemi kullanılır. Son yıllarda, subklinik (Evre 0) dönemdeki hücre dışı sıvı artışı yakalamada Biyoempedans Spektroskopi (BIS) yöntemi de altın standart değerlendirme kriterleri arasında yer almaktadır (Fu vd., 2013; Kurz, 1990).

Lenfödemli bireylerde cilt bakımının düzenli şekilde sürdürülmesi enfeksiyon riskinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle hastalara deri temizliğinde pH değeri nötr veya cilde yakın özellik gösteren ürünlerin kullanılması önerilmektedir. Cilt kuruluğunu artırabilen deterjan içeriği yüksek sabunlardan kaçınılması gerektiği konusunda bireyler bilgilendirilmelidir. Ayrıca mineral yağ ve petrolatum oranı yüksek ürünlerin deri porlarını tıkayarak cilt bütünlüğünü olumsuz etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılan ürünlerin hipoalerjenik özellikte olması da cilt irritasyonunu önlemek açısından önemlidir. Bunun yanı sıra hastaların böcek ısırıkları, kesiler, yanıklar ve travmatik yaralanmalardan korunması, etkilenen ekstremitelerde manikür gibi uygulamalardan kaçınılması gerektiği vurgulanmalıdır (Temur & Kapucu, 2018).

Ekstremitelerde Tipik Lenfödem Özellikleri

Ekstremitelerde gelişen lenfödem tipik klinik özellikleri şu şekilde sıralanabilmektedir (Kostanoğlu, 2013).

Asimetrik ve Unilateral Tutulum: Semptomlar çoğunlukla unilateral yerleşim göstermektedir. Bilateral tutulum varlığında ise asimetrik bir patern baskındır ve bir ekstremitedeki ödem miktarı diğerine oranla daha yüksektir; iki taraflı simetrik tutulumlar klinik olarak nadirdir.

Cilt Rengi Bütünlüğü: Elefantiyazis, venöz konjesyona bağlı gelişen siyanoz, son evre kronik venöz yetersizlik ve Klippel-Trenaunay sendromu gibi özel patolojiler dışında cilt renginde belirgin bir değişim gözlenmez.

Anatomik Lokalizasyon: El ve ayakların dorsal yüzeylerinde ödem infiltrasyonu belirgindir.

Doku ve Kıvrım Değişiklikleri: Ödemin hacimsel artışına paralel olarak fizyolojik cilt katlanmaları ve kıvrımları derinleşmiş bir görünüm alır.

Lokal Isı ve Semptomatoloji: Palpasyon muayenesinde yerel cilt ısısı normal sınırlarda saptanır. Süreç genellikle non-semptomatik ilerler.

Komplikasyon Eğilimi: Klinik tabloya eşlik eden sekonder bir enfeksiyon veya karmaşık bir vasküler patoloji bulunmadığı sürece, dokuda nekroz ve ülserasyon odakları meydana gelmez.

Lenfödem gelişiminde çıkarılan lenf nodu sayısı önemli bir risk belirleyicisi olarak kabul edilmektedir. Güncel çalışmalar, üçten fazla lenf nodunun çıkarılmasının lenfödem riskini anlamlı düzeyde artırdığını göstermektedir. Bunun yanı sıra radyoterapi, kemoterapi ve 30 kg/m^2 'nin üzerindeki vücut kitle indeksi (VKİ) de önemli risk faktörleri arasında yer almaktadır. Lenfödemde, risk özellikle lenf nodu diseksiyonunun kapsamı ve uygulanan adjuvan tedavilerden etkilenmektedir. Geliştirilen tahmin modellerinin yüksek negatif öngörü değerine sahip olması, yüksek riskli bireylerin erken dönemde belirlenmesine ve kişiselleştirilmiş izlem programlarının planlanmasına katkı sağlamaktadır (Byeon ve ark.,2024).

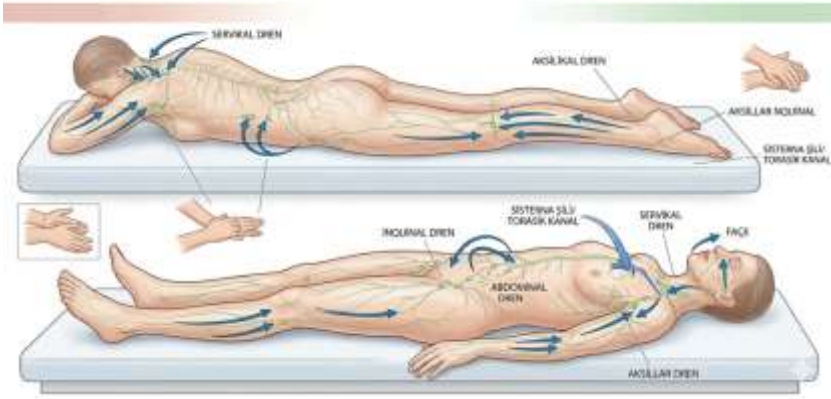
Lenfödem Tedavisi

Lenfödem tedavisi genel olarak konservatif, cerrahi ve farmakolojik yaklaşımlar olmak üzere üç başlık altında değerlendirilmektedir. Farmakolojik tedavide, özellikle lenfanjit ve selülit gibi enfeksiyonların önlenmesi ve kontrol altına alınması amacıyla antibiyotikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Cerrahi girişimler; lenfatik yapılarda iyatrojenik hasar riski barındırması ve mevcut fonksiyonel lenf dokusunun kaybına yol açarak ödem patolojisini alevlendirebilme potansiyeli nedeniyle klinik pratikte daha sınırlı bir endikasyon alanına sahiptir (Çınar Özdemir ve ark., 2020).

Lenfödem yönetiminde en efektif yaklaşım olarak kabul edilen ve literatürde altın standart şeklinde nitelendirilen Kompleks Dekonjestif Terapi (KDT); alanında uzman bir klinisyen tarafından uygulanan manuel lenf drenajı (MLD), çok katmanlı kısa germeli bandajlama, lenfatik pompalama mekanizmasını stimüle eden özel egzersizler, titiz bir cilt bakımı ve uygun kompresyon giysilerinin entegrasyonunu kapsamaktadır. Birbirini takip eden iki farklı fazdan oluşan bu tedavi protokolünün ilk aşaması olan yoğun faz, ödemli ekstremitede maksimum hacimsel azalma ve cilt dokusunda fizyolojik normalleşme elde edilene kadar günlük seanslar halinde yürütülmektedir.

Tedavinin sürekliliğini hedefleyen ikinci aşama yani kendine bakım fazı ise hastanın yaşam boyu sürdürmesi gereken bir süreci kapsamakta olup; kendi kendine uygulanan manuel lenf drenajı, düzenli bası giysisi kullanımı, terapötik egzersizler ve cilt koruma önlemlerinden oluşmaktadır (Çınar Özdemir vd., 2020). Manuel Lenf Drenajı (MLD), lenfödem yönetiminde küresel ölçekte yaygın olarak tercih edilen terapötik bir modalitedir. Bu yöntem, patolojiden etkilenen anatomik bölgedeki lenfatik akışı stimüle etmek amacıyla, spesifik ve ritmik pompalama tekniklerinin uygulanmasını esas almaktadır.

Literatürdeki çalışmalar, hafif bir epidermal doku masajı olarak nitelendirilen MLD uygulamalarının, yüzeysel lenfatik kolektörlerde mekanik bir kasılma yanıtı açığa çıkardığını ve bu fizyolojik mekanizma sayesinde lenfatik drenajı belirgin düzeyde artırdığını ortaya koymaktadır (Huang vd., 2013). Manuel lenf drenajı yalnızca etkilenen ekstremitelere değil, gövde bölgesine de uygulanmalı ve masaj yönü fizyolojik lenf akışına uygun şekilde planlanmalıdır (Şekil 3). Uygulama sırasında yağ veya losyon kullanılmaması önerilmekte olup, seans süresinin yaklaşık 20 dakika ve üzerinde olması gerektiği belirtilmektedir. Williams ve ark., (2002) yapmış olduğu çalışmada, manuel lenf drenajının lenfödem şiddetini, ciltteki incelmeyi ve duyuusal semptomları azaltabildiği bildirilmiştir.



Şekil 3.Manuel Lenf Drenajı ve Akış Yönü

VKİ 25 kg/m² ve üzerinde olan bireylerin, artan vücut ağırlığının terapötik egzersiz protokollerine uyumu zorlaştırabileceği konusunda bilgilendirilmeleri gerekmektedir. Ayrıca aşırı kilonun, lenfödem tablosu gelişmesi halinde klinik yönetimde kritik öneme sahip olan kompresyon giysileri ile çok katmanlı bandaj uygulamalarının biyomekanik etkinliğini kısıtlayabileceği hastaya aktarılmalıdır. Literatür incelendiğinde, Özasan ve

arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada da yüksek VKİ değerlerine sahip olan hastalarda lenfödem gelişme riskinin istatistiksel olarak daha yüksek saptandığı görülmektedir (Ozaslan & Kuru, 2004; Temur & Kapucu, 2018).

Lenfödem yönetiminde cilt bütünlüğünün korunması, lokal immün yetersizlik nedeniyle gelişebilecek enfeksiyon riskini minimize etmede kritik bir öneme sahiptir. Hastaların etkilenen ekstremitayı günde iki kez eritem, ısı artışı, abrazyon veya ani ödem artışı gibi enfeksiyon bulguları yönünden sistematik olarak muayene etmesi gerekmektedir. Bakteriyel penetrasyonu önlemek adına cildin esnekliğini korumak esastır; bu doğrultuda ekstremitenin nötr pH'lı sabunlarla günlük olarak temizlenmesi, kurulanması ve parfümsüz ajanlarla nemlendirilmesi önerilmektedir. Hijyen ve nemlendirme uygulamaları esnasında, MLD prensiplerine uygun şekilde, distalden proksimale doğru yönlendirilen masaj manipülasyonlarının tercih edilmesi klinik başarıyı desteklemektedir. Sonuç olarak, enfeksiyon bariyerini güçlendirmek adına hasta eğitiminde koruyucu cilt bakım stratejilerine birincil derecede yer verilmelidir (Vergili, 2021).

Borman'a (2021) göre, alt ekstremita lenfödeminin yoğun tedavi fazında geleneksel kısa gerimli çok tabakalı bandajlar (Şekil 4) ile cırt cırtlı ayarlanabilir kompresyon sargılarının etkinliğini karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda, her iki yöntemin de ekstremita hacmini düşürmede, semptomları hafifletmede ve yaşam kalitesini artırmada benzer oranda başarılı olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte yazarlar, cırt cırtlı sargıların uygulama kolaylığı ve basınç optimizasyonuna izin veren yapısı sayesinde, klinik süreçte geleneksel bandajlara kıyasla daha yüksek hasta uyumu sağlayan, konforlu bir alternatif olduğunu vurgulamaktadır.



Şekil 4. Kısa gerimli çok tabakalı bandaj

Kinezyolojik bantlama, 1973 yılında Dr. Kenzo Kase tarafından geliştirilen ve son yıllarda lenfödem tedavisinde de kullanılmaya başlanan bir yöntemdir. Bu uygulamanın, cildi hafif şekilde kaldırarak dermis ile fasya arasındaki interstisyel alanı artırdığı ve böylece lenfatik dolaşıma destek sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca kas aktivitesini destekleyerek kas-eklem pompasını uyardığı ve lenf sıvısının taşınmasına katkıda bulunduğu belirtilmektedir. Suya dayanıklı yapısı sayesinde günlük yaşamda kullanım kolaylığı sağlaması ve diğer bazı tedavi yöntemlerine göre daha ekonomik olması önemli avantajları arasında yer almaktadır (Smykla vd., 2013; Morris vd., 2013). Yang (2024) tarafından yapılan sistematik derleme ve meta-analizde, kinezyolojik bantlamanın üst ekstremité fonksiyonu, yaşam kalitesi ve hasta konforu üzerinde olumlu etkiler sağladığı bildirilmiştir. Ancak ödem hacmini azaltma konusunda etkisinin sınırlı olduğu ve daha güçlü kanıtlar için yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

Düşük yoğunluklu lazer tedavisi (LLLT); inflamasyonu baskılama, lenfanjiyojenezi stimüle etme ve doku fibrozisini inhibe etme mekanizmalarıyla öne çıkan, non-invaziv bir terapötik yaklaşımdır. Alt ekstremité lenfödemine yönelik geniş ölçekli kanıt düzeyi henüz sınırlı

olmakla birlikte, meme kanserine sekonder gelişen üst ekstremitte olgularında hacim azaltıcı etkinliği literatürde desteklenmektedir. Kolay uygulanabilirliği ve düşük maliyet yükü, LLLT'yi özellikle kutanöz fibrozis gelişen hastaların rehabilitasyon protokollerinde işlevsel bir adjuvan tedavi seçeneği olarak konumlandırmaktadır (Çınar ve ark., 2025).

Meme kanseri tedavisi sonrasında üst ekstremitte hipertrofisini hedefleyen yapılandırılmış ve yüksek yoğunluklu direnç egzersizi programlarına katılan geniş bir kadın popülasyonunda, lenfödem gelişimi veya mevcut lenfödem bulgularında kötüleşme gözlenmemiştir. Aksine, biyolojik empedans ve diğer sıvı değerlendirme yöntemleriyle elde edilen sonuçlar, üst ekstremitedeki sıvı birikiminde azalma ve lenfödem durumunda iyileşme olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, uygun şekilde planlanmış ve kademeli olarak ilerletilen direnç egzersizlerinin meme kanseri sonrası rehabilitasyon sürecinde güvenle uygulanabileceğini ve tedavi programlarının ayrılmaz bir bileşeni olarak değerlendirilebileceğini desteklemektedir (Shamsesfandabadi ve ark., 2025).

Hayes'e (2009) göre, sekonder lenfödem tanısı alan veya bu riski taşıyan bireylerde egzersiz uygulamalarının güvenliğini ve terapötik faydalarını incelemiştir. Çalışma, etkilenen ekstremitayı koruma amacıyla yapılan geleneksel hareketsiz bırakma yaklaşımının aksine; düşük yoğunluklu ve kademeli artırılan egzersizlerin ödemi kötüleştirmede net bir şekilde ortaya koymuştur.

Şener'e (2017) göre, tarafından meme kanseri tedavisi sonrası lenfödem gelişen kadın hastalarda gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada, klinik pilates egzersizlerinin standart lenfödem egzersizlerine kıyasla daha etkili olduğu bildirilmiştir. Sekiz haftalık uygulama sonunda her iki grupta da semptomlarda iyileşme görülmesine rağmen, klinik pilates grubunda lenfödem şiddetinde daha belirgin azalma, üst ekstremitte fonksiyonlarında daha fazla gelişme ve yaşam kalitesinde daha yüksek düzeyde iyileşme saptanmıştır. Ayrıca klinik pilates egzersizlerinin güvenli bir yaklaşım olduğu ve lenfödem rehabilitasyon programlarına katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir (Şener vd., 2017).

García-Chico (2025) tarafından gerçekleştirilen şemsiye derleme ve meta-analizde, meme kanseri ilişkili lenfödemde egzersizin etkinliği kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, özellikle progresif dirençli egzersizlerin kas kuvveti, üst ekstremitte fonksiyonları ve fonksiyonel kapasite üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Ayrıca düzenli fiziksel aktivitenin bireylerin günlük yaşam aktivitelerine katılımını desteklediği ve fiziksel performansı geliştirdiği belirtilmiştir. Araştırmada uygun yoğunlukta ve kontrollü şekilde uygulanan egzersiz programlarının lenfödem

semptomlarını artırmadığı, aksine güvenli bir rehabilitasyon yaklaşımı sunduğu vurgulanmıştır. Özellikle 8-12 haftalık progresif dirençli egzersiz uygulamalarının etkili sonuçlar ortaya koyduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte egzersiz sürecinde bireylerin semptomlarının, egzersiz toleransının ve algılanan efor düzeyinin düzenli olarak takip edilmesinin tedavi başarısı açısından önemli olduğu ifade edilmiştir (García-Chico vd., 2025).

Çınar Özdemir'in (2020) yapmış oldukları çalışmada, yoga uygulamalarının özellikle lenfödem riski taşıyan bireylerde güvenli olduğu, omuz eklem hareket açıklığı ile üst ekstremité kas kuvvetinde iyileşme sağlayabileceği bildirilmektedir. Yoga; nefes egzersizleri, postürler ve meditasyonu bir araya getiren, bireyi fiziksel, zihinsel ve duygusal yönleriyle ele alan bütüncül bir uygulama yaklaşımıdır. Çalışmada yoga uygulamalarının lenfödem şiddetinde belirgin bir değişiklik oluşturmadığı, ancak yaşam kalitesini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Çınar Özdemir vd., 2020).

Ergin (2017) tarafından gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada, su-lenfatik terapinin alt ekstremité lenfödemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, su içerisinde uygulanan terapötik egzersizlerin ve hidrostatik basıncın lenfatik dolaşımı destekleyerek ödem miktarında azalma sağladığını göstermiştir. Ayrıca uygulamanın ekstremité fonksiyonları, hareket kabiliyeti ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Çalışmada su içi terapinin güvenli ve tamamlayıcı bir rehabilitasyon yöntemi olarak lenfödem yönetiminde kullanılabileceği vurgulanmıştır (Ergin vd., 2017).

Sonuç

Sonuç olarak, erken tanı ve doğru ayırıcı değerlendirme, hastalığın ilerlemesinin önlenmesi ve uygun tedavi stratejilerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Erken dönemde gerçekleştirilen multidisipliner değerlendirmelerin ardından, Kompleks Dekonjestif Terapi gibi altın standart yöntemlerin yanı sıra düşük yoğunluklu lazer, kinezyolojik bantlama ve kanıta dayalı progresif egzersiz modalitelerinin entegre edildiği kişiselleştirilmiş rehabilitasyon stratejileri, hem ekstremité hacminin azaltılmasında hem de hastaların fonksiyonel kapasiteleri ile yaşam kalitelerinin artırılmasında kritik bir öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

Aselli, G. (1627). *De lactibus sive lacteis venis quarto vasorum mesaraicorum genere, novo invento Gasparis Asellii ... dissertatio*. Milan, Italy: J. B. Bidellium.

- Baluk, P., Fuxe, J., Hashizume, H., Romano, T., Lashnits, E., Butz, S., Vestweber, D., Adams, R. H., Izawa, A., Matsuzaki, J., Sturgeon, C., Nitschké, S., Lubatsky, S., & McDonald, D. M. (2007). Functionally specialized junctions between endothelial cells of lymphatic vessels. *Journal of Experimental Medicine*, 204(10), 2349–2362. Berna kita
- Bartholin, T. (1653). *Vasa lymphatica, nuper in animantibus inventa, et hepatis exsequiae*. Copenhagen, Denmark: Melchioris Martzan.
- Bittar, S., Simman, R., & Lurie, F. (2020). Lymphedema: A practical approach and clinical update. *Wounds*, 32(3), 86–92.
- Borman, P., Koyuncu, E. G., Yaman, A., & diğerleri. (2021). Alt ekstremité lenfödemi olan hastaların aktif tedavi aşamasında geleneksel kısa esneme özelliğine sahip çok katmanlı bandajların ve cırt cırtlı ayarlanabilir kompresyon sargılarının karşılaştırmalı etkinliği. *Lenfatik Araştırma ve Biyoloji*, 19(3), 286-294.
- Brouillard, P., Boon, L., & Vikkula, M. (2021). Genetics of lymphatic anomalies. *The Journal of Clinical Investigation*, 131(2), e143775.
- Browse, N. L., Burnand, K. G., & Mortimer, P. S. (2003). *Diseases of the lymphatics*. London, England: Arnold.
- Byeon, J., Kang, E., Jung, J. J., Cheun, J. H., Seo, K. S., Kim, H. K., Lee, H. B., Han, W., & Moon, H. G. (2024). Risk of lymphedema after sentinel node biopsy in patients with breast cancer. *Journal of Breast Cancer*, 27(5), 323-333.
- Cruikshank, W. (1786). *The anatomy of the absorbing vessels of the human body*. London, England: G. Nicol.
- Çınar Özdemir, Ö., Yıldırım, B., & Köse, E. (2020). Lenfödemde alternatif tedavi yöntemleri. *İzmir Demokrasi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(1), 1-7.
- Çınar, E., Ata, B. N., Güvercin, E. Y., & Eyigör, S. (2025). Alt ekstremité lenfödemi için kompleks dekonjestif tedavi: Üçüncü basamak bakım merkezinden sonuçlar. *Türk Osteoporoz Dergisi*, 31(1), 26-33.
- Ergin, G., Karadibak, D., Sener, H. O., & Gurpinar, B. (2017). Effects of aqua-lymphatic therapy on lower extremity lymphedema: A randomized controlled trial. *Lymphatic Research and Biology*, 15(3), 284-291.
- Executive Committee of the International Society of Lymphology. (2020). The diagnosis and treatment of peripheral lymphedema: 2020 consensus document of the International Society of Lymphology. *Lymphology*, 53(1), 3-19.
- Fife, C. E., Davey, S., Maus, E. A., Guilliod, R., & Mayrovitz, H. N. (2012). A randomized controlled trial comparing two types of pneumatic compression for breast cancer-related lymphedema treatment in the home. *Support Care in Cancer*, 20(12), 3279-3286.
- Fu, M. R., Cleland, C. M., McTernan, M., Ryan, C. E., Haber, J., Axelrod, D., & Scagliola, J. (2013). Bioelectrical impedance analysis for early detection of

- lymphedema in breast cancer survivors. *Journal of Surgical Research*, 184(1), 1144-1147.
- García-Chico, C., López-Ortiz, S., Pinto-Fraga, J., & et al. (2025). Physical exercise and breast cancer-related lymphedema: An umbrella review, systematic review and meta-analysis. *Disability and Rehabilitation*, 48(2), 259-275.
- Gordon, K., Varney, R., Keeley, V., Riches, K., Jeffreys, R., Van Zanten, M., ... & Mansour, S. (2020). Update and classification of primary lymphedema. *Clinical Genetics*, 97(4), 543-553.
- Gürsoy, A. A., Erdöl, H., & Okuyan, M. (2006). Lenfödem. *Journal of Anatolia Nursing and Health Sciences*, 9(4), 82-90.
- Hayes, S. C., Reul-Hirche, H., & Turner, J. (2009). Exercise and secondary lymphedema: Safety, potential benefits, and research issues. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 483-489.
- Huang, T. W., Tseng, S. H., Lin, C. C., Bai, C. H., Chen, C. S., Hung, C. S., & Tam, K. W. (2013). Effects of manual lymphatic drainage on breast cancer-related lymphedema: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *World Journal of Surgical Oncology*, 11(1), 15.
- Hunter, W. (1784). *Two introductory lectures, delivered by Dr. William Hunter, to his last course of anatomical lectures*. London, England: J. Johnson.
- International Lymphoedema Framework. (2006). *Best practice for the management of lymphoedema: International consensus*. London, England: Focus Med.
- Kim, D. J., Kim, D. S., Yu, Y., Chung, J. H., & Yoon, E. S. (2024). Cross-sectional analysis for lymphedema epidemiology with HIRA data in South Korea: An observational study. *Medicine (Baltimore)*, 103(27), e38779.
- Kinmonth, J. B. (1952). Lymphangiography in man: A method of demonstrating lymphatic channels at operation. *Clinical Science*, 11(1), 13-20.
- Kostanoğlu, A. (2013). *Lenfödem tedavisinde üç farklı fizyoterapi yönteminin etkinliğinin karşılaştırması* (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kubik, S., & Kretz, O. (2006). Anatomy of the lymphatic system. In M. Földi & E. Földi (Eds.), *Földi's textbook of lymphology for physicians and lymphedema therapists* (2nd ed., pp. 1-149). Munich, Germany: Mosby-Elsevier.
- Kurz, I. (1990). *Treatment manual. Textbook of Dr. Vodder's manual lymph drainage* (Vol. 3, Rev. ed., R. H. Harris, Trans.). Heidelberg, Germany: Karl S. Haug Publishers.
- Lee, S. O., & Kim, I. K. (2024). Molecular pathophysiology of secondary lymphedema. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 12, 1363811.
- Lurie, F., Malgor, R. D., Carman, T., Dean, M. M., Iafrati, M. D., Khilnani, N. M., ... & Gasparis, A. P. (2022). Expert consensus document of the American Venous Forum, American Vein and Lymphatic Society and the Society for Vascular Medicine on the diagnosis and treatment of lymphedema. *Phlebology*, 37(4), 252-266.

- Moore, J. E., Jr., & Bertram, C. D. (2018). Lymphatic system flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 50, 459–482.
- Morris, D., Jones, D., Ryan, H., & Ryan, C. G. (2013). The clinical effects of Kinesio® Tex taping: A systematic review. *Physiotherapy Theory and Practice*, 29(4), 259–270.
- Nimmana, B. K., Kimyaghalam, A., & Manna, B. (2026). Lymphedema. In *StatPearls [Internet]*. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
- Norden, P. R., & Kume, T. (2020). Molecular mechanisms controlling lymphatic endothelial junction integrity. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8, 627647.
- Null, M., Arbor, T. C., & Agarwal, M. (2024). Anatomy, lymphatic system. In *StatPearls [Internet]*. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
- Ozaslan, C., & Kuru, B. (2004). Lymphedema after treatment of breast cancer. *The American Journal of Surgery*, 187(1), 69-72.
- Öz, B. S., Sargın, M., İyem, H., vd. (2005). Alt ekstremitede lenfödem sıklığı ve etkili faktörler. *Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahisi Dergisi*, 14(4), 304-307.
- Pecquet, J. (1651). *Experimenta nova anatomica, quibus incognitum chyli receptaculum, et ab eo per thoracem in ramos usque subclavios vasa lactea deteguntur*. Paris, France: Sebastiani Cramoisy.
- Rockson, S. G. (2019). Lymphedema. *The American Journal of Medicine*, 132(11), 1278-1285.
- Shamsesfandabadi, P., Shams Esfand Abadi, M., Yin, Y., Carpenter, D. J., Peluso, C., Hilton, C., ... & Champ, C. E. (2025). Resistance training and lymphedema in breast cancer survivors. *JAMA Network Open*, 8(6), e2514765.
- Smykla, A., Walewicz, K., Trybulski, R., Halski, T., Kucharzewski, M., Kucio, C., ... & Taradaj, J. (2013). Effect of Kinesiology Taping on breast cancer-related lymphedema: A randomized single-blind controlled pilot study. *BioMed Research International*, 2013, 767106.
- Soria-Blanco, R., Cuadrado-Sanz, M., & de la Rosa, E. (2021). Epidemiology and global burden of primary and secondary lymphedema. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 62(3), 445–452.
- Starling, E. H. (1896). On the absorption of fluids from the connective tissue spaces. *The Journal of Physiology*, 19(4), 312–326.
- Stemmer, R. (1999). Stemmer's sign--possibilities and limits of clinical diagnosis of lymphedema. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 149, 85-86.
- Şener, H. Ö., Malkoç, M., Ergin, G., Karadibak, D., & Yavuzşen, T. (2017). Effects of clinical Pilates exercises on patients developing lymphedema after breast cancer treatment: A randomized clinical trial. *Journal of Breast Health*, 13(1), 16-22.

- Temur, K., & Kapucu, S. (2018). Meme kanseri ilişkili lenfödem gelişimini önlemede ve yaşam kalitesini yükseltmede etkin yöntem: Kendi kendine lenfödem yönetimi. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 40(1), 121-129.
- Toktaş, H., Çevik, H., Dünder, Ü., & Güleç, Ö. (2016). Lenfödem tedavisi. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 16(4), 269-272.
- Turna, İ. F. (2020). Lenfödem tanı ve tedavisine güncel bakış. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(1), 14-22.
- Vergili, Ö. (2021). Lenfödem rehabilitasyonunda güncel yaklaşımlar ve fizyoterapi yönetimi. *Kırıkkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 5(2), 115-124.
- Williams, A. F., Vatgama, A., Frank, P. J., & et al. (2002). A randomized controlled crossover study of manual lymphatic drainage therapy in women with breast cancer-related lymphoedema. *European Journal of Cancer Care*, 11(4), 254-261.
- Wu, T., Pu, J., Yao, Q., Chen, S., Yao, Y., Chang, S., ... & Shen, J. (2025). Advances in etiology, pathophysiology, diagnosis, and management of lymphedema: A comprehensive review. *Frontiers in Medicine (Lausanne)*, 12, 1666522.
- Yang, F. A., Wu, P. J., Su, Y. T., Strong, P. C., Chu, Y. C., & Huang, C. C. (2024). Effect of kinesiology taping on breast cancer-related lymphedema: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Breast Cancer*, 24(6), 541-551.e1.
- Yıldırım, M. (2004). Lenfatik sistem-systema lymphoideum. *İnsan Anatomisi* (6. Baskı, s. 149-153). İstanbul, Türkiye: Nobel Tıp Kitabevleri.
- Zampell, J. C., Aschen, S., Weitman, E. S., Yan, A., Elhadad, S., De Brot Andrade, M., & Mehrara, B.J. (2012). Regulation of adipogenesis by lymphatic fluid stasis: Part I. Adipogenesis, fibrosis, and inflammation. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 129(4), 825-834.

Poliendeokrin Metabolik Over Sendromunda Diyet Yaklaşımlarının Hormonlar Üzerindeki Etkisi

Aleyna ÇINAR¹

Pelin YURTSEVER²

Zeynep YILMAZ³

Ezgi KAR⁴

- 1- Diyetisyen; Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü. cinaraleyna2024@gmail.com
- 2- Diyetisyen; Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü. pelinyrtsvr09@gmail.com.
- 3- Diyetisyen; Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü. zeynepyiilmaazz2@gmail.com
- 4- Doç. Dr.; Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü. ezgi.kar@ksbu.edu.tr. ORCID: 0000-0003-2134-4067

ÖZET

Poliendokrin Metabolik Over Sendromu (PMOS), üreme çağındaki kadınlarda en sık karşılaşılan endokrin ve metabolik bozukluklardan biri olarak öne çıkar. Bu durum, hiperandrojenizm, ovulasyon bozuklukları, insülin direnci ve kronik düşük dereceli inflamasyon ile kendini gösterir. Son dönemde, bu hastalığın yönetiminde farmakolojik tedavilerin yanı sıra beslenmeye dayalı yaklaşımlar da önem kazanmıştır. Bu derleme bölümünde, PMOS'un güncel patofizyolojik mekanizmaları ile beslenme müdahalelerinin hormonal profil üzerindeki etkileri güncel literatür ışığında incelenmiştir. Literatür; insülin direnci, hiperinsülinemi, LH/FSH dengesizliği, hiperandrojenizm, seks hormonu bağlayıcı globulin (SHBG), anti-Müllerian hormon (AMH), adipokinler ve kisspeptin sistemi arasındaki etkileşimlerin hastalığın gelişimi ve ilerlemesinde temel rol oynadığını belirtmektedir. Ayrıca, Akdeniz diyeti, düşük glisemik indeksli diyet, DASH diyeti ve ketojenik diyet gibi beslenme modellerinin; insülin duyarlılığını artırma, inflamasyonu azaltma, oksidatif stresi yönetme ve hormonal dengeyi iyileştirme potansiyelleri ele alınmıştır. Omega-3 yağ asitleri, inositol ve resveratrol gibi besin bileşenlerinin metabolik ve hormonal parametreler üzerindeki etkilerine dair mevcut kanıtlar da incelenmiştir. Bulgular, bireye özel planlanan tıbbi beslenme tedavisinin yaşam tarzı değişiklikleriyle birleştirildiğinde hormonal dengeyi destekleyebileceğini, metabolik bozuklukların kontrolüne katkı sağlayabileceğini ve üreme fonksiyonlarını geliştirmede önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, PMOS yönetiminde güncel bilimsel bulgulara dayanan beslenme yaklaşımlarının multidisipliner tedavinin temel unsurlarından biri olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler – PMOS, İnsülin Direnci, Hiperandrojenizm, Tıbbi Beslenme Tedavisi, Hormonlar

GİRİŞ

Poliendokrin Metabolik Over Sendromu (PMOS), üreme çağındaki kadınlarda en sık görülen endokrin ve metabolik hastalıklardan biridir. Sendrom yalnızca üreme sağlığını değil, insülin direnci, obezite ve kardiyometabolik riskler gibi metabolik süreçleri de etkileyen kompleks bir yapıya sahiptir (Teede ve ark., 2023).

PMOS'un etiyolojisi tam olarak açıklanamamış olmakla birlikte, genetik ve epigenetik yatkınlığın beslenme ve yaşam tarzı gibi çevresel faktörlerle etkileşimi sonucu geliştiği düşünülmektedir (Escobar-Morreale, 2018). Hastalık; hiperandrojenizm, ovulatuvar disfonksiyon ve polikistik over morfolojisi ile karakterize olup infertilitenin önemli nedenlerinden biridir. Ayrıca insülin direnci, abdominal obezite, kardiyovasküler hastalıklar ve

psikolojik sorunlarla da ilişkilidir (Teede ve ark., 2023).

Beslenme, PMOS yönetiminde önemli yaşam tarzı bileşenlerinden biridir. Batı tipi beslenme hormonal ve metabolik bozukluklarla ilişkilendirilirken, Akdeniz diyeti gibi antiinflamatuvar beslenme modellerinin hormonal denge üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmektedir (Xenou ve Gourounti, 2021).

Bu derlemenin amacı, PMOS'lu bireylerde farklı diyet yaklaşımları ve besin desteklerinin hormonal parametreler üzerindeki etkilerini güncel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmektir.

Poliendokrin Metabolik Over Sendromu

PMOS Tanımı

PMOS, doğurganlık çağındaki kadınlarda yaklaşık %6–20 oranında görülen heterojen bir endokrin ve metabolik hastalıktır. Klinik olarak adet düzensizliği, hiperandrojenizm, infertilite ve polikistik over morfolojisi ile karakterizedir. Kesin tedavisi bulunmamakta olup tedavi; semptomların kontrolü, üreme fonksiyonlarının iyileştirilmesi ve uzun dönem metabolik komplikasyonların önlenmesine odaklanmaktadır (Rodriguez Paris ve Bertoldo, 2019).

Epidemiyoloji

PMOS, kadınların yaklaşık %10–13'ünü etkileyen en yaygın endokrin hastalıklardan biridir. Buna rağmen olguların önemli bir kısmı tanı almamaktadır (WHO, 2026). Prevalans kullanılan tanı kriterlerine göre değişmekle birlikte genel popülasyonda %6–20 arasında bildirilmektedir (Teede ve ark., 2023).

Küresel Yük

PMOS'un küresel yükü son yıllarda artış göstermektedir. Güncel verilere göre dünya genelinde yaklaşık 69 milyon kişi PMOS'tan etkilenmekte olup hastalık önemli sağlık ve ekonomik yük oluşturmaktadır. Bölgesel farklılıkların belirlenmesi, tarama programlarının planlanması ve sağlık politikalarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır (Chai ve ark., 2025).

Tanı Kriterleri

PMOS tanısı, diğer nedenler dışlandıktan sonra aşağıdaki üç kriterden en az ikisinin varlığı ile konulur (Teede ve ark., 2023):

1. Klinik veya biyokimyasal hiperandrojenizm,
2. Ovulatuvar disfonksiyona bağlı düzensiz menstrüel siklus,

3. Ultrasonografide polikistik over morfolojisi.

Ergenlerde ise fizyolojik puberte ile PMOS bulgularının ayrımı güç olduğundan tanıda kalıcı adet düzensizliği ve hiperandrojenizm temel alınmakta, pelvik ultrasonografi rutin olarak önerilmemektedir (Teede ve ark., 2023).

Klinik Özellikler

Hirsutizm

Hirsutizm, kadınlarda androjen duyarlı bölgelerde terminal kıllanmanın erkek tipi dağılıma benzer şekilde artmasıdır. Genellikle artmış androjen üretimi veya hedef dokularda androjen duyarlılığındaki artış sonucu gelişir. PMOS, hirsutizmin en sık nedenlerinden biri olup hastaların yaklaşık %50–70’inde görülebilmektedir (Teede ve ark., 2018).

Akne

Akne, sebase bezler ve kıl foliküllerini etkileyen kronik inflamatuvar bir deri hastalığıdır. Sebum artışı, foliküler keratinizasyon bozukluğu, inflamasyon ve hormonal değişiklikler gelişiminde rol oynar. PMOS’ta artmış androjen düzeyleri akne oluşumuna katkıda bulunabilir.

Hiperandrojenik Anovulasyon

PMOS; hiperandrojenizm, ovulatuvar bozukluk, polikistik over morfolojisi, düşük SHBG düzeyleri, artmış serbest testosteron seviyeleri ve değişen derecelerde insülin direnci ile karakterize heterojen bir endokrin bozukluktur. Bazı bireylerde LH/FSH oranında artış da görülebilmektedir (Zhao ve ark., 2023).

İnfertilite

PMOS, kadın infertilitesinin en önemli nedenlerinden biridir. Ovulasyon bozuklukları ve hormonal dengesizlikler nedeniyle doğurganlığı olumsuz etkileyebilir. Özellikle PMOS nedeniyle sağlık kuruluşlarına başvuran kadınlarda infertilite oranlarının yüksek olduğu bildirilmektedir (Teede ve ark., 2023).

Etkileyen Faktörler

Beslenme

Beslenme alışkanlıkları, PMOS gelişimi ve klinik bulguların yönetiminde

önemli bir rol oynar. PMOS’lu kadınlarda daha yüksek enerji ve doymuş yağ tüketimi, buna karşın daha düşük lif alımı bildirilmektedir. Bu durum insülin direnci ve metabolik komplikasyon riskini artırabilir (Di Lorenzo ve ark., 2023).

Akdeniz diyeti, düşük glisemik indeksli diyetler, DASH ve ketojenik beslenme modelleri; kilo kontrolü, insülin duyarlılığı ve hormonal düzen üzerinde olumlu etkileri nedeniyle PMOS yönetiminde araştırılan yaklaşımlar arasındadır (Che ve ark., 2021).

Fiziksel Aktivite

Düzenli fiziksel aktivite, PMOS yönetiminde temel yaşam tarzı yaklaşımlarından biridir. Aerobik ve direnç egzersizlerinin birlikte uygulanması insülin duyarlılığını artırabilir, vücut yağ oranını azaltabilir ve metabolik sağlığı iyileştirebilir. Ayrıca egzersizin adet düzeni ve ovulasyon fonksiyonları üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmektedir (Gautam ve ark., 2025).

Oksidatif Stres

Oksidatif stres artışı; insülin direnci, hiperandrojenizm ve kronik inflamasyon gibi PMOS süreçleriyle ilişkilidir. Antioksidan kapasitesi yüksek beslenme modellerinin oksidatif stresin azaltılmasına katkı sağlayabileceği belirtilmektedir.

Genetik Faktörler

PMOS gelişiminde genetik yatkınlığın önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Çok sayıda aday genin yumurtalık fonksiyonu, hormonal düzenleme ve metabolik süreçlerle ilişkili olduğu gösterilmiştir (Siddiqui ve ark., 2022).

PMOS ve Metabolik Komplikasyonlar/Bozukluklar

İnsülin Direnci

İnsülin direnci, PMOS’un temel metabolik özelliklerinden biridir ve hiperinsülinemi yoluyla hormonal dengesizliklere katkıda bulunabilir. Artmış insülin düzeyleri overlerde androjen üretimini artırarak hiperandrojenizmi destekleyebilir (Armanini ve ark., 2022).

Yaşam tarzı değişiklikleri, özellikle Akdeniz diyeti, DASH diyeti ve düşük glisemik indeksli beslenme modelleri, insülin duyarlılığını artırarak metabolik ve klinik bulguların iyileştirilmesine katkı sağlayabilir.

Kardiyovasküler Hastalıklar

PMOS; obezite, hipertansiyon, dislipidemi ve glukoz metabolizması bozuklukları gibi kardiyovasküler risk faktörleriyle ilişkilidir. İnsülin direnci ve hiperandrojenizm, obez olmayan bireylerde dahi lipid metabolizmasını etkileyebilir. PMOS'lu kadınlarda subklinik kardiyovasküler hastalık belirteçlerinde artış görülebilmektedir (Dietz de Loos ve ark., 2021; Osibogun ve ark., 2020).

Yaşam tarzı düzenlemeleri ve kilo yönetimi, uzun dönem kardiyometabolik risklerin azaltılmasında önemli yaklaşımlardır.

Diyabet

PMOS'ta görülen hormonal değişiklikler ve insülin direnci, tip 2 diyabet gelişme riskini artırabilir. Özellikle hiperinsülinemi, leptin direnci ve metabolik bozukluklar diyabet ve obezite gelişiminde etkili faktörlerdir (Yang ve ark., 2024).

Obezite

Obezite, PMOS'un metabolik özelliklerini ve klinik bulgularını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Özellikle abdominal yağlanma insülin direnci ile yakından ilişkilidir ve hiperandrojenizm ile birlikte hastalık belirtilerinin şiddetlenmesine katkıda bulunabilir (Zhang ve ark., 2023).

Hormonlar ve PMOS

İnsülin

İnsülin, pankreasın β -hücreleri tarafından üretilen ve glikozun dengede tutulmasında önemli bir rol oynayan bir hormondur. İnsülin salınımını esas olarak kan plazmasındaki glikoz seviyesi tetikler, ancak amino asitler, serbest yağ asitleri, inkretin hormonları, büyüme faktörleri ve nörotransmitterler de bu sürece katkıda bulunur (Newsholme ve Krause, 2012). Glikoz β -hücrelerine taşıyıcılar aracılığıyla girer ve glukokinaz enzimi tarafından fosforillenerek metabolize edilir, bu süreç ATP üretimini artırır. ATP/ADP oranındaki yükselme ATP'ye duyarlı potasyum kanallarının kapanmasına, hücre zarının depolarize olmasına ve voltaj bağımlı kalsiyum kanallarının açılmasına yol açar. Hücre içine artan Ca^{2+} girişi, insülin granüllerinin ekzositozunu tetikler ve böylece insülin salınımı gerçekleşir. Salınan insülin, özellikle karaciğer ve böbreklerde parçalanır ve yaklaşık 5-8 dakikalık kısa bir yarı ömre sahiptir (Koeppen ve Stanton, 2018).

Glukoza bağlı insülin salgılanması (GSIS) iki aşamadan oluşur. İlk aşama, önceden depolanmış insülin granüllerinin hızlı şekilde serbest bırakılmasıyla gerçekleşir. Bu durum hepatik glukoz üretimini baskılayarak beslenme sonrası metabolik adaptasyonu sağlar. İkinci aşama ise yeni insülin granüllerinin

sentezi ve salınımını içerir. Bu süreç, periferik dokularda glukoz kullanımını artırarak uzun vadeli glukoz kontrolüne katkıda bulunur. İnsülin, etkisini hedef hücrelerin plazma zarı üzerinde yer alan tirozin kinaz yapıdaki insülin reseptörüne bağlanarak gösterir (Petersen ve Shulman, 2018). İki α ve iki β alt birimden oluşan bu reseptörde, insülinin α alt birimine bağlanması, β alt biriminde otofosforilasyon başlatarak metabolik ve mitojenik sinyal yollarını aktive eder. Metabolik etkilerin büyük bir kısmına özellikle karaciğer, kas ve yağ dokusunda baskın olan B izoformu aracılık eder (Park ve ark., 2021). İnsülin, iskelet kaslarında glukoz alımı ve glikojen sentezini artırır, karaciğerde ise glukoneogenezi baskılayarak glikojen sentezini ve lipogenezi destekler. Beyaz yağ dokusunda glukoz alımını yükseltirken lipolizi de engeller. Aynı zamanda pankreasın α -hücrelerinden glukagon salınımını baskılayarak glukoz dengesinin korunmasına yardımcı olur. Bu etkilerle insülin, enerji metabolizmasını düzenleyen temel anabolik hormondur (Petersen ve Shulman, 2018).

İnsülin direnci

İnsülin direnci, hedef dokularda normal veya yüksek insülin seviyelerine rağmen bu hormonun biyolojik etkilerinin azalması olarak tanımlanır. Bu durum, metabolik sendrom, alkolsüz yağlı karaciğer hastalığı (NAFLD), ateroskleroz ve tip 2 diyabet (T2DM) gibi çeşitli metabolik hastalıkların gelişiminde önemli bir rol oynar (Kahn, 2003). Bu süreç, T2DM oluşumundan önce başlar ve pankreasın β -hücreleri insülin ihtiyacını karşılamak için daha fazla insülin salgılar, bu da kronik hiperinsülinemiye yol açar. Zamanla, β -hücre fonksiyonlarında bozulma meydana gelir ve hiperglisemi ortaya çıkar (Zhao ve ark., 2023).

Sistemik insülin direnci ve dokusal farklılıklar

İskelet kası, insüline bağlı glukoz kullanımının ana dokusudur ve bu bölgede gelişen insülin direnci, sistemik metabolik bozukluklara yol açabilir. Ancak PMOS'un patofizyolojisinde yumurtalık dokusu, diğer periferik dokulardan farklı bir insülin yanıtı gösterir. Periferik dokularda glukoz metabolizması bozulurken, yumurtalık dokusu hiperinsülinemiye karşı yanıt vererek steroid hormon sentezinin artmasına ve hiperandrojenizmin gelişmesine katkıda bulunur (Zhao ve ark., 2023).

Yumurtalıkta seçici insülin direnci ve hormonal sinyal yolları

PMOS patogenezinde hiperinsülinemi, yumurtalık steroidogenezini artırarak androjen fazlalığına ve foliküler gelişim bozukluklarına neden olur. Yumurtalık teka ve granüloza hücrelerinde bulunan insülin reseptörleri, insülinin steroid üretimi ve ovülasyon süreçleri üzerindeki doğrudan etkisini sağlar (Jeanes ve Reeves, 2017).

Normal koşullarda insülin, teka hücrelerinde LH ile birlikte androjen sentezini

destekleyen yardımcı bir gonadotropin görevi görür (Franks ve ark., 1999). Ancak PMOS durumunda kronik hiperinsülinemi şu mekanizmalar aracılığıyla hiperandrojenizme katkıda bulunur:

- **Enzimatik aktivasyon:** İnsülin, teka hücrelerinde CYP17 tarafından kodlanan sitokrom P450c17α enziminin aktivitesini artırarak androjen biyosentezini destekler.
- **Sinyal iletimi ve LH etkisi:** PI3-K aracılı sinyal yolları ve LH ile oluşan sinerjik etkileşim, androjen sentezini artırır. PMOS'lu kadınlarda teka hücrelerinin bu etkilere duyarlılığı artmıştır (Rosenfield ve Ehrmann, 2016).
- **Foliküler gelişim bozukluğu:** Granüloza hücrelerinde insülin ve LH'nin birlikte artışı, LH reseptörlerinin erken ekspresyonuna neden olarak foliküler gelişimin durmasına yol açabilir (Rice ve ark., 2005).

PMOS'ta granüloza hücrelerinde insülinin metabolik etkileri azalırken steroidogenez üzerindeki etkisinin korunması, seçici insülin direncinin göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu durum, iskelet kasında MAPK-ERK yolaklarında artış görülmesine rağmen yumurtalık dokusunda farklı sinyal yanıtlarıyla ilişkilendirilmiştir (Corbould ve ark., 2006).

Endometriyum üzerine etkileri

İnsülin direnci ve hiperinsülinemi, endometriyum fonksiyonlarını da olumsuz etkileyebilir. PMOS'lu kadınlarda insülin reseptörü, IRS proteinleri ve GLUT4 ekspresyonundaki değişikliklerin üreme sonuçlarıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Hu ve ark., 2019). Ayrıca hiperinsülineminin FOXO-1 baskılanması yoluyla desidualizasyon sürecini bozabileceği ve hiperandrojeneminin GLUT4 ile IRS-1 ekspresyonunu azaltarak insülin sinyal bozukluğunu artırabileceği bildirilmiştir (Palomba ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021). Metformin gibi insülin duyarlılığını artıran ajanların AMPK aktivasyonu aracılığıyla bu bozuklukları kısmen düzeltebildiği gösterilmiştir (Xue ve ark., 2013).

Gonadotropinler (LH ve FSH)

PMOS'un patofizyolojisi yalnızca metabolik bozukluklarla sınırlı kalmaz; aynı zamanda hipotalamik-hipofizer-over (HPO) eksenindeki gonadotropin salınım bozukluklarıyla da yakından ilişkilidir. Özellikle LH ve FSH arasındaki dengesizlik, folikül gelişiminde sorunlar ve hiperandrojenizmin ortaya çıkmasında önemli bir rol oynar (Yuan ve ark., 2025).

LH (Lüteinizan Hormon)

LH, hipotalamustan salgılanan GnRH'nin ritmik uyarısıyla hipofiz bezinin gonadotrop hücrelerinden salgınır. LH puls frekansı, GnRH aktivitesinin

değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olarak kullanılır. Normal koşullarda LH, teka hücrelerinde androjen üretimini teşvik ederek östrojen oluşumunu ve folikül gelişimini destekler. Döngünün ortasındaki LH zirvesi ovülasyonu başlatırken, luteal dönemde progesteron üretiminin devamını sağlar (Waghmare & Shanoo, 2023).

FSH (Folikül Stimüle Edici Hormon)

FSH, hipofiz gonadotrop hücrelerinden GnRH kontrolü altında salgılanan ve folikülogenez, oosit gelişimi ile seks steroid hormonlarının sentezinde görev alan temel bir glikoproteindir (Stamatiades ve Kaiser, 2018).

GnRH pulslarının frekansı, LH ve FSH sentezinin düzenlenmesinde belirleyici rol oynar. Düşük frekanslı GnRH uyarıları FSH β gen ekspresyonunu desteklerken, yüksek frekanslı uyarılar LH β sentezini artırır. Bu farklı yanıt, gonadotropinlerin üreme fizyolojisindeki özgün rollerinin temelini oluşturur (Stamatiades ve Kaiser, 2018).

PMOS'ta LH düzeylerinin ve LH/FSH oranının artması, özellikle zayıf fenotipli hastalarda belirgin olarak gözlenebilir ve nöroendokrin düzensizliklerin hastalık gelişimindeki rolünü düşündürür (Pratama ve ark., 2024). Artmış LH/FSH oranı, teka hücrelerinde androjen üretiminin artmasına ve foliküler gelişimin bozulmasına katkı sağlar.

Nöroendokrin bozukluklar ve patofizyolojik süreç

PMOS'un etiyolojisi tam olarak açıklanamamakla birlikte genetik ve çevresel faktörlerin etkileşimi sonucu geliştiği düşünülmektedir (Zheng ve ark., 2024). Prenatal dönemde hiperandrojen maruziyetinin, hipotalamik-hipofizer eksenin etkileyerek LH salınımında artışa, metabolik bozukluklara ve insülin direncine yatkınlığa neden olabileceği ileri sürülmektedir (Abruzzese ve ark., 2023).

PMOS'ta artmış LH aktivitesi ve azalmış FSH etkisi sonucunda LH/FSH dengesi bozulur. Bu durum teka hücrelerinde androjen üretimini artırırken foliküler gelişimi engeller ve kronik anovülasyona yol açar. Ayrıca küçük antral foliküllerin birikimi, polikistik over morfolojisinin oluşumuna katkıda bulunur (Elsayed ve ark., 2023).

Hiperandrojenizm ve SHBG (Cinsiyet Hormonu Bağlayıcı Globulin) ilişkisi

PMOS'un temel biyokimyasal özelliklerinden biri olan hiperandrojenizm, yalnızca over kaynaklı androjen üretimindeki artışla değil, aynı zamanda dolaşımdaki androjenlerin biyoyararlanımındaki değişikliklerle de ilişkilidir. Bu süreçte, serbest hormon düzeylerini düzenleyen SHBG önemli bir rol oynar (Teede ve ark., 2023).

SHBG'nin fizyolojik rolü ve insülin direnci

SHBG, karaciğerde sentezlenen ve dolaşımdaki testosteron ile östradiolün büyük bir bölümüne bağlanan bir glikoproteindir. Proteine bağlı hormonlar

biyolojik olarak daha az aktifken, serbest hormon fraksiyonu hedef dokularda etki gösterir. Hiperinsülineminin karaciğerde SHBG gen ekspresyonunu baskılayarak SHBG düzeylerini azalttığı gösterilmiştir (Teede ve ark., 2023).

Serbest androjen artışı ve klinik etkileri

PMOS'lu kadınlarda düşük SHBG düzeyleri, toplam testosteron normal veya hafif yüksek olsa bile serbest androjen indeksinin artmasına neden olur. Artan serbest androjenler androjen reseptörlerini uyararak aşağıdaki klinik bulguların gelişmesine katkıda bulunur:

- **Hirsutizm:** Kıl foliküllerinde androjen etkisinin artması sonucu terminal kıl gelişiminin artması.
- **Akne ve sebore:** Yağ bezlerinde büyüme ve sebum üretiminde artış.
- **Androgenetik alopesi:** Saç foliküllerinde minyatürizasyon ve saç kaybı.

Bu klinik özellikler PMOS'un hiperandrojenik fenotipinin önemli bileşenleridir (Teede ve ark., 2023).

Hepatik ve ovaryen hiperandrojenizm arasındaki patojenik döngü

PMOS'ta hiperandrojenemi, serum testosteron, androstenedion ve DHEA düzeylerindeki artış ile karakterizedir (Azziz ve ark., 2004). Düşük SHBG düzeyleri serbest androjen miktarını artırarak hipotalamik-hipofizer-over eksenindeki hormonal dengeyi bozabilir ve LH salınımındaki artışa katkıda bulunabilir (Qu & Donnelly, 2020).

Bunun yanında hiperinsülinemi, yalnızca SHBG üretimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda teka hücrelerinde LH ile birlikte androjen sentezini artırıcı etki gösterir. İnsülinin P450c17 α enziminin aktivitesini artırması sonucunda androjen üretimi artar; böylece düşük SHBG ve artmış over kaynaklı androjen sentezi birlikte hiperandrojenik durumu güçlendirir (Nestler, 1997).

Hiperandrojenemi ve metabolik bozukluklar arasındaki ilişki karşılıklı bir döngü oluşturur. Artmış androjen düzeyleri visceral yağlanmayı ve insülin direncini artırabilirken, insülin direnci de over ve adrenal kaynaklı androjen üretimini destekleyerek PMOS fenotipinin ilerlemesine katkıda bulunur (Diamanti-Kandarakis & Dunaif, 2012).

Anti-Müllerian Hormon (AMH) ve Foliküler Arrest

Anti-Müllerian hormon (AMH), overlerdeki preantral ve antral foliküllerin granüloza hücreleri tarafından salgılanan bir glikoproteindir. PMOS patofizyolojisinde AMH yalnızca tanısıl bir biyobelirteç olarak değil, aynı zamanda foliküler gelişimin düzenlenmesinde rol oynayan önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Teede ve ark., 2023).

Folikül havuzu ve artmış AMH üretimi

PMOS'ta çok sayıda küçük antral folikülün birikmesi, dolaşımdaki AMH düzeylerinin sağlıklı bireylere göre artmasına neden olur. Artmış AMH düzeyleri, folikülogenez sürecinin erken aşamalarındaki düzenleyici mekanizmaları etkileyerek foliküler gelişim bozukluğuna katkıda bulunur (Teede ve ark., 2023).

FSH direnci ve folikül seçim mekanizması bozulması

Normal menstrüel döngüde FSH, dominant folikülün seçilmesi ve gelişimin sürdürülmesi için temel bir hormondur. Ancak PMOS'ta artmış AMH düzeyleri:

- Granüloza hücrelerinin FSH duyarlılığını azaltarak FSH direncine neden olur.
- Aromataz aktivitesini baskılayarak androjenlerin östrojene dönüşümünü sınırlar.
- Foliküllerin belirli bir gelişim aşamasından sonra ilerlemesini engelleyerek dominant folikül oluşumunu önler.

Sonuç olarak foliküler gelişim duraklar (foliküler arrest) ve küçük antral foliküllerin birikimiyle karakterize polikistik over morfolojisi ortaya çıkar (Jonard ve Dewailly, 2004).

Adiponektinler

Adipokinler, yağ dokusu tarafından salgılanan ve enerji metabolizması, inflamasyon ile endokrin sinyal süreçlerinde rol oynayan biyoaktif moleküllerdir. Yağ dokusu, adipokinler aracılığıyla metabolik homeostazı düzenleyen aktif bir endokrin organ olarak kabul edilmektedir (Matafome ve Seiça, 2017). Beyaz yağ dokusu (WAT) enerji dengesinde, kahverengi yağ dokusu (BAT) ise termogeneze görev alır. Obezite ile birlikte özellikle visceral yağ dokusu (VAT) artışı insülin direnci ve glukoz intoleransı gibi metabolik bozukluklarla ilişkilendirilirken, deri altı yağ dokusunun (SAT) daha koruyucu etkileri olabileceği bildirilmektedir (Reyes-Farias ve ark., 2021).

Adipokinlerin PMOS'taki rolü

Adipokinler, PMOS'ta metabolik ve üreme fonksiyonlarını etkileyen önemli düzenleyicilerdir. Hipotalamus-hipofiz-gonadal eksen ve over steroidogenezi üzerinde etkili olan bu moleküllerdeki düzensizlik, PMOS patofizyolojisine katkıda bulunur. PMOS'lu kadınlarda genellikle düşük adiponektin ve yüksek leptin düzeyleri ile karakterize adipokin dengesizliği görülmektedir (Schüler-Toprak ve ark., 2022).

Adipokin reseptörlerindeki genetik varyasyonlar ve epigenetik değişikliklerin hastalık yatkınlığını etkileyebileceği düşünülmektedir. Güncel çalışmalar serum düzeylerinin yanı sıra foliküler sıvı değişiklikleri, over kaynaklı gen ekspresyonları ve moleküler mekanizmalara odaklanmaktadır (Echiburú ve ark., 2020; Bongrani ve ark., 2019; Mansoori ve ark., 2022). BAT kaynaklı batokinlerin PMOS patogenezi ve tedavisindeki olası rolleri de araştırılmaktadır (Cloix ve ark., 2014).

Leptin sistemi: serum düzeyleri, moleküler mekanizmalar ve genetik temeller

Leptin, enerji dengesi ve üreme fonksiyonlarının düzenlenmesinde görev alan temel adipokinlerden biridir. PMOS'lu kadınlarda leptin düzeylerinin vücut kitle indeksinden bağımsız olarak arttığı ve çözünür leptin reseptörü (sOB-R) azalmasının leptin direncine katkıda bulunabileceği gösterilmiştir (Schüler-Toprak ve ark., 2022; Hahn ve ark., 2006).

Leptin, GnRH aktivitesini ve gonadotropin salınımını düzenler. Foliküler sıvıda artan leptin düzeyleri anovülasyon ve foliküler gelişim bozukluklarıyla ilişkilidir. Ayrıca hiperleptinemi, insülin direnci ile birlikte granüloza hücrelerinde aromataz aktivitesini azaltarak östrojen sentezini ve dominant folikül gelişimini olumsuz etkileyebilir (Schüler-Toprak ve ark., 2022).

LEPR genindeki polimorfizmler ve maternal obeziteye bağlı epigenetik değişikliklerin leptin sinyalizasyonunu etkileyerek PMOS riskine katkıda bulunabileceği bildirilmektedir (Nogues ve ark., 2019; Li ve ark., 2013).

Adiponektin: koruyucu rolün kaybı ve metabolik sinyalizasyon

Adiponektin, insülin duyarlılığını artıran, lipid metabolizmasını düzenleyen ve anti-inflamatuar özellik gösteren önemli bir adipokindir (Bozaoglu ve ark., 2007). PMOS'ta adiponektin, granüloza hücrelerinde steroidogenez düzenlenmesine ve teka hücrelerinde insülin aracılı androjen üretiminin baskılanmasına katkı sağlar (Barbe ve ark., 2019).

PMOS'lu bireylerde adiponektin düzeylerinin azaldığı ve bu azalmanın vücut kitle indeksinden bağımsız olduğu gösterilmiştir (Lin ve ark., 2021). AdipoR1/2 reseptörleri ve APPL1 sinyal proteininin azalması, adiponektin sinyalizasyonundaki bozulmayı göstermektedir (Artimani ve ark., 2016).

HMW adiponektin düzeylerindeki azalma, serbest androjen indeksi ve insülin direnci ile ilişkilidir. Metformin ve omega-3 desteği gibi yaklaşımların adiponektin düzeylerini artırarak metabolik bozuklukları iyileştirebildiği bildirilmektedir (Al-Awadi ve ark., 2016). Ayrıca ADIPOQ genindeki polimorfizmlerin PMOS yatkınlığında rol oynayabileceği gösterilmiştir (Duan ve ark., 2021).

Hipotalamik Kontrolün Merkezi: Kisspeptin Sistemi

Kisspeptin, KISS1 geni tarafından kodlanan ve hipotalamus-hipofiz-gonadal (HPG) eksenin düzenlenmesinde görev alan önemli bir nöropeptittir.

Kisspeptinin KISS1R reseptörüne bağlanması, GnRH salınımını uyarak gonadotropin sentezinin düzenlenmesini sağlar (Tang ve ark., 2019).

PMOS'ta kisspeptin sistemindeki aşırı aktivasyonun GnRH pulsasyonlarını artırarak özellikle LH düzeylerinde yükselmeye neden olabileceği düşünülmektedir. Artan LH uyarısı, teka hücrelerinde androjen üretimini artırarak hiperandrojenemi, ovulasyon bozuklukları ve foliküler gelişim bozukluklarına katkıda bulunur (Jayasena ve ark., 2014).

KISS1 genindeki polimorfizmler, kisspeptin sinyalizasyonunu ve GnRH düzenlenmesini etkileyerek PMOS yatkınlığında rol oynayabilir. Bu hormonal dengesizlikler LH/FSH oranının bozulmasına, foliküler arrest gelişimine ve polikistik over morfolojisinin oluşumuna katkıda bulunur (Tang ve ark., 2019; Kokori ve ark., 2024).

Sonuç olarak kisspeptin sistemi, PMOS patogeneğinde nöroendokrin düzenleyici mekanizmalardan biri olarak değerlendirilmektedir.

PMOS'ta Tıbbi Tedavisinin Önemi

Poliendokrin Metabolik Over Sendromu (PMOS) yönetiminde ilk basamak tedavi yaşam tarzı değişiklikleridir (Gautam ve ark.,2025). Özellikle obezite tanısı almış kadınlarda kilo kaybı ve vücut kompozisyonunun iyileştirilmesi; insülin direncinin azaltılması, hormonal dengenin sağlanması ve üreme fonksiyonlarının iyileştirilmesinde temel amaçtır (Barrea ve ark., 2023). Ancak klinik iyileşme sadece kilo kaybıyla sınırlı değildir; yüksek glisemik indeksli ve trans yağlı gıdaların kısıtlanması, antioksidan ile zengin beslenme modellerinin uygulanması metabolik ve klinik parametreler üzerinde doğrudan olumlu etkilere sahiptir (Barrea ve ark.,2023; Xenou ve Gourounti, 2021). Güncel kılavuzlar, tek bir diyet modelinin diğerine üstün olmadığını, sürdürülebilir ve kişiye özel planlanmış sağlıklı beslenme modellerinin esas alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Teede ve ark., 2023).

Akdeniz Diyeti ve Biyoaktif Bileşenleri

Akdeniz diyeti; taze meyve-sebze, tam tahıllar ve kuruyemişlerden zengin, doymuş yağ yerine bitkisel yağların (özellikle zeytinyağı) ve omega-3'ün tercih edildiği bir modeldir (Montano ve ark., 2022). Bu beslenme tarzının inflamatuvar süreci baskılayarak insülin direnci ve hiperandrojenizm gibi temel PMOS semptomlarını azalttığı, menstrüel düzeni ve lipid profilini optimize ettiği bilinmektedir (Xenou ve Gourounti, 2021). Diyetin bu terapötik etkilerinde bazı biyoaktif bileşenler öne çıkmaktadır:

Resveratrol

Üzüm ve yer fıstığı gibi besinlerde bulunan bu güçlü fitoöstrojen, antioksidan savunma sistemini güçlendirir ve yumurtalıklarda androjen sentezini baskılayarak hormonal iyileşmeyi destekler (Ardehiani ve ark., 2024). Mitokondriyal aktiviteyi düzenleyerek enerji metabolizmasını optimize eder ve

kalori kısıtlamasının yarattığı biyolojik etkileri taklit eden potansiyel bir mekanizma sunar (Ardehiani ve ark., 2024).

Omega-3 yağ asitleri

Omega-3 yağ asitleri, metabolik ve hormonal süreçlerin düzenlenmesindeki etkisiyle PMOS yönetiminde önemli bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Anti-inflamatuar özellikleri ve insülin duyarlılığını artırıcı etkileri, PMOS'un patofizyolojisinde görülen temel düzensizliklerin düzeltilmesine katkı sağlayarak etkili bir terapötik müdahale sunmaktadır (Covington, 2004). Vücut tarafından sentezlenemeyen ve dışarıdan alınması zorunlu olan bu çoklu doymamış yağ asitleri (ALA, EPA, DHA), insülin duyarlılığını artırarak glukoz homeostazının iyileştirilmesine rol oynar. Bunun yanı sıra, lipid metabolizmasının ve hormonal süreçlerin düzenlenmesine katkıda bulunarak PMOS ile ilişkili metabolik ve endokrin bozuklukların iyileştirilmesini destekler (Albarden ve ark., 2024). Diğer taraftan, CRP seviyelerini düşürerek kronik düşük dereceli inflamasyonun baskılanmasında rol oynar (Yuan ve ark., 2021).

İnositol

İnositolün en yaygın formu olan myo-inositol (MI), hücre zarı fosfolipidlerinin temel yapı taşıdır (Teede ve ark., 2023). Besinsel açıdan en zengin kaynakları arasında taze meyveler, tam tahıllar ve baklagiller bulunmaktadır (Bizzarri ve ark., 2022). PMOS patolojisinde, yumurtalık dokusundaki inositol izomerleri arasındaki dengesizlik; insülin direncini tetiklemekte, teka hücrelerindeki steroid üretiminde yer alan enzim yollarını bozarak androjen sentezini artırmakta ve oosit kalitesini düşürmektedir (Alesi ve ark., 2022; Genazzani ve ark., 2024). Doğru oranlarda inositol kullanımı, hücresel sinyal yollarının stabilizasyonunu sağlayıp glukozun hücre içine taşınmasını kolaylaştırarak sistemik insülin direncini azaltmaktadır (Roseff & Montenegro, 2024). Bu süreç, hiperinsülinemi kaynaklı hormonal düzensizlikleri baskılamakta; hirsutizm ve akne gibi hiperandrojenik semptomları hafifletmektedir (Hernandez-Marin ve ark., 2021). Tüm bunlara ek olarak inositol, sendromda sık görülen mitokondriyal disfonksiyonu engelleyip hücre ATP seviyelerini artırarak oosit gelişim yetkinliğini ve üreme sağlığını doğrudan desteklemektedir (Zhao ve ark., 2022).

Düşük Glisemik indeksli (GI) Diyet

Karbonhidratların kan şekerini yükseltme hızını temel alan düşük GI diyeti (≤ 55), baklagiller, süt ürünleri ve lifli gıdaların tüketimini teşvik eder (Chiavaroli ve ark., 2021). Yüksek glisemik indeksli besinler insülin direncini ve androjen salınımını tetikleyerek PMOS semptomlarını ağırlaştırır (Barrea ve ark., 2023). Düşük GI'li ve tam tahıllı bir beslenme modeli, öğün sonrası glisemik kontrolü

dengeleyerek PMOS'lu kadınlarda Tip 2 Diyabet (T2DM) riskini azaltmakta ve uzun dönemde metabolik iyileşme sağlamaktadır (Greenwell ve ark., 2024).

Ketojenik Diyet

Klasik ketojenik diyet, vücut ağırlığının kilogramı başına bir gram protein, günde 10–15g karbonhidrat ve kalan kaloriyi yağdan içeren bir diyet olarak tanımlanır (McGaugh ve Barthel, 2022). PMOS yönetimindeki etkinliği hala araştırmalı olan bu diyet modeli, postprandiyal insülin salınımını azaltarak hızlı bir yağ kütlesi kaybı sağlar ve insülin direncini (HOMA-IR) anlamlı ölçüde iyileştirir (Barrea ve ark., 2023). PMOS'lu obez kadınlarda bu diyetin serbest testosteron seviyelerini ve LH/FSH oranını düşürerek hormonal dengesizlikleri düzelttiği ve doğurganlığı olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Barrea ve ark., 2023). Ancak PMOS yönetimindeki uzun dönemli etkinliği hala araştırma konusudur.

DASH Diyeti (Dietary Approaches to Stop Hypertension)

Sebze, meyve, tam tahıllar ve düşük yağlı süt ürünlerinden zengin; sodyum, kırmızı et ve rafine şekerden kısıtlı olan DASH diyeti, yüksek lif ve düşük doymuş yağ içeriğiyle karakterizedir (Filippou ve ark., 2022). Sodyum kısıtlaması ve yüksek potasyum içeriği sayesinde visceral adipoziteyi iyileştirir ve vasküler fonksiyonları destekleyerek uzun vadeli kardiyovasküler riskleri azaltır (Chai ve ark., 2025). Ayrıca toplam antioksidan kapasitesini (TAC) artırıp, CRP ve interlökin seviyeleri gibi pro-inflamatuar sitokinleri baskılayarak PMOS'un temelindeki kronik inflamasyonu ve oksidatif stresi yönetmede güçlü bir biyokimyasal strateji sunmaktadır (Khorshidi ve ark., 2022).

SONUÇ

Bu derlemede elde edilen bulgular, polikistik over sendromu (PCOS) tedavisinde beslenme müdahalelerinin yalnızca kilo yönetimi ile sınırlı kalmadığını, aynı zamanda hormonal dengeyi, metabolik parametreleri ve üreme sağlığını da önemli şekilde etkilediğini göstermektedir. PCOS'ta sıkça gözlemlenen hiperinsülinemi, teka hücrelerinden androjen üretimini artırarak hormonal bozuklukların artmasına katkıda bulunurken, düşük glisemik indeksli beslenme ve karbonhidrat tüketiminin kısıtlanması insülin duyarlılığını artırıp seks hormonu bağlayıcı globulin (SHBG) seviyelerini yükseltir ve serbest testosteron seviyelerini düşürerek hormonal dengeyi iyileştirmektedir. Ayrıca, antiinflamatuar özellikleriyle bilinen Akdeniz diyeti ve DASH diyeti gibi beslenme modellerinin insülin direnci, lipid profili ve inflamatuvar belirteçler üzerinde olumlu etkileri olduğu; yüksek lif ve antioksidan içerikleri sayesinde PCOS'un metabolik belirtilerini hafifletmede etkili oldukları görülmektedir. Omega-3 yağ asitleri ve resveratrol gibi biyoaktif besin öğelerinin ise

testosteron düzeylerini azaltabildiği, menstrual düzeni iyileştirdiği ve androjen üretimini engelleyerek metabolik parametrelerde olumlu değişikliklere yol açabildiği bildirilmektedir. Bu bulgular ışığında, PCOS tedavisinde bireyin yaşam tarzına, metabolik ihtiyaçlarına ve sürdürülebilir beslenme alışkanlıklarına uygun, düşük glisemik yük ve antiinflamatuvar özellikleri destekleyen kişiselleştirilmiş beslenme planlarının benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, vücut ağırlığında yüzde 5–10 oranında sağlanacak bir azalmanın üreme fonksiyonlarını iyileştirebileceği ve metabolik riskleri azaltabileceği göz önünde bulundurulduğunda, kilo yönetiminin PCOS tedavisinin temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.

REFERANSLAR

- Abruzzese, G. A., Ferrara, S. R., Ferler, M. J., Silvan, A. F., & Motta, A. B. (2023). Prenatal androgen excess induces multigenerational effects on female and male descendants. *Clinical Medicine Insights: Endocrinology and Diabetes*, 16. <https://doi.org/10.1177/11795514231196461>
- Al-Awadi, A. M., Sarray, S., Arekat, M. R., Saleh, L. R., Mahmood, N., & Almawi, W. Y. (2016). The high-molecular weight multimer form of adiponectin is a useful marker of polycystic ovary syndrome in Bahraini Arab women. *Clinical Nutrition ESPEN*, 13, e33–e38. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2016.03.078>
- Albardan, L., Platat, C., & Kalupahana, N. S. (2024). Role of omega-3 fatty acids in improving metabolic dysfunctions in polycystic ovary syndrome. *Nutrients*, 16(17), 2961. <https://doi.org/10.3390/nu16172961>
- Alesi, S., Ee, C., Moran, L. J., Rao, V., & Mousa, A. (2022). Nutritional supplements and complementary therapies in polycystic ovary syndrome. *Advances in Nutrition*, 13(4), 1243–1266. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab141>
- Ardehjani, N. A., Agha-Hosseini, M., Nashtaei, M. S., Khodarahmian, M., Shabani, M., Jabarpour, M., Fereidouni, F., Rastegar, T., & Amidi, F. (2024). Resveratrol ameliorates mitochondrial biogenesis and reproductive outcomes in women with polycystic ovary syndrome undergoing assisted reproduction: A randomized, triple-blind, placebo-controlled clinical trial. *Journal of Ovarian Research*, 17(1), 143. <https://doi.org/10.1186/s13048-024-01470-9>
- Armanini, D., Boscaro, M., Bordin, L., & Sabbadin, C. (2022). Controversies in the pathogenesis, diagnosis and treatment of polycystic ovary syndrome: Focus on insulin resistance, inflammation, and hyperandrogenism. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), 4110. <https://doi.org/10.3390/ijms23084110>
- Artimani, T., Saidijam, M., Aflatoonian, R., Amirjannati, N., Shahidi, A., & Saidijam, M. (2016). Downregulation of adiponectin system in granulosa cells and low levels of HMW adiponectin in PCOS. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 33, 101–110. <https://doi.org/10.1007/s10815-015-0620-1>
- Azziz, R., Sanchez, L. A., Knochelhauer, E. S., Moran, C., Lazenby, J., Stephens, K. C., Chen, K., & Boots, L. R. (2004). Androgen excess in women: Experience with over 1000 consecutive patients. *The Journal of Clinical*

- Barbe, A., Bongrani, A., Mellouk, N., Estienne, A., Kurowska, P., Grandhay, J., Elfassy, Y., Levy, R., Rak, A., Froment, P., & Dupont, J. (2019). Mechanisms of adiponectin action in fertility: An overview from gametogenesis to gestation in humans and animal models in normal and pathological conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), 1526. <https://doi.org/10.3390/ijms20071526>
- Barrea, L., Verde, L., Camajani, E., Cernea, S., Frias-Toral, E., Lamabadusuriya, D., Muscogiuri, G., & Savastano, S. (2023). Ketogenic diet as medical prescription in women with polycystic ovary syndrome. *Current Nutrition Reports*, 12(1), 56–64. <https://doi.org/10.1007/s13668-023-00456-1>
- Bizzarri, M., Monti, N., Roseff, S., & Bevilacqua, A. (2022). Inositol and its isomers: From biology to clinical applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), 8273. <https://doi.org/10.3390/ijms23158273>
- Bongrani, A., Mellouk, N., Rame, C., Cornuau, M., Guérif, F., Froment, P., & Dupont, J. (2019). Ovarian expression of adipokines in polycystic ovary syndrome: A role for chemerin, omentin, and apelin in follicular growth arrest and ovulatory dysfunction? *International Journal of Molecular Sciences*, 20(15), 3778. <https://doi.org/10.3390/ijms20153778>
- Bozaoglu, K., Bolton, K., McMillan, J., Zimmet, P., Jowett, J., Collier, G., Walder, K., & Segal, D. (2007). Chemerin is a novel adipokine associated with obesity and metabolic syndrome. *Endocrinology*, 148(10), 4687–4694. <https://doi.org/10.1210/en.2007-0175>
- Chai, O., Feng, X., Tang, N., Cui, D., Li, H., Tian, W., & Hou, Z. (2025). Global and regional burden of polycystic ovary syndrome, 1990–2021: A systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *BMC Women's Health*, 25, 437. <https://doi.org/10.1186/s12905-025-03976-w>
- Che, X., Chen, Z., Liu, M., & Mo, Z. (2021). Dietary interventions: A promising treatment for polycystic ovary syndrome. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 77(6), 313–323. <https://doi.org/10.1159/000519302>
- Chiavaroli, L., Lee, D., Ahmed, A., Cheung, A., Khan, T. A., Blanco, S., & Sievenpiper, J. L. (2021). Effect of low glycaemic index or load dietary patterns on glycaemic control and cardiometabolic risk factors in diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMJ*, 374, n1651. <https://doi.org/10.1136/bmj.n1651>
- Cloix, L., Reverchon, M., Cornuau, M., Froment, P., Ramé, C., Costa, C., Froment, G., Lecomte, P., Chen, W., Royère, D., Guerif, F., & Dupont, J. (2014). Expression and regulation of INTELECTIN1 in human granulosa-lutein cells: Role in IGF-1-induced steroidogenesis through NAMPT. *Biology of Reproduction*, 91(2), 50. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.114.120410>
- Corbould, A., Zhao, H., Mirzoeva, S., Aird, F., & Dunaif, A. (2006). Enhanced mitogenic signaling in skeletal muscle of women with polycystic ovary syndrome. *Diabetes*, 55(3), 751–759. <https://doi.org/10.2337/diabetes.55.03.06.db05-0453>
- Covington, M. B. (2004). Omega-3 fatty acids. *American Family Physician*, 70(1), 133–140.
- Diamanti-Kandarakis, E., & Dunaif, A. (2012). Insulin resistance and the polycystic ovary syndrome revisited: An update on mechanisms and implications. *Endocrine Reviews*, 33(6), 981–1030. <https://doi.org/10.1210/er.2011-1034>

- Dietz de Loos, A., Jiskoot, G., Beerthuis, A., Busschbach, J., & Laven, J. (2021). Metabolic health during a randomized controlled lifestyle intervention in women with polycystic ovary syndrome. *European Journal of Endocrinology*, 186(1), 53–64. <https://doi.org/10.1530/EJE-21-0669>
- Di Lorenzo, M., Cacciapuoti, N., Lonardo, M. S., Nasti, G., Gautiero, C., Belfiore, A., Guida, B., & Chiurazzi, M. (2023). Pathophysiology and nutritional approaches in polycystic ovary syndrome: A comprehensive review. *Current Nutrition Reports*, 12(3), 527–544. <https://doi.org/10.1007/s13668-023-00479-8>
- Duan, X., Zhou, M., Zhou, G., Zhu, Q., & Li, W. (2021). Effect of metformin on adiponectin in polycystic ovary syndrome: A meta-analysis and a systematic review. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 267, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2021.10.022>
- Echiburú, B., Milagro, F., Crisosto, N., Pérez-Bravo, F., Flores, C., Arpón, A., & Maliqueo, M. (2020). DNA methylation in promoter regions of genes involved in the reproductive and metabolic function of children born to women with polycystic ovary syndrome. *Epigenetics*, 15(11), 1178–1194. <https://doi.org/10.1080/15592294.2020.1754674>
- Elsayed, A. M., Al-Kaabi, L. S., Al-Abdulla, N. M., Al-Kuwari, M. S., Al-Mulla, A. A., Al-Shamari, R. S., & Doi, S. A. R. (2023). Clinical phenotypes of polycystic ovary syndrome: A cross-sectional study. *Reproductive Sciences*, 30(11), 3261–3272. <https://doi.org/10.1007/s43032-023-01262-4>
- Escobar-Morreale, H. F. (2018). Polycystic ovary syndrome: Definition, aetiology, diagnosis and treatment. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(5), 270–284. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2018.24>
- Filippou, C., Tatakis, F., Polyzos, D., Manta, E., Thomopoulos, C., Nihoyannopoulos, P., & Tsioufis, K. (2022). Overview of salt restriction in the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) and the Mediterranean diet for blood pressure reduction. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, 23(1), 36. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2301036>
- Franks, S., Gilling-Smith, C., Watson, H., & Willis, D. (1999). Normal and polycystic ovary: Insulin action. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 28(2), 361–378. [https://doi.org/10.1016/S0889-8529\(05\)70074-8](https://doi.org/10.1016/S0889-8529(05)70074-8)
- Gautam, R., Maan, P., Jyoti, A., Kumar, A., Malhotra, N., & Arora, T. (2025). The role of lifestyle interventions in polycystic ovary syndrome management: A systematic review. *Nutrients*, 17(2), 310. <https://doi.org/10.3390/nu17020310>
- Genazzani, A. D., Petrillo, T., Chierchia, E., Pellegrini, C., & Casarosa, E. (2024). Differential effects of myo-inositol and D-chiro-inositol on the steroidogenic pathway in human theca cells. *Reproductive Sciences*, 31(2), 412–420. <https://doi.org/10.1007/s43032-023-01345-w>
- Greenwell, S., Jones, A., Smith, Y. R., Marriott, D., Aikens, J. E., Padmanabhan, V., & Saslow, L. R. (2024). Protocol for a randomized comparative effectiveness trial comparing a very low carbohydrate diet to DASH diet for polycystic ovary syndrome: The SUPER trial. *Trials*, 25(1), 750. <https://doi.org/10.1186/s13063-024-08583-y>
- Hahn, S., Haselhorst, U., Quadbeck, B., Tan, S., Kimmig, R., Mann, K., & Janssen, O. E. (2006). Decreased soluble leptin receptor levels in women with polycystic ovary syndrome. *European Journal of Endocrinology*, 154(2),

287–294. <https://doi.org/10.1530/eje.1.02078>

- Hernández-Marín, I., Picari-Nieto, A. C., Vargas-Rodríguez, F., Ruiz-Alvarez, V., & Díaz-Martínez, V. P. (2021). Comparison of the therapeutic effectiveness of myo-inositol and D-chiro-inositol ratio 40:1 versus metformin in women with polycystic ovary syndrome. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. https://doi.org/10.26355/eurev_202103_25433
- Hu, M., Zhang, Y., Guo, X., Jia, W., Liu, G., Zhang, J., & Billig, H. (2019). Hyperandrogenism and insulin resistance induce gravid uterine defects in association with mitochondrial dysfunction and aberrant reactive oxygen species production. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 316(5), E794–E809. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00359.2018>
- Jayasena, C. N., Abbara, A., Veldhuis, J. D., Comninou, A. N., Ratnasabapathy, R., De Silva, A., & Dhillon, W. S. (2014). Increasing LH pulsatility in women with hypothalamic amenorrhoea using intravenous infusion of kisspeptin-54. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 99(6), E953–E961. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-1569>
- Jeanes, Y., & Reeves, S. (2017). Metabolic consequences of obesity and insulin resistance in polycystic ovary syndrome: Diagnostic and methodological challenges. *Nutrition Research Reviews*, 30(1), 97–105.
- Jonard, S., & Dewailly, D. (2004). The follicular excess in polycystic ovaries, due to intraovarian hyperandrogenism, may be the main culprit for the follicular arrest. *Human Reproduction Update*, 10(2), 107–117. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmh010>
- Kahn, S. E. (2003). The relative contributions of insulin resistance and beta-cell dysfunction to the pathophysiology of type 2 diabetes. *Diabetologia*, 46(1), 3–19. <https://doi.org/10.1007/s00125-002-1009-0>
- Khorshidi, M., Magdoori, S., Moini, A., & Hosseini, R. (2022). DASH diet and its relationship with oxidative stress markers and proinflammatory cytokines in women with polycystic ovary syndrome. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 305(3), 745–753. <https://doi.org/10.1007/s00404-021-06241-w>
- Koeppen, B. M., & Stanton, B. A. (2018). *Bern ve Levy Fizyolojisi* (7. baskı). Elsevier.
- Kokori, E., Olatunji, G., Komolafe, R., Ogieuhi, I. J., Ukoaka, B., Ajayi, I., & Aderinto, N. (2024). Serum kisspeptin as a promising biomarker for polycystic ovary syndrome: A mini review of current evidence and future prospects. *Clinical Diabetes and Endocrinology*, 10(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40842-024-00190-9>
- Li, L., Lee, K. J., Choi, B. C., & Baek, K. H. (2013). Relationship between leptin receptor and polycystic ovary syndrome. *Gene*, 527(1), 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.05.074>
- Lin, K., Sun, X., Wang, X., Wang, H., & Chen, X. (2021). Circulating adipokine levels in nonobese women with polycystic ovary syndrome and nonobese control women: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 537809.
- Mansoori, A., Amoochi-Forushani, G., Zilaee, M., Hosseini, S. A., & Azhdari, M. (2022). Serum and follicular fluid chemerin and chemerin mRNA expression

- in women with polycystic ovary syndrome: Systematic review and meta-analysis. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders – Drug Targets*. <https://doi.org/10.1002/edm2.307>
- Matafome, P., & Seça, R. (2017). Function and dysfunction of adipose tissue. *Advances in Neurobiology*, 19, 3–31. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63260-5_1
- McGaugh, E., & Barthel, B. (2022). A review of ketogenic diet and lifestyle. *Missouri Medicine*, 119(1), 84–88.
- Montano, L., Maugeri, A., Volpe, M. G., Micali, S., Mirone, V., Mantovani, A., Navarra, M., & Piscopo, M. (2022). Mediterranean diet as a shield against male infertility and cancer risk induced by environmental pollutants: A focus on flavonoids. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1568. <https://doi.org/10.3390/ijms23031568>
- Nestler, J. E. (1997). Role of hyperinsulinemia in the pathogenesis of polycystic ovary syndrome and its clinical implications. *Seminars in Reproductive Endocrinology*, 15(2), 111–122.
- Newsholme, P., & Krause, M. (2012). Nutritional regulation of insulin secretion: Implications for diabetes. *The Clinical Biochemist Reviews*, 33(2), 35–47.
- Nogues, P., Dos Santos, E., Jammes, H., Maurice, P., Panthier, C., Dieudonné, M. N., & Dos Santos, E. (2019). Maternal obesity influences expression and DNA methylation of the adiponectin and leptin systems in human third-trimester placenta. *Clinical Epigenetics*, 11, 20. <https://doi.org/10.1186/s13148-019-0612-6>
- Osibogun, O., Ogunmoroti, O., & Michos, E. D. (2020). Polycystic ovary syndrome and cardiometabolic risk: Opportunities for cardiovascular disease prevention. *Trends in Cardiovascular Medicine*, 30(7), 399–404. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2020.01.001>
- Palomba, S., Piltonen, T. T., & Giudice, L. C. (2021). Endometrial function in women with polycystic ovary syndrome: A comprehensive review. *Human Reproduction Update*, 27(3), 584–618. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmaa051>
- Park, S. Y., Gautier, J. F., & Chon, S. (2021). Assessment of insulin secretion and insulin resistance in human. *Diabetes & Metabolism Journal*, 45(5), 641–654. <https://doi.org/10.4093/dmj.2021.0220>
- Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews*, 98(4), 2133–2223. <https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017>
- Pratama, G., Wiweko, B., Asmarinah, Widyahening, I. S., Andraini, T., Bayuaji, H., & Hestiantoro, A. (2024). Mechanism of elevated LH/FSH ratio in lean polycystic ovary syndrome revisited: A path analysis. *Scientific Reports*, 14(1), 8229. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58064-0>
- Qu, X., & Donnelly, R. (2020). Sex hormone-binding globulin (SHBG) as an early biomarker and therapeutic target in polycystic ovary syndrome. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8191. <https://doi.org/10.3390/ijms21218191>
- Reyes-Farias, M., Fos-Domenech, J., Serra, D., Herrero, L., & Sánchez-Infantes, D. (2021). White adipose tissue dysfunction in obesity and aging. *Biochemical Pharmacology*, 192, 114723. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2021.114723>
- Rice, S., Christoforidis, N., Gadd, C., Nikolaou, D., Seyani, L., Donaldson, A., ... & Franks, S. (2005). Impaired insulin-dependent glucose metabolism in

- granulosa-lutein cells from anovulatory women with polycystic ovaries. *Human Reproduction*, 20(2), 373–381. <https://doi.org/10.1093/humrep/deh609>
- Rodriguez Paris, V., & Bertoldo, M. J. (2019). The mechanism of androgen actions in polycystic ovary syndrome etiology. *Medical Sciences*, 7(9), 89. <https://doi.org/10.3390/medsci7090089>
- Rosenfield, R. L., & Ehrmann, D. A. (2016). The pathogenesis of polycystic ovary syndrome: The hypothesis of polycystic ovary syndrome as functional ovarian hyperandrogenism revisited. *Endocrine Reviews*, 37(5), 467–520. <https://doi.org/10.1210/er.2015-1104>
- Roseff, S., & Montenegro, M. (2024). Inositol treatment in women with polycystic ovary syndrome: A focus on insulin sensitivity. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 109(1), e12–e25. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad489>
- Schüler-Toprak, S., Ortmann, O., Buechler, C., & Treeck, O. (2022). The complex roles of adipokines in polycystic ovary syndrome and endometriosis. *Biomedicines*, 10(10), 2503. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10102503>
- Siddiqui, S., Mateen, S., Ahmad, R., & Moin, S. (2022). A brief insight into the etiology, genetics, and immunology of polycystic ovarian syndrome (PCOS). *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 39(11), 2439–2473. <https://doi.org/10.1007/s10815-022-02625-7>
- Stamatiades, G. A., & Kaiser, U. B. (2018). Gonadotropin regulation by pulsatile GnRH: Signaling and gene expression. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 463, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.10.015>
- Tang, R., Ding, X., & Zhu, J. (2019). Kisspeptin and polycystic ovary syndrome. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 298. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00298>
- Teede, H. J., Tay, C. T., Laven, J. J. E., Dokras, A., Moran, L. J., Piltonen, T. T., Costello, M. F., Boivin, J., Redman, L. M., Boyle, J. A., Norman, R. J., Mousa, A., & Joham, A. E. (2023). Recommendations from the 2023 international evidence-based guideline for the assessment and management of polycystic ovary syndrome. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 108(10), 2447–2469. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad463>
- World Health Organization. (2024). Obesity and overweight. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Xenou, M., & Gourounti, K. (2021). Dietary patterns and polycystic ovary syndrome: A systematic review. *Maedica: A Journal of Clinical Medicine*, 16(3), 516–521. <https://doi.org/10.26574/maedica.2021.16.3.516>
- Xue, J., Zhang, H., Liu, W., Liu, M., Shi, M., Wen, Z., & Li, C. (2013). Metformin inhibits growth of eutopic stromal cells from adenomyotic endometrium via AMPK activation and subsequent inhibition of AKT phosphorylation. *Reproduction*, 146(4), 397–406. <https://doi.org/10.1530/REP-13-0135>
- Yang, J., Gu, J., Lin, J., Zhang, Y., & Yang, X. (2024). Hormonal changes in polycystic ovary syndrome. *Journal of Endocrinology*, 261(1), e230342. <https://doi.org/10.1530/JOE-23-0342>
- Yuan, J., Wen, X., & Jia, M. (2021). Efficacy of omega-3 polyunsaturated fatty acids on hormones, oxidative stress, and inflammatory parameters among women with polycystic ovary syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Palliative Medicine*, 10(8), 8991–9001.

<https://doi.org/10.21037/apm-21-2018>

- Yuan, J., Li, Z., Yu, Y., Wang, X., & Zhao, Y. (2025). Natural compounds in the management of polycystic ovary syndrome: A comprehensive review of hormonal regulation and therapeutic potential. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1520695. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1520695>
- Zhang, H., Zheng, L., Guo, Z., Yao, N., Zhang, S., & Pu, P. (2023). Exploring the role of gut microbiota in obesity and polycystic ovary syndrome: Current updates and future prospects. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 202, 110781. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2023.110781>
- Zhang, Y., Hu, M., Yang, F., Zhang, Y., Ma, S., Zhang, D., ... & Billig, H. (2021). Increased uterine androgen receptor protein abundance results in implantation and mitochondrial defects in pregnant rats with hyperandrogenism and insulin resistance. *Journal of Molecular Medicine*, 99(10), 1427–1446. <https://doi.org/10.1007/s00109-021-02104-z>
- Zhao, H., Jiang, Z., Li, R., Zhang, J., & Wang, Y. (2022). Myo-inositol restores oocyte quality through regulating mitochondrial function and ATP production in a polycystic ovary syndrome mouse model. *Molecular Reproduction and Development*, 89(11), 542–554. <https://doi.org/10.1002/mrd.23645>
- Zhao, H., Zhang, J., Cheng, X., Nie, X., & He, B. (2023). Insulin resistance in polycystic ovary syndrome across various tissues: An updated review of pathogenesis, evaluation, and treatment. *Journal of Ovarian Research*, 16(1), Article 9. <https://doi.org/10.1186/s13048-022-01091-0>
- Zheng, L., Yang, L., Guo, Z., Yao, N., Zhang, S., & Pu, P. (2024). Obesity and its impact on female reproductive health: Unraveling the connections. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1326546. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1326546>

Periodontal Doku Rejenerasyonunda Kök Hücre Temelli Tedavi Yaklaşımları

İzzet Melih GÜRKAN¹

Sibel ÖZDEMİR²

- 1- Arş. Gör.; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji Anabilim Dalı.
melihgurkan468@gmail.com ORCID No: 0000-0002-7267-4798
- 2- Uzm. Dr. ; Eskişehir Yunus Emre Devlet Hastanesi Nöroloji Kliniği
drsibelkaraca@hotmail.com ORCID No: 0009-0003-4761-0964

ÖZET

Son zamanlarda, rejeneratif tedavilerde kök hücre bazlı tedavilerin potansiyel etkinliklerine yönelik artan bir ilgi gözlemlenmektedir. Mezenkimal kök hücreler (MKH'ler) doku replasman tedavileri ve doku mühendisliği için mükemmel adaylar olarak kabul edilmektedir. Otolog MKH'ler, alveoler kemik rejenerasyonuna önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Donör hücreler ve immün hücreler, MKH tedavisinin klinik başarısını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Kök hücre tedavisinin doku mühendisliği uygulamaları için gösterdiği umut verici geleceğe paralel olarak, dental kaynaklı kök hücreler son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Yüksek oranda kök hücre içeren, giderek daha fazla tanınan nişler ve dokular arasında, diş dokularının MKH'ler açısından zengin kaynaklar olduğu kanıtlanmıştır. Literatüre göre, diş kaynaklı kök hücreler çoğunlukla pulpa, periodontal ligament ve dental folikülde bulunur.

Anahtar Kelimeler – Periodontal Hastalık, Mezenkimal Kök Hücre, Periodontal Rejenerasyon, Hücre Transplantasyonu, Doku Mühendisliği

GİRİŞ

Periodontitis, dişleri destekleyen dokuların kronik enflamatuar bir hastalığı olup, dünya genelinde en yaygın ağız hastalıklarından biridir (Pihlstrom vd., 2005: 1809-1820). Epidemiyolojik çalışmalar, yetişkin bireylerin yarısından fazlasının farklı şiddetlerde periodontal hastalıktan etkilendiğini ve hastalığın prevalansının yıllar içerisinde artış gösterdiğini ortaya koymaktadır (Carasol vd., 2016: 548-556; Dye, 2012: 10-25). Tedavi edilmediği takdirde periodontitis, alveolar kemik, sement ve periodontal ligament (PDL) gibi diş destekleyen dokuların ilerleyici yıkımına neden olarak diş kaybıyla sonuçlanabilmektedir (Darveau, 2010: 481-490; Hernández-Monjaraz vd., 2018: 944). Ayrıca periodontal hastalıkların kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, obezite, kronik böbrek hastalığı ve bazı kanser türleri gibi çeşitli sistemik hastalıklarla yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir (Beukers vd., 2017: 37-42; Kinane vd., 2017: 17038). Bu nedenle periodontal hastalıkların etkin ve güvenli yöntemlerle tedavi edilmesine yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesi günümüzde önemli bir gereksinim olarak kabul edilmektedir.

Periodontal tedavinin temel amacı, hastalık nedeniyle kaybedilen alveolar kemik, sement ve periodontal ligamentten oluşan periodonsiyumun yapı ve fonksiyonunun yeniden kazandırılmasıdır (Bartold vd., 2016: 1-15). Cerrahi olmayan periodontal tedaviler (kök yüzeyi düzleştirme gibi), mikrobiyal yükü azaltarak hastalığın ilerlemesini kontrol altına alabilmesine rağmen, kaybedilen periodontal dokuların tam anlamıyla rejenerasyonunu sağlayamamaktadır (Hernández-Monjaraz vd., 2018: 944). Cerrahi tedavi

yöntemleri arasında yer alan yönlendirilmiş doku rejenerasyonu (YDR), kemik greftleri ve biyomateriyaller belirli ölçüde klinik başarı sağlasa da, elde edilen sonuçlar her zaman öngörülebilir değildir ve tam periodontal rejenerasyonun sağlanması hâlen önemli bir klinik zorluk olarak kabul edilmektedir (Chen ve Jin, 2010: 219-255). Büyüme faktörleri, biyomalzemeler ve doku mühendisliği alanındaki gelişmeler periodontal tedavi seçeneklerini önemli ölçüde genişletmiş olmakla birlikte, kaybedilen periodontal dokuların hem yapısal hem de fonksiyonel olarak yeniden oluşturulması günümüzde de önemli bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir (Bartold vd., 2016: 1-15).

Kök hücreler, kendilerini yenileyebilme ve farklı hücre tiplerine farklılaşabilme özellikleri sayesinde rejeneratif tıbbın en umut verici biyolojik araçlarından biri olarak kabul edilmektedir. İnsan periodontal ligamentinden periodontal ligament kaynaklı kök hücrelerin (PDLKH) 2004 yılında ilk kez izole edilmesi, periodontal rejenerasyon alanında yeni bir dönemin başlangıcını oluşturmuştur (Seo vd., 2004: 149-155). Daha sonra gerçekleştirilen çalışmalar, dental ve dental olmayan farklı dokulardan elde edilen kök hücrelerin uygun biyolojik koşullar altında alveolar kemik, sement ve periodontal ligament gibi periodontal dokuların yeniden oluşumuna katkıda bulunabildiğini göstermiştir (Huang vd., 2009: 792-806). Bunun yanı sıra, bu hücrelerin immünomodülatör ve anti inflamatuvar özellikleri, rejeneratif iyileşme sürecinin desteklenmesinde önemli rol oynamaktadır (RÁCZ vd., 2014). Günümüzde kök hücre temelli tedavi yaklaşımları, periodontal kompleksin yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünü yeniden kazandırmayı hedefleyen en umut verici rejeneratif stratejiler arasında yer almaktadır (Ivanovski vd., 2014: 1212-1221; Park vd., 2016: 57).

1. Doku Mühendisliği ve Periodontal Rejenerasyon

Mezenkimal kök hücreler, embriyolojik olarak mezoderm kökenli hücreler olup, kendilerini yenileyebilme ve farklı hücre tiplerine farklılaşabilme özelliklerinin yanı sıra immünomodülatör ve anti inflamatuvar etkileriyle de dikkat çekmektedir. Ayrıca parakrin sinyal mekanizmaları aracılığıyla hücreler arası iletişimi düzenleyerek doku iyileşmesi ve rejenerasyon süreçlerinde önemli rol oynarlar (Pittenger vd., 2019: 22). MKH'lerin doku mühendisliği alanında kullanımıyla elde edilen gelişmeler, diş ve periodontal dokuların onarımına yönelik yeni rejeneratif tedavi stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamıştır. Periodontal rejenerasyonda kullanılan kök hücreler genel olarak dental kökenli ve dental olmayan kök hücreler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Dental kökenli kök hücreler arasında pulpa kaynaklı kök hücreler (DPKH'ler), periodontal ligament kaynaklı kök hücreler (PDLKH'ler), dental folikül kaynaklı kök hücreler (DFKH'ler), insan süt dişlerinden elde edilen kök hücreler (SHED), apikal papilla kaynaklı kök hücreler (APKH'ler) ve gingiva

kaynaklı kök hücreler (GKKH'ler) yer almaktadır (Magalhaes vd., 2021: 105182; Zhai vd., 2019: 152-159). Bu hücreler içerisinde PDLKH'ler, çoklu soy farklılaşma kapasitesi, immünomodülatör özellikleri ve anti inflamatuvar etkileri nedeniyle periodontal rejenerasyon çalışmalarında en yaygın kullanılan kök hücre tipi olarak kabul edilmektedir (Ding vd., 2010: 1829-1838; Liu vd., 2012: 1174-1182; Zhu ve Liang, 2015: 972313). Dental olmayan kök hücreler ise embriyonik kök hücreler, indüklenmiş pluripotent kök hücreler, kemik iliği kaynaklı mezenkimal kök hücreler (KİMKH'ler) ve adipoz doku kaynaklı kök hücreleri kapsamaktadır. KİMKH'lerin periodontal ligament hücrelerine farklılaşabildiği, yüksek osteojenik farklılaşma kapasitesine sahip olduğu ve kolaylıkla elde edilebildiği gösterilmiştir. Bu özellikleri sayesinde kemik iliği, periodonsiyumun rejenerasyonu için en önemli kök hücre kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir (Du vd., 2014b: 183-188; Kawaguchi vd., 2004: 1281-1287).

2. Periodontal Rejenerasyonda Kemik İliği Kaynaklı Kök Hücrelerin Kullanımı

Kemik iliği kaynaklı mezenkimal kök hücreler (KİMKH'ler), periodonsiyumu oluşturan hücre tiplerine farklılaşabilme kapasitesine sahip erişkin multipotent kök hücrelerdir (Huang vd., 2009: 792-806). Deneysel ve klinik çalışmalar, KİMKH'lerin periodontal defektlerin tedavisinde başarılı sonuçlar verdiğini ve bu hücrelerin periodontal rejenerasyon açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Du vd., 2014a: 183-188; Yu vd., 2013: e503-511; Zhou ve Mei, 2012: e174-181). Otolog KİMKH'ler çoğunlukla iliak kemikten elde edilmektedir (Pittenger vd., 1999: 143-147). Kawaguchi ve arkadaşları, iliak kemikten izole ettikleri KİMKH'lerin sınıf III furkasyon defektlerinin rejenerasyonundaki etkinliğini deneysel bir hayvan modelinde değerlendirmiştir (Kawaguchi vd., 2004: 1281-1287). Bu amaçla cerrahi olarak oluşturulan furkasyon defektleri, kollajen bazlı bir jel taşıyıcı içerisine yerleştirilen KİMKH'ler ile tedavi edilmiştir. Çalışmada tam periodontal rejenerasyon elde edilememiş olsa da, yeni alveolar kemik, sement ve Sharpey liflerinin oluşumu rejeneratif iyileşmenin gerçekleştiğini göstermiştir. Bununla birlikte, kullanılan hücrelerin kültür kabına tutunabilme özelliği dışında, Uluslararası Hücresel Tedavi Derneği (International Society for Cellular Therapy, ISCT) tarafından tanımlanan mezenkimal kök hücre kriterlerini tam olarak karşılamadığı belirtilmiştir (Dominici vd., 2006: 315-317). Ayrıca transplante edilen hücrelerin periodontal dokulara farklılaşma kapasitesi ayrıntılı olarak gösterilemediğinden, elde edilen bulguların dikkatli değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

KİMKH'lerin periodontal defekt bölgesindeki davranışlarını ve farklılaşma süreçlerini ortaya koymak amacıyla hücre izleme (cell-tracking) çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Wei ve arkadaşları, köpek modelinde tibialardan izole ettikleri KİMKH'leri bromodeoksiüridin (BrdU) ile

işaretledikten sonra, bu hücreleri aljinat jel taşıyıcısı kullanarak cerrahi olarak oluşturulan sınıf III furkasyon defektlerine nakletmiştir (Wei vd., 2010: 514-521). Her ne kadar transplante edilen hücrelerin periodontal rejenerasyona doğrudan katkısı kesin olarak gösterilememiş olsa da, etiketli hücrelerin periodontal ligament, sement, alveolar kemik ve vasküler yapılara göç ettiği belirlenmiştir. Ayrıca etiketli hücrelerin bir kısmının osteoblast ve fibroblast belirteçlerini eksprese etmesi, transplante edilen KİMKH'lerin bu hücre tiplerine farklılaşabildiğini düşündürmektedir.

Pradel ve arkadaşları ise KİMKH'lerin farklı kemik defektlerindeki rejeneratif etkinliğini değerlendiren bir dizi çalışma gerçekleştirmiştir (Pradel vd., 2006: 285-290; Pradel ve Lauer, 2012: 545-548; Pradel vd., 2008: 224-228). İlk çalışmalarında, çene kistlerinin enükleasyonu sonrasında oluşan kemik boşluklarına otolog kök hücre uygulamış ve radyografik değerlendirmelerde tedavi grubunda anlamlı derecede daha fazla kemik oluşumu gözlemlemişlerdir (Pradel vd., 2006: 285-290). Radyografik analiz sonucunda, kök hücre tedavisi uygulanan grupta, kistik boşluklarda önemli ölçüde daha fazla kemikleşme gözlemlenmiştir (Pradel vd., 2006: 285-290). Daha sonra gerçekleştirilen bir çalışmada, üst çeneden elde edilen kök hücreler demineralize kemik matriksi ve mineralize sığır kemiği ile kombine edilerek sinüs tabanı yükseltme işlemlerinde kullanılmış ve başarılı klinik sonuçlar bildirilmiştir (Pradel vd., 2008: 224-228). Bunu izleyen çalışmada ise aynı hücre kültürü kullanılarak elde edilen kemik rejenerasyonu, süngerimsi iliak kemik grefti uygulanan kontrol grubuyla karşılaştırılmış ve kök hücre uygulanan grupta daha fazla kemik oluşumu elde edildiği gösterilmiştir (Pradel ve Lauer, 2012: 545-548).

3. Periodontal Rejenerasyonda Pulpa Kaynaklı Kök Hücrelerin Kullanımı

Pulpa kaynaklı kök hücreler (DPKH'ler), daimi veya süt dişlerinin pulpa dokusundan elde edilen mezenkimal kök hücrelerdir. Pulpa dokusunun farklılaşma potansiyeli ilk kez 2000 yılında Gronthos ve arkadaşları tarafından tanımlanmış olup, bu tarihten itibaren DPKH'ler rejeneratif tıp alanında yoğun olarak araştırılmaya başlanmıştır (Gronthos vd., 2000: 13625-13630). DPKH'lerle ilgili ilk çalışmalar, bu hücrelerin hem in vitro hem de in vivo koşullarda kemik iliği kaynaklı mezenkimal kök hücrelere (KİMKH'ler) benzer biyolojik özellikler gösterdiğini ortaya koymuştur (Gronthos vd., 2000: 13625-13630; Tsutsui, 2020: 33-42). Günümüzde DPKH'ler, ağız ve çene bölgesindeki yumuşak ve sert dokuların rejenerasyonunda önemli bir hücre kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Morsczech ve Reichert, 2018: 187-196).

Papaccio ve arkadaşları, DPKH'lerin güvenli bir şekilde kriyoprezerve edilebilen multipotent kök hücreler olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu hücrelerin yaklaşık 24 saatlik çoğalma süresine sahip olduğu ve dondurularak

saklandıktan sonra dahi canlılıklarını ve biyolojik özelliklerini uzun süre koruyabildikleri bildirilmiştir (Papaccio vd., 2006: 319-325). Bu özellikler, DPKH'leri klinik uygulamalar açısından önemli bir hücre kaynağı hâline getirmektedir.

Kemik rejenerasyonunda kök hücrelerin uygulanabilmesi için sentetik veya doğal biyomalzemelerden oluşan uygun bir taşıyıcı iskeletin kullanılması temel yaklaşımlardan biridir (Petite vd., 2000: 959-963). Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalarda, kolajen bazlı sünger yapılarına ekilen DPKH'lerin hücresel mikrogreftler içeren biyokompleksler oluşturduğu gösterilmiştir (Graziano vd., 2013: 1-5). Elde edilen bu biyokomplekslerin, kemik rejenerasyonu sırasında iyi organize olmuş ve olgun kemik dokusunun oluşumunu desteklediği çeşitli deneysel ve klinik çalışmalarda bildirilmiştir (Brunelli vd., 2013: 644-647; Ferrarotti vd., 2018: 841-850; Giuliani vd., 2013: 316-324; Monti vd., 2017: 548-555).

DPKH'ler, periodontal kemik içi defektler, diş çekimi sonrası alveolar soketler ve maksiller sinüs augmentasyonu gibi farklı kraniyofasiyal kemik defektlerinin tedavisinde başarıyla uygulanmıştır (Aimetti vd., 2014: s27-33; Aimetti vd., 2018: 51-58; Aimetti vd., 2015: 104-109; Barbier vd., 2018: e469-e477; D'Aquino vd., 2016). Özellikle derin periodontal kemik içi defektlerde DPKH uygulamasının, konvansiyonel tedaviye kıyasla bir yıllık takip sonunda klinik periodontal parametrelerde anlamlı iyileşmeler sağladığı bildirilmiştir (Aimetti vd., 2014: s27-33; Aimetti vd., 2018: 51-58; Aimetti vd., 2015: 104-109). Ayrıca DPKH'ler, gömülü üçüncü molar diş çekimi sonrasında oluşan geniş alveolar soketlerin rejenerasyonunda da değerlendirilmiştir. Barbier ve arkadaşları, hücre uygulanan ve uygulanmayan gruplar arasında klinik, radyolojik ve cerrahi sonuçlar açısından anlamlı bir farklılık saptamamış olsa da, DPKH uygulanan bölgelerde Havers sistemini içeren daha olgun kemik oluşumunun gerçekleştiği gösterilmiştir (Barbier vd., 2018: e469-e477). Bununla birlikte, DPKH'lerin, kritik miktarda kemik dokusu içeren Havers sistemi oluşumu ile birlikte, çekim sonrası yuvalarda iyi farklılaşmış kemik oluşumuna olanak sağladığı gösterilmiştir (Monti vd., 2017: 548-555).

Benzer şekilde, d'Aquino ve arkadaşları ile Giuliani ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmalarda, gömülü üçüncü molar diş çekimini takiben oluşan alveolar soketlerin iyileşmesi değerlendirilmiştir (D'Aquino vd., 2016; Giuliani vd., 2013: 316-324). d'Aquino ve arkadaşları, üç aylık takip sonunda DPKH uygulanan grupta klinik ve radyografik kemik oluşumunun kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir (D'Aquino vd., 2016). Aynı hasta grubunu üç yıl sonra yeniden değerlendiren Giuliani ve arkadaşları ise DPKH uygulanan bölgelerde daha yüksek kemik yoğunluğu ve komşu ikinci molarlarda daha düşük kök dehissensi gözlemlemiştir (Giuliani vd., 2013: 316-324). Bu bulgular, pulpa kaynaklı kök hücrelerin kraniyofasiyal kemik

rejenerasyonu ve periodontal doku mühendisliği açısından umut verici bir otolog hücre kaynağı olduğunu göstermektedir.

4. Periodontal Rejenerasyonda Süt Dişlerinden Elde Edilen Kök Hücrelerin Kullanımı

Süt dişlerinden elde edilen kök hücreler (SHED), fizyolojik olarak düşen veya çekilen süt dişlerinin pulpa dokusundan izole edilen postnatal mezenkimal kök hücrelerdir. Bu hücreler ilk kez 2003 yılında Miura ve arkadaşları tarafından tanımlanmış ve izole edilmiştir (Miura vd., 2003: 5807-5812). SHED'lerin yüksek proliferasyon kapasitesine sahip olduğu, ayrıca nörojenik, adipojenik, odontojenik ve osteojenik hücrelere farklılaşabildiği gösterilmiştir (Behnia vd., 2014: 505; de Mendonça Costa vd., 2008: 204-210; Miura vd., 2003: 5807-5812; Yang vd., 2019: 2694). Yapılan çalışmalar, SHED'lerle elde edilen kemik rejenerasyonunun, defekt tipine bağlı olarak kemik iliği kaynaklı mezenkimal kök hücrelerle (KİMKH'ler) sağlanan rejenerasyona benzer düzeyde olduğunu ortaya koymuştur (Nakajima vd., 2018: 876-882). Ayrıca Kunimatsu ve arkadaşları, in vitro koşullarda SHED'lerin, daimi dişlerden elde edilen pulpa kaynaklı kök hücrelere (DPKH'ler) kıyasla daha yüksek proliferasyon hızı, odontojenik ve osteojenik farklılaşma kapasitesi ile osteoindüktif özellik sergilediğini bildirmiştir (Kunimatsu vd., 2018: 193-198).

SHED'lerin rejeneratif potansiyeli farklı deneysel çalışmalarda da ortaya konmuştur. Kim ve arkadaşları, in vitro ortamda osteojenik farklılaşmaya yönlendirilen SHED'lerin, subkutan transplantasyon sonrasında sert doku oluşumunu artırdığını göstermiştir (Kim vd., 2015: 80-89). Benzer şekilde, in vivo çalışmalarda SHED'lerin mineralize doku oluşturabildiği ve sıçan ile köpek modellerinde oluşturulan kritik boyuttaki orofasiyal kemik defektlerini herhangi bir belirgin immün yanıt oluşturmadan başarılı şekilde onarabildiği bildirilmiştir (Behnia vd., 2014: 505; de Mendonça Costa vd., 2008: 204-210). Behnia ve arkadaşları ise hem in vitro hem de in vivo çalışmalarında, SHED'lerin iki yıldan uzun süre kriyoprezervasyon sonrasında dahi multipotent özelliklerini koruduğunu ve terapötik amaçla güvenle kullanılabileceğini göstermiştir (Behnia vd., 2014: 505). Kolay elde edilebilmeleri, yüksek proliferasyon kapasitesine sahip olmaları, kriyoprezervasyona uygunlukları ve kemik rejenerasyonunu destekleyen biyolojik özellikleri nedeniyle SHED'ler, periodontal ve kraniyofasiyal doku mühendisliği uygulamalarında umut vadeden otolog kök hücre kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir (Miura vd., 2003: 5807-5812; Rikitake vd., 2023: 725-734).

5. Periodontal Rejenerasyonda Periodontal Ligament Kaynaklı Kök Hücrelerin Kullanımı

Periodontal ligament kaynaklı kök hücrelerin (PDLKH'ler) rejeneratif potansiyeli ilk kez Seo ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır. Araştırmacılar, çekilmiş üçüncü molar dişlerden izole ettikleri PDLKH'lerin rejeneratif kapasitelerini değerlendirmek amacıyla immünsüprese fare ve sıçanlara transplant etmişlerdir (Seo vd., 2004: 149-155). Bu öncü çalışmanın ardından, PDLKH'lerin biyolojik özelliklerini ve rejeneratif potansiyelini değerlendirmek amacıyla çok sayıda in vitro ve in vivo çalışma gerçekleştirilmiştir (Kämmerer vd., 2017: 3548435; Zhang vd., 2017: 10519). Periodontal ligament dokusu; mezenkimal kök hücre belirteçlerini eksprese eden, kendini yenileyebilen ve çoklu soy farklılaşma kapasitesine sahip hücreleri içermektedir. Günümüzde PDLKH'ler, periodontal rejenerasyon alanında en kapsamlı şekilde araştırılan kök hücre tipi olup, özellikle periodontal kemik içi defektlerin tedavisinde en umut verici hücre kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca bu hücreler, çekilmiş dişlerin kök yüzeylerinden nispeten kolay bir şekilde izole edilebilmektedir (Graziano vd., 2013: 1-5; Shalini ve Vandana, 2018: 503-512).

Feng ve arkadaşları, üçüncü molar dişlerden elde ettikleri otolog PDLKH'leri hidroksiapatit taşıyıcı materyali ile kombine ederek periodontal kemik içi defektlerin tedavisinde kullanmışlardır (Feng vd., 2010: 20-28). Otuz iki ila yetmiş iki aylık takip süresince herhangi bir yan etki gözlenmezken, tüm olgularda klinik periodontal parametrelerde anlamlı iyileşmeler bildirilmiştir. Bu bulgular, PDLKH'lerin periodontal rejenerasyonda güvenli ve etkili bir tedavi seçeneği olabileceğini desteklemektedir.

Preklinik çalışmalarda elde edilen umut verici sonuçlara rağmen, PDLKH'lerin klinik kullanımını sınırlandıran bazı önemli faktörler bulunmaktadır. Bu hücrelerin elde edilmesi diş çekimini gerektirdiğinden, uygun hücre kaynağı her zaman mevcut olmayabilir. Ayrıca donör yaşı ve sistemik sağlık durumu, PDLKH'lerin biyolojik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Feng vd., 2010: 20-28). Yaşlanmayla birlikte PDLKH'lerin proliferasyon kapasitesi, migrasyon yeteneği ve çoklu soy farklılaşma potansiyelinde azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Zhang vd., 2012: 6974-6986). Bu nedenle son yıllarda, kriyoprezerve edilmiş veya allojenik PDLKH'lerin periodontal rejenerasyonda alternatif hücre kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalar, kriyoprezervasyon sonrasında elde edilen PDLKH'lerin büyüme kapasitesi, STRO-1 ekspresyonu, çoklu soy farklılaşma potansiyeli ile sement ve periodontal ligament benzeri dokular oluşturma yeteneklerini koruduğunu göstermiştir (Seo vd., 2005: 907-912; Vasconcelos vd., 2012: 461-469). Bu

bulgular, kriyoprezerve edilmiş PDLKH'lerin hücre temelli periodontal tedavilerde uygulanabilir bir seçenek olabileceğini düşündürmektedir.

Otolog PDLKH'lerin elde edilemediği durumlarda allojenik PDLKH'ler önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu yaklaşımın temelini, PDLKH'lerin kemik iliği kaynaklı mezenkimal kök hücrelere benzer şekilde düşük immünojenisiteye sahip olması oluşturmaktadır (Mrozik vd., 2013: 711-723). Ayrıca bu hücrelerin immün yanıtı ve enflamatuvar süreci düzenleyici özelliklere sahip olduğu da gösterilmiştir (Wada vd., 2009: 667-676). Ding ve arkadaşları, domuzlarda oluşturdukları periodontitis modelinde otolog ve allojenik PDLKH uygulamalarını karşılaştırmış ve her iki hücre grubunun da periodontal dokuların başarılı şekilde rejenerasyonunu sağladığını bildirmiştir. Ayrıca allojenik PDLKH uygulamasının herhangi bir immünolojik reaksiyona neden olmadığı ve CD3, CD4 ile CD8 gibi T lenfosit belirteçleri açısından otolog ve allojenik gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmadığı gösterilmiştir (Ding vd., 2010: 1829-1838). Benzer şekilde, Mrozik ve arkadaşları koyunlarda oluşturulan periodontal defekt modelinde allojenik PDLKH'leri kullanmış ve doğrudan immünolojik değerlendirme yapılmamış olmasına rağmen uygulama bölgelerinde enfeksiyon veya belirgin enflamasyon gözlenmemesi nedeniyle allojenik hücrelerin iyi tolere edildiğini bildirmiştir (Mrozik vd., 2013: 711-723). Bu bulgular, allojenik PDLKH'lerin immün sistem tarafından iyi tolere edildiğini ve periodontal rejenerasyonda güvenle kullanılabilecek alternatif bir hücre kaynağı olabileceğini düşündürmektedir.

6. Periodontal Rejenerasyonda Dental Folikül Kaynaklı Kök Hücrelerin Kullanımı

Dental folikül, embriyolojik dönemde ektomezenkimal hücrelerden gelişen gevşek bağ dokusudur. Sürme öncesinde mine organını ve gelişmekte olan diş germini çevreleyen bu yapı, diş gelişimi ve periodontal dokuların oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Honda vd., 2010: 541-552). Dental folikül kaynaklı kök hücrelerin (DFKH'ler), in vitro koşullarda osteojenik, kondrojenik ve adipojenik farklılaşma kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir (Kémoun vd., 2007: 283-294).

DFKH'lerin periodontal dokuların rejenerasyonu açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir. Yokoi ve arkadaşları, farelerden izole ettikleri DFKH'leri immün yetmezlikli farelere subkutan olarak transplant ederek bu hücrelerin rejeneratif kapasitesini değerlendirmiş ve tip I kollajen fibrilleri içeren periodontal ligament benzeri yapılar oluşturabildiklerini göstermiştir (Yokoi vd., 2007: 301-311). Benzer şekilde Park ve arkadaşları, köpeklerden elde ettikleri DFKH'leri cerrahi olarak oluşturulan periodontal defektlere uygulamış ve histolojik incelemelerde yeni alveolar kemik, sement ve periodontal ligament oluşumu ile karakterize başarılı periodontal rejenerasyon elde edildiğini bildirmiştir. Bununla birlikte,

DFKH uygulanan grupta oluşan yeni kemik hacminin, otolog periodontal ligament kaynaklı kök hücrelerle (PDLKH'ler) tedavi edilen defektlere kıyasla daha düşük olduğu belirtilmiştir (Park vd., 2011: 271-286). DFKH'lerin periodontal ligament oluşturma potansiyeli, Guo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada da desteklenmiştir. Araştırmacılar, insan gömülü üçüncü molar dişlerinden izole ettikleri DFKH'leri farelere subkutan olarak implante etmiş ve bu hücrelerin sement-periodontal ligament benzeri kompleks oluşumunu indükleyebildiğini göstermiştir (Guo vd., 2012: 459-470). Bu bulgular, DFKH'lerin periodontal doku mühendisliği uygulamalarında umut vadeden hücre kaynaklarından biri olduğunu göstermektedir.

7. Periodontal Rejenerasyonda Apikal Papilla Kaynaklı Kök Hücrelerin Kullanımı

Apikal papilla, gelişmekte olan dişlerin kök apeksinde bulunan embriyonik yumuşak dokudur. Bu doku yalnızca kök gelişimi süresince mevcut olup, dişlerin ağız ortamına sürmesini takiben ortadan kalkmaktadır (Sonoyama vd., 2008: 166-171). Gelişimlerini henüz tamamlamamış üçüncü molar dişler, kök oluşumu devam ederken sıklıkla çekildikleri için apikal papilla kaynaklı kök hücrelerin (APKH'ler) elde edilmesinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır. APKH'lerin odontoblast benzeri hücreler, osteoblastlar, adipositler ve nöronal hücreler başta olmak üzere farklı hücre tiplerine farklılaşabilme kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir (Huang vd., 2009: 792-806).

Xu ve arkadaşları, APKH'lerin periodontal rejenerasyondaki potansiyelini deneysel bir çalışmada değerlendirmiştir. Araştırmacılar, kök gelişimi henüz tamamlanmamış sıçan mandibular birinci molar dişlerinin apikal papillasından izole ettikleri APKH'lerin biyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bu hücrelerin mineralizasyon kapasitesinin pulpa kaynaklı kök hücrelere (DPKH'ler) göre daha yüksek olduğu ve periodontal ligament benzeri, dentin benzeri, sement benzeri ve kemik benzeri dokular oluşturabildiği gösterilmiştir (Xu vd., 2009: 275-282). Bu bulgular, APKH'lerin periodontal doku mühendisliği ve rejeneratif tedavi uygulamaları açısından umut vadeden bir kök hücre kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır.

8. Periodontal Rejenerasyonda Gingiva Kaynaklı Kök Hücrelerin Kullanımı

Diş eti dokusu embriyolojik olarak nöral kristanın ektomezenkimal hücrelerinden gelişmektedir. Gingival bağ dokusu, mezenkimal kök hücreler açısından zengin bir hücre kaynağı olup, periodontal ligamente anatomik yakınlığı nedeniyle ağız mukozasının diğer bölgelerinden farklı özellikler göstermektedir. Bu nedenle gingiva, periodontal rejenerasyon açısından

önemli bir kök hücre rezervuarı olarak kabul edilmektedir (Shetty vd., 2025: 1-21).

Gingiva kaynaklı kök hücreler, kolay elde edilebilmeleri ve yüksek rejeneratif kapasiteleri nedeniyle periodontal doku mühendisliği alanında umut vadeden hücre kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir. Yapılan bir çalışmada, minimal invaziv bir yöntemle izole edilen, anti-STRO-1 antikoru kullanılarak manyetik olarak ayrıştırılan ve kolajen veya inorganik sığır kemiği matriksi üzerine uygulanan domuz kaynaklı gingival mezenkimal kök hücrelerin, in vivo koşullarda belirgin periodontal rejenerasyon sağladığı gösterilmiştir (Fawzy El-Sayed vd., 2012: 861-870). Bu çalışma, gingival dokunun periodontal rejenerasyona katkı sağlamadığı yönündeki klasik görüşü çürütmüş ve gingival bağ dokusunun periodontal rejenerasyonu destekleyebilecek multipotent kök/progenitör hücreler içerdiğini ortaya koymuştur (Gottlow vd., 1984: 494-503).

Bir başka çalışmada, 100 mg/mL askorbik asit ile zenginleştirilmiş kültür ortamında çoğaltılan GKKH'ler, köpeklerde oluşturulan sınıf III furkasyon defektlerinin tedavisinde kullanılmıştır. Transplante edilen hücrelerin, alveolar kemik, sement ve periodontal ligament başta olmak üzere hasarlı periodontal dokuların rejenerasyonunu anlamlı düzeyde artırdığı bildirilmiştir (Yu vd., 2014: 428-437).

Son yıllarda gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada ise GKKH'ler, kontrollü salım sağlayan interlökin-1 reseptör antagonisti içeren hyalüronik asit bazlı sentetik bir hücre dışı matriks ile kombine edilerek domuzlarda oluşturulan periodontitis modelinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, bu kombinasyonun yeni alveolar kemik, periodontal ligament ve sement oluşumunu destekleyerek başarılı periodontal rejenerasyon sağladığını göstermiştir (Fawzy El-Sayed vd., 2015: 448-457). Bu sonuçlar, GKKH'lerin uygun biyomalzemeler ve biyolojik düzenleyicilerle birlikte kullanıldığında periodontal rejenerasyonun etkinliğini artırabilecek önemli bir hücresel tedavi seçeneği olabileceğini düşündürmektedir.

SONUÇ

Travma veya periodontal hastalıklar sonucunda kaybedilen periodontal dokuların eksiksiz ve öngörülebilir şekilde yeniden oluşturulması, günümüz rejeneratif diş hekimliğinin en önemli hedeflerinden biridir. Başarılı periodontal rejenerasyon; uygun hücre kaynağı, biyolojik sinyal molekülleri ve biyouyumlu iskele materyallerinin kontrollü ve koordineli bir şekilde bir araya getirilmesini gerektiren karmaşık bir biyolojik süreçtir.

Kök hücre temelli tedavi yaklaşımları; farklılaşma kapasitesi, immünomodülatör özellikleri ve parakrin etkileri sayesinde periodontal dokuların yeniden oluşumunu destekleyen umut verici biyolojik stratejiler arasında yer almaktadır. Bugüne kadar gerçekleştirilen deneysel ve klinik

çalışmalar, farklı kök hücre kaynaklarının periodontal rejenerasyonda güvenli ve etkili sonuçlar sağlayabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, kök hücrelerin rutin klinik uygulamaya geçebilmesi için hücre izolasyonu, kültür koşulları, taşıyıcı sistemler, uygulama protokolleri ve uzun dönem klinik sonuçların standardize edilmesine yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Son yıllarda biyomalzemeler, büyüme faktörleri ve doku mühendisliği alanındaki gelişmeler, kök hücre temelli tedavi yaklaşımlarının klinik uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Gelecekte, kişiselleştirilmiş tedavi stratejileri ile biyomühendislik alanındaki yeniliklerin birlikte kullanılması sayesinde periodontal rejenerasyonun daha öngörülebilir ve başarılı sonuçlar vermesi beklenmektedir. Bununla birlikte, bu tedavi yaklaşımlarının yaygın klinik kullanıma girebilmesi için etkinlik ve güvenilirliklerinin uzun dönemli klinik çalışmalarla desteklenmesi, etik ilkelerin gözetilmesi ve yasal düzenlemelerle uyumlu standartların oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, kök hücre temelli yaklaşımlar periodontal rejenerasyon alanında umut verici bir gelecek sunmaktadır. Bu alanda yapılacak ileri düzey araştırmaların, periodontal hastalıkların tedavisinde daha etkili, güvenli ve öngörülebilir rejeneratif tedavi seçeneklerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Aimetti, M., Ferrarotti, F., Cricenti, L., Mariani, G. M., & Romano, F. (2014). Autologous dental pulp stem cells in periodontal regeneration: a case report. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 34 Suppl 3, s27-33. <https://doi.org/10.11607/prd.1635>
- Aimetti, M., Ferrarotti, F., Gamba, M. N., Giraudi, M., & Romano, F. (2018). Regenerative Treatment of Periodontal Intrabony Defects Using Autologous Dental Pulp Stem Cells: A 1-Year Follow-Up Case Series. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 38(1), 51-58. <https://doi.org/10.11607/prd.3425>
- Aimetti, M., Ferrarotti, F., Mariani, G. M., Cricenti, L., & Romano, F. (2015). Use of Dental Pulp Stem Cells/Collagen Sponge Biocomplex in the Treatment of Non-Contained Intrabony Defects: A Case Series. *Clin Adv Periodontics*, 5(2), 104-109. <https://doi.org/10.1902/cap.2013.130047>
- Barbier, L., Ramos, E., Mendiola, J., Rodriguez, O., Santamaria, G., Santamaria, J., & Arteagoitia, I. (2018). Autologous dental pulp mesenchymal stem cells for inferior third molar post-extraction socket healing: A split-mouth randomised clinical trial. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 23(4), e469-e477. <https://doi.org/10.4317/medoral.22466>
- Bartold, P., Gronthos, S., Ivanovski, S., Fisher, A., & Hutmacher, D. (2016). Tissue engineered periodontal products. *Journal of periodontal research*, 51(1), 1-15.
- Behnia, A., Haghighat, A., Talebi, A., Nourbakhsh, N., & Heidari, F. (2014). Transplantation of stem cells from human exfoliated deciduous teeth for

- bone regeneration in the dog mandibular defect. *World journal of stem cells*, 6(4), 505.
- Beukers, N. G. F. M., van der Heijden, G. J. M. G., van Wijk, A. J., & Loos, B. G. (2017). Periodontitis is an independent risk indicator for atherosclerotic cardiovascular diseases among 60 174 participants in a large dental school in the Netherlands. *J Epidemiol Community Health*, 71(1), 37-42.
- Brunelli, G., Motroni, A., Graziano, A., D'Aquino, R., Zollino, I., & Carinci, F. (2013). Sinus lift tissue engineering using autologous pulp micro-grafts: A case report of bone density evaluation. *J Indian Soc Periodontol*, 17(5), 644-647. <https://doi.org/10.4103/0972-124x.119284>
- Carasol, M., Llodra, J. C., Fernández-Meseguer, A., Bravo, M., García-Margallo, M. T., Calvo-Bonacho, E.,...Herrera, D. (2016). Periodontal conditions among employed adults in Spain. *Journal of clinical periodontology*, 43(7), 548-556.
- Chen, F.-M., & Jin, Y. (2010). Periodontal tissue engineering and regeneration: current approaches and expanding opportunities. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 16(2), 219-255.
- D'Aquino, R., Trovato, L., Graziano, A., Ceccarelli, G., Angelis, G., Marangini, A.,...Rodriguez y Baena, R. (2016). Periosteum-derived micro-grafts for tissue regeneration of human maxillary bone. *Journal of Translational Science*, 2. <https://doi.org/10.15761/JTS.1000128>
- Darveau, R. P. (2010). Periodontitis: a polymicrobial disruption of host homeostasis. *Nature reviews microbiology*, 8(7), 481-490.
- de Mendonça Costa, A., Bueno, D. F., Martins, M. T., Kerkis, I., Kerkis, A., Fanganiello, R. D.,...Passos-Bueno, M. R. (2008). Reconstruction of large cranial defects in nonimmunosuppressed experimental design with human dental pulp stem cells. *Journal of Craniofacial Surgery*, 19(1), 204-210.
- Ding, G., Liu, Y., Wang, W., Wei, F., Liu, D., Fan, Z.,...Wang, S. (2010). Allogeneic periodontal ligament stem cell therapy for periodontitis in swine. *Stem cells*, 28(10), 1829-1838.
- Dominici, M., Le Blanc, K., Mueller, I., Slaper-Cortenbach, I., Marini, F., Krause, D.,...Horwitz, E. (2006). Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement. *Cytotherapy*, 8(4), 315-317. <https://doi.org/10.1080/14653240600855905>
- Du, J., Shan, Z., Ma, P., Wang, S., & Fan, Z. (2014a). Allogeneic bone marrow mesenchymal stem cell transplantation for periodontal regeneration. *J Dent Res*, 93(2), 183-188. <https://doi.org/10.1177/0022034513513026>
- Du, J., Shan, Z., Ma, P., Wang, S., & Fan, Z. (2014b). Allogeneic Bone Marrow Mesenchymal Stem Cell Transplantation for Periodontal Regeneration. *Journal of dental research*, 93(2), 183-188. <https://doi.org/10.1177/0022034513513026>
- Dye, B. A. (2012). Global periodontal disease epidemiology. *Periodontology 2000*, 58(1), 10-25.
- Fawzy El-Sayed, K. M., Mekhemar, M. K., Beck-Broichsitter, B. E., Bähr, T., Hegab, M., Receveur, J.,...Dörfer, C. E. (2015). Periodontal regeneration employing gingival margin-derived stem/progenitor cells in conjunction with IL-1ra-hydrogel synthetic extracellular matrix. *Journal of clinical periodontology*, 42(5), 448-457.

- Fawzy El-Sayed, K. M., Paris, S., Becker, S. T., Neuschl, M., De Buhr, W., Sälzer, S.,...El-Masry, M. (2012). Periodontal regeneration employing gingival margin-derived stem/progenitor cells: an animal study. *Journal of clinical periodontology*, 39(9), 861-870.
- Feng, F., Akiyama, K., Liu, Y., Yamaza, T., Wang, T. M., Chen, J. H.,...Shi, S. (2010). Utility of PDL progenitors for in vivo tissue regeneration: a report of 3 cases. *Oral Diseases*, 16(1), 20-28.
- Ferrarotti, F., Romano, F., Gamba, M. N., Quirico, A., Giraudi, M., Audagna, M., & Aimetti, M. (2018). Human intrabony defect regeneration with micrografts containing dental pulp stem cells: A randomized controlled clinical trial. *J Clin Periodontol*, 45(7), 841-850. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12931>
- Giuliani, A., Manescu, A., Langer, M., Rustichelli, F., Desiderio, V., Paino, F.,...Papaccio, G. (2013). Three years after transplants in human mandibles, histological and in-line holotomography revealed that stem cells regenerated a compact rather than a spongy bone: biological and clinical implications. *Stem Cells Transl Med*, 2(4), 316-324. <https://doi.org/10.5966/sctm.2012-0136>
- Gottlow, J., Nyman, S., Karring, T., & Lindhe, J. (1984). New attachment formation as the result of controlled tissue regeneration. *Journal of clinical periodontology*, 11(8), 494-503.
- Graziano, A., Carinci, F., Scolaro, S., & D'Aquino, R. (2013). Periodontal tissue generation using autologous dental ligament micro-grafts: Case report with 6 months follow-up. *Annals of Oral & Maxillofacial surgery*, 1, 1-5. <https://doi.org/10.13172/2052-7837-1-2-711>
- Gronthos, S., Mankani, M., Brahimi, J., Robey, P. G., & Shi, S. (2000). Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 97(25), 13625-13630. <https://doi.org/10.1073/pnas.240309797>
- Guo, W., Chen, L., Gong, K., Ding, B., Duan, Y., & Jin, Y. (2012). Heterogeneous dental follicle cells and the regeneration of complex periodontal tissues. *Tissue Engineering Part A*, 18(5-6), 459-470.
- Hernández-Monjaraz, B., Santiago-Osorio, E., Monroy-García, A., Ledesma-Martínez, E., & Mendoza-Núñez, V. M. (2018). Mesenchymal stem cells of dental origin for inducing tissue regeneration in periodontitis: a mini-review. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 944.
- Honda, M. J., Imaizumi, M., Tsuchiya, S., & Morsczeck, C. (2010). Dental follicle stem cells and tissue engineering. *Journal of oral science*, 52(4), 541-552.
- Huang, G.-J., Gronthos, S., & Shi, S. (2009). Mesenchymal stem cells derived from dental tissues vs. those from other sources: their biology and role in regenerative medicine. *Journal of dental research*, 88(9), 792-806.
- Ivanovski, S., Vaquette, C., Gronthos, S., Huttmacher, D., & Bartold, P. (2014). Multiphasic scaffolds for periodontal tissue engineering. *Journal of dental research*, 93(12), 1212-1221.
- Kämmerer, P. W., Scholz, M., Baudisch, M., Liese, J., Wegner, K., Frerich, B., & Lang, H. (2017). Guided bone regeneration using collagen scaffolds, growth factors, and periodontal ligament stem cells for treatment of peri-implant bone defects in vivo. *Stem cells international*, 2017(1), 3548435.
- Kawaguchi, H., Hirachi, A., Hasegawa, N., Iwata, T., Hamaguchi, H., Shiba, H.,...Kurihara, H. (2004). Enhancement of Periodontal Tissue Regeneration by Transplantation of Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells. *Journal of*

- Periodontology*, 75(9), 1281-1287.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1902/jop.2004.75.9.1281>
- Kémoun, P., Laurencin-Dalicioux, S., Rue, J., Farges, J.-C., Gennero, I., Conte-Auriol, F.,...Narayanan, A. S. (2007). Human dental follicle cells acquire cementoblast features under stimulation by BMP-2/-7 and enamel matrix derivatives (EMD) in vitro. *Cell and tissue research*, 329(2), 283-294.
- Kim, S., Song, J. S., Jeon, M., Shin, D. M., Kim, S.-O., & Lee, J. H. (2015). Ectopic hard tissue formation by odonto/osteogenically in vitro differentiated human deciduous teeth pulp stem cells. *Calcified tissue international*, 97(1), 80-89.
- Kinane, D. F., Stathopoulou, P. G., & Papapanou, P. N. (2017). Periodontal diseases. *Nature reviews Disease primers*, 3(1), 17038.
- Kunimatsu, R., Nakajima, K., Awada, T., Tsuka, Y., Abe, T., Ando, K.,...Tanimoto, K. (2018). Comparative characterization of stem cells from human exfoliated deciduous teeth, dental pulp, and bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 501(1), 193-198.
- Liu, D., Xu, J., Liu, O., Fan, Z., Liu, Y., Wang, F.,...Wang, S. (2012). Mesenchymal stem cells derived from inflamed periodontal ligaments exhibit impaired immunomodulation. *Journal of clinical periodontology*, 39(12), 1174-1182.
- Magalhaes, F. D., Sarra, G., Carvalho, G. L., Pedroni, A. C. F., Marques, M. M., Chambrone, L.,...Moreira, M. S. (2021). Dental tissue-derived stem cell sheet biotechnology for periodontal tissue regeneration: A systematic review. *Archives of Oral Biology*, 129, 105182.
- Miura, M., Gronthos, S., Zhao, M., Lu, B., Fisher, L. W., Robey, P. G., & Shi, S. (2003). SHED: stem cells from human exfoliated deciduous teeth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(10), 5807-5812.
- Monti, M., Graziano, A., Rizzo, S., Perotti, C., Del Fante, C., d'Aquino, R.,...Rodriguez, Y. B. R. (2017). In Vitro and In Vivo Differentiation of Progenitor Stem Cells Obtained After Mechanical Digestion of Human Dental Pulp. *J Cell Physiol*, 232(3), 548-555.
<https://doi.org/10.1002/jcp.25452>
- Morsezeck, C., & Reichert, T. E. (2018). Dental stem cells in tooth regeneration and repair in the future. *Expert Opin Biol Ther*, 18(2), 187-196.
<https://doi.org/10.1080/14712598.2018.1402004>
- Mrozik, K. M., Wada, N., Marino, V., Richter, W., Shi, S., Wheeler, D. L.,...Bartold, P. M. (2013). Regeneration of periodontal tissues using allogeneic periodontal ligament stem cells in an ovine model. *Regenerative medicine*, 8(6), 711-723.
- Nakajima, K., Kunimatsu, R., Ando, K., Ando, T., Hayashi, Y., Kihara, T.,...Kaku, M. (2018). Comparison of the bone regeneration ability between stem cells from human exfoliated deciduous teeth, human dental pulp stem cells and human bone marrow mesenchymal stem cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 497(3), 876-882.
- Papaccio, G., Graziano, A., d'Aquino, R., Graziano, M. F., Pirozzi, G., Menditti, D.,...Laino, G. (2006). Long-term cryopreservation of dental pulp stem cells (SBP-DPSCs) and their differentiated osteoblasts: a cell source for tissue repair. *J Cell Physiol*, 208(2), 319-325. <https://doi.org/10.1002/jcp.20667>
- Park, C. H., Kim, K.-H., Lee, Y.-M., & Seol, Y.-J. (2016). Advanced Engineering Strategies for Periodontal Complex Regeneration. *Materials*, 9(1), 57.

- Park, J.-Y., Jeon, S. H., & Choung, P.-H. (2011). Efficacy of periodontal stem cell transplantation in the treatment of advanced periodontitis. *Cell transplantation*, 20(2), 271-286.
- Petite, H., Viateau, V., Bensaïd, W., Meunier, A., de Pollak, C., Bourguignon, M.,...Guillemin, G. (2000). Tissue-engineered bone regeneration. *Nat Biotechnol*, 18(9), 959-963. <https://doi.org/10.1038/79449>
- Pihlstrom, B. L., Michalowicz, B. S., & Johnson, N. W. (2005). Periodontal diseases. *The lancet*, 366(9499), 1809-1820.
- Pittenger, M. F., Discher, D. E., Péault, B. M., Phinney, D. G., Hare, J. M., & Caplan, A. I. (2019). Mesenchymal stem cell perspective: cell biology to clinical progress. *NPJ Regenerative medicine*, 4(1), 22.
- Pittenger, M. F., Mackay, A. M., Beck, S. C., Jaiswal, R. K., Douglas, R., Mosca, J. D.,...Marshak, D. R. (1999). Multilineage potential of adult human mesenchymal stem cells. *Science*, 284(5411), 143-147. <https://doi.org/10.1126/science.284.5411.143>
- Pradel, W., Eckelt, U., & Lauer, G. (2006). Bone regeneration after enucleation of mandibular cysts: comparing autogenous grafts from tissue-engineered bone and iliac bone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101(3), 285-290. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.06.001>
- Pradel, W., & Lauer, G. (2012). Tissue-engineered bone grafts for osteoplasty in patients with cleft alveolus. *Ann Anat*, 194(6), 545-548. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2012.06.002>
- Pradel, W., Mai, R., Manolo Hagedorn, G., Lauer, G., & Allegrini, S., Jr. (2008). The biomaterial influences the ossification after sinus floor elevation using tissue-engineered bone grafts. *Biomed Tech (Berl)*, 53(5), 224-228. <https://doi.org/10.1515/bmt.2008.034>
- Rácz, G. Z., Kádár, K., Földes, A., Kálló, K., Perczel-Kovács, K. E., Kerémi, B.,...Varga, G. (2014). Immunomodulatory and potential therapeutic role of mesenchymal stem cells in periodontitis.
- Rikitake, K., Kunimatsu, R., Yoshimi, Y., Nakajima, K., Hiraki, T., Aisyah Rizky Putranti, N.,...Hayashi, Y. (2023). Effect of CD146+ SHED on bone regeneration in a mouse calvaria defect model. *Oral Diseases*, 29(2), 725-734.
- Seo, B.-M., Miura, M., Gronthos, S., Mark Bartold, P., Batouli, S., Brahimi, J.,...Shi, S. (2004). Investigation of multipotent postnatal stem cells from human periodontal ligament. *The lancet*, 364(9429), 149-155. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16627-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16627-0)
- Seo, B.-M., Miura, M., Sonoyama, W., Coppe, C., Stanyon, R., & Shi, S. (2005). Recovery of stem cells from cryopreserved periodontal ligament. *Journal of dental research*, 84(10), 907-912.
- Shalini, H. S., & Vandana, K. L. (2018). Direct application of autologous periodontal ligament stem cell niche in treatment of periodontal osseous defects: A randomized controlled trial. *J Indian Soc Periodontol*, 22(6), 503-512.
- Shetty, S. S., Sowmya, S., Pradeep, A., & Jayakumar, R. (2025). Gingival mesenchymal stem cells: A periodontal regenerative substitute. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 22(1), 1-21.
- Sonoyama, W., Liu, Y., Yamaza, T., Tuan, R. S., Wang, S., Shi, S., & Huang, G. T.-J. (2008). Characterization of the apical papilla and its residing stem cells from

- human immature permanent teeth: a pilot study. *Journal of endodontics*, 34(2), 166-171.
- Tsutsui, T. W. (2020). Dental Pulp Stem Cells: Advances to Applications. *Stem Cells Cloning*, 13, 33-42. <https://doi.org/10.2147/sccaa.s166759>
- Vasconcelos, R. G., Ribeiro, R. A., Vasconcelos, M. G., Lima, K. C., & Barboza, C. A. G. (2012). In vitro comparative analysis of cryopreservation of undifferentiated mesenchymal cells derived from human periodontal ligament. *Cell and tissue banking*, 13(3), 461-469.
- Wada, N., Menicanin, D., Shi, S., Bartold, P. M., & Gronthos, S. (2009). Immunomodulatory properties of human periodontal ligament stem cells. *J Cell Physiol*, 219(3), 667-676.
- Wei, N., Gong, P., Liao, D., Yang, X., Li, X., Liu, Y.,...Tan, Z. (2010). Auto-transplanted mesenchymal stromal cell fate in periodontal tissue of beagle dogs. *Cytotherapy*, 12(4), 514-521. <https://doi.org/10.3109/14653241003709702>
- Xu, L., Tang, L., Jin, F., Liu, X. H., Yu, J. H., Wu, J. J.,...Jin, Y. (2009). The apical region of developing tooth root constitutes a complex and maintains the ability to generate root and periodontium-like tissues. *Journal of periodontal research*, 44(2), 275-282.
- Yang, X., Ma, Y., Guo, W., Yang, B., & Tian, W. (2019). Stem cells from human exfoliated deciduous teeth as an alternative cell source in bio-root regeneration. *Theranostics*, 9(9), 2694.
- Yokoi, T., Saito, M., Kiyono, T., Iseki, S., Kosaka, K., Nishida, E.,...Noguchi, T. (2007). Establishment of immortalized dental follicle cells for generating periodontal ligament in vivo. *Cell and tissue research*, 327(2), 301-311.
- Yu, M., Ge, S., Wang, F., Wen, Y., Yan, X., Zeng, Q.,...Pei, X. (2013). The role of systemically delivered bone marrow-derived mesenchymal stem cells in the regeneration of periodontal tissues. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 28(6), e503-511. <https://doi.org/10.11607/jomi.te31>
- Yu, X., Ge, S., Chen, S., Xu, Q., Zhang, J., Guo, H., & Yang, P. (2014). Human gingiva-derived mesenchymal stromal cells contribute to periodontal regeneration in beagle dogs. *Cells Tissues Organs*, 198(6), 428-437.
- Zhai, Q., Dong, Z., Wang, W., Li, B., & Jin, Y. (2019). Dental stem cell and dental tissue regeneration. *Frontiers of medicine*, 13(2), 152-159.
- Zhang, C., Yan, B., Cui, Z., Cui, S., Zhang, T., Wang, X.,...Zhou, Y. (2017). Bone regeneration in minipigs by intrafibrillarly-mineralized collagen loaded with autologous periodontal ligament stem cells. *Scientific reports*, 7(1), 10519.
- Zhang, J., An, Y., Gao, L.-N., Zhang, Y.-J., Jin, Y., & Chen, F.-M. (2012). The effect of aging on the pluripotential capacity and regenerative potential of human periodontal ligament stem cells. *Biomaterials*, 33(29), 6974-6986.
- Zhou, W., & Mei, L. (2012). Effect of autologous bone marrow stromal cells transduced with osteoprotegerin on periodontal bone regeneration in canine periodontal window defects. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 32(5), e174-181.
- Zhu, W., & Liang, M. (2015). Periodontal ligament stem cells: current status, concerns, and future prospects. *Stem cells international*, 2015(1), 972313.

Periodontal Defektlerin Görüntüleme Yöntemleri

İzzet Melih GÜRKAN¹

Hakan ÖZDEMİR²

- 1- Arş. Gör.; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji Anabilim Dalı.
melihgurkan468@gmail.com ORCID No: 0000-0002-7267-4798
- 2- Prof. Dr.; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji Anabilim Dalı.
hozdemir@ogu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9550-1999

ÖZET

Periodontal hastalıkların tanısı ve tedavi planlamasında klinik periodontal muayene temel değerlendirme yöntemi olmakla birlikte, radyografik görüntüleme alveoler kemik kaybının miktarının, dağılımının ve morfolojisinin belirlenmesinde vazgeçilmez bir yardımcı tanı aracıdır. Bu bölümde periodontolojide kullanılan güncel görüntüleme yöntemleri, tanısal doğrulukları, klinik endikasyonları, avantajları ve sınırlılıkları güncel literatür ışığında ele alınmıştır. İlk olarak iki boyutlu görüntüleme yöntemleri olan bite-wing, periapikal ve panoramik radyografilerin periodontal tanıdaki rolleri, kullanım alanları ve kısıtlılıkları değerlendirilmiştir. Ardından bilgisayarlı tomografi ve özellikle konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (CBCT) periodontal kemik defektleri, intrabony defektler, furkasyon tutulumları, dehisens ve fenestrasyonların değerlendirilmesindeki katkıları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunun yanında ALADAIP (As Low As Diagnostically Acceptable, being Indication-oriented and Patient-specific) ilkesi doğrultusunda endikasyona dayalı görüntüleme yaklaşımı vurgulanmış; gereksiz radyasyon maruziyetinden kaçınmanın önemi üzerinde durulmuştur. Ayrıca yapay zekâ destekli görüntü analiz sistemlerinin periodontal radyolojideki güncel ve potansiyel kullanım alanları özetlenmiştir. Sonuç olarak, periodontal görüntüleme yöntemlerinin seçimi hastanın klinik gereksinimleri doğrultusunda yapılmalı; iki boyutlu radyografiler rutin değerlendirmede ilk tercih olmaya devam ederken, CBCT yalnızca ek üç boyutlu bilginin tanı veya tedavi planını değiştireceği seçilmiş olgularda kullanılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Periodontitis, radyografik görüntüleme, alveoler kemik kaybı, periodontal tanı, CBCT

GİRİŞ

Periodontal dokular; dişeti, periodontal ligament, sement ve alveol kemiğinden oluşan, dişlerin desteklenmesini sağlayan fonksiyonel yapılardır. Periodontal hastalıklar ise bu dokuları etkileyen, mikrobiyal dental biyofilmin başlattığı ve konağın immün-inflamatuvar yanıtı ile şekillenen kronik inflamatuvar hastalıklardır. Primer etiyolojik faktör dental biyofilm olmakla birlikte; yetersiz ağız hijyeni, taşkın restorasyonlar, diş taşı, anatomik retantif alanlar, furkasyon tutulumları ve diğer lokal retansiyon faktörleri biyofilm birikimini kolaylaştırarak periodontal hastalıkların başlaması ve ilerlemesinde önemli rol oynamaktadır (Kinane vd., 2017: 17038; Papapanou vd., 2018: 173).

Periodontal hastalıkların en sık görülen formu dental biyofilmin neden olduğu gingivitistir. Gingivitis, inflamasyonun yalnızca gingival dokularla sınırlı olduğu, klinik ataşman ve alveoler kemik kaybının görülmediği,

uygun periodontal tedavi ile tamamen geri döndürülebilen bir hastalıktır. İnflamasyonun periodontal ligament ve alveoler kemiğe yayılması ise periodontitis gelişimini ifade etmektedir (Murakami vd., 2018: 17). Periodontitis; periodontal ligament, sement ve alveoler kemiğin ilerleyici yıkımı ile karakterize, klinik ataşman kaybı ve alveoler kemik rezorpsiyonuna yol açan kronik multifaktöriyel bir hastalıktır. Alveoler kemik bütünlüğü fizyolojik koşullarda kemik yapımı ve rezorpsiyonu arasındaki denge ile korunurken, bu dengenin rezorpsiyon lehine bozulması kemik yüksekliği ve kemik mineral yoğunluğunda azalmaya neden olmaktadır. Konak-mikrobiyal dengenin bozulması sonucunda gelişen periodontitis, periodontal cep oluşumu, klinik ataşman kaybı ve alveoler kemik yıkımı ile sonuçlanmakta; tedavi edilmediğinde diş kaybına kadar ilerleyebilmektedir (Hajishengallis, 2014: 3; Kinane vd., 2017: 17038).

Periodontal hastalıkların tanısı; ayrıntılı anamnez, klinik periodontal muayene ve radyografik değerlendirmenin birlikte yorumlanmasına dayanmaktadır. Klinik muayene periodontal dokuların inflamatuvar durumunu ve klinik ataşman kaybını ortaya koyarken, radyografik inceleme alveoler kemik seviyesinin, kemik defektlerinin morfolojisinin ve periodontal yıkımın yaygınlığının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte radyografiler yalnızca mineralize dokular hakkında bilgi vermekte olup, aktif inflamasyonun veya yumuşak doku değişikliklerinin doğrudan değerlendirilmesine imkân tanımamaktadır. Bu nedenle periodontal tanıda klinik ve radyografik bulguların birlikte değerlendirilmesi esastır (Jacobs vd., 2024: 51; Mol, 2004: 34).

Son yıllarda dijital görüntüleme sistemleri, konik ışınli bilgisayarlı tomografi ve yapay zekâ destekli görüntü analiz yöntemlerindeki gelişmeler periodontal defektlerin daha ayrıntılı ve objektif olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bununla birlikte, her görüntüleme yönteminin kendine özgü avantajları, sınırlılıkları ve klinik endikasyonları bulunduğundan görüntüleme tekniği hastanın bireysel gereksinimleri ve ALADAIP ilkesi doğrultusunda seçilmelidir (Horner vd., 2018; Mendonça vd., 2025: 14).

Periodontal Defektlerin Görüntülenmesinde Kullanılan İki Boyutlu Görüntüleme Yöntemleri

Periodontal hastalıklar sonucunda meydana gelen alveoler kemik kaybının yalnızca klinik muayene ile doğru şekilde değerlendirilmesi mümkün değildir. Klinik periodontal muayene; cep derinliği, klinik ataşman kaybı ve sondlamada kanama gibi parametreler hakkında önemli bilgiler sağlasa da alveoler kemik yıkımının miktarı, dağılımı ve morfolojisinin belirlenmesinde radyografik incelemeye gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle periodontal hastalıkların tanısı, evrelendirilmesi, tedavi planlaması ve tedavi sonrası izlemi sırasında klinik ve radyografik bulgular birlikte değerlendirilmelidir (Mol, 2004: 34; Papapanou vd., 2018: 173).

Günümüzde periodontal görüntülemede en sık kullanılan iki boyutlu radyografik yöntemler; bite-wing, periapikal ve panoramik radyografilerdir.

Bu yöntemler düşük radyasyon dozu, kolay uygulanabilir olmaları, yaygın erişilebilirlikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle periodontal muayenenin temel görüntüleme yöntemleri olmayı sürdürmektedir. Bununla birlikte iki boyutlu görüntülerde anatomik yapıların süperpozisyonu, bukkal ve lingual kortikal kemik plaklarının ayrı ayrı değerlendirilememesi, geometrik distorsiyon ve büyütme gibi nedenlerle bazı periodontal defektlerin doğru şekilde görüntülenmesi mümkün olmayabilmektedir. Özellikle intrabony defektlerin morfolojisi, furkasyon lezyonlarının gerçek yaygınlığı ile bukkal ve lingual kemik kayıplarının değerlendirilmesinde iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin tanısallık doğruluğu sınırlıdır (Mol, 2004: 34; Vandenberghe vd., 2007: 395).

Buna rağmen uygun endikasyonla kullanıldığında iki boyutlu radyografiler periodontal hastalıkların ilk değerlendirilmesinde, alveoler kemik seviyesinin belirlenmesinde, tedavi planlamasında ve tedavi sonrası kemik değişikliklerinin izlenmesinde güvenilir bilgiler sağlamaktadır. Avrupa Periodontoloji Federasyonu (EFP) ve Avrupa Dentomaksillofasiyal Radyoloji Akademisi (EADMFR), radyografik incelemenin rutin olarak değil, klinik gereksinim doğrultusunda gerçekleştirilmesini ve görüntüleme yönteminin hastanın bireysel ihtiyaçlarına göre seçilmesini önermektedir (Horner vd., 2018; Sanz vd., 2020: 4).

Periodontal hastalık sonucunda ortaya çıkan alveoler kemik kayıplarını sadece klinik muayene ile saptamak oldukça güçtür. Tanı, temel olarak klinik ataşman seviyesinin belirlenmesi ve bu bilginin radyografik olarak da desteklenmesiyle konulabilmektedir. Periodontal hastalığın tanı ve tedavisinde başvurulacak çok sayıda farklı görüntüleme tekniği bulunmaktadır. Bunlardan en sıklıkla kullanılanları; ısırtma (bite-wing) radyografileri, periapikal ve panoramik radyografilerdir (Mol, 2004: 34).

1. Bite-Wing Radyografisi

Bite-wing radyografiler, filmin horizontal olarak yerleştirilmesiyle elde edilen intraoral görüntüleme yöntemlerinden biridir. Diş hekimliğinde yaygın olarak proksimal çürüklerin tanısında kullanılmasının yanı sıra, özellikle erken ve orta dereceli periodontal hastalıklarda posterior bölgede alveoler kemik seviyesinin değerlendirilmesinde de önemli bir yere sahiptir (Mol, 2004: 34). Mine-sement sınırı ile alveoler kret arasındaki mesafenin güvenilir şekilde görüntülenebilmesi sayesinde horizontal kemik kaybının değerlendirilmesinde yüksek tanısallık doğruluk sağlamaktadır (Vandenberghe vd., 2007: 395).

Bite-wing radyografilerde standart film tutucuların kullanılması, seri radyografiler arasında geometrik standardizasyon sağlayarak periodontal tedavi sonrası kemik seviyesindeki değişikliklerin daha güvenilir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Aynı projeksiyon geometrisinin korunması, özellikle longitudinal takip çalışmalarında ölçüm hatalarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Mol, 2004: 34). Bu teknik, dişlerin apikal bölgeleri hakkında bilgi vermemekle birlikte, tek bir radyografide birden

fazla posterior diş ve çevresindeki alveoler kemiğin görüntülenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle periodontal hastalığın erken dönemlerinde posterior bölgede meydana gelen horizontal kemik kayıplarının değerlendirilmesinde ilk tercih edilen radyografik yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Lang vd., 2021).

Alveoler kemik kaybının kökün orta üçlüsünü geçtiği ileri periodontitis olgularında ise horizontal bite-wing görüntüleri yetersiz kalabilmektedir. Bu durumlarda reseptörün dikey yerleştirildiği vertikal bite-wing tekniği tercih edilmektedir. Vertikal bite-wing radyografiler daha geniş alveoler kemik yüksekliğinin görüntülenmesine olanak sağladığından orta ve ileri derecedeki periodontal yıkımın değerlendirilmesinde daha başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak görüntülenen alanın daralması nedeniyle aynı bölgenin değerlendirilmesi için horizontal bite-wing tekniğine kıyasla daha fazla radyografi alınması gerekebilmektedir (Whaites ve Drage, 2023).

Bununla birlikte bite-wing radyografilerin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Apikal bölgelerin görüntülenememesi nedeniyle periapikal patolojiler değerlendirilemez. Ayrıca iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin doğası gereği bukkal ve lingual kortikal kemik plakları birbirinden ayrı olarak değerlendirilemez ve intrabony defektlerin gerçek morfolojisi tam olarak ortaya konulamaz. Furkasyon lezyonlarının erken dönem tanısındaki duyarlılığının sınırlı olması nedeniyle ileri periodontal defektlerin değerlendirilmesinde periapikal radyografiler veya üç boyutlu görüntüleme yöntemleri ile birlikte kullanılması önerilmektedir (Mol, 2004: 34; Vandenberghe vd., 2007: 395).

Horizontal Bite-Wing Radyografilerin Avantajları: (Whaites ve Drage, 2023)

- Posterior bölgede alveoler kemik seviyesinin değerlendirilmesinde yüksek tanısal doğruluk sağlar.
- Horizontal kemik kaybının erken dönemde saptanmasına olanak tanır.
- Tek radyografide birden fazla diş değerlendirilebilir.
- Seri radyografilerde standardizasyon sağlanarak tedavi sonrası kemik değişiklikleri güvenilir şekilde izlenebilir.
- Düşük radyasyon dozu ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle rutin periodontal değerlendirmede sıklıkla tercih edilir.

Horizontal Bite-Wing Radyografilerin Dezavantajları: (Whaites ve Drage, 2023)

- Apikal bölgeler görüntülenemez.
- Derin intrabony defektlerin gerçek morfolojisi değerlendirilemez.
- Endo-periodontal lezyonların değerlendirilmesinde yetersiz kalabilir.
- Bukkal ve lingual kemik plakları ayrı ayrı değerlendirilemez.

Vertikal Bite-Wing Radyografilerin Avantajları: (Mallya ve Lam, 2018)

- İleri periodontal yıkım bulunan olgularda alveoler kemik yüksekliği daha geniş bir alanda görüntülenebilir.
 - Orta ve ileri derecedeki horizontal kemik kayıplarının değerlendirilmesinde horizontal bite-wing tekniğine göre daha başarılıdır.
 - Posterior bölgede periodontal tedavi planlamasına katkı sağlar.
- Vertikal Bite-Wing Filmlerin Dezavantajları:*** (Mallya ve Lam, 2018)
- Aynı anatomik bölgenin değerlendirilmesi için daha fazla radyografi alınması gerekebilir.
 - Horizontal bite-wing tekniğine göre daha az sayıda diş görüntülenebilir.
 - Apikal bölge değerlendirilemez.
 - Üç boyutlu kemik defektlerinin değerlendirilmesinde sınırlıdır.

2. Periapikal Radyografi

Periapikal radyografiler, periodontal dokuların değerlendirilmesinde en yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinden biridir. Mine-sement sınırından kök apeksine kadar tüm dişin ve çevresindeki alveoler kemiğin ayrıntılı olarak görüntülenebilmesi, bu yöntemin periodontal tanıda önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır (Mol, 2004: 34). Özellikle uzun kon ve paralel tekniğin kullanılması, görüntü distorsiyonunu en aza indirerek alveoler kemik seviyesinin daha doğru değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Mallya ve Lam, 2018; Whaites ve Drage, 2023). Periapikal radyografiler, alveoler kemik seviyesinin değerlendirilmesinin yanı sıra periodontal ligament aralığı, lamina dura bütünlüğü, kök morfolojisi, periapikal patolojiler ve endodontik-periodontal lezyonların ayırıcı tanısında da önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle periodontal muayene sırasında, özellikle ileri kemik kaybı bulunan olgularda ve apikal bölgenin değerlendirilmesinin gerekli olduğu durumlarda bite-wing radyografileri tamamlayıcı nitelikte kullanılmaktadır (Lang vd., 2021). Anterior bölgede anatomik yapıların süperpozisyonunun daha az olması nedeniyle periapikal radyografiler, özellikle ön dişlerde alveoler kemik seviyesinin değerlendirilmesinde panoramik radyografiye göre daha yüksek görüntü kalitesi sunmaktadır. Ayrıca intrabony defektlerin varlığı, kök yüzeyi düzensizlikleri, rezorpsiyonlar ve periodontal tedavi sonrasında meydana gelen kemik değişikliklerinin izlenmesinde de güvenilir bilgiler sağlamaktadır (Mallya ve Lam, 2018).

Bununla birlikte periapikal radyografiler, iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin genel sınırlılıklarını taşımaktadır. Bukkal ve lingual kortikal kemik plaklarının birbirinden ayrı değerlendirilememesi, anatomik yapıların süperpozisyonu ve kemik defektlerinin üç boyutlu morfolojisinin tam olarak ortaya konulamaması yöntemin başlıca dezavantajlarıdır. Ayrıca tüm ağız periodontal değerlendirmesi amacıyla çok sayıda periapikal radyografi alınması; görüntüleme süresini uzatmakta, hasta konforunu azaltmakta ve panoramik radyografiye göre daha yüksek toplam radyasyon dozuna neden

olabilmektedir. Bu nedenle günümüzde panoramik radyografi ile birlikte, yalnızca gerekli bölgelerde periapikal radyografilerin alınması daha rasyonel bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Sanz vd., 2020: 4).

Avantajları: (Whaites ve Drage, 2023)

- Yüksek uzaysal çözünürlük sayesinde ayrıntılı görüntü sağlar.
- Dişin tamamı ile birlikte apeks ve çevre alveoler kemik değerlendirilebilir.
- Periodontal ligament aralığı ve lamina dura ayrıntılı olarak incelenebilir.
- Endodontik-periodontal lezyonların ayırıcı tanısına katkı sağlar.
- İntrabony defektlerin ve periodontal tedavi sonrası kemik değişikliklerinin değerlendirilmesinde güvenilir bilgiler sunar.
- Paralel teknik kullanıldığında boyutsal doğruluğu yüksektir.

Dezavantajları: (Whaites ve Drage, 2023)

- Tüm ağız değerlendirmesi için çok sayıda radyografi alınması gerekebilir.
- Görüntüleme süresi panoramik radyografiye göre daha uzundur.
- Toplam radyasyon dozu panoramik radyografiden daha yüksektir.
- Bukkal ve lingual kemik plakları ayrı ayrı değerlendirilemez.
- Üç boyutlu kemik defektlerinin gerçek morfolojisi tam olarak ortaya konulamaz.

3. Panoramik Radyografi

Panoramik radyografi, maksilla ve mandibula ile birlikte tüm dentisyonun ve çevre anatomik yapıların tek bir görüntü üzerinde değerlendirilmesine olanak sağlayan iki boyutlu ekstraoral bir görüntüleme yöntemidir. Geniş görüntüleme alanı, hasta tarafından kolay tolere edilmesi ve tüm ağız periapikal radyografi serisine kıyasla daha kısa sürede uygulanabilmesi nedeniyle diş hekimliğinde başlangıç radyografik değerlendirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Periodontal açıdan panoramik radyografiler; alveoler kemik kaybının genel dağılımının, kaybın horizontal veya vertikal karakterinin, ileri furkasyon tutulumlarının, diş taşlarının ve eşlik eden dental ya da çene patolojilerinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, periodontal hastalık tanısı yalnızca panoramik radyografi üzerinden konulmamalı; radyografik bulgular klinik ataşman kaybı, sondalama derinliği, sondalamada kanama ve furkasyon değerlendirmesi gibi klinik bulgularla birlikte yorumlanmalıdır (Langland vd., 2002; Whaites ve Drage, 2023).

Panoramik görüntüleme sistemlerinde yalnızca görüntü tabakası (focal trough/image layer) içerisinde yer alan yapılar kabul edilebilir keskinlikte görüntülenmektedir. Bu alanın dışında kalan anatomik yapılar ise bulanık, distorsiyona uğramış veya magnifiye şekilde izlenebilir. Hasta başının öne ya da arkaya eğilmesi, orta sagittal düzlemin hatalı konumlandırılması, dilin damağa temas ettirilmemesi ve hastanın çekim sırasında hareket etmesi

görüntü kalitesini önemli ölçüde azaltabilir. Özellikle premolar bölgelerde görülen aproksimal süperpozisyonlar, servikal omurların anterior bölge üzerine yansımaları, hayalet görüntüler ve farklı bölgelerde değişkenlik gösteren horizontal ve vertikal magnifikasyon, periodontal yapıların değerlendirilmesini güçleştirebilir (Langland vd., 2002; Mallıya ve Lam, 2018).

Panoramik radyografilerin uzaysal çözünürlüğü intraoral radyografilere göre daha düşüktür. Bu nedenle mine-sement sınırı ile alveoler kret arasındaki mesafenin hassas biçimde ölçülmesi, erken veya sınırlı interproksimal kemik kaybının saptanması ve küçük açısız kemik defektlerinin değerlendirilmesi panoramik görüntülerde güç olabilir. Cerrahi ölçümlerle karşılaştırılan klasik çalışmalarda bütün iki boyutlu radyografi yöntemlerinin kemik kaybını belirli ölçüde olduğundan az gösterdiği, ancak periapikal radyografinin marginal kemik düzeyi ölçümlerinde panoramik radyografiden daha doğru olduğu bildirilmiştir (Mol, 2004: 34).

Bununla birlikte, panoramik radyografi özellikle yaygın ve orta-ileri düzeydeki alveoler kemik kaybının genel dağılımının belirlenmesinde klinik açıdan yararlı bilgiler sağlayabilir. Periodontal idame hastalarında panoramik ve intraoral radyografilerden elde edilen alveoler kemik düzeyi değerlendirmeleri arasında yüksek uyum bildirildiği için, uygun seçilmiş hastalarda panoramik radyografi genel periodontal durumun değerlendirilmesinde kullanılabilir; ancak ayrıntılı bölgesel inceleme gerektiğinde intraoral radyografilerle desteklenmelidir (Mol, 2004: 34; Pepelassi ve Diamanti-Kipioti, 1997: 557).

Güncel bir çalışmada panoramik radyografinin alveoler kemik kaybını saptamadaki genel doğruluğu yaklaşık %85, konik ışıklı bilgisayarlı tomografi ile uyumu ise kabul edilebilir düzeyde bulunmuştur. Bununla birlikte panoramik radyografinin bazı anterior bölgelerde kemik kaybı miktarını daha düşük ölçebildiği gösterilmiştir. Bu sonuçlar, panoramik radyografinin alveoler kemik kaybının taranması ve genel dağılımının değerlendirilmesi açısından yararlı olduğunu; ancak kesin ve bölgeye özgü doğrusal ölçümlerde tek başına yeterli olmayabileceğini göstermektedir (Anbiace ve Pahlavanzadeh, 2024: 70042).

Panoramik radyografiler, radyografik kemik kaybı yüzdesinin değerlendirilmesi yoluyla periodontitis olgularının taranmasına ve hastalığın şiddetinin ön değerlendirmesine de katkı sağlayabilir. Bununla birlikte radyografik kemik kaybı, geçmişte meydana gelmiş kümülatif doku yıkımını gösterir ve hastalığın güncel aktivitesini tek başına ortaya koymaz. Bu nedenle panoramik görüntülerden yapılan kemik kaybı değerlendirmeleri, klinik periodontal muayenenin alternatifi değil, tamamlayıcısı olarak kabul edilmelidir (Machado vd., 2020).

Son yıllarda geliştirilen yapay zekâ destekli görüntü analiz sistemleri, panoramik radyografiler üzerinde dişlerin ve alveoler kemik sınırlarının otomatik olarak belirlenmesi, radyografik kemik kaybı yüzdesinin

hesaplanması, kemik kaybı paterninin sınıflandırılması ve furkasyon defektlerinin saptanması açısından umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Bununla birlikte bu sistemlerin farklı cihazlarda, hasta gruplarında ve klinik ortamlarda dış doğrulamalarının yapılması gerekmekte olup, günümüzde klinisyenin değerlendirmesinin yerine geçmekten çok karar destek aracı olarak kullanılmaları daha uygundur (Mol, 2004: 34; Pepelassi ve Diamanti-Kipioti, 1997: 557).

Avantajları: (Mallya ve Lam, 2018)

- Tek bir ışınlama ile maksilla, mandibula, tüm dentisyon ve çevre anatomik yapıların genel değerlendirilmesine olanak sağlar.
- Geniş görüntüleme alanı sayesinde periodontal kemik kaybının ağız içerisindeki genel dağılımı değerlendirilebilir.
- İleri horizontal ve vertikal kemik kayıpları ile belirgin furkasyon tutulumlarının saptanmasına katkı sağlar.
- İntraoral reseptörleri tolere edemeyen, öğürme refleksi bulunan veya ağız açıklığı sınırlı hastalarda uygulanması daha kolaydır.
- Periodontal bulgularla birlikte gömülü dişler, periapikal lezyonlar ve çenelerdeki diğer patolojik oluşumlar hakkında genel bilgi sağlar.
- Tüm ağız periapikal radyografi serisine göre görüntüleme işlemi daha kısa sürede tamamlanabilir.

Dezavantajları: (Mallya ve Lam, 2018)

- Görüntü çözünürlüğü intraoral radyografilere göre daha düşüktür.
- Erken dönem ve sınırlı interproksimal kemik kayıplarının saptanmasındaki duyarlılığı düşüktür.
- Mine-sement sınırı ve alveoler kret gibi küçük anatomik referans noktaları her bölgede net olarak seçilemeyebilir.
- Premolar bölgelerde aproksimal yüzeylerin süperpozisyonu görülebilir.
- Servikal omurların gölgesi anterior bölgenin değerlendirilmesini güçleştirebilir.
- Magnifikasyon ve distorsiyon görüntünün farklı bölgelerinde değişkenlik gösterdiği için hassas doğrusal ölçümler sınırlıdır.
- Bukkal ve lingual kemik yüzeyleri iki boyutlu görüntü üzerinde birbirinden ayrı olarak değerlendirilemez.
- Hasta konumlandırma ve hareket hatalarından belirgin şekilde etkilenir.
- Küçük kemik içi defektlerin ve erken furkasyon tutulumlarının değerlendirilmesinde periapikal radyografi veya gerekli seçilmiş olgularda üç boyutlu görüntüleme ile desteklenmesi gerekebilir.

4. Görüntüleme Yöntemlerinin Seçim Kriterleri

Periodontal hastalıkların tanısında kullanılacak görüntüleme yönteminin seçimi, hastanın klinik bulguları, tedavi gereksinimleri ve beklenen tanısal katkı dikkate alınarak yapılmalıdır. Radyografik

incelemeler tek başına periodontal tanı koydurucu yöntemler olmayıp, klinik periodontal muayeneyi tamamlayan yardımcı tanı araçlarıdır. Bu nedenle görüntüleme yöntemi seçilirken klinik ataşman kaybı, sondalama derinliği, sondalamada kanama, diş mobilitesi, furkasyon tutulumu, plak kontrolü ve planlanan periodontal tedavi birlikte değerlendirilmelidir. Gereksiz radyografik incelemelerden kaçınılmalı ve her hastada elde edilecek tanısal fayda ile radyasyon maruziyeti dengelenmelidir (Jacobs vd., 2024: 51; Mol, 2004: 34)

Günümüzde radyasyondan korunma yaklaşımı yalnızca hastaya verilen dozun azaltılmasını değil, aynı zamanda uygun görüntüleme yönteminin doğru endikasyonda kullanılmasını da kapsamaktadır. Bu doğrultuda benimsenen ALADAIP ilkesi; radyografik incelemenin açık bir klinik endikasyona dayanmasını, hastaya özgü olarak planlanmasını ve tanısal açıdan kabul edilebilir en düşük radyasyon dozu ile gerçekleştirilmesini önermektedir. Böylece gereksiz görüntülemelerin önüne geçilirken tanısal doğruluktan ödün verilmemesi amaçlanmaktadır (Mendonça vd., 2025: 14).

Erken veya orta düzey periodontal yıkım şüphesi bulunan olgularda interproksimal alveoler kemik seviyesinin değerlendirilmesinde horizontal bite-wing radyografiler en uygun iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinden biridir. Daha ileri periodontal yıkımın bulunduğu, vertikal kemik defektlerinin düşünüldüğü veya periodontal ceplerin derin olduğu hastalarda ise vertikal bite-wing radyografiler tercih edilmelidir. Apikal bölgenin değerlendirilmesi gerektiğinde, periodontal-endodontik lezyonların ayırıcı tanısında veya kök morfolojisinin ayrıntılı olarak incelenmesinde ise paralel teknikte elde edilen periapikal radyografiler kullanılmalıdır (Mallya ve Lam, 2018; Whaites ve Drage, 2023).

Panoramik radyografi, tüm dentisyonun ve çene kemiklerinin tek görüntü üzerinde değerlendirilebilmesine olanak sağlaması nedeniyle başlangıç periodontal değerlendirmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Yaygın alveoler kemik kaybının genel dağılımının belirlenmesi, gömülü dişlerin, periapikal lezyonların ve diğer çene patolojilerinin aynı görüntü üzerinde değerlendirilebilmesi panoramik radyografinin önemli üstünlükleridir. Bununla birlikte erken interproksimal kemik kaybı, küçük intrabony defektler ve başlangıç furkasyon lezyonlarının değerlendirilmesinde intraoral radyografilere göre tanısal duyarlılığı daha düşüktür. Bu nedenle gerekli görülen bölgelerde intraoral radyografiler ile desteklenmesi önerilmektedir (Jacobs vd., 2024: 51; Persson vd., 2003: 833).

Konik ışıklı bilgisayarlı tomografi, periodontal hastalıkların rutin tanısında önerilmemektedir. Bununla birlikte iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı kompleks intrabony defektler, furkasyon lezyonları, periodontal-endodontik lezyonlar, dehisens ve fenestrasyonların değerlendirilmesi ile periodontal rejeneratif cerrahi planlamasında önemli

tanısal avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle CBCT yalnızca elde edilecek ek bilginin tedavi planını değiştireceği ve klinik karar verme sürecine anlamlı katkı sağlayacağı durumlarda kullanılmalıdır (Jacobs vd., 2024: 51; Walter vd., 2010: 436).

Periodontal tedavi sonrasında radyografik takipler belirli zaman aralıklarında rutin olarak değil, hastanın klinik durumu dikkate alınarak planlanmalıdır. Yeni ataşman kaybı şüphesi, cep derinliğinde artış, furkasyon progresyonu, implant çevresi kemik kaybı veya cerrahi tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi gibi klinik endikasyonlar bulunduğunda radyografik inceleme yapılması uygun bir yaklaşımdır. (Jacobs vd., 2024: 51; Sanz vd., 2020: 4).

5. Gelişmiş Görüntüleme Yöntemleri

İki boyutlu radyografiler, periodontal hastalıkların tanısı ve alveoler kemik kaybının değerlendirilmesinde temel görüntüleme yöntemleri olmasına rağmen, üç boyutlu anatomik yapıların iki boyutlu bir görüntüye aktarılması nedeniyle önemli sınırlılıklara sahiptir. Anatomik yapıların süperpozisyonu, geometrik distorsiyon ve bukkal-lingual yöndeki kemik yapılarının ayrı ayrı görüntülenememesi; periodontal defektlerin gerçek derinliğinin, genişliğinin ve duvar morfolojisinin belirlenmesini güçleştirebilir (Jacobs vd., 2024: 51; Mol, 2004: 34).

Bu sınırlılıklar özellikle bukkal ve lingual kortikal kemik kayıpları, dehiscens ve fenestrasyonlar, erken dönem kemik içi defektler ve furkasyon tutulumlarının değerlendirilmesinde önem kazanmaktadır. İki boyutlu radyografiler interproksimal kemik seviyesini yeterli biçimde gösterebilse de periodontal defektlerin üç boyutlu morfolojisi hakkında sınırlı bilgi sağlamaktadır (Jacobs vd., 2024: 51; Kim ve Bassir, 2017: 978).

Periodontal defektin morfolojisinin ayrıntılı olarak bilinmesi, özellikle rejeneratif periodontal cerrahilerde tedavi yaklaşımının seçilmesi ve prognozun değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle klinik muayene ve iki boyutlu radyografilerin yeterli bilgi sağlamadığı seçilmiş olgularda bilgisayarlı tomografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi gibi üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinden yararlanılabilir (Jacobs vd., 2024: 51; Walter vd., 2016: 25).

5.1. Bilgisayarlı Tomografi

Bilgisayarlı tomografi, kolime edilmiş X-ışını demetinin incelenecek bölgeden geçirilmesi ve dokular tarafından farklı oranlarda zayıflatılan ışınların dedektörler aracılığıyla kaydedilmesi esasına dayanan kesitsel bir görüntüleme yöntemidir. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında işlenerek aksiyel kesitler oluşturulmakta; bu görüntülerden koronal, sagittal ve üç boyutlu rekonstrüksiyonlar elde edilebilmektedir (Jacobs vd., 2024: 51; Scarfe vd., 2006: 75).

Bilgisayarlı tomografi, anatomik yapıların süperpozisyon olmadan değerlendirilmesine ve alveoler kemiğin bukkal-lingual yöndeki kalınlığının incelenmesine olanak sağlar. Bu özellikleri nedeniyle maksillofasiyal

travmaların, geniş kistik veya neoplastik lezyonların ve kompleks anatomik bölgelerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Jacobs vd., 2024: 51).

Periodontolojide bilgisayarlı tomografi ile alveoler kemik yüksekliği, horizontal ve vertikal kemik kaybı, kemik içi defektlerin boyutları ve bukkal-lingual kemik yüzeyleri değerlendirilebilir. Deneysel çalışmalar, bilgisayarlı tomografi ve üç boyutlu görüntüleme sistemleriyle yapılan periodontal defekt ölçümlerinin doğrudan anatomik veya cerrahi ölçümlerle yüksek uyum gösterebildiğini bildirmiştir (Mengel vd., 2005: 665; Misch vd., 2006: 1261).

Bununla birlikte medikal bilgisayarlı tomografinin yüksek radyasyon dozu, cihaz ve inceleme maliyetinin yüksek olması, dental sert dokular için uzaysal çözünürlüğünün sınırlı kalabilmesi ve metal restorasyonlara bağlı çizgisel artefaktlara duyarlı olması önemli dezavantajlarıdır. Bu nedenlerle medikal bilgisayarlı tomografi, periodontal hastalıkların rutin tanısında tercih edilen bir görüntüleme yöntemi değildir (Jacobs vd., 2024: 51).

Günümüzde medikal bilgisayarlı tomografinin periodontolojideki kullanım alanı oldukça sınırlıdır. Geniş maksillofasiyal patolojilerin, travmatik lezyonların veya yumuşak dokuların da birlikte değerlendirilmesini gerektiren kompleks durumlar dışında, dental ve periodontal sert dokuların üç boyutlu görüntülenmesinde genellikle konik ışınli bilgisayarlı tomografi tercih edilmektedir (Jacobs vd., 2024: 51; Walter vd., 2016: 25).

5.2. Konik Işınli Bilgisayarlı Tomografi

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, konik biçimli bir X-ışını demeti ve iki boyutlu dedektör kullanılarak dentomaksillofasiyal bölgenin üç boyutlu olarak görüntülenmesini sağlayan kesitsel bir görüntüleme yöntemidir. Cihazın hasta çevresinde tek rotasyonu sırasında çok sayıda iki boyutlu projeksiyon elde edilir ve bu veriler bilgisayar algoritmalarıyla rekonstrükte edilerek aksiyel, koronal, sagittal ve multiplanar kesitler oluşturulur (Jacobs vd., 2024: 51; Scarfe vd., 2006: 75).

CBCT'nin medikal bilgisayarlı tomografiye göre başlıca üstünlükleri; dental sert dokular için yüksek uzaysal çözünürlük sağlaması, daha kısa görüntüleme süresine sahip olması, daha düşük maliyetli olması ve genellikle daha düşük radyasyon dozu oluşturmasıdır. Bununla birlikte hastaya verilen doz; cihazın özelliklerine, görüntüleme alanının büyüklüğüne, voksel boyutuna, ekspozisyon parametrelerine ve kullanılan görüntüleme protokolüne göre önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu nedenle gerekli anatomik bölgeyi kapsayan en küçük görüntüleme alanının ve tanısal açıdan yeterli çözünürlüğün seçilmesi gerekir (Jacobs vd., 2024: 51).

Periodontolojide CBCT'nin en önemli avantajı, alveoler kemiğin bukkal, lingual ve palatinal yüzeylerinin süperpozisyon olmadan değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır. Böylece horizontal ve vertikal kemik kayıpları, kemik içi defektlerin derinliği ve duvar morfolojisi, furkasyon tutulumları, dehissensler, fenestrasyonlar ve kökler ile çevre

anatomik yapılar arasındaki ilişkiler üç boyutlu olarak incelenebilir (Jacobs vd., 2024: 51; Misch vd., 2006: 1261).

CBCT ile yapılan doğrusal periodontal ölçümlerin doğrudan anatomik veya cerrahi ölçümlerle yüksek uyum gösterebildiği bildirilmiştir. Misch ve arkadaşları, CBCT ile elde edilen periodontal defekt ölçümlerinin doğrudan ölçümlere yakın doğrulukta olduğunu ve konvansiyonel radyografilere göre defekt morfolojisini daha iyi yansıttığını göstermiştir. Bununla birlikte ölçüm doğruluğu; defektin tipi, kortikal kemik kalınlığı, voksel boyutu, görüntü kalitesi ve gözlemcinin deneyiminden etkilenebilir (Banodkar vd., 2015: 285; Haas vd., 2018: 20170084; Misch vd., 2006: 1261).

5.2.1. Kemik İçi Defektlerin Değerlendirilmesi

İki boyutlu radyografiler kemik içi defektlerin mezial ve distal boyutları hakkında bilgi sağlarken, defektin bukkal-lingual genişliğini ve kalan kemik duvarlarının sayısını güvenilir biçimde gösteremeyebilir. CBCT ise defektin üç boyutlu uzanımının, derinliğinin ve bir, iki veya üç duvarlı morfolojisinin değerlendirilmesine olanak sağlayarak seçilmiş vakalarda cerrahi yaklaşımın planlanmasına katkıda bulunabilir (Jacobs vd., 2024: 51; Kim ve Bassir, 2017: 978; Nikolic-Jakoba vd., 2016: 630).

Deneyisel ve klinik çalışmalar, CBCT'nin özellikle üç duvarlı defektlerin, dehissenslerin ve fenestrasyonların saptanmasında intraoral radyografilerden daha başarılı olabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte CBCT'nin sağladığı daha yüksek görüntüleme doğruluğunun her zaman hasta sonuçlarında veya tedavi başarısında iyileşmeye dönüştüğü henüz kesin olarak gösterilememiştir (Bayat vd., 2016: 20160030; Nikolic-Jakoba vd., 2016: 630).

Bu nedenle kemik içi defekt şüphesi bulunan her hastada rutin CBCT kullanımı uygun değildir. CBCT, klinik muayene ve iyi kalitede intraoral radyografilerin defekt morfolojisini yeterince ortaya koyamadığı ve elde edilecek üç boyutlu bilginin rejeneratif veya rezektif tedavi yaklaşımını değiştirebileceği seçilmiş olgularla sınırlandırılmalıdır (Jacobs vd., 2024: 51; Kim ve Bassir, 2017: 978; Walter vd., 2016: 25).

5.2.2. Furkasyon Tutulumlarının Değerlendirilmesi

Furkasyon tutulumlarının klinik olarak değerlendirilmesi; kök anatomisi, furkasyon girişinin konumu, dişin inklinasyonu, yumuşak doku kalınlığı, cep morfolojisi ve ölçüm sırasında probun yönlendirilmesindeki güçlüklerden etkilenebilir. İki boyutlu radyografiler ise özellikle maksiller molarlarda köklerin ve çevre anatomik yapıların süperpozisyonu nedeniyle furkasyon bölgesindeki kemik kaybını olduğundan az gösterebilir (Jolivet vd., 2022: 20210529; Qiao vd., 2014: 269; Walter vd., 2010: 436).

CBCT, furkasyon bölgesinin horizontal ve vertikal yönde incelenmesini ve kalan interradiküler kemiğin üç boyutlu olarak değerlendirilmesini sağlar. Özellikle maksiller molarlarda CBCT bulgularının cerrahi sırasında yapılan ölçümlerle yüksek uyum gösterdiği ve

klirik muayeneye ek olarak tanısıl doğruluğu artırabildiği bildirilmiştir (Alotaibi vd., 2024: 55117; Qiao vd., 2014: 269; Walter vd., 2010: 436).

Bununla birlikte CBCT'nin furkasyon tutulumlarında kullanımı da rutin olmamalıdır. Üç boyutlu görüntüleme; özellikle klinik ve iki boyutlu radyografik bulguların birbiriyle uyumsuz olduğu, ileri cerrahi veya rejeneratif tedavinin planlandığı ve furkasyonun gerçek morfolojisinin tedavi kararını etkileyebileceği seçilmiş molarlarda düşünölmelidir (Jolivet vd., 2022: 20210529; Qiao vd., 2014: 269; Walter vd., 2010: 436).

5.2.3. Dehisens ve Fenestrasyonların Değerlendirilmesi

Dehisens ve fenestrasyonlar, bukkal veya lingual kortikal kemiği ilgilendirdiklerinden iki boyutlu radyografilerde çoğunlukla doğrudan görüntölenemez. CBCT bu defektlerin lokalizasyonu ve boyutları hakkında ek bilgi sağlayabilmekle birlikte, çok ince kortikal kemik tabakaları cihazın uzaysal çözünürlüğünün altında kalabilir ve mevcut kemik yokmuş gibi değerlendirilebilir. Bu nedenle CBCT bulgularının klinik muayene ile birlikte yorumlanması gerekir (Bayat vd., 2016: 20160030; Jacobs vd., 2024: 51).

5.2.4. Tedavi Planlaması ve Tedavi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

CBCT'den elde edilen üç boyutlu bilgiler, kompleks periodontal defektlerde flep tasarımının, rejeneratif materyal kullanımının ve kök rezeksiyonu, hemiseksiyon veya çekim gibi tedavi seçeneklerinin belirlenmesine katkıda bulunabilir. Özellikle maksiller molar furkasyonlarında CBCT kullanımının bazı olgularda başlangıç tedavi planını değiştirdiği ve daha doğru cerrahi karar verilmesine yardımcı olduğu bildirilmiştir (Walter vd., 2016: 25).

CBCT ayrıca periodontal rejeneratif tedaviler sonrasında kemik dolumunun üç boyutlu değerlendirilmesinde araştırma amacıyla kullanılabilir. CBCT ölçömlerinin cerrahi yeniden giriş ölçömlerine göre intraoral radyografilerden daha doğru sonuç verebildiği gösterilmiş olsa da, takip amacıyla tekrarlanan görüntölemelerde kümülatif radyasyon maruziyeti dikkate alınmalıdır. Bu nedenle yalnızca rutin iyileşme kontrolü amacıyla tekrar CBCT çekimi önerilmemektedir (Grimard vd., 2009: 48; Jacobs vd., 2024: 51).

5.2.5. Sınırlılıkları ve Radyasyondan Korunma

CBCT görüntülerinde metal restorasyonlar, implantlar ve kanal dolgu materyalleri ışın sertleşmesi, saçılma ve çizgisel artefaktlara neden olabilir. Bu artefaktlar özellikle ince kortikal kemik yüzeylerinin, peri-implant kemik defektlerinin ve kök yüzeylerinin değerlendirilmesini güçleştirebilir. Ayrıca CBCT'nin yumuşak doku kontrastı medikal bilgisayarlı tomografiye göre sınırlıdır ve görüntöler periodontal yumuşak dokuların doğrudan değerlendirilmesi için yeterli değildir (Jacobs vd., 2024: 51).

Mevcut kanıtlar CBCT'nin bazı periodontal defektlerin saptanmasında iki boyutlu radyografilere göre daha yüksek tanısıl doğruluk sağlayabildiğini göstermekle birlikte, rutin periodontal tanı ve tarama amacıyla kullanımını

desteklememektedir. Görüntüleme kararı hasta bazında verilmeli; CBCT yalnızca klinik muayene ve iki boyutlu radyografilerin yanıtlayamadığı belirli bir tanısal sorunun bulunması ve elde edilecek bilginin tedavi kararını etkilemesi durumunda tercih edilmelidir (Jacobs vd., 2024: 51; Kim ve Bassir, 2017: 978; Nikolic-Jakoba vd., 2016: 630; Walter vd., 2016: 25).

CBCT incelemesinde görüntüleme alanı yalnızca ilgili anatomik bölgeyle sınırlandırılmalı, tanısal amacı karşılayacak en düşük ekspozisyon parametreleri kullanılmalı ve daha önce elde edilmiş uygun görüntüler gereksiz yere tekrarlanmamalıdır. Böylece görüntüleme, endikasyona dayalı ve hastaya özgü radyasyondan korunma yaklaşımıyla gerçekleştirilmiş olur (Jacobs vd., 2024: 51).

REFERANSLAR

- Alotaibi, R. A., 3rd, Abdulaziz, R., Bery, N., Alotaibi, M. A., & Kolarkodi, S. H. (2024). Assessing the Accuracy and Reliability of Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) in Diagnosing Grade II and III Furcation Involvement Compared to Traditional Clinical Examination Methods. *Cureus*, 16(2), 55117. <https://doi.org/10.7759/cureus.55117>
- Anbiaee, N., & Pahlavanzadeh, P. (2024). Evaluation of Panoramic Radiography Diagnostic Accuracy in the Assessment of Interdental Alveolar Bone Loss Using CBCT. *Clin Exp Dent Res*, 10(6), 70042. <https://doi.org/10.1002/cre2.70042>
- Banodkar, A. B., Gaikwad, R. P., Gunjkar, T. U., & Lobo, T. A. (2015). Evaluation of accuracy of cone beam computed tomography for measurement of periodontal defects: A clinical study. *J Indian Soc Periodontol*, 19(3), 285. <https://doi.org/10.4103/0972-124x.154176>
- Bayat, S., Talaeipour, A. R., & Sarlati, F. (2016). Detection of simulated periodontal defects using cone-beam CT and digital intraoral radiography. *Dentomaxillofac Radiol*, 45(6), 20160030. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20160030>
- Grimard, B. A., Hoidal, M. J., Mills, M. P., Mellonig, J. T., Nummikoski, P. V., & Mealey, B. L. (2009). Comparison of clinical, periapical radiograph, and cone-beam volume tomography measurement techniques for assessing bone level changes following regenerative periodontal therapy. *J Periodontol*, 80(1), 48. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.080289>
- Haas, L. F., Zimmermann, G. S., De Luca Canto, G., Flores-Mir, C., & Corrêa, M. (2018). Precision of cone beam CT to assess periodontal bone defects: a systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofac Radiol*, 47(2), 20170084. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20170084>
- Hajishengallis, G. (2014). Immunomicrobial pathogenesis of periodontitis: keystones, pathobionts, and host response. *Trends Immunol*, 35(1), 3. <https://doi.org/10.1016/j.it.2013.09.001>
- Horner, K., Eaton, K. A., Royal College of Surgeons of England, F. o. G. D. P. S., & Royal College of Surgeons of England. Faculty of General Dental, P. (2018). *Selection Criteria for Dental Radiography*. FGDP(UK).

- Jacobs, R., Fontenele, R. C., Lahoud, P., Shujaat, S., & Bornstein, M. M. (2024). Radiographic diagnosis of periodontal diseases - Current evidence versus innovations. *Periodontol 2000*, 95(1), 51. <https://doi.org/10.1111/prd.12580>
- Jolivet, G., Huck, O., & Petit, C. (2022). Evaluation of furcation involvement with diagnostic imaging methods: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*, 51(8), 20210529. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210529>
- Kim, D. M., & Bassir, S. H. (2017). When Is Cone-Beam Computed Tomography Imaging Appropriate for Diagnostic Inquiry in the Management of Inflammatory Periodontitis? An American Academy of Periodontology Best Evidence Review. *J Periodontol*, 88(10), 978. <https://doi.org/10.1902/jop.2017.160505>
- Kinane, D. F., Stathopoulou, P. G., & Papapanou, P. N. (2017). Periodontal diseases. *Nat Rev Dis Primers*, 3, 17038. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.38>
- Lang, N. P., Berglundh, T., Giannobile, W. V., & Sanz, M. (2021). *Lindhe's Clinical Periodontology and Implant Dentistry, 2 Volume Set*. Wiley.
- Langland, O. E., Langlais, R. P., & Preece, J. W. (2002). *Principles of Dental Imaging*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Machado, V., Proença, L., Morgado, M., Mendes, J. J., & Botelho, J. (2020). Accuracy of Panoramic Radiograph for Diagnosing Periodontitis Comparing to Clinical Examination. *J Clin Med*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/jcm9072313>
- Mallya, S., & Lam, E. (2018). *White and Pharoah's Oral Radiology: Principles and Interpretation*. Mosby.
- Mendonça, R. P., Estrela, C., Bueno, M. R., Carvalho, T., Estrela, L. R. A., & Chilvarquer, I. (2025). Principles of radiological protection and application of ALARA, ALADA, and ALADAIP: a critical review. *Braz Oral Res*, 39, 14. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2025.vol39.014>
- Mengel, R., Candir, M., Shiratori, K., & Flores-de-Jacoby, L. (2005). Digital volume tomography in the diagnosis of periodontal defects: an in vitro study on native pig and human mandibles. *J Periodontol*, 76(5), 665. <https://doi.org/10.1902/jop.2005.76.5.665>
- Misch, K. A., Yi, E. S., & Sarment, D. P. (2006). Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. *J Periodontol*, 77(7), 1261. <https://doi.org/10.1902/jop.2006.050367>
- Mol, A. (2004). Imaging methods in periodontology. *Periodontol 2000*, 34, 34. <https://doi.org/10.1046/j.0906-6713.2003.003423.x>
- Murakami, S., Mealey, B. L., Mariotti, A., & Chapple, I. L. C. (2018). Dental plaque-induced gingival conditions. *J Periodontol*, 89 Suppl 1, 17. <https://doi.org/10.1002/jper.17-0095>
- Nikolic-Jakoba, N., Spin-Neto, R., & Wenzel, A. (2016). Cone-Beam Computed Tomography for Detection of Intrabony and Furcation Defects: A Systematic Review Based on a Hierarchical Model for Diagnostic Efficacy. *J Periodontol*, 87(6), 630. <https://doi.org/10.1902/jop.2016.150636>
- Papapanou, P. N., Sanz, M., Buduneli, N., Dietrich, T., Feres, M., Fine, D. H.,...Tonetti, M. S. (2018). Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-

- Implant Diseases and Conditions. *J Periodontol*, 89 Suppl 1, 173. <https://doi.org/10.1002/jper.17-0721>
- Pepelassi, E. A., & Diamanti-Kipioti, A. (1997). Selection of the most accurate method of conventional radiography for the assessment of periodontal osseous destruction. *J Clin Periodontol*, 24(8), 557. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1997.tb00229.x>
- Persson, R. E., Tzannetou, S., Feloutzis, A. G., Brägger, U., Persson, G. R., & Lang, N. P. (2003). Comparison between panoramic and intra-oral radiographs for the assessment of alveolar bone levels in a periodontal maintenance population. *J Clin Periodontol*, 30(9), 833. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2003.00379.x>
- Qiao, J., Wang, S., Duan, J., Zhang, Y., Qiu, Y., Sun, C., & Liu, D. (2014). The accuracy of cone-beam computed tomography in assessing maxillary molar furcation involvement. *J Clin Periodontol*, 41(3), 269. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12150>
- Sanz, M., Herrera, D., Kebschull, M., Chapple, I., Jepsen, S., Beglundh, T.,...Tonetti, M. S. (2020). Treatment of stage I-III periodontitis-The EFP S3 level clinical practice guideline. *J Clin Periodontol*, 47 Suppl 22(Suppl 22), 4. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13290>
- Scarfe, W. C., Farman, A. G., & Sukovic, P. (2006). Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*, 72(1), 75.
- Vandenberghe, B., Jacobs, R., & Yang, J. (2007). Diagnostic validity (or acuity) of 2D CCD versus 3D CBCT-images for assessing periodontal breakdown. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 104(3), 395. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.03.012>
- Walter, C., Schmidt, J. C., Dula, K., & Sculean, A. (2016). Cone beam computed tomography (CBCT) for diagnosis and treatment planning in periodontology: A systematic review. *Quintessence Int*, 47(1), 25. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a34724>
- Walter, C., Weiger, R., & Zitzmann, N. U. (2010). Accuracy of three-dimensional imaging in assessing maxillary molar furcation involvement. *J Clin Periodontol*, 37(5), 436. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01556.x>
- Whaites, E., & Drage, N. (2023). *Essentials of dental radiography and radiology*. (Sixth / Eric Whaites, Nicholas Drage. ed.). Elsevier.

Eczane Hizmetlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği

Fatih Mehmet ATEŞ¹
Mevlüt ALBAYRAK²

1. Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Bayburt, TÜRKİYE, E-mail: fmehmetates@bayburt.edu.tr

2. Atatürk Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri, Programı, Erzurum, TÜRKİYE, E-mail: mevlutalbayrak@atauni.edu.tr

1. GİRİŞ

Eczaneler, halk sağlığının korunmasında ve tedavinin sürdürölmesinde kritik bir rol oynayan sağlık hizmeti sunum alanlarındandır. Bu alanlarda yürütölen faaliyetler, görönröde döşük riskli gibi algılansa da çalışanların biyolojik, kimyasal, fiziksel, ergonomik ve psikososyal tehlikelerle karşı karşıya kalabileceği kompleks ortamlardır. Eczacılar, eczane teknikerleri, kalfalar ve yardımcı personel; hastalarla, ilaçlarla ve medikal cihazlarla sürekli temas halindedir. Bu temas, hem fizyolojik hem de psikolojik yük yaratabilir. Bu nedenle, eczanelerde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamalarının bilimsel bir yaklaşımla ele alınması, risklerin tespit edilmesi ve uygun önlemlerin planlanması büyük önem taşımaktadır.

İSG uygulamalarının önemi yalnızca çalışan sağlığıyla sınırlı değildir. Aynı zamanda hastaların güvenliği, ilaçların doğru koşullarda saklanması, atık yönetimi ve acil durumlara hazırlık gibi konular da eczane hizmetlerinin kalitesini doğrudan etkileyen unsurlardır. Özellikle pandemi süreci, sağlık alanındaki tüm çalışanların maruz kalabileceği riskleri gözler önüne sermiş; kişisel koruyucu donanım kullanımının ve iş sağlığı önlemlerinin ne denli önemli olduğunu yeniden hatırlatmıştır (World Health Organization [WHO], 2020).

Bu bölümde, eczane ortamlarında karşılaşılan çeşitli tehlike ve riskler, maruz kalma yolları, toksisite çalışmaları, potansiyel olumsuz etkiler, iş kazaları, meslek hastalıkları ve bunların önlenmesine yönelik çalışmalar detaylı şekilde ele alınacaktır. Ayrıca, kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımı, çalışan eğitimi, mevzuat düzenlemeleri ve işyeri denetimleri gibi bileşenler İSG kapsamında değerlendirilecektir. Bölümün amacı, eczanelerde görev yapan çalışanların güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamına sahip olmalarını destekleyecek bilimsel temelli bilgiler sunmaktır.

2. ECZANELERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KAVRAMI

Eczanelerde İSG kavramı, çalışanların ve hizmet alan bireylerin sağlığını korumayı, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemeyi hedefleyen sistematik uygulamalar bütünü olarak tanımlanabilir. Bu kavram, yalnızca fiziksel yaralanmaları önlemeyi değil; aynı zamanda kimyasal ve biyolojik ajanlara maruziyetin sınırlandırılmasını, ergonomik risklerin azaltılmasını ve psikososyal yüklenmenin kontrol altına alınmasını da kapsar (International Labour Organization [ILO], 2021).

Günümüzde modern eczacılık uygulamaları, sadece ilaç satışıyla sınırlı olmayıp; reçete değerlendirme, hasta danışmanlığı, aşı uygulamaları, tansiyon ve şeker ölçümü gibi hizmetleri de içermektedir. Bu hizmetlerin çeşitliliği, beraberinde farklı risk gruplarını ve mesleki yüklenmeleri getirmektedir. Örneğin, hastaya enjeksiyon yapan bir eczane çalışanı hem biyolojik ajanlarla temas riski altındadır hem de fiziksel travma ile karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle, İSG uygulamalarının multidisipliner bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir.

Eczanelerde çalışan personelin çoğu, tıp ve eczacılık alanından gelen uzmanlardan oluşmaktadır. Bu uzmanlığın getirdiği sorumluluk, çalışma ortamındaki risklerin daha bilinçli bir şekilde ele alınmasını sağlasa da, uygulamada zaman baskısı, hasta yoğunluğu ve kaynak kıtlığı gibi nedenlerle önlemlerin ihmal edilmesi söz konusu olabilmektedir. Örneğin, yoğun hasta trafiği olan bir eczanede sosyal mesafe kuralına dikkat edilmemesi veya atık kutularının uygun aralıklarla boşaltılmaması ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (İSGK, 2022).

İSG'nin eczane işletmeciliği için bir maliyet unsuru olarak değil, verimliliği ve hasta güvenliğini arttıran bir kalite faktörü olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, işyerlerinde İSG kültürünün oluşturulması; yöneticilerden çalışanlara kadar tüm paydaşların sürece katılımıyla mümkün olabilecektir. Ayrıca, çalışanların düzenli olarak İSG eğitimi alması, risk analizlerinin güncel tutulması ve olası acil durum

senaryolarına yönelik tatbikatların yapılması da bu kültürün yerleşmesine katkı sağlayacaktır (Erdoğan & Genç, 2018).

Günümüzde İSG uygulamaları, yalnızca yasal zorunluluklar çerçevesinde değil; aynı zamanda kurumsal sosyal sorumluluğun, insan haklarının ve sürdürülebilir kalkınmanın bir parçası olarak ele alınmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) 2021 yılında aldığı karar ile "güvenli ve sağlıklı çalışma ortamı" temel bir işçi hakkı olarak tanımlanmış ve bu bağlamda tüm işyerlerinin İSG yükümlülüklerine özen göstermesi gerektiği vurgulanmıştır (ILO, 2021).

Bu çerçevede eczaneler de, kendi faaliyet alanlarına özgü İSG stratejileri geliştirerek çalışanların ve toplumun genel sağlığına katkıda bulunabilir. Örneğin, küçük ölçekli eczanelerde ortak İSG profesyonelleri ile hizmet alımı yapılabilirken; zincir eczanelerde kurumsal İSG birimleri oluşturularak sistematik denetimler sağlanabilir. Hangi model tercih edilirse edilsin, temel hedef çalışanların refahı ve hizmetin kalitesinin sürdürülebilirliğidir.

3. ECZANELERDE ORTAYA ÇIKABİLECEK TEHLİKELER VE RİSKLER

Eczanelerde çalışma ortamı, hem hasta trafiği hem de kimyasal ve biyolojik maddelerle temas açısından çok yönlü riskleri beraberinde getirir. Bu riskler genel olarak beş ana kategoride incelenebilir: fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal riskler.

3.1 Fiziksel Riskler

Fiziksel riskler arasında kesici-delici alet yaralanmaları, elektrik çarpması, düşme ve çarpma gibi kazalar yer alır. Raf düzenlemelerinin yanlış yapılması ya da kutu yerleştirme sırasında dikkatsizlik sonucu baş veya ayak travmaları meydana gelebilir. Ayrıca, sürekli ayakta çalışma nedeniyle bacaklarda varis oluşumu, omurga zorlanmaları ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları ortaya çıkabilir.

3.2 Kimyasal Riskler

Eczanelerde çalışan personel, birçok kimyasal maddeyle doğrudan ya da dolaylı olarak temas etmektedir. Temizlik malzemeleri, dezenfektanlar, uçucu organik bileşikler (VOC'ler), çözücüler ve zaman zaman hazırlanan eczane formülleri bu kapsamda değerlendirilebilir. Ayrıca, bozulmuş veya tarihi geçmiş ilaçların imhası sırasında açığa çıkan buharlar solunum yolu ile emilebilir ve toksik etkiler gösterebilir (Gürbüz, 2006).

3.3 Biyolojik Riskler

Hastalardan alınan reçetelerin üzerinden ya da hasta ile yakın temastan kaynaklı olarak bakteri, virüs ve mantar gibi biyolojik ajanlara maruziyet riski söz konusudur. Özellikle grip, COVID-19 gibi solunum yoluyla bulaşan hastalıklar bulaş zinciri içinde yayılım gösterebilir. İğne batması gibi durumlarda hepatit B, C veya HIV gibi ciddi enfeksiyonların bulaşma riski de vardır (Sağlık Bakanlığı, 2021).

3.4 Ergonomik Riskler

Çalışma alanlarının dar olması, uygun yükseklikte masa veya tezgâh bulunmaması, monitörlerin göz hizasında olmaması gibi ergonomik sorunlar zamanla kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilir. Özellikle uzun süre bilgisayar karşısında reçete giriş işlemi yapan çalışanlarda boyun, omuz ve bel ağrıları sıklıkla görülmektedir (Polat et al., 2025).

3.5 Psikososyal Riskler

Yoğun hasta trafiği, hasta ve hasta yakınlarıyla yaşanan iletişim sorunları, uzun çalışma saatleri ve nöbet sistemine bağlı uykusuzluk, psikososyal stres faktörlerini oluşturur. Bu durumlar, çalışanlarda tükenmişlik sendromu, depresyon, anksiyete bozuklukları gibi ruhsal problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Ayrıca, pandemi sürecinde çalışanlar artan kaygı ve belirsizlik nedeniyle travma sonrası stres bozukluğu belirtileri gösterebilmişlerdir (Atilla & Karakaya, 2021).

4. MARUZİYET YOLLARI VE TOKSİKOLOJİK ETKİLER

Eczane çalışanları, günlük faaliyetleri sırasında çeşitli kimyasal ve biyolojik ajanlara maruz kalabilirler. Bu maruziyetler, inhalasyon (soluma), dermal (cilt teması), oral (ağız yoluyla) ve parenteral (iğne batması gibi) yollarla gerçekleşebilir. Maruziyetin süresi, sıklığı ve maruz kalınan maddenin toksikolojik özellikleri, sağlık üzerinde kısa ve uzun vadeli etkiler yaratabilir.

4.1 Maruziyet Yolları

- ***Inhalasyon (Soluma):*** Eczanelerde kullanılan uçucu organik bileşikler (VOC'ler), dezenfektanlar ve ilaç tozları solunum yoluyla vücuda girebilir. Özellikle yetersiz havalandırma sistemleri, bu tür maruziyet riskini artırır.
- ***Dermal (Cilt Teması):*** Kimyasal maddelerle doğrudan temas, ciltte iritasyon, alerjik reaksiyonlar veya sistemik toksisiteye yol açabilir. Özellikle lateks eldivenlere karşı alerjisi olan çalışanlar için nitril veya vinil eldiven kullanımı önerilmektedir.
- ***Oral (Ağız Yoluyla):*** Ellerin yıkanmadan ağıza temas etmesi veya kontamine gıdaların tüketilmesi, kimyasal maddelerin oral yolla vücuda alınmasına neden olabilir.
- ***Parenteral (İğne Batması vb.):*** Enjeksiyon uygulamaları sırasında oluşabilecek iğne batmaları, hepatit B, C veya HIV gibi ciddi enfeksiyonların bulaşma riskini taşır.

4.2 Toksikolojik Etkiler

Eczane ortamında maruz kalınan kimyasalların toksikolojik etkileri, maruziyetin türüne ve süresine bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

- ***Akut Toksisite:*** Kısa süreli yüksek doz maruziyetler, baş dönmesi, mide bulantısı, baş ağrısı gibi belirtilere yol açabilir.
- ***Kronik Toksisite:*** Uzun süreli düşük doz maruziyetler, karaciğer ve böbrek fonksiyonlarında bozulma, sinir sistemi hasarları ve bazı kanser türlerinin gelişimi gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir.

- **Alerjik Reaksiyonlar:** Bazı kimyasallar, bağışıklık sistemini etkileyerek alerjik reaksiyonlara yol açabilir.
- **Reproduktif Toksisite:** Bazı maddeler, üreme sistemi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir, doğurganlıkta azalma veya fetüste gelişim bozukluklarına neden olabilir.

4.3 Korunma Yöntemleri

Maruziyeti önlemek veya en aza indirmek için aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

- **Kişisel Koruyucu Donanım (KKD):** İşin niteliğine uygun eldiven, maske, gözlük ve önlük kullanımı sağlanmalıdır. Örneğin, kimyasal sıçrama riski olan işlemlerde gözlük veya siperlik, solunum yolu riski olan durumlarda ise uygun maske kullanılmalıdır.
- **Eğitim ve Farkındalık:** Çalışanlara düzenli olarak İSG eğitimi verilmeli, maruziyet yolları ve korunma yöntemleri hakkında bilgilendirme yapılmalıdır.
- **İş Hijyeni:** Çalışma alanlarının düzenli temizliği, atık yönetimi ve hijyen kurallarına uyum sağlanmalıdır.
- **Risk Değerlendirmesi:** Eczane ortamında kullanılan kimyasal maddeler için düzenli risk değerlendirmeleri yapılmalı, maruziyet sınır değerleri belirlenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

5. İŞ KAZALARI VE MESLEK HASTALIKLARI

Eczane çalışanlarının karşılaşılabileceği iş kazaları ve meslek hastalıkları, çalışma koşullarına ve yürütülen işlerin niteliğine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. İş kazaları; ani ve beklenmeyen olaylar sonucu oluşan, çalışanların yaralanmasına veya ölümüne yol açan durumları ifade ederken, meslek hastalıkları; uzun süreli maruziyet sonucu gelişen, işle doğrudan ilişkili sağlık sorunlarıdır (ILO, 2021).

5.1 Yaygın İş Kazaları

Eczanelerde yaygın olarak karşılaşılan iş kazaları arasında şunlar yer almaktadır:

- **Kayma ve düşme:** Islak zeminler, uygun olmayan ayakkabı kullanımı ya da zemine dökülen sıvılar bu kazalara neden olabilir.
- **Kesici-delici alet yaralanmaları:** Ampul kırıkları, bisturi veya iğne gibi aletlerle çalışırken dikkatsizlik sonucu oluşabilir.
- **Elektrik çarpması:** Uygun olmayan priz veya kablolar, elektrikli cihazların arızalanması gibi durumlar risk oluşturur.
- **Ağır kaldırma sonucu kas-iskelet sistemi zedelenmeleri:** Ağır ilaç kolilerinin taşınması sırasında doğru kaldırma tekniklerinin uygulanmaması sorun yaratır.

5.2 Meslek Hastalıkları

Eczane çalışanlarında görülebilecek meslek hastalıkları aşağıdaki gibidir:

- **Solunum yolu hastalıkları:** Kimyasal buhar ve tozlara uzun süreli maruziyet, astım ve bronşit gibi hastalıklara yol açabilir.
- **Cilt hastalıkları:** Dezenfektanlar, sabunlar ve ilaçlara temas sonucu kontakt dermatit ve egzama gelişebilir.
- **Kas-iskelet sistemi bozuklukları:** Ergonomik olmayan çalışma koşulları nedeniyle bel fıtığı, boyun düzleşmesi gibi rahatsızlıklar gelişebilir.
- **Göz hastalıkları:** Bilgisayar ekranına uzun süre bakılması veya kimyasal sıçramalar sonucu göz tahrişleri görülebilir.

6. İŞLE İLGİLİ HASTALIKLAR VE PSİKOSOSYAL SORUNLAR

İşle ilgili hastalıklar, doğrudan işle bağlantılı olmasa da çalışma ortamının veya organizasyonel yapının etkisiyle gelişen sağlık sorunlarını içerir. Bu hastalıklar, bireyin genel sağlık durumunu ve iş performansını olumsuz etkileyebilir.

6.1 Tükenmişlik Sendromu ve Stres

Eczane çalışanları, hasta memnuniyetini sağlama, reçete doğru girme, yoğunlukla başa çıkma gibi nedenlerle yüksek düzeyde stres yaşayabilir.

Sürekli yoğunluk, mobbing, düzensiz çalışma saatleri ve yetersiz ücret gibi etkenler tükenmişlik sendromuna yol açabilir.

6.2 Uyku Bozuklukları ve Dikkat Dağınıklığı

Nöbetli veya vardiyalı çalışma sistemine bağlı olarak çalışanlarda uyku bozuklukları görülmekte ve bu da iş kazası riskini artırmaktadır.

6.3 Depresyon ve Anksiyete

İş yükünün artması, duygusal olarak zorlayıcı hasta ilişkileri ve belirsizlik ortamı depresyon ve anksiyete bozukluklarını tetikleyebilir. Bu tür rahatsızlıklar hem bireyin yaşam kalitesini hem de hasta güvenliğini olumsuz etkileyebilir.

7. KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLARIN (KKD) KULLANIMI

KKD'ler, eczane çalışanlarının tehlikelere karşı korunması için kullanılan temel araçlardır. Etkin bir KKD kullanımı için uygun seçimin yapılması, eğitimin verilmesi ve denetimin sağlanması gerekir.

7.1 Yaygın KKD Türleri

- **Eldivenler:** Kimyasal temasa karşı koruma sağlar. Nitril, lateks veya vinil seçenekleri vardır.
- **Maskeler:** Solunum yoluyla bulaşan hastalıklara karşı koruyucudur.
- **Gözlük ve siperlik:** Kimyasal sıçramalara karşı gözleri korur.
- **Önlük ve koruyucu giysi:** Cilt temasına karşı ek koruma sağlar.

7.2 Kullanım İlkeleri

- KKD'ler görev öncesi kontrol edilmeli,
- Doğru şekilde takılıp çıkarılmalı,
- Kirlendiğinde veya hasar gördüğünde değiştirilmelidir.

8. MEVZUAT VE YASAL DÜZENLEMELER

Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yasal düzenlemeler, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu çerçevesinde yürütülmektedir. Bu yasa kapsamında eczaneler de belirli yükümlülükler altındadır (İSGK, 2012).

8.1 İşveren Yükümlülükleri

- Risk değerlendirmesi yapmak,
- KKD temin etmek,
- Eğitimleri sağlamak,
- Acil durum planı hazırlamak.

8.2 Çalışan Hakları ve Sorumlulukları

- Güvenli çalışma ortamı talep etme,
- KKD kullanma,
- Tehlikeleri bildirme.

9. RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE GÜVENLİK PLANLAMASI

Risk değerlendirmesi, olası tehlikelerin önceden belirlenerek önlem alınmasını sağlar.

9.1 Aşamaları

- Tehlikelerin tanımlanması,
- Risklerin değerlendirilmesi,
- Önlem planlarının oluşturulması,
- İzleme ve gözden geçirme.

9.2 Eczane Örneği

Kimyasal risk değerlendirmesi yapılırken kullanılan ilaçların MSDS formlarına göre maruziyet süreleri ve etkileri analiz edilir. Bu analizler ışığında koruma önlemleri belirlenir. Uygun bir risk değerlendirme metodu seçilerek risk değerlendirmesi gerçekleştirilir.

10. EĞİTİM VE FARKINDALIK ÇALIŞMALARI

Çalışanların İSG konusundaki bilgi düzeyinin artırılması için düzenli eğitimler yapılmalıdır.

10.1 Eğitim Konuları

- İlk yardım
- Yangınla mücadele
- Kimyasal madde güvenliği

- KKD kullanımı

10.2 Eğitim Yöntemleri

- Yüz yüze seminerler,
- Online eğitim platformları,
- Oyunlaştırma teknikleri,
- Tatbikat ve simülasyonlar.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eczane hizmetlerinde İSG uygulamaları, hem çalışanların sağlığını korumak hem de kaliteli sağlık hizmeti sunmak açısından kritik öneme sahiptir. Fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal risklerin farkında olunması, bu risklerin sistematik biçimde yönetilmesi gereklidir. Bu bağlamda öneriler:

- Eczanelerde düzenli risk değerlendirmesi yapılmalıdır.
- KKD temini ve eğitimi zorunlu hale getirilmelidir.
- Psikososyal destek mekanizmaları kurulmalıdır.
- İSG kültürü tüm çalışanlara benimsetilmelidir.

KAYNAKÇA

Atilla, E. A., & Karakaya, A. (2021). COVID-19 pandemi döneminin sağlık çalışanlarının tükenmişlik düzeylerine etkisi. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23(3), 653-680.

Erdoğan, E., & Genç, K. G. (2018). İş sağlığı ve güvenliği kültürünün önemi. In 5th International Congress on Political, Economic and Social Studies (pp. 309-331).

Gürbüz, N. (2006). Endüstride kullanılan kimyasal maddelerin toksikolojik etkileri. TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 7(25), 37-39.

International Labour Organization [ILO]. (2021). Occupational Safety and Health in

Health Sector. <https://www.ilo.org>

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. (2012). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu.

Polat, T., Görcü, F., Taşkın, B., Polat, Ş., Babacan, P., Şanlı, C. Y., ... & Akdenizli, G. (2025). Kayseri İlinde Üç Farklı Eczane İşletmesinde Risk Değerlendirmesi ve Kontrol Faaliyetleri. IKSAD JOURNAL, 9(136), 1-45.

Sağlık Bakanlığı. (2021). Enfeksiyon Kontrol Rehberi. <https://www.saglik.gov.tr>

World Health Organization [WHO]. (2020). Occupational Health and Safety in the COVID-19 Response. <https://www.who.int>

Sağlık Hizmetlerinde Hasta Güvenliğı

Neriman NALDÖKEN¹

- 1- Hemşire (PhD, Sağlık Yönetimi); TC Gençlik ve Spor Bakanlığı Yüksek Öğretim Kredi ve Yurtlar Kurumu, SİVAS
nerimannaldoken@hotmail.com ORCID No: 0000-0003-2749-4146

GİRİŞ

Sağlık hizmetleri karmaşık hizmetler içeren, yüksek riskli endüstri grubunda yer alan, kalite yönetiminin göz ardı edilmemesi gereken hizmet grubu içerisinde yer almaktadır. Hizmetin önemi gereği kaliteli sağlık hizmeti sunumunda sağlık bakım hizmeti sunucularının hasta güvenliğinin güvence altına alınması birincil amacı olmalıdır. Bu amacın gerçekleştirilmesinde hem hastane yönetimi hem de hizmeti sağlayan sağlık ekibi hastanın güvenli bir ortamda ve her türlü zarar verici durumdan korunarak hizmet alımının sağlanması konusunda sorumlu durumundadır.

Hasta güvenliği sunulan sağlık hizmetine bağlı hataların önlenerek onlara zarar vermekten kaçınma, sunulan sağlık hizmeti nedeniyle ortaya çıkan hataların, hastaya verilen hasarın en aza indirilmesini kapsamaktadır. Meydana gelen tıbbi hatalar sadece hastada komplikasyonlara, tedavinin aksamasına ya da tanı tedavi işlemlerinin tekrarlanmasına neden olmayıp aynı zamanda sağlık personeline duyulan güvenin azalması, ilaç ve tedavi maliyetlerinin artışına dolayısıyla geniş anlamda sağlık sistemine birçok olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Bu sebeple hasta güvenliği, sağlık kurumlarında gittikçe artan öneme sahip olmakla birlikte kaliteli hizmet sunumu için bir öncelik haline gelmektedir.

HASTA GÜVENLİĞİ

Sağlık bakım kalitesi içerisinde en önemli konulardan biri hasta güvenliğidir. Hataların azaltılması ve ortadan kaldırılması hasta güvenliğinin temel hedefi olmakla beraber bu hedeflere ulaşmak için sağlık kurumları da ciddi emek ve çaba sarf etmektedirler. Dünya Sağlık Örgütü'nün 2019'da yayınladığı rapora göre dünyada her 10 hastadan biri tıbbi hata sebebiyle (maddi kayıp, psikolojik zarar, geçici veya kalıcı sakatlıklar, ölüm gibi) ciddi şekilde etkilenmekte ve hasta güvenliği küresel bir sorun olarak kabul edilmektedir (Arslan, 2019: 73, Göçmenavcı, 2021: 72).

Tıbbi hatalar literatürde çok farklı başlıklar altında toplanmakla birlikte genel olarak; ilaç hataları, cerrahi hatalar, tanı/tedavi hataları, sistem yetersizliklerine bağlı hatalar, düşmeler, hastane enfeksiyonları, hastanın yetersiz izlenmesinden kaynaklanan hatalar olarak sınıflandırılabilir (Durmuş, 2022: 4390).

Dünya Sağlık Örgütü'nün 2024 yılında hasta güvenliği ile ilgili yayınladığı rapora göre hastaların %12' sinin farklı tıbbi bakım ortamlarında zarar görmekteyken bu zararın kalıcı sakatlığa veya hasta ölümüne neden olduğu, güvenli olmayan bakımdan kaynaklanan zararların da yaklaşık yarısının önlenabilir olduğu belirtilmiştir (WHO, 2024:14)

Hasta güvenliğinde amaç, sağlık hizmeti sunumunun paydaşları olan hasta, hasta yakınları, sağlık personeli olumlu etkileyecek ortam oluşturarak kaliteli hizmet devamlılığının sağlanabilmesi için güvenlik

kültürü yapılandırmak gerekmektedir. Hasta güvenliği kültürünün sağlık kurumlarında oluşturulabilmesi için ise hata oluşturabilecek alanların belirlenerek, tıbbi hataların çekinmeden bildirilmesi için iletişim ortamının sağlanması ve hastane güvenliği kültürünün oluşturulabilmesi için kurum tarafından kaynak ayrılması sağlanmalıdır (Manav ve Karademirler, 2018: 74)

DÜNYADA HASTA GÜVENLİĞİNİN TARİHÇESİ

Son yıllarda önem kazanan hasta güvenliği kavramının temeli aslında M.Ö. 1700 yılındaki Hammurabi kanunlarında geçen hekimin hastasını öldürmesi halinde iki elinin de kesileceği hükmüne dayanmaktadır. Aynı dönemde Hipokrat'ın önce zarar verme sözü hasta güvenliği anlayışının temelini oluşturmaktadır (Korkmaz, 2018:12).

Sağlık hizmetlerinde kalite ve güvenlik çalışmaları 1951'de Sağlık Bakım Organizasyonlarının Akreditasyonunda Birleşik Komisyonu (Joint Commission International- JCI) kurulmasıyla başlamasına rağmen sağlık alanında 1960'lerde yerini almıştır. Hasta güvenliğinin temeli 1955'te Ernest Codman tarafından hasta çıktılarının izlenerek sonuçların raporlaştırılmasıyla bakım kalitesinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Amerika'da 1984 yılında Anestezi Hasta Güvenliği Vakfı tarafından Harvard Tıp Uygulama çalışması yapılırken, 1995 yılında Annenberg Hasta Güvenliği Konferansı düzenlenmiştir. Hasta hizmet bakım kalitesini arttırmak için 2000 yılında kalite ve hasta güvenliği ile ilgili standartlar oluşturulmaya başlamıştır. 2000'li yıllarda Uluslararası Göç Örgütünün (IOM) yayınladığı “To Err is Human” adlı raporda Amerika Birleşik Devlet'lerinde tıbbi hatalar nedeniyle hayatını kaybedenlerin sayısı yıllık 98 bin olduğu açıklanmıştır. Ulusal Hasta Güvenliği Görev Gücü (FDA, AHRQ, CDC, CMS) 2001 yılında kurulmuş, 2002 yılında Sağlık Bakım Organizasyonlarının Akreditasyonunda Birleşik Komisyonu (JointCommission International-JCI) tarafından “National Patient Safety Goals” başlığıyla Amerika Birleşik Devletleri için Hasta Güvenliği Ulusal Hedefleri ilan edilmiş ve bu hedefler 2008 yılında uluslararası geçerlilik kazanmış ve yıllık olarak yayınlanmaya başlanmıştır (Korkmaz, 2022: 21, Korkutan ve Kurt, 2021: 22).

TÜRKİYE'DE HASTA GÜVENLİĞİNİN TARİHÇESİ

Türkiye'de hasta güvenliği ile ilgili her kurumda hasta ve çalışan güvenliği ile ilgili kayıtların izlenmesi analiz edilerek kayıt altına alınması farklılık gösterdiğinden hasta güvenliği konusunda belirli bir sistem içerisinde ilerleyen çalışma bulunmamaktadır. Sağlıkta dönüşüm programının 2003 yılında Türkiye'de uygulanmasıyla birlikte hasta güvenliğini de içeren kalite standartlarına yönelik eğitimler düzenlenmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü'nün uluslararası hasta güvenliği hedefleri doğrultusunda 2009 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından oluşturulan Hizmet Kalite Standartları Rehberine göre hasta ve çalışan güvenliğinin eksiksiz yerine getirilmesi için çalışmalara başlanmıştır (Korkmaz, 2022: 22).

Türkiye'de hasta ve sağlık çalışanlarının güvenli hizmet sunumu için güvenli ortamın sağlanması, kaliteli hizmet sunumu, hasta ve sağlık çalışanlarının sağlık kurumlarında karşılaşacakları muhtemel risklerin belirlenmesi ve bu risklere karşı yöntem ve tekniklerin geliştirilerek eğitimler verilmesi, güvenli hizmet sunumunun sağlanması amacıyla 15.06.2017 tarihinde Hasta ve Çalışan Güvenliği Yönetmeliği güncellenmiştir (Sarp, 2018: 28).

ULUSLARARASI HASTA GÜVENLİĞİ HEDEFLERİ

Sağlık Bakım Organizasyonlarının Akreditasyonunda Birleşik Komisyonu (Joint Commission International- JCI), DSÖ Hasta Güvenliği Çözümlerine ilişkin bazı operasyonel uygulamalarda aktif rol almıştır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 2008 yılında "Uluslararası Hasta Güvenliği Hedefleri"ni (UHG Hedefleri) belirlemiştir. Bu hedefler 6 başlık altında toplanarak; hastanın doğru şekilde tanımlanması, etkili iletişimin geliştirilmesi, yüksek riskli ilaçların güvenliğinin artırılması, doğru taraf, doğru prosedür ve doğru hasta ameliyatının sağlanması, sağlık hizmetleriyle ilgili enfeksiyonların azaltılması ve hastaların düşmelerden zarar görme riskinin azaltılması şeklindedir (Tarhan ve Yıldırım, 2021: 56, Girginer ve İskenderoğlu, 2020: 66).

Hedef 1: Hastanın Doğru Şekilde Tanımlanması

Sağlık kurumlarında doğru hastaya doğru işlemin yapılabilmesi için ilk kural hastaya herhangi bir işlem uygulanmadan önce hastanın kimlik bilgilerinin doğrulanmasıdır. Doğrulamadaki amaç; tedavi prosedürlerinin güvenli olarak yerine getirilmesini sağlayarak doğru kişiye doğru tedavinin verildiğinden emmin olmaktır. Güvenilir bir tedavi prosedürü uygulamasında kimliklendirme için sağlık kuruluşlarında en sık kullanılan yöntem hastaya tedavi gördüğü süre boyunca takılacak bileklikle sağlanabilmektedir. Bileklikte hastaya ait tanımlayıcı bilginin bulunmaması ya da mevcut bilginin eksik ya da yanlış bulunması sonucu kimliklendirmede hatalar meydana gelmektedir. Hatalı kimliklendirme sağlık hizmeti sunumunda; ilaç hataları, transfüzyon hataları, ihmaller, test hataları, yanlış hasta prosedürleri gibi olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Bahsedilen olumsuz hallerle karşılaşmamak için hastaların doğru kimliklendirilmesi önem arz etmektedir (Gürlek vd., 2015: 196).

Hedef 2: Etkili İletişimin Geliştirilmesi

Hasta güvenliği hedeflerinden etkin iletişim; kaliteli sağlık bakım hizmetinin verilebilmesi, verilen hizmetin dökümanate edilmesi ve sağlık çalışanları arasında hasta ile ilgili bilginin doğru aktarılması açısından

önemli unsurlardan biridir. Etkin iletişimin temelinde hastaya özgü bilgilerin doğru, standart bir iletişim dili kullanılarak aktarıldığı hasta teslimi yer almaktadır. Hasta teslim sürecinde yaşanacak aktarılan bilgi içeriğindeki eksiklikler, teslim esnasında dikkat dağıtıcı faktörler, belgelerin okunabilirlik düzeyinin düşük olması, yeterli olmayan bilgi ve deneyim, artan iş yükü, yorgunluk gibi sebepler etkin hasta teslimi yapılmasını engelleyerek hasta güvenliği tehlikeye sokacak hatalar yapılmasına neden olmaktadır. Yapılan hatalar verilen bakımın kalitesinin düşmesinin yanı sıra tedavi süresinin uzamasına, hatalı tedavi uygulanmasına ve maliyetlerin artmasına neden olacak olumsuz durumların yaşanmasına neden olmaktadır. Sağlık Kuruluşları Akreditasyonu Birleşik Komisyonu (JCAHO) tarafından 2009 yılında yayınlanan rapora göre nöbet esnasında yaşanan tüm istenmeyen olayların % 80'i iletişim aksaklıkları nedeniyle meydana gelmiştir. Bu sebeple hasta güvenliği hedeflerine ulaşılabilmesi için hasta teslimi etkin iletişim sürecinde önemli bir yere sahiptir (Taşkiran ve Sarı, 2017: 93-96)

Hedef 3: Yüksek Riskli İlaçların Güvenliğinin Artırılması

Sağlık alanında sağlık ihtiyaçlarının artması, kullanılan teknolojinin gelişmesi ile birlikte hataların artmasına neden olmaktadır. Tıbbi hatalar içerisinde ilaç hataları oldukça önemli yere sahiptir. Özellikle yüksek riskli ilaçlar farmakolojik özellikleri gereği daha hızlı ve uygun olmayan dozlarda insan vücuduna zarar verebilecek düzeyde ilaçlar olduğu için kullanımlarında yapılacak hata da hastalar için daha yıkıcı ve zarar verici boyutta olmaktadır. Diğer ilaçlarla karşılaştırıldığında yüksek riskli ilaçlarda yapılacak hatalar hastanın iyileşme süresinin uzamasına, hastanın sakat kalmasına ve hastanın ölümüne kadar varan olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Yüksek riskli ilaç uygulamasında karşılaşılan en önemli hatanın ilacın yanlış dozda uygulanması olduğu bu konuda uygulama yapacak sağlık personelinin ilaç dozunun ayarlanması hususunda bilgi ve beceri düzeylerinin yüksek olması gerekmektedir. Yüksek riskli ilaçların yanlış kullanımından kaynaklı hataların önlenmesi için ilaçların kolayca erişilebilen alanlarda saklanmaması, ilaçların üzerinde uyarı etiketlerinin bulunması, ilaçlar üzerinde uygun olmayan kısaltmaların yapılmaması ve kulağa benzer gelen ilaçlarla bir arada bulundurulmaması gibi önlemlerin alınması önem arz etmektedir (Arslan ve Akkoyun, 2020: 1019, Gün ve Öztornacı, 2024: 51)

Hedef 4: Cerrahide Güvenliğin Sağlanması

Dünya Sağlık Örgütü tarafından Güvenli Cerrahi Hayat Kurtarıcı Araştırma Grubunun 2007-2008 yılları arasında yürütmüş oldukları çalışma ile Cerrahi Kontrol Listesi kullanımı ile cerrahi girişimden kaynaklanan komplikasyon risklerini ve ölüm oranlarını etkilediğinin ortaya konulmasının ardından kontrol listesi dünyanın birçok hastanesinde rutin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Cerrahi bakımın zamanının kritik olması, farklı disiplinleri içerisinde barındırması ve bu disiplinlerin koordinasyonunu gerektirmesi sebebiyle kontrol listesi önemli bir araçtır. Cerrahi Kontrol

Listesi'nin başarılı olabilmesi sağlık ekibinin hasta güvenliği konusunda farkındalığı ve liste kullanımının önemini anlamaları ile mümkün olmaktadır. Bu hedef kapsamında yetersiz anestezi güvenlik uygulamaları, önlenebilir cerrahi enfeksiyonlar ve ekip üyeleri arasında zayıf iletişim dahil önemli güvenlik konularının önlenebilir sorunlar olduğu saptanmıştır (Keskin vd., 2017: 22).

Kliniklerde, ameliyathane ve ameliyat sonrası bakım ünitelerinde bakım ve tedavinin her aşamasında güvenli cerrahinin sağlanabilmesi için birlikte çalışılması gerekmektedir. Özellikle ameliyathanelerde çalışan personelin zaman sıkıntısı nedeniyle yoğun baskı hissetmesi ve ekip iletişiminde eksiklikler yaşanması halinde hasta güvenliğinin riske girebileceği durumlar yaşanabilmektedir. Bu sebeple cerrahi kontrol listesinin amacına hizmet edecek şekilde uygun kullanımı ile ameliyathane kaynaklı tıbbi hatalar da azaltılabilecektir (Candaş ve Gürsoy, 2015: 40).

Hedef 5: Sağlık Hizmetleriyle İlgili Enfeksiyonların Azaltılması

Sağlık hizmeti kaynaklı enfeksiyon kontrol uygulamaları ve hizmetlerine yönelik artan talep, bakım kalitesinin değerlendirilmesi ihtiyacını artırmaktadır. Bu bağlamda Dünya Sağlık Örgütü (WHO), hastanelerde hasta güvenliğini sağlamak için hayati önem taşıyan sağlık hizmeti kaynaklı enfeksiyonların etkisini azaltmak amacıyla enfeksiyon önleme ve kontrol (IPC) çerçevesi başlatmıştır. Hastane enfeksiyonları kişiler hastanede tedavi görmeye başladıktan sonra bağışıklığın zayıflaması, tıbbi prosedürler ve antibiyotiğe dirençli patojenler gibi faktörler nedeniyle önemli zorluklar teşkil etmekte ve daha yüksek ölüm oranları ve artan sağlık hizmeti maliyetleri gibi sonuçlar doğurmaktadır. Sağlık çalışanları (IPC) önlemlerinin uygulanmasında kritik öneme sahiptir. El hijyeni, kişisel koruyucu ekipman (KKE), çevre temizliği ve sürveyans gibi stratejileri içeren enfeksiyon kontrol programları standart hale gelmiştir. Ancak değişime direnç, kaynak sınırlamaları, hasta devir hızı ve hasta koşullarındaki değişkenlik gibi zorluklar devam etmektedir. Hastane enfeksiyon kontrolünü sürdürme stratejileri; sıkı uyum takibi, personel eğitimi, yapay zekâ, makine öğrenimi, tele tıp ve yenilikçi sanitasyon yöntemleri gibi ileri teknolojileri içermektedir. Hastane enfeksiyon kontrolünün geleceği için sağlık tesisleri arasındaki iş birliğinden yararlanırken çevresel izleme, antimikrobiyal yönetim ve hasta katılımının artan entegrasyonu ile sürdürülebilmektedir (Kudbe vd., 2023:1)

Hedef 6: Hastaların Düşmelerden Zarar Görme Riskinin Azaltılması

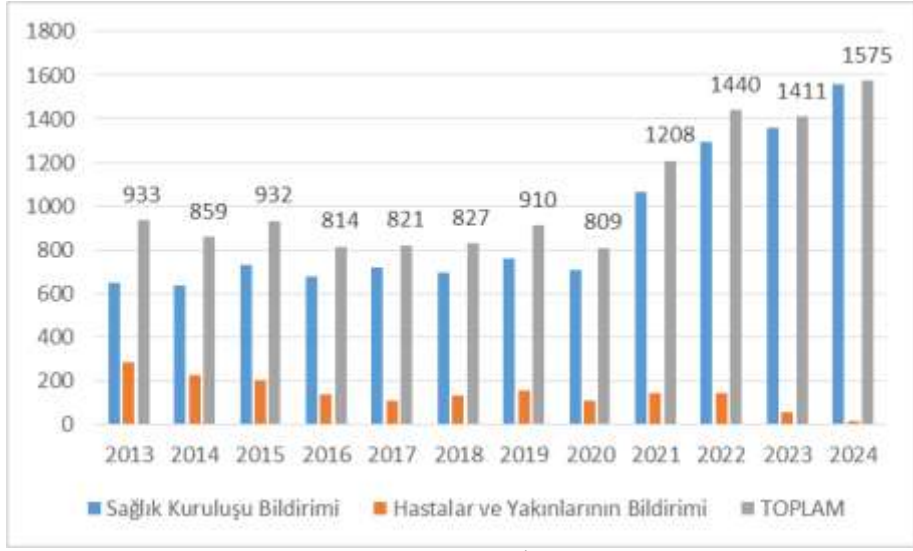
Sağlık kurumlarında bildirilen en yaygın olumsuz olaylardan biri de hasta düşmeleridir. Hastanede yatan hastaların %2'si hastanede kaldıkları süre boyunca en az bir kez düşmektedir. Hastanede yatan hastalardaki düşmeler hastalar için önemli fiziksel ve ekonomik yüklere (yaralanma ve ölüm oranlarında artış ve yaşam kalitesinde düşüş) ve tıbbi kuruluşlar için de (kalış sürelerinde artış, tıbbi bakım maliyetleri ve davalar) neden olmaktadır.

Düşmeler diğer sağlık problemlerinden bağımsız kişinin günlük yaşam aktivitelerinde bağımlılığa neden olarak bağımsızlığını tehdit etmektedir. Hastada düşmeler yaralanma ve fonksiyon kayıplarına neden olurken aynı zamanda hastanede kalış süresinin uzamasına, tedavi maliyetinin artmasına da neden olmaktadır. Hasta yakınları ve hastane personeli açısından ise; anksiyete ve korku gelişmesine neden olmaktadır. Düşme sonrası kişide hareketsizlik meydana gelmesiyle beraber günlük yaşam aktiviteleri etkilenerek yaşam kalitesini de ciddi ölçüde bozmaktadır. Hastalar en çok hasta yatağının çevresinde düşmektedirler. Tuvalet, banyo ve koridorlarda da düşme olayları yaşanmaktadır. Düşmeler en sık hasta odasında görülmekte, bunu takiben hasta taşınması sırasında (% 37), sandalyede oturma sırasında (% 20), yürüme esnasında (% 15) yaşandığı tespit edilmiştir (LeLaurin ve Shorr, 2019: 1-2, Çelik ve Zıngal, 2016: 8)

HASTA GÜVENLİĞİ İLE İLGİLİ VERİLER

Sağlık Bakım Organizasyonlarının Akreditasyonunda Birleşik Komisyonu (Joint Commission International- JCI) tarafından 2025 yılında yayınlanan rapora göre 1 Ocak-31 Aralık 2024 tarihleri arasında komisyona 1575 rapor ulaşılmıştır. Raporların %99,05'i akredite sağlık kuruluşları tarafından geri kalan raporlar ise hastalar ya da yakınları tarafından bildirilmiştir (JCI, 2025)

Yıllara göre bildirilen istenmeyen olay sayılarındaki değişime bakıldığında 2020 yılı sonrası belirgin bir artış göze çarpmaktadır. Bu artışın temel sebebinin 11 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü tarafından ilan edilen küresel COVID-19 pandemisi olduğu düşünülmektedir. Yıllar içerisinde yine sağlık kuruluşları tarafından yapılan bildirimlerin toplam bildirimlerin içindeki payının arttığı, hastanelerin ve sağlık çalışanlarının istenmeyen olay bildirimleri konusunda daha bilinçli ve duyarlı olduklarını düşündürmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Bildirim Kaynağı ve Yıllara Göre İstenmeyen Olayların Dağılımı (2013-2024)

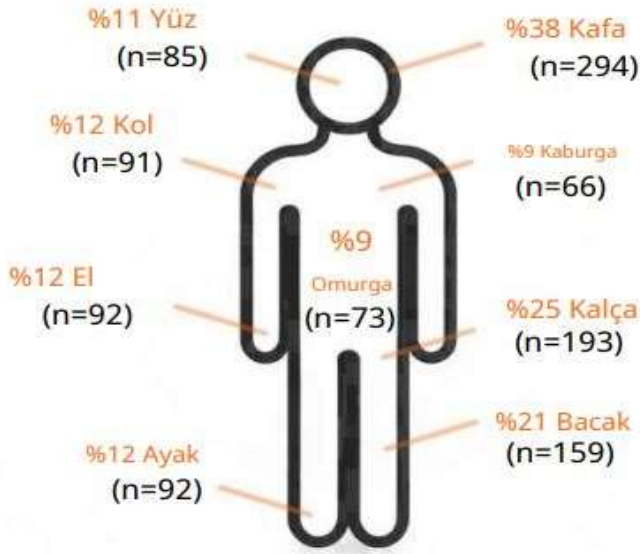
JCI raporuna göre Tablo 1’de 2024 yılında gerçekleşen istenmeyen olaylarda en çok düşmeler meydana gelmiştir. Bu düşmelerden 51’i (%7) hastanın ölümüne, 503’ü (%65) ciddi yaralanmaya ve 199’u (%26) orta derecede yaralanmaya neden olmuştur.

Tablo 1: En Çok Bildirilen İstenmeyen Olay Türleri (2024)

İstenmeyen Olay	n	%
Düşme	776	49
Yanlış Ameliyat*	127	8
Tedavide Gecikme	126	8
Kendini Yaralama Sonucu Ölüm/İntihar	122	8
İstem Dışı Yabancı Cisim Yutma	119	8
Saldırı/Tecavüz/Cinsel Saldırı/Cinayet	65	4
Ateş/Yangın	45	3
Şiddetli Anne Morbiditesi	32	2
İlaç Yönetimi	29	2
Kendine Zarar Verme	23	1
Perinatal Olay	22	1

* Yanlış ameliyat, yanlış bölge, yanlış işlem, yanlış hasta ve yanlış implantı içerir.

Baş/beyin yaralanmaları (örneğin, subdural hematom veya subaraknoid kanama) düşmeye bağlı zararların başında (%38) gelirken, bunu kalça kırıkları (%25) ve bacak kırıkları (%21) izlemiştir. Bildirilen düşmeler en sık 70 yaş ve üzeri hastalarda (n=433, %56) ve ardından 18-69 yaş arası yetişkinlerde (n=329, %42) meydana gelmiştir. (Şekil 2)



Şekil 2: Düşmelerde Vücutun En Çok Zarar Gören Bölgeleri

2024 yılında daha önceki yıllardakine benzer şekilde, hastaların yürürken düşmesi düşmelerin en yaygın sebebi olarak görülmüş (n=239, %31), bunu yataktan düşme (n=231, %30) ve tuvaletten düşme (n=137, %18) izlemiştir.(Şekil 3)



Şekil 3: En Yaygın Görülen Düşme Yerleri

Yine 2024 yılında daha önceki yıllarda da olduğu gibi, düşmelere yol açan başlıca etkenler arasında politikaların uygulanmasında yaşanan zorluklar (örneğin, hasta ziyaretleri, düşme riski değerlendirmesi) ve bakım ekibi genelinde ortak bir anlayış veya zihinsel model oluşturmada yaşanan güçlükler yer almaktadır.(Tablo 2)

Tablo 2: Düşmelere Öncü Katkıda Bulunan Faktörler
(2024, toplam 7.774 katkıda bulunan faktör belirlendi)

Düşmelere Öncü Katkıda Bulunan Faktörler	(%)
Düşme riskini azaltmaya yönelik politika ve prosedürlere uyulmaması	10
Bakım ekibinde ortak bir anlayış eksikliği	7
Düşme riski konusunda hastalara eğitim verilmemiş/yetersiz eğitim verilmiş olması	7
Başka göreve odaklanma veya meşguliyet	6
Vardiya değişimlerinde personel arasında yetersiz iletişim ya da iletişim olmaması	6
Sağlık personellerinin klinik belirtileri tanıma konusunda yetersiz olması	6
Personel arasında kritik bilgi paylaşımında yetersizlik	5
Yüksek düşme riski olan hastalar için yeterli önlemin alınmamış olması	5
Düşmeleri önlemeye yönelik yetersiz veya eksik personel eğitimi	4
Görev yoğunluğu ya da çoklu görev yapmak dolayısıyla zihinsel yorgunluk	3

SONUÇ

Kaliteli sağlık hizmeti sunumunda sağlık bakım hizmeti sunucularının hasta güvenliğinin güvence altına alınması birincil amacı olmalıdır. Bu amacın gerçekleştirilmesinde hem hastane yönetimi hem de hizmeti sağlayan sağlık ekibi hastanın güvenli bir ortamda ve her türlü zarar verici durumdan korunarak hizmet alımının sağlanması konusunda sorumlu durumundadır.

JCI raporunda da görüldüğü gibi sağlık hizmeti sunumu sırasında hastaların güvenliğini tehdit eden en büyük unsur düşmelerdir. Hasta düşmelerinin önlenmesi, risk faktörlerinin doğru tanımlanması, ekip iletişiminin güçlendirilmesi, çevresel düzenlemelerin yapılması ve kurumsal politikaların uygulanmasıyla mümkündür. Eğitim programları ve uluslararası rehberler, güvenli uygulamaların standardize edilmesini desteklerken, yeni nesil teknolojiler bu süreci tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Düşme riskinin en aza indirilmesinde güvenlik kültürü güçlendirilmeli ve inovatif çözümler sürece entegre edilmelidir.

REFERANSLAR

- Arslan, F. T., Akkoyun, S. (2020). Yenidoğanlarda İlaç Uygulama Hatalarında Hemşirenin Sorumluluğu. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi, 8(3), 1018-1029.
- Aslan, Y. (2019). Hasta Güvenliği Kültürü Olay/Hata Raporlama. ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 6(1), 73-83.
- Candaş, B., Gürsoy, A. (2015). Cerrahide Hasta Güvenliği: Güvenli Cerrahi Kontrol Listesi. ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 3(1), 40-50.

- Çelik, G. O., Zıngal, H. (2016). Beyin Cerrahisi Kliniğinde Yatan Hastaların Düşme Risklerinin ve Alınan Önlemlerin Belirlenmesi. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 1(1), 7-11.
- Durmuş, S. Ç. (2022). Tıbbi Hatalar: Nedenleri ve Çözüm Önerileri. Social Sciences Studies Journal (SSSJJournal), 4(23), 4388-4396.
- Girginer, N., İskenderoğlu, M. (2020). Sigma Levels Analysis of International Patient Safety Goals for a Private Hospital. Journal of International Health Sciences and Management, 6(10), 65-73.
- Göçmenavcı, G. (2021). Hemşirelerin Kimlik Doğrulama Uygulamalarının Belirlenmesi. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 6(2), 71-76.
- Gün, R., Öztornacı, B. Ö. (2024). Çocuk Hemşirelerinin Yüksek Riskli İlaçlarla İlgili Bilgi Düzeylerinin Belirlenmesi. Hemşirelikte Araştırma Geliştirme Dergisi, 26(2), 50-69.
- Gürlek, Ö., Kanber, N. A., Khorshid, L. (2015). Hastanelerde Kimlik Tanımlayıcı Bileklik Kullanımına İlişkin Uygulamaların ve Hasta Görüşlerinin İncelenmesi. Journal of Education & Research in Nursing/Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi, 12(3).
- JCI, (2025). The Joint Commission, (2024). Sentinel Event Data 2023 Annual Review
<https://digitalassets.jointcommission.org/api/public/content/eac7511986c0442a9c1ae04b1aa02cc0?v=ad34daa0>
- Kesgin, V., Kurtuluş, U. D. İ., Dinç, Y. (2017). Güvenli Cerrahi Kontrol Listesinin Ekip Çalışması Üzerindeki Etkisi ve Kullanım Engelleri. Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi, 13(1), 19-35.
- Korkmaz, A. Ç. (2018). Geçmişten Günümüze Hasta Güvenliği. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi, 6(1), 10-19.
- Korkmaz, E. (2022). Hasta Güvenliğine Genel Bir Bakış. Journal of Anatolian Medical Research, 7(1), 19-25.
- Korkutan, M., & Kurt, M. (2021). Hasta Güvenliği Kültürünün Türkiye’deki Mevcut Durumu ve Önemi. Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi, 7(1), 19-31.
- Kubde, D., Badge, A. K., Ugemuge, S., & Shahu, S. (2023). Importance of Hospital Infection Control. Cureus, 15(12).
- LeLaurin, J. H., Shorr, R. I. (2019). Preventing Falls In Hospitalized Patients: State Of The Science. Clinics In Geriatric Medicine, 35(2), 273-283.
- Manav, G., Karademirler, Y. (2018). Hasta Güvenliği Kültürü. Güncel Pediatri Dergisi, 16(3), 103-116.
- Sarp, N. (2018). Hasta Güvenliğinde Hastanın Rolü ve Katılımının Sağlanması. Sağlıkta Kalite ve Akreditasyon Dergisi, 1(2), 22-29.
- Tarhan, D., Yıldırım, T., Hakkı, G. (2022). Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye’de Hasta Güvenliği, Tıbbi Hatalardan Öğrenme Kültürü. Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi, 19(2), 46-98.
- Taşkıran, N., Sarı, D. (2017). Hasta Güvenliği Açısından Önemli Bir Sorun: Hasta Teslimi. Journal of Education & Research in Nursing/Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi, 14(1).
- World Health Organization, (2024). Global Patient Safety Report.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240095458>

Kaynaklar APA formatına göre verilmeli ve alfabetik sıraya konulmalıdır. Makale metni içinde kullanılan tüm kaynaklar burada listelenmeli ve makale içinde kullanılmayan kaynaklar burada listelenmemelidir. Birden fazla yazarı olan çalışmalarda yazar isimleri ve ile ayrılmalıdır. Çok yazarlı kaynaklarda & işareti kullanılmamalıdır. Kaynaklar arasında boşluk bırakılmamalıdır. Örnek olarak bazı kaynaklar aşağıda verilmiştir.

Dergi Makalelerin Kaynakça bölümünde gösterimi

- Sahin, S., Ocak, M.A., ve Uluyol, C.(2009). A systematic evaluation of preservice teachers' opinions on learning objects. *International Journal of Human Sciences*, 6(2), 723-736.
- Ocak, M. A., ve Akdemir, O. (2008). An investigation of primary school science teachers' use of computer applications. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 7(4), 54-60.
- Ocak, M.A. (2005). Mathematics teachers' attitudes toward the computers. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 4(3), 82-88.
- Scahill, E. M., Melican, C., ve Walstad, W. (2005). The preparation and experience of advanced placement in economics instructors. *Journal of Economic Education*, 36(1), 93-98.

Kitapların Kaynakça bölümünde gösterimi

- Yalın, H. İ. (2003). *Öğretim teknolojileri ve materyal geliştirme*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Kozol, J. (1991). *Savage inequalities: Children in America's schools*. New York: Crown Publishers.
- Calfee, R. C., ve Valencia, R. R. (1991). *APA guide to preparing manuscripts for journal publication*. Washington, DC: American Psychological Association.

Kitap Bölümlerinin Kaynakça bölümünde gösterimi

- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. Editör C. M. Reigeluth, *Instructional-design theories and models, Vol. II* (pp. 215-239). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- O'Neil, J. M., ve Egan, J. (1992). Men's and women's gender role journeys: Metaphor for healing, transition, and transformation. Editör B. R. Wainrib, *Gender issues across the life cycle* (pp. 107-123). New York, NY: Springer.
- Çakır, H., Karadeniz, Ş., ve Uluyol, Ç. (2008). Öğretim stratejileri: İnternet temelli öğretimde kuramsal temeller. Editör H. İ. Yalın, *İnternet temelli eğitim* (pp. 65-106). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Konferans Sunularının ve Bildirilerinin Kaynakça bölümünde gösterimi

- Akkoyun, F. ve Bacanlı, H. (1988). ACL-Sıfat tarama listesinin Türkçeye uyarlaması: TA ego durumları ölçekleri ile bir çalışma. *V. Ulusal Psikoloji Kongresine Sunulmuş Bildiri*.
- Lee, J., ve McIntire, W. G. (1999). Understanding rural student achievement: Identifying instructional and organizational differences between rural and nonrural schools. *The Annual Meeting of the American Educational Research Association, Montreal, Quebec, Canada Kongresine Sunulmuş Bildiri*.
- Barlow, D. H., Chorpita, B. F., ve Turovsky, J. (1996). Fear, panic, anxiety, and disorders of emotion. Editör R. Dienstbier, *Nebraska Symposium on*

Motivation: Vol. 43. Perspectives on anxiety, panic, and fear (pp. 251-328).
Lincoln, NE: University of Nebraska Press.

Elektronik Kaynakların Kaynakça bölümünde gösterimi

Taylor, D. ve Potter, M. (2001). *The literature review: a few tips on conducting it.*
University of Toronto. <http://www.utoronto.ca/writing/litrev.html> adresinden
8 Ağustos 2009 tarihinde alınmıştır.

Periodontolojide Yapay Zeka Uygulamaları: Güncel Eğilimler ve Gelecek Perspektifleri

Ramazan AĞIRAĞAÇ¹

1- Arş. Gör.; Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji Anabilim Dalı.
rmznagiragac@gmail.com ORCID No: 0009-0000-0245-7723

ÖZET

Yapay zeka (YZ), son yıllarda sağlık bilimlerinde yaşanan dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri hâline gelmiş ve periodontoloji alanında tanı, tedavi planlaması, hasta yönetimi ve klinik karar destek süreçlerinde önemli uygulama alanları bulmuştur. Makine öğrenmesi, derin öğrenme, bilgisayarlı görü ve büyük dil modelleri gibi teknolojiler; periodontal hastalıkların erken tanısı, alveoler kemik kaybının değerlendirilmesi, radyografik görüntülerin otomatik analizi, hastalık şiddetinin sınıflandırılması ve tedavi sonuçlarının öngörülmesinde yüksek doğruluk ve hız sağlamaktadır. Ayrıca yapay zekâ destekli sistemler, peri-implant hastalıkların tanısı, implant planlaması, hasta eğitimi, tele-diş hekimliği uygulamaları ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine de katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte veri kalitesi, algoritmik yanlılık, açıklanabilirlik, etik sorumluluklar, veri güvenliği ve yasal düzenlemeler gibi önemli sınırlılıklar, yapay zekânın klinik uygulamalara güvenli entegrasyonu açısından dikkate alınması gereken temel konular arasında yer almaktadır. Bu bölümde, yapay zekânın periodontolojideki güncel kullanım alanları; periodontal tanı, dental görüntüleme, tedavi planlaması, peri-implant hastalıklar, büyük dil modelleri ve dijital sağlık uygulamaları kapsamında güncel literatür ışığında kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca açıklanabilir yapay zekâ, federasyon öğrenmesi, çok modlu yapay zekâ sistemleri ve hassas periodontoloji gibi geleceğe yön veren teknolojik gelişmeler ele alınarak bu yeniliklerin periodontal pratiğe olası katkıları tartışılmıştır. Sonuç olarak yapay zekâ, klinisyenin yerini alan bir teknoloji olmaktan ziyade tanısal doğruluğu artıran, klinik karar verme süreçlerini destekleyen ve kişiselleştirilmiş periodontal bakımın geliştirilmesine katkı sağlayan güçlü bir yardımcı araç olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Yapay zekâ; Periodontoloji; Makine öğrenmesi; Derin öğrenme; Klinik karar destek sistemleri.

GİRİŞ

Periodontal Hastalıkların Küresel Önemi

Periodontal hastalıklar, dünya nüfusunun yaklaşık %20 ila %50'sini etkileyen ve küresel olarak en sık görülen altıncı hastalık grubudur (Jafer vd., 2025; Roy vd., 2025). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2022 raporuna göre, 1 milyardan fazla yetişkin şiddetli periodontitisten etkilenmekte ve bu durum diş kaybının birincil nedenini oluşturmaktadır (Jafer vd., 2025; Khubrani vd., 2025). Bu hastalıklar sadece ağız sağlığını tehdit etmekle kalmayıp; diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve Alzheimer gibi sistemik

durumlarla da iki yönlü ve güçlü bir ilişki içerisinde (Khubrani vd., 2025; Messina vd., 2026).

Dijital Dönüşüm ve Yapay Zekanın Yükselişi

Sağlık bilimleri, dijitalleşme ile birlikte "Yüksek Performanslı Tıp" dönemine girmiş, insan bilişini taklit eden Yapay Zekâ (YZ) bu sürecin merkezine yerleşmiştir (Ahmed et al., 2021; Scott et al., 2023). Periodontolojide YZ, hekimin yerini alan bir teknolojiden ziyade, teşhis kapasitesini ve verimliliği artıran bir "artırılmış zekâ" (augmented intelligence) bileşeni olarak işlev görmektedir (Ahmed vd., 2021; Bonny vd., 2023).

Periodontolojide Yapay Zekaya Duyulan Gereksinim

Geleneksel tanı yöntemleri olan manuel sondalama ve radyografik değerlendirmeler; yüksek uygulayıcı değişkenliği, subjektif hata payı ve zaman maliyeti gibi temel sınırlılıklara sahiptir (Khubrani vd., 2025; Messina vd., 2026). Yapay zekâ destekli sistemlerin, manuel olarak 8-10 dakika süren analizleri yaklaşık 0.027 saniye gibi çok kısa sürelerde tamamlayabildiği ve tanı hatalarını %35'e kadar azaltabildiği kanıtlanmıştır (Das vd., 2025; Khubrani vd., 2025). Bu teknoloji, mikroskobik düzeydeki kemik değişimlerini saptayarak erken teşhisi ve kişiselleştirilmiş tedavi planlarını mümkün kılar (Jafer vd., 2025).

Bölümün Amacı

Bu bölümün amacı, yapay zekânın modern periodontoloji pratiğindeki güncel uygulamalarını, radyolojik analizlerdeki performansını ve gelecekteki potansiyel rollerini en yeni akademik kanıtlar ışığında kapsamlı bir şekilde sunmaktır.

YAPAY ZEKA VE TEMEL TEKNOLOJİLER

Yapay zeka (YZ) ve ilgili teknolojiler, verileri analiz ederek insan bilişsel süreçlerini taklit eden matematiksel modeller üzerine kuruludur (Akram, 2025; Cholan vd., 2023; Wimalasiri vd., 2026). Bu alanın temel yapı taşları aşağıda özetlenmiştir:

- Yapay Zekâ (AI): Makinelerin öğrenme, muhakeme ve problem çözme gibi insan zekâsı gerektiren karmaşık görevleri simüle etme yeteneğidir (Ahmed vd., 2021; Wimalasiri vd., 2026).
- Makine Öğrenmesi (ML): Algoritmaların veri setlerindeki kalıpları tanımlayarak, açıkça programlanmadan deneyim yoluyla performansını iyileştirmesidir (Bonny vd., 2023; Turosz vd., 2023).
- Derin Öğrenme (DL) ve Yapay Sinir Ağları (ANN): İnsan beynindeki nöronların çalışma prensibinden esinlenen, çok katmanlı

- yapılar aracılığıyla büyük veri hacimlerini işleyen ileri düzey ML dalıdır (Bonny vd., 2023; Roy vd., 2025; Scott vd., 2023).
- Bilgisayarlı Görü (Computer Vision): Radyograflar ve fotoğraflar üzerinde sınıflandırma (hastalık tespiti), tespit (nesne yerini belirleme, örn. YOLOv8) ve segmentasyon (hassas sınır çizimi, örn. U-Net) görevlerini yerine getirir (Jundaeng vd., 2024; Mao vd., 2025; Wimalasiri vd., 2026).
 - Büyük Dil Modelleri (LLM) ve Doğal Dil İşleme (NLP): GPT-4 gibi sistemler aracılığıyla yapılandırılmamış klinik notlardan ve elektronik diş kayıtlarından tanısal bilgilerin otomatik olarak çıkarılmasını ve sentezlenmesini sağlar (Chuang vd., 2024; Das vd., 2025).

PERİODONTAL HASTALIKLARIN TANISINDA YAPAY ZEKA

Yapay zeka (YZ), periodontal hastalıkların teşhisinde objektif, tutarlı ve hızlı bir süreç sunarak klinik karar verme mekanizmalarını güçlendirmektedir (Akram, 2025; Roy vd., 2025). Bu alandaki temel uygulamalar şu şekildedir:

- Klinik Değerlendirme ve Yumuşak Doku Analizi: Derin öğrenme modelleri, ağız içi fotoğraflardan gingivitis teşhisini %74 ila %97,9 arasında değişen doğruluk oranlarıyla yapabilmektedir (Chatzopoulos vd., 2025; Parihar vd., 2024). Bat sürüsü algoritması, %97,94 doğrulukla diş eti iltihabını saptamada en başarılı yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca YZ, diş yüzeyindeki plak ve diş taşı uzman hekimlerle benzer hassasiyette tespit edebilmektedir (Chatzopoulos vd., 2025).
- Periodontitis Sınıflandırılması ve Şiddeti: YZ sistemleri, 2018 yeni periodontal sınıflama sistemine göre hastalık evrelerini (Evre I-IV) ve derecelerini (Derece A-C) otomatik olarak belirleyebilir. Modern YOLOv8 modelleri, alveoler kemik kaybı tespitinde uzman periodontologları geride bırakarak %94,4 doğruluk ve %100 duyarlılık sergilemiştir (Jundaeng vd., 2024).
- Radyografik ve Biyolojik Veri Entegrasyonu: CNN mimarileri, radyograflarda sement-mine sınırı (CEJ) ve kemik krestini milimetrik hassasiyetle saptayarak kemik kaybı yüzdesini otomatik hesaplar. Görüntü analizinin yanı sıra, Yapay Sinir Ağları (ANN) tükürükteki immunolojik belirteçleri analiz ederek kronik ve agresif periodontiti %90-%98 doğrulukla ayırt edebilmektedir (Das vd., 2025; Wimalasiri vd., 2026).
- Tanısal Performans ve Hız: Manuel radyografik analiz süreci 8-10 dakika sürerken, YZ destekli platformlar bu süreci 1-2 dakikaya indirerek %80-90 oranında zaman tasarrufu sağlamaktadır. YZ,

yorgunluktan bağımsız olarak her vakada objektif bir "ikinci görüş" sunarak klinik hataları minimize eder (Akram, 2025).

DENTAL GÖRÜNTÜLEME VE RADYOLOJİK UYGULAMALAR

Periodontolojide radyolojik analiz; kemik yıkım paternlerini ve destek dokuların sağlığını belirlemek için esastır. YZ, radyografilerdeki anatomik yapıları pikseller düzeyinde işleyerek manuel değerlendirmedeki subjektif hataları minimize eder (Jundaeng vd., 2024; Wimalasiri vd., 2026).

- Periapikal ve Panoramik Radyografler: "Altın standart" kabul edilen periapikal görüntülerde YZ (örn. VGG-16), kemik kaybı ve furkasyon defektlerini %95'e varan doğrulukla saptayabilir. Panoramik filmlerde ise DeNTNet ve GoogLeNet gibi modeller, kemik kaybını tespit etmede uzman hekimlerle benzer veya üstün performans (yaklaşık %91 doğruluk) sergilemektedir (Chatzopoulos vd., 2025).
- Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT): 3D değerlendirme sunan CBCT verilerinin YZ ile entegrasyonu, tanısal hataları %35 oranında azaltmaktadır. ResNet101V2 gibi modeller, CBCT kesitlerinde furkasyon tutulumlarını %91-95 doğrulukla otonom olarak belirleyebilir (Khubrani vd., 2025).
- Alveoler Kemik Kaybı (AKK) Ölçümü ve Staging: YZ sistemleri (örn. YOLOv8), sement-mine sınırı (CEJ) ve kemik krestleri arasındaki mesafeyi milimetrik hassasiyetle ölçerek kemik kaybı yüzdesini otomatik hesaplar. Bu modeller, periodontitis evrelemesinde (Stage I-IV) %94,4 doğruluk ve %100 duyarlılık oranlarına ulaşmıştır (Jundaeng vd., 2024).
- Otomatik Segmentasyon: YZ, radyografilerdeki dişleri ve anatomik yapıları %97 doğrulukla birbirinden ayırıp numaralandırabilir. Ayrıca mandibular kanal tespiti ve maksiller sinüs mukozasındaki değişimlerin otonom analizi, implant cerrahisi öncesi iatrojenik yaralanma riskini önemli ölçüde düşürür (Bonny vd., 2023).

TEDAVİ PLANLAMASINDA YAPAY ZEKA

Yapay zekâ (YZ), periodontolojide karmaşık verileri analiz ederek hekimin klinik karar verme sürecini destekleyen ve tedaviyi kişiselleştiren bir "artırılmış zekâ" bileşeni olarak işlev görür (Scott et al., 2023). Bu alandaki temel uygulamalar şunlardır:

- Klinik Karar Destek Sistemleri (CDSS): YZ destekli sistemler; cep derinliği, diş mobilitesi ve kemik kaybı gibi parametreleri Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve Bayes ağları ile işleyerek "çekim mi, koruma mı?" gibi zorlu kararlarda bilimsel rehberlik sunar. Bu

otonom sistemlerin planlama süresini %40 oranında azalttığı bildirilmiştir (Akram, 2025).

- Hassas Periodontoloji (Precision Periodontology): YZ modelleri; hastanın genetik, mikrobiyal ve sistemik verilerini (multi-omik) analiz ederek "tek tip" tedavi yerine kişiye özel kontrol aralıkları ve SRP/antimikrobiyal protokolleri belirler (Akram, 2025).
- Prognoz ve Sonuç Öngörüsü: Derin öğrenme modelleri (örn. ResNet50), dişlerin gelecekteki durumunu tahmin ederek "çekilebilirlik skorları" oluşturur. Ayrıca makine öğrenmesi, cerrahi olmayan tedavi sonrası elde edilecek ataşman kazancını veya hastalık nüks riskini yüksek doğrulukla öngörebilir (Messina vd., 2026).
- Hasta Eğitimi ve Motivasyonu: YZ tabanlı yazılımlar, 3D ağız modelleri üzerinden gelecekteki diş eti çekilmelerini veya tedavi sonuçlarını simüle ederek hastanın sürece katılımını ve tedavi uyumunu artırır (Chatzopoulos vd., 2025).

PERİ-İMLANT HASTALIKLARDA YAPAY ZEKA

Yapay zeka (YZ), implantolojide teşhis süreçlerini otomatize etmek, implant sistemlerini tanımlamak ve klinik sonuçları öngörmek için güçlü araçlar sunmaktadır (Roy vd., 2025). Bu alandaki temel uygulamalar şunlardır:

- İmplant Marka ve Sistem Tanımlama: Klinik kaydı bulunmayan implantların tanımlanması, revizyon cerrahilerinde kritiktir. İnce ayar yapılmış CNN modelleri (VGG-16, GoogLeNet V3), panoramik radyografilerden implant marka ve tipini %70,8 ile %98,2 arasında değişen yüksek bir doğrulukla saptayabilmektedir (Turosz vd., 2023).
- Osseointegrasyon ve Komplikasyon Tespiti: YZ algoritmaları, implant-kemik arayüzündeki mikro-değişiklikleri analiz ederek osseointegrasyon başarısını %79,9 ile %83,6 doğrulukla öngörebilir. Ayrıca, VGGNet-19 gibi modeller implant gövdesindeki kırıkları saptamada %80'in üzerinde güvenilirlik sergilemektedir (Roy vd., 2025).
- Peri-implantitis ve Kemik Kaybı Analizi: İmplant çevresindeki marjinal kemik kaybının ölçümü, radyografik süperpozisyonlar nedeniyle manuel olarak zordur. YOLOv3 ve R-CNN tabanlı YZ sistemleri, kemik yıkımını pikseller düzeyinde analiz ederek peri-implantitis şiddetini uzman hekimlerle benzer hassasiyette sınıflandırabilmektedir (Turosz vd., 2023).
- Risk Tahmini ve Karar Destek: Rastgele Orman (Random Forest) ve Karar Ağaçları modelleri; hastanın ağız hijyeni, sigara kullanımı ve diyabet geçmişi değerlendirilerek peri-implant hastalık gelişme

riskini yaklaşık %87,1 doğrulukla tahmin edebilir. Bu modeller, "peri-implant sağlık" ile "mukozitis" durumlarını ayırt etmede klinisyene objektif bir rehberlik sunar (Turosz vd., 2023).

BÜYÜK DİL MODELLERİ VE ÜRETKEN YAPAY ZEKA

Üretken yapay zeka ve Büyük Dil Modelleri (LLM), periodontolojide yapılandırılmamış klinik notların anlamlandırılması ve veri madenciliği süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır (Chuang vd., 2024). Bu alandaki temel uygulamalar şunlardır:

- Klinik Veri Çıkarımı (NER): Elektronik diş kayıtlarındaki serbest metinli notlardan Named Entity Recognition (NER) teknikleriyle "Evre", "Derece" ve "Yaygınlık" gibi tanısal bilgiler otomatik olarak çıkarılabilmektedir. Fine-tune edilmiş RoBERTa gibi modeller, bu işlemlerde %97-98 gibi yüksek bir doğruluk oranına ulaşmıştır (Chuang vd., 2024).
- Sentetik Veri Üretimi: Hasta gizliliğini korumak ve model eğitimi hızlandırmak amacıyla GPT-4 kullanılarak gerçek klinik notlara benzer sentetik notlar üretilmektedir. Bu yöntem, manuel etiketleme maliyetini düşürürken modelin farklı klinik stillere uyum sağlama (generalizability) yeteneğini artırır (Chuang vd., 2024).
- RAG ve Karar Desteği: Retrieval-Augmented Generation (RAG) teknolojisi, modellerin sadece eğitim verisine dayanmak yerine güncel periodontal rehberlerden (örn. AAP/EFP) anlık veri çekerek kanıta dayalı, gerekçelendirilmiş klinik tavsiyeler sunmasını sağlar (Jafer vd., 2025).
- Çok Modlu (Multimodal) Modeller: Gelecekte sadece metin değil; radyografileri, fotoğrafları ve mikrobiyom verilerini aynı anda işleyebilen çok modlu temel modellerin, insan benzeri bir muhakeme ile bütüncül tanımlar koymasına beklenmektedir (Messina vd., 2026).
- Hasta İletişimi: LLM tabanlı chatbotlar ve dijital asistanlar, karmaşık tanımları hastaların anlayabileceği bir dile indirgeyerek tedavi uyumunu ve ağız hijyeni motivasyonunu artırmak için kullanılmaktadır (Cholan vd., 2023).

HASTA YÖNETİMİ VE DİJİTAL SAĞLIK

Yapay zeka (YZ), periodontolojide hastaların takibini klinik sınırlarının ötesine taşıyarak proaktif ve sürekli bir yönetim modeli sunmaktadır:

- Tele-Diş Hekimliği ve Uzaktan Tarama: Akıllı telefon kameraları ve YZ algoritmaları, hastaların evde çektikleri fotoğraflar üzerinden periodontitis belirtilerini erkenden saptamasına ve hekimlerin uzaktan risk analizi yapmasına olanak tanır. Bu sistemler, özellikle

diş hekimine erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde tarama maliyetlerini düşürür (Mao vd., 2025).

- Mobil Sağlık (mHealth) Uygulamaları: GumAI gibi uygulamalar, toplum taramalarında gingivitis tespitinde %85 doğruluk ve %93 duyarlılık sergilemiştir. Bu araçlar, hastalara bireysel risk profillerine göre kişiselleştirilmiş oral bakım tavsiyeleri sunarak motivasyonu artırır (Parihar vd., 2024).
- Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Akıllı Cihazlar: YZ destekli akıllı diş fırçaları ve ağız içi sensörler (IoT), hastanın fırçalama performansını pikseller düzeyinde analiz eder ve gerçek zamanlı geri bildirim vererek hastalık nükslerini önlemede kritik rol oynar (Zhou vd., 2026).
- Sanal Asistanlar ve Chatbotlar: AI tabanlı chatbotlar; randevuların koordine edilmesi, tedavi sonrası soruların 7/24 yanıtlanması ve hastanın tıbbi geçmişinin analiz edilerek hekime özetlenmesi gibi görevleri üstlenerek klinik verimliliği artırır (Bonny vd., 2023).
- Elektronik Kayıt Entegrasyonu: YZ, yapılandırılmamış klinik notlardan ve periodontal haritalardan veri çekerek hastalık seyrini dinamik olarak izler ve "on-off tıp" (sadece randevu anındaki takip) yerine yaşam boyu kesintisiz bir bakım süreci sağlar (Parihar vd., 2024).

YAPAY ZEKANIN AVANTAJLARI VE SINIRLILIKLARI

Yapay zeka (YZ) teknolojilerinin periodontolojiye entegrasyonu, hem klinisyenler hem de hastalar için önemli fırsatlar sunarken, aynı zamanda teknik, etik ve operasyonel zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu sistemler, klinisyenin yerini alan bir yapıdan ziyade, teşhis kapasitesini ve verimliliği artıran bir "artırılmış zeka" (augmented intelligence) unsuru olarak değerlendirilmektedir (Ahmed vd., 2021; Akram, 2025).

Klinik Avantajlar

YZ'nin klinik pratikteki en somut avantajı, tanı ve iş akış süreçlerinde sağladığı doğruluk, tutarlılık ve hızdır.

- Hız ve Verimlilik: Geleneksel yöntemlerle 8-10 dakika süren kapsamlı radyografik analizler ve periodontal veri girişleri, YZ platformları sayesinde saniyeler mertebesine (yaklaşık 0.027 saniye) inmektedir. YZ uygulamalarının tanı süresini %40 oranında azalttığı bildirilmiştir (Jundaeng vd., 2024).
- Tanısal Kesinlik: Derin öğrenme modelleri, özellikle alveoler kemik kaybı ve diş tespiti gibi görsel görevlerde uzman periodontologlarla yarışır veya onları geride bırakan performans sergilemektedir. Örneğin, YOLOv8 modelleri kemik kaybı tespitinde %94,4

doğruluk oranına ulaşarak uzmanların (%91,1) önüne geçebilmiştir (Hameedaldeen vd., 2025).

- **Objektiflik ve Standardizasyon:** YZ, yorgunluk, dikkat dağınıklığı veya uygulayıcı deneyimi gibi insan faktörlerinden etkilenmez. Bu, özellikle çok merkezli kliniklerde veya farklı uzmanlar arasında uygulayıcılar arası değişkenliği (inter-observer variability) minimize ederek tanısal bir "altın standart" oluşturulmasına yardımcı olur (Wimalasiri vd., 2026).
- **Erken Teşhis ve Maliyet Etkinliği:** YZ'nin mikroskobik doku değişikliklerini ve başlangıç seviyesindeki krestal kemik yıkımlarını saptama yeteneği, hastalıkların geri dönüşümsüz aşamaya gelmeden önlenmesini sağlar. Bu proaktif yaklaşım, hastaların yaşam boyu tedavi maliyetlerini önemli ölçüde düşürebilir (Akram, 2025).
- **Hasta Eğitimi ve Motivasyonu:** 3D simülasyonlar (örneğin diş eti çekilmesinin görselleştirilmesi) ve chatbotlar, hastaların durumlarını daha iyi anlamalarını sağlayarak tedaviye olan bağlılığı (adherence) ve motivasyonu artırır (Chatzopoulos vd., 2025).

Veri Kalitesi ve Teknik Sınırlılıklar

YZ modellerinin başarısı, doğrudan eğitimde kullanılan verinin niteliğine bağlıdır.

- **Heterojenlik Sorunu:** Periodontal veri setleri genellikle farklı görüntüleme cihazlarından (panoramik, periapikal, CBCT) ve farklı klinik protokollerden elde edildiği için yüksek oranda heterojenlik gösterir. Bu durum, modellerin evrensel bir standart yakalamasını zorlaştırır (Turosz vd., 2023).
- **Etiketleme (Labeling) Zorlukları:** Uzmanlar tarafından piksel düzeyinde yapılan manuel işaretlemeler (segmentasyon) hem çok maliyetli hem de hataya müsaittir. Yanlış etiketlenmiş veriler (ground truth hataları), modelin hatalı öğrenmesine ve düşük kaliteli tahminler üretmesine yol açar (Bonny vd., 2023).
- **Genellenebilirlik Kaybı:** Birçok model, eğitildiği spesifik veri setinde (tek merkezli) mükemmel sonuçlar verirken, dış veri setlerinde veya farklı popülasyonlarda performans kaybı (yaklaşık %10-%20 oranında) yaşamaktadır (Zhou vd., 2026).

Algoritmik Yanlılık (Bias)

Algoritmik yanlılık, YZ sistemlerinin adaletli ve eşitlikçi bir hizmet sunmasını engelleyen en kritik sorunlardan biridir.

- **Demografik Eksiklikler:** Eğitim setlerinde belirli etnik grupların, yaş aralıklarının veya cinsiyetlerin az temsil edilmesi, modelin bu gruplar üzerinde yanlış teşhis koyma riskini artırır (Akram, 2025).
- **Dengesiz Veri Setleri:** Periodontal veri setlerinde genellikle şiddetli vakalar (Evre III/IV) başlangıç seviyesindeki vakalardan daha

fazladır. Bu durum, modelin hastalığın erken aşamalarını (Evre I) saptamada yetersiz kalmasına (low sensitivity) neden olabilir (Jafer vd., 2025).

Etik, Hukuki ve "Kara Kutu" Sorunu

YZ'nin klinik kabulü önündeki en büyük engellerden biri, karar verme süreçlerinin şeffaf olmamasıdır.

- Açıklanabilirlik (Black Box): Derin öğrenme modelleri bir karara nasıl vardıklarını insan tarafından anlaşılabilir bir dille açıklayamazlar. Bu "kara kutu" doğası, hekimin sisteme olan güvenini zayıflatır (Messina vd., 2026).
- Yasal Sorumluluk: YZ destekli bir teşhis sonucunda tıbbi bir hata (malpraktis) oluştuğunda, hukuki sorumluluğun kime ait olduğu (hekim, yazılım geliştirici veya kurum) halen belirsizliğini koruyan karmaşık bir sorundur (Bonny vd., 2023).
- Düzenleme Eksikliği: Dış hekimliğinde YZ uygulamaları için henüz uluslararası düzeyde kabul görmüş standartlar ve onay süreçleri tam olarak olgunlaşmamıştır (Parihar vd., 2024).

Veri Güvenliği ve Altyapı Maliyetleri

YZ sistemlerinin kurulumu ve idamesi önemli bir finansal ve operasyonel yük gerektirir.

- Veri Gizliliği ve Siber Güvenlik: Hassas hasta verilerinin (EHR, radyografiler) kullanımı, HIPAA ve GDPR gibi katı yasal düzenlemelere uyum gerektirir. Verilerin anonimleştirilmeden paylaşılması büyük bir gizlilik riski oluşturur (Messina vd., 2026).
- Kurulum ve Güncelleme Maliyetleri: Yüksek performanslı GPU'lar, bulut tabanlı depolama sistemleri ve yazılım lisans ücretleri, küçük ölçekli klinikler için başlangıçta caydırıcı olabilir. Ayrıca, modellerin güncelliğini koruması için sürekli olarak yeni verilerle yeniden eğitilmesi (re-training) gerekmektedir (Jafer vd., 2025).
- İnsan Dokunuşunun Eksikliği: YZ ne kadar gelişmiş olursa olsun, tıbbın en temel unsurları olan şefkat, motivasyon ve karmaşık biyolojik muhakeme gibi insani yeteneklerin yerini alamaz (Bonny vd., 2023).

GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Yapay zekâ (YZ) uygulamaları, periodontoloji alanında teorik keşif aşamasından klinik doğrulama aşamasına geçmiş olsa da, geniş ölçekli klinik uygulamalar henüz başlangıç seviyesindedir. Gelecekte, periodontoloji disiplininin ampirik tıptan hassas tıba (precision medicine) ve tekil tanıdan bütünsel sağlık yönetimine evrilmesi beklenmektedir. Bu dönüşümün temel

taşılarını açıklanabilir algoritmalar, işbirlikçi öğrenme modelleri ve ileri teknoloji cerrahi yardımcılar oluşturacaktır (Zhou vd., 2026).

Açıklanabilir Yapay Zekâ (Explainable AI - XAI) ve Şeffaflık

YZ sistemlerinin "kara kutu" (black box) olarak nitelendirilen opak doğası, klinik güvenin önündeki en büyük engellerden biridir. Geleceğin YZ modelleri, sadece bir teşhis koymakla kalmayıp, bu karara nasıl vardıklarını insan tarafından anlaşılabilir gerekçelerle sunacak şeffaf sistemlere dönüşecektir (Mao vd., 2025).

- Kavramsal Muhakeme: Konsept Darboğaz Modelleri (Concept Bottleneck Models - CBMs) gibi yaklaşımlar, modelin tahminlerini bir grup doktorun muhakeme sürecine benzer şekilde, veriden öğrenilen anlaşılabilir kavramlarla (örneğin "SMS-kemik mesafesi artışı" veya "radyolüsenzi") gerekçelendirmesini sağlayacaktır (Mao vd., 2025).
- Görsel Kanıtlar: Grad-CAM++ gibi ileri düzey ısı haritaları, hekimin radyografide tam olarak hangi piksellerin periodontitis tanısını tetiklediğini görmesine olanak tanıyarak tanısallı doğrulamayı kolaylaştıracaktır (Zhou vd., 2026).

Federated Learning (Federasyon Öğrenmesi) ve Veri Güvenliği

Veri kıtlığı ve hasta gizliliği (PHI) endişeleri, merkezi veri tabanlarının oluşturulmasını zorlaştırmaktadır. Federated Learning, ham verilerin kurum dışına çıkmasına gerek kalmadan modellerin yerel sistemlerde eğitilmesini sağlayan devrim niteliğinde bir çözümdür.

- Küresel İşbirliği: Farklı ülkelerdeki kliniklerden gelen veriler, yerel sunucularda işlenerek sadece model parametreleri (ağırlıklar) bir merkezle paylaşılacak; bu sayede bireysel gizlilik korunurken modelin genellenebilirliği ve sağlamlığı en üst düzeye çıkarılacaktır (Jafer vd., 2025).

Multimodal AI ve Retrieval-Augmented Generation (RAG)

Geleceğin YZ sistemleri, sadece görüntü analiziyle sınırlı kalmayıp çok boyutlu veri füzyonu gerçekleştiren Çok Modlu Temel Modeller (Multimodal Foundation Models) üzerine kurulacaktır.

- Dinamik Bilgi Erişimi (RAG): Sadece eğitim verisine güvenmek yerine, RAG (Arama-Artırılmış Üretim) teknolojisi ile sistemler, bir vaka analizi yaparken anlık olarak en güncel AAP/EFP kılavuzlarını ve rejeneratif çalışma sonuçlarını dış kaynaklardan çekerek kanıt dayalı klinik tavsiyeler üretecektir (Jafer vd., 2025).
- Bütüncül Veri İşleme: Bu modeller; radyografileri, periodontal haritalama verilerini, ağız içi fotoğrafları ve genomik/mikrobiyom verilerini tek bir çerçevede birleştirerek insan benzeri bir muhakeme

yapabilecek ve karmaşık periodontal-sistemik etkileşimleri analiz edebilecektir (Das vd., 2025).

Precision Periodontology (Hassas Periodontoloji) ve Omik Entegrasyonu

Periodontoloji pratiği, "herkese aynı tedavi" yaklaşımından uzaklaşarak her hastanın biyolojik profiline uygun kişiselleştirilmiş protokoller geliştirecektir.

- Moleküler Mekanizmalar: YZ destekli multi-omik analizler; genomik, proteomik ve metabolomik verileri klinik parametrelerle (PPD, CAL, BOP) entegre ederek hastalık ilerleme riskini (burst analysis: "progression" ve "expression") moleküler düzeyde tahmin edecektir (Parihar vd., 2024).
- Hedefe Yönelik Tedaviler: FAM5C gibi genetik belirteçlerin ve tükürükteki immunolojik profillerin YZ ile analizi, hastanın tedaviye vereceği yanıtı (örneğin SRP sonrası ataşman kazancı) önceden öngörmeyi mümkün kılacaktır (Messina vd., 2026).

Robotik, Otonom Sistemler ve Biyobaskı

Robotik teknolojiler, periodontolojide cerrahi hassasiyeti ve doku mühendisliğini yeni bir boyuta taşıyacaktır.

- Otonom Cerrahi: YZ destekli robotik kollar, minimal invaziv periodontal cerrahi ve otonom implant yerleşimi süreçlerinde hekim gözetiminde görev alarak iatrojenik yaralanma riskini minimize edecektir (Bonny vd., 2023).
- Biyobaskı (Bioprinting): En gelişmiş YZ uygulamalarından biri olan biyobaskı teknolojisi, kaybedilen periodontal dokuların (kemik, ligament, sement) hastanın kendi hücrelerinden üretilen ince tabakalar halinde 3D olarak yeniden inşa edilmesini sağlayacaktır (Bonny vd., 2023).

Yapay Zekâ Destekli Akıllı Periodontal Klinikler

Geleceğin klinikleri, tanıdan takibe kadar tüm süreçlerin YZ ile entegre olduğu akıllı ekosistemlere dönüşecektir.

- Sürekli İzleme (IoT): YZ destekli akıllı diş fırçaları ve ağız içi biyosensörler (IoDT), hastanın evdeki ağız hijyeni performansını ve sitokin seviyelerini gerçek zamanlı takip ederek hastalık nökslerini önceden saptayacaktır (Parihar vd., 2024).
- Sanal Asistanlar ve Dijital İkizler: Gelişmiş chatbotlar hasta iletişimini yönetirken; hastanın "dijital ikizi" üzerinde tedavi simülasyonları (örneğin diş eti çekilmesi risk tahmini) yapılarak estetik ve fonksiyonel sonuçlar tedavi başlamadan görselleştirilecektir (Cholan vd., 2023).

SONUÇ

Yapay zeka, periodontoloji disiplininde sadece bir yardımcı teknoloji olmaktan çıkarak, tanı ve tedavi süreçlerinde doğruluğu, hızı ve hasta güvenliğini artıran vazgeçilmez bir "artırılmış zeka" (augmented intelligence) bileşenine dönüşmüştür. Güncel kanıtlar, özellikle Evrişimli Sinir Ağları (CNN) ve YOLOv8 gibi derin öğrenme mimarilerinin, alveoler kemik kaybı tespiti ve implant tanımlama gibi görsel görevlerde uzman periodontologlarla yarışır veya onları geride bırakan bir performans sergilediğini açıkça ortaya koymaktadır. Geleneksel yöntemlerle dakikalar süren radyografik analizlerin YZ ile saniyeler mertebesine (yaklaşık 0.027 saniye) inmesi, klinik iş akışlarında devrim niteliğinde bir verimlilik artışı sağlamıştır (Jundaeng vd., 2024; Khubrani vd., 2025; Roy vd., 2025).

Bu teknolojik ilerleme, periodontolojinin ampirik yaklaşımlardan uzaklaşarak; hastanın genetik, mikrobiyal ve klinik verilerinin entegre edildiği "Hassas Periodontoloji" (Precision Periodontology) anlayışına evrilmesini mümkün kılmaktadır. Büyük Dil Modelleri (LLM) ve doğal dil işleme teknikleri, yapılandırılmamış klinik notlardan tanısal verileri %97-98 hassasiyetle çıkararak veriye dayalı yönetimi desteklemekte ve araştırmacılar için devasa veri havuzları oluşturmaktadır. Ayrıca, mobil sağlık uygulamaları ve uzaktan izleme sistemleri, periodontal tedavinin en kritik aşaması olan idame sürecini klinik duvarlarının ötesine taşıyarak hasta uyumunu ve tedavi başarısını %40 oranında iyileştirme potansiyeline sahiptir (Ahmed vd., 2021; Jafer vd., 2025; Scott vd., 2023).

Ancak, bu sistemlerin klinik pratiğe tam entegrasyonu önünde "kara kutu" (black box) sorunu, algoritmik yanlılık ve modellerin farklı popülasyonlardaki genellenebilirlik kaybı (yaklaşık %10-%20 performans düşüşü) gibi aşılması gereken önemli teknik ve etik engeller bulunmaktadır. Gelecekte, kararların nedenlerini görsel ısı haritalarıyla açıklayan XAI (Açıklanabilir YZ) modelleri, veri gizliliğini koruyan Federated Learning yaklaşımları ve çok modlu (multimodal) veri füzyonu gerçekleştiren sistemler, bu sınırlılıkları ortadan kaldıracaktır (Mao vd., 2025; Parihar vd., 2024).

Sonuç olarak yapay zekâ, klinisyenin yerini alan bir rakip değil; teşhis tutarlılığını standardize eden, risk yönetimini kişiselleştiren ve hekimin hastasına ayırdığı kaliteli zamanı artıran stratejik bir ortaktır. Periodontoloji alanı, bu teknolojilerin etik çerçeveler ve kanıta dayalı klinik rehberler ışığında benimsenmesiyle, tamamen veriye dayalı, proaktif ve bütünsel bir sağlık disiplinine dönüşme yolunda emin adımlarla ilerlemektedir.

REFERANSLAR

Ahmed, N., Abbasi, M. S., Zuberi, F., Qamar, W., Halim, M. S. Bin, Maqsood, A., & Alam, M. K. (2021). Artificial Intelligence Techniques: Analysis,

- Application, and Outcome in Dentistry—A Systematic Review. *BioMed Research International*, 2021(1), 9751564.
- Akram, H. M. (2025). Artificial Intelligence in Dentistry: Advancements in Periodontology and Other Specialties, Diagnosis, Treatment Planning, and Ethical Considerations". *Dentistry Review*, 5(2), 100157.
- Bonny, T., Al Nassan, W., Obaideen, K., Al Mallahi, M. N., Mohammad, Y., & El-Damanhoury, H. M. (2023). Contemporary Role and Applications of Artificial Intelligence in Dentistry. *F1000Research*, 12, 1179.
- Chatzopoulos, G. S., Koidou, V. P., Tsalikis, L., & Kaklamanos, E. G. (2025). Clinical Applications of Artificial Intelligence in Periodontology: A Scoping Review. *Medicina*, 61(6), 1066.
- Cholan, P., Ramachandran, L., Umesh, S. G., P, S., & Tadepalli, A. (2023). The Impetus of Artificial Intelligence on Periodontal Diagnosis: A Brief Synopsis. *Cureus*, 15(8).
- Chuang, Y.-S., Lee, C.-T., Tokede, O., Lin, G.-H., Brandon, R., Tran, T. D., Jiang, X., & Walji, M. F. (2024). *Cross-Institutional Dental EHR Entity Extraction via Generative AI and Synthetic Notes*.
- Das, N., Gade, K. R., & Addanki, P. K. (2025). Artificial intelligence for early diagnosis and risk prediction of periodontal-systemic interactions: Clinical utility and future directions. *World Journal of Methodology*, 15(4), 105516.
- Hameedaldeen, A., Natto, Z. S., Alhassani, A. A., & Hayes, C. (2025). Validate artificial intelligence for the diagnosis of periodontal disease. *BMC Oral Health*, 26(1), 348.
- Jafer, M., Ibraheem, W., Dawood, T., Abbas, A., Hakami, K., Khurayzi, T., Hakami, A. J., Alqahtani, S., Aldosari, M., Ageely, K., Khanagar, S. B., Vishwanathaiah, S., & Maganur, P. C. (2025). The Application and Performance of Artificial Intelligence (AI) Models in the Diagnosis Classification, and Prediction of Periodontal Diseases: A Systematic Review. *Diagnostics*, 15(24), 3247.
- Jundaeng, J., Chamchong, R., & Nithikathkul, C. (2024). Artificial intelligence-powered innovations in periodontal diagnosis: a new era in dental healthcare. *Frontiers in Medical Technology*, 6, 1469852.
- Khubrani, Y. H., Thomas, D., Slator, P. J., White, R. D., & Farnell, D. J. J. (2025). Detection of periodontal bone loss and periodontitis from 2D dental radiographs via machine learning and deep learning: systematic review employing APPRAISE-AI and meta-analysis. *Dentomaxillofacial Radiology*, 54(2), 89–108.
- Mao, K., Thu, K. M., Hung, K. F., Yu, O. Y., Hsung, R. T. C., & Lam, W. Y. H. (2025). Artificial Intelligence in Detecting Periodontal Disease From Intraoral Photographs: A Systematic Review. *International Dental Journal*, 75(5), 100883.
- Messina, B. M., Polizzi, A., Angjelova, A., Jovanova, E., Tartaglia, G., & Isola, G. (2026). The impact of artificial intelligence on periodontal disease detection and treatment. *Frontiers in Dental Medicine*, 7, 1784123.
- Parihar, A. S., Narang, S., Tyagi, S., Narang, A., Dwivedi, S., Katoch, V., & Laddha, R. (2024). Artificial Intelligence in Periodontics: A Comprehensive Review. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16, S1956–S1958.

- Roy, R., Chopra, A., Karmakar, S., & Bhat, S. G. (2025). Applications of Artificial Intelligence (AI) for Diagnosis of Periodontal/Peri-Implant Diseases: A Narrative Review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 52(8), 1193–1219.
- Scott, J., Biancardi, A. M., Jones, O., & Andrew, D. (2023). Artificial Intelligence in Periodontology: A Scoping Review. *Dentistry Journal* 2023, Vol. 11, Page 43, 11(2), 43.
- Turosz, N., Chęcińska, K., Chęciński, M., Brzozowska, A., Nowak, Z., & Sikora, M. (2023). Applications of artificial intelligence in the analysis of dental panoramic radiographs: an overview of systematic reviews. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(7), 52.
- Wimalasiri, C., Rathnayake, P., Wijerathne, S., Rasnayaka, S., Bandara, D. L., . Ragel, R. G., Thambawita, V., & Nawinne, I. (2026). AI-assisted radiographic analysis in detecting alveolar bone-loss severity and patterns. *Scientific Reports* 2026 16:1, 16(1), 7974-.
- Zhou, W., Liu, X., Yu, J., Li, Y., Cheng, L., Wang, G., & Jiang, F. (2026). Artificial intelligence in periodontal disease research: a bibliometric and visualized analysis of global research trends (2007–2025). *The Saudi Dental Journal* 2026 38:5, 38(5), 63-.

Büyük Azı Keser Hipomineralizasyonu: Literatüre Güncel Bir Bakış

Sena SAKIN ULUBAY¹

Serra ÖZKAN²

- 1- Öğretim Görevlisi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Çocuk Diş Hekimliği Ana Bilim Dalı. sena.sakin@erdogan.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4086-1502
- 2- Araştırma Görevlisi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Ana Bilim Dalı. serra.ozkan@erdogan.edu.tr ORCID No: 0009-0003-5868-9728

ÖZET

İlk kez 2001 yılında tanımlanan Büyük Azı Keser Hipomineralizasyonu (BAKH), en az bir sürekli birinci büyük azı dişinin etkilendiği ve çoğunlukla beraberinde sürekli kesici dişlerin de eşlik ettiği gelişimsel mine defektidir. Koruyucu uygulamalardan ileri restoratif tedavilere kadar uzanan geniş tedavi seçeneklerinin doğru endikasyonlarla uygulanabilmesi için güncel bilimsel verilerin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu derlemede BAKH epidemiyolojisi, etiyolojisi, klinik tanısı, koruyucu ve restoratif yaklaşımlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Büyük azı keser hipomineralizasyonu, molar diş, kesici diş, çocuk, mine hipomineralizasyonu

GİRİŞ

Büyük Azı Keser Hipomineralizasyonu (BAKH), amelogenezis olgunlaşma evresinde meydana gelen mineralizasyon bozukluğu sonucu gelişen, gelişimsel ve kalitatif bir mine defektidir (Weerheijm et al., 2001). Bu durum, çoğunlukla bir veya daha fazla birinci daimi molar diş ile daimi keser dişleri etkilerken, nadir olgularda diğer daimi dişler ve süt dişlerinde de görülebilmektedir (Schneider & Silva, 2018). Hipomineralize mine yapısı; beyaz, sarı veya kahverengi opasiteler şeklindeki renk değişiklikleriyle karakterizedir ve mineral içeriğinin azalmasına bağlı olarak mekanik dayanıklılığı düşüktür (Krishnan & Ramesh, 2014). Bu nedenle etkilenen dişlerde post-erüptif mine yıkımı, kırılmalar, dentin hassasiyeti ve çürük gelişimine yatkınlık sıklıkla gözlenmektedir. BAKH'nin ortaya çıkışında çevresel faktörlerin önemli rol oynadığı düşünülmekle birlikte, etiyolojisi tam olarak aydınlatılamamıştır (Schneider & Silva, 2018; Schwendicke et al., 2018).

Epidemiyoloji

Büyük Azı-Keser Hipomineralizasyonu (BAKH), dünya genelinde çocukları etkileyen yaygın gelişimsel mine defektlerinden biri olarak kabul edilmektedir. İlk sistematik derlemelerde BAKH prevalansının %2,4 ile %40,2 arasında değiştiği bildirilmiş, daha sonraki derlemeler bu geniş prevalans aralığını desteklemiştir (Hernandez et al., 2016; Jälevik, 2010). Güncel meta-analizlerde ise daha kapsamlı veri setlerinin değerlendirilmesiyle küresel prevalansın yaklaşık %12,8–14,2 arasında

olduğu hesaplanmıştır ((Hernandez et al., 2016; Schwendicke et al., 2018). Son yirmi yılda mine hipomineralizasyonu ve BAKH'nin epidemiyolojisini inceleyen kesitsel araştırmaların sayısında belirgin bir artış yaşanmıştır. Bu durum, hastalığın dünya genelindeki sıklığının artıp artmadığı yönünde tartışmalara yol açmış olsa da mevcut veriler prevalanstaki olası değişimin gerçek bir epidemiyolojik artışı mı yoksa araştırma sayısındaki artış ve tanı yöntemlerindeki gelişmeleri mi yansıttığı konusunda kesin bir sonuca ulaşılmasına olanak vermemektedir (Altner et al., 2024; da Costa Rosa et al., 2022; Sluka et al., 2024). Ayrıca, farklı tanı kriterleri ve değerlendirme indekslerinin kullanılması, çalışmalar arasında bildirilen prevalans oranlarının karşılaştırılmasını güçleştiren önemli etkenlerden biri olarak kabul edilmektedir. Günümüzde BAKH'nin küresel prevalansının yaklaşık %14,2 olduğu ve dünya genelinde 15,8–19,4 milyon arasında, ortalama 17,5 milyon çocuk ve adolesanı etkilediği tahmin edilmektedir (Schwendicke et al., 2018; Zhao et al., 2018). Epidemiyolojik çalışmalar, hastalığın görülme sıklığının cinsiyete göre anlamlı bir farklılık göstermediğini ortaya koymuştur (Schwendicke et al., 2018). Bununla birlikte, BAKH tanısı alan bireylerin yaklaşık dörtte birinden fazlasında post-erüptif mine yıkımı veya klinik semptomlar nedeniyle tedavi gereksinimi bulunduğu ve bu grubun prevalansının yaklaşık %27,4 olduğu bildirilmektedir (Schwendicke et al., 2018).

Etiyolojisi

Büyük Azı-Keser Hipomineralizasyonu (BAKH) oluşumunda etkili olan mekanizmalar henüz tam olarak aydınlatılamamış olmakla birlikte, hastalığa özgü lokalize ve asimetrik mine lezyonlarının, mine gelişiminin sekresyon ve maturasyon aşamalarında görev alan ameloblastların çeşitli etkenlere bağlı olarak zarar görmesi sonucunda ortaya çıktığı düşünülmektedir (Weerheijm, 2004). Bu süreçte meydana gelen bozulmaların; gebeliğin son döneminden başlayarak doğum sonrası ilk üç yıllık süreç içerisinde karşılaşılan sistemik hastalıklar, çevresel toksinlere maruziyet ve diğer birçok faktörle ilişkili olabileceği bildirilmektedir (CROMBIE et al., 2009). BAKH'den etkilenen dişlerin sayısının, sistemik etkilenmenin meydana geldiği zaman dilimiyle bağlantılı olduğu ve özellikle doğum sonrasında geçirilen hastalıkların mine gelişimi üzerinde daha belirgin bir etkiye sahip olabileceği belirtilmiştir (Lygidakis et al., 2008).

Prenatal Faktörler

Prenatal dönemdeki risk faktörleri değerlendirildiğinde, maternal sistemik sağlık sorunlarının önemli bir etken olabileceği üzerinde durulmaktadır. BAKH görülen çocukların annelerinde gebelik sürecinde yaşanan sağlık problemlerinin, BAKH görülmeyen çocukların annelerine göre daha sık olduğu bildirilmiştir (Alaluusua, 2010). Gebeliğin son trimesterinde geçirilen üriner sistem enfeksiyonlarının BAKH riskini artırabileceği belirtilmiş olsa da (Alaluusua, 2010), farklı araştırmalarda belirli maternal hastalıklar ile BAKH arasında anlamlı bir ilişki ortaya konulamamıştır (Alaluusua, 2010; Fatturi et al., 2019). Benzer şekilde, gebelik sırasında annenin sistemik hastalık yaşamasının BAKH gelişimi üzerindeki etkisi konusunda literatürde kesin bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bazı derlemelerde anlamlı bir ilişki gösterilemezken (Silva et al., 2016), bazı çalışmalarda maternal hastalık öyküsünün çocuklarda BAKH görülme ihtimalini yaklaşık %40 oranında artırabileceği bildirilmiştir (Fatturi et al., 2019). Öte yandan, gebelik döneminde maternal sigara ve alkol kullanımının BAKH gelişimiyle doğrudan ilişkili olmadığı, ancak annenin yaşadığı stres düzeyinin hastalık oluşumu ile pozitif yönde ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Fatturi et al., 2019; Silva et al., 2016).

Perinatal Faktörler

Düşük doğum ağırlığı, BAKH gelişiminde araştırılan önemli perinatal risk faktörleri arasında yer almaktadır. Gebelik süresi 38 haftadan kısa olan ve doğum ağırlığı 1500 gramın altında bulunan bebekler prematüre olarak kabul edilmektedir. Çok düşük doğum ağırlığı ile doğan çocuklarda, kalsiyum metabolizmasındaki bozukluklara bağlı olarak mine yapısında opasitelerin görülme olasılığının arttığı bildirilmektedir (Jälevik et al., 2001). Prematüre doğum, düşük doğum ağırlığı, sezaryen doğum ve doğum sırasında meydana gelen komplikasyonların BAKH ile ilişkisini değerlendiren çalışmaların sayısı halen sınırlıdır. Finlandiya’da yapılan bir araştırmada, zamanında doğan çocukların %36’sında mine defekti görülürken, prematüre doğan çocuklarda bu oranın %84’e kadar yükseldiği bildirilmiştir (Aine et al., 2000). Bununla birlikte, Brogårdh-Roth ve ark., düşük doğum ağırlığına sahip prematüre bebeklerde doğum ağırlığındaki her 100 gramlık artışın BAKH gelişme riskinde yaklaşık %4,5 oranında azalma ile ilişkili olduğunu belirtmiştir (Brogårdh-Roth et al., 2011). Ancak literatürde düşük doğum ağırlığı veya prematüre doğumun BAKH ile ilişkili olduğunu gösteren çalışmaların yanında, bu faktörler arasında anlamlı bir bağlantı bulunmadığını bildiren araştırmalar da bulunmaktadır (Gurrusquieta et al., 2017; Pitiphat et al., 2014). Bu nedenle, perinatal faktörlerin BAKH gelişimindeki rolünün daha kesin şekilde ortaya konulabilmesi için daha kapsamlı çalışmalara gereksinim vardır. Endokrin bozucu kimyasalların prenatal dönemdeki maruziyetinin,

BAKH ile benzer özellik gösteren mine gelişim bozukluklarına neden olabileceği ileri sürülmektedir. Bu kimyasalların, mine oluşumunda görev alan proteinlerin sentezini etkileyebileceği, mine organik matriksinin oluşumunda rol oynayan KLK4 geninin ekspresyonunu azaltabileceği ve mine kristallerinin gelişimini olumsuz etkileyen albümin birikimine yol açabileceği düşünülmektedir (Robinson et al., 1995). Endokrin bozucu maddeler arasında yer alan Bisfenol A'ya (BPA) karşı duyarlılığın özellikle perinatal dönemde daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu dönem, daimi keser dişlerin ve birinci daimi molar dişlerin gelişim ve mineralizasyon süreçleriyle örtüşmektedir. BAKH'den etkilenen dişlerde mineralizasyon sürecinin doğum dönemi ve doğumdan sonraki ilk birkaç ay içerisinde başlaması, BPA'nın ameloblast fonksiyonları üzerinde etkili olabileceği ve hastalığın etiolojisinde çevresel bir faktör olarak rol oynayabileceği düşüncesini desteklemektedir. Bu nedenle, bebeklerin günlük yaşamda temas ettiği emzik, biberon ve plastik oyuncak gibi ürünlerin BPA içeriği açısından değerlendirilmesi önemlidir. BPA içeren ürünlerin kullanımının sınırlandırılması ve özellikle gebelik döneminde bu maddeye maruziyetin azaltılması, olası risklerin önlenmesi açısından önerilmektedir (Hunt et al., 2012).

Postnatal Faktörler

BAKH gelişiminde sistemik sağlık durumlarının önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. Sistemik hastalığı bulunan çocuklarda BAKH görülme oranlarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Gastrointestinal sistem hastalıkları, çölyak hastalığı, kurşun toksisitesi, nefrotik sendrom, kistik fibrozis, diyabet, tiroid ve paratiroid bezlerine ait hastalıklar, nörolojik bozukluklar, epilepsi, beyin hasarı, epidermolizis büllöza, kızamıkçık enfeksiyonu, üriner sistem enfeksiyonları, radyoterapi uygulanmış onkolojik hastalıklar, göz hastalıkları ve tedavi edilmiş yarık dudak-damak anomalilerinin BAKH ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Hall, 1989; Martínez et al., 2002; Weerheijm et al., 2003). BAKH tanısı bulunan çocukların geçmiş tıbbi öyküleri incelendiğinde, bu bireylerde otitis media ile astım, bronşit ve pnömoni gibi solunum yolu hastalıklarının ve yüksek ateş ataklarının daha sık görüldüğü bildirilmiştir (Beentjes et al., 2002; Jälevik et al., 2001). Ancak solunum yolu enfeksiyonlarının tedavisinde sıklıkla ilaç kullanılması nedeniyle, mine mineralizasyon bozukluğunun doğrudan hastalık kaynaklı mı yoksa kullanılan ilaçlara bağlı mı geliştiği konusu halen tartışmalıdır. Pelisson-Guergolette ve ark. (Guergolette et al., 2009), astımlı çocuklarda gözlenen mine bozukluklarının, amelogenesis sırasında ameloblastların yeterli oksijen desteği alamaması ile ilişkili olabileceğini öne sürmüştür. Antibiyotik kullanımı ile BAKH arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalarda, özellikle yaşamın ilk yılında antibiyotik kullanımının BAKH gelişimi açısından anlamlı bir risk faktörü olabileceği bildirilmiştir (Beentjes et al., 2002). Bunun yanında, antibiyotik kullanım zamanının değerlendirildiği

araştırmalarda, 1–2 yaş döneminin BAKH gelişimi açısından daha yüksek risk tařıdığđ belirtilmiştir (Whatling & Fearne, 2008). Laisi ve ark. (Laisi et al., 2009), yaşamın ilk yılında amoksisilin veya eritromisin kullanan çocuklarda mine hipomineralizasyonunun, bu ilaçlara maruz kalmayan çocuklara göre daha sık görüldüğünü göstermiştir. Deneysel çalışmalarda ise amoksisilinin mine oluşum sürecini etkileyerek düzensiz sert doku gelişimine neden olabileceğđ ve mine yapısını değđřtirebileceğđ bildirilmiştir (Laisi et al., 2009). Ayrıca doğum sonrası ilk  yıl içerisinde yoğun makrolid kullanımı olan ocuklarda BAKH grlme olasılığının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu bulgular, mine gelişim bozukluklarında yalnızca sistemik hastalıkların değil, hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçların da etkili olabileceğđni düşündürmektedir. Erken ocukluk döneminde meydana gelen beslenme yetersizliklerinin de mine gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluřturabileceğđ bildirilmektedir. Özellikle kalsiyum ve fosfat eksikliğđnin, BAKH oluşumunda rol oynayabileceğđ belirtilmiştir (Weerheijm, 2004). BAKH bulunan dişlerde düşük kalsiyum düzeylerinin saptanması, kalsiyum metabolizmasındaki bozulmaların ameloblastların normal mine yapısı oluşturma fonksiyonunu etkileyebileceğđ görüşünü desteklemektedir (Jlevik et al., 2001). Çevresel toksik maddelerin de BAKH etiyolojisinde rol oynayabileceğđ ileri sürülmektedir. Polihalojenli aromatik hidrokarbon grubunda yer alan dibenzo-p-dioksinin (PCDD), evresel kirlilik oluşturan bileşiklerden biri olduğu ve anne sütünde bulunmasının mine hipomineralizasyonu ile ilişkili olabileceğđ bildirilmiştir. Lipofilik zellik taşıyan PCDD, anne sütü aracılığđyla bebeğe geçerek yağ dokusunda depolanabilmekte ve uzun süreli maruziyete neden olabilmektedir. Yüksek düzeyde PCDD’ye maruz kalan çocuklarda, maruz kalmayanlara kıyasla daha fazla mine defekti görüldüğü rapor edilmiştir (Alaluusua et al., 1996). Bununla birlikte, uzun süreli emzirmenin anne sütünde bulunabilecek çevresel kirleticiler nedeniyle BAKH riskini artıracılabileceğđ ne sürülmektedir (Laisi et al., 2008). İsveç’te yapılan bir çalışmada, altı aydan uzun süren emzirmenin ek gıdalara geçişi geciktirebileceğđ ve mine gelişimi için gerekli bazı besin öğelerinin yetersiz alınmasına bağlı olarak BAKH riskini artıracılabileceğđ belirtilmiştir (T. Fagrell, 2011). Bu nedenle, emzirme sürecinde annenin çevresel toksinlere maruziyetinin azaltılması ve dengeli bir beslenme düzeninin sağlanması, BAKH gelişim riskinin azaltılması açısından önem taşımaktadır.

BAKH Görülen Dişlerin Özellikleri ve Klinik Tanısı

BAKH, mine dokusunun mineralizasyonundaki yetersizlik sonucu ortaya çıkan ve klinik olarak en sık mine opasiteleri ile kendini gösteren gelişimsel bir defektir. Etkilenen mine dokusu normal mineye göre daha mat ve tebeşirimsi görünümde olup beyaz, krem, sarı veya koyu kahverengi renk değişiklikleri sergileyebilir. Bu lezyonlar genellikle çevre sağlam mine dokusundan keskin sınırlarla ayrılır (Vieira & Manton, 2019). Hipomineralize mine, normal mine ile benzer kalınlıkta olmasına rağmen mineral içeriğinin azalmasına bağlı olarak daha gözenekli ve mekanik dayanıklılığı daha düşük bir yapı sergilemektedir. Bu durum minenin translüsensinde değişikliğe yol açmakta, mineral kaybının arttığı olgularda ise opasitelerin daha belirgin hâle gelmesine neden olmaktadır (Garg et al., 2012). Avrupa Pediatrik Diş Hekimliği Akademisi, BAKH tanısının standartlaştırılması amacıyla belirli klinik kriterlerin kullanılmasını önermektedir (Lygidakis et al., 2022). Bu kriterlere göre tanının konulabilmesi için en az bir birinci daimi molar dişte hipomineralizasyon bulgusunun bulunması gerekmektedir. Birinci daimi molarların yanı sıra daimi keser dişler de etkilenebilmekte, bazı olgularda ise ikinci süt molarlar, ikinci daimi molarlar, premolarlar ve kanin dişlerin tüberkül bölgelerinde de benzer mine defektleri görülebilmektedir. BAKH lezyonu olarak değerlendirilebilmesi için opasitenin çapının 1 mm'den büyük olması gerekmektedir (Lygidakis et al., 2022). Birinci daimi molar dişlerdeki hipomineralizasyonun yaygınlığı arttıkça, daimi maksiller kesici dişlerin etkilenme olasılığının da yükseldiği bildirilmektedir. Kesici dişlerdeki renk değişiklikleri daha çok estetik sorunlara neden olmaktadır (Sadashivamurthy & Deshmukh, 2012; Weerheijm, Groen, et al., 2001). Hipomineralize mine, gözenekli ve mekanik dayanıklılığı düşük bir yapıya sahip olduğundan çiğneme kuvvetleri altında kolaylıkla kırılabilmektedir. Bunun sonucunda post-erüptif mine kaybı meydana gelebilmekte, dentin dokusu açığa çıkmakta ve çürük gelişimine uygun bir ortam oluşmaktadır. Bunun yanında, mevcut restorasyonların şekli ve yayılımı klasik çürük lezyonlarıyla uyum göstermeyebilir. Özellikle molar dişlerde restorasyonların bukkal veya palatinal/lingual düzgün yüzeylere doğru uzanması BAKH açısından karakteristik bir bulgu olarak kabul edilmektedir (Vieira & Manton, 2019).

BAKH'lı Dişlerde Klinik Yaklaşımı Güçleştiren Faktörler

Mine yapısındaki yapısal bozukluklar, restoratif materyallerin diş yüzeyine bağlanma başarısını azaltarak restorasyonların klinik performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra, etkilenen dişlerde görülen belirgin hassasiyet ve hızlı ilerleyen çürükler pulpal dokuda kronik inflamasyona neden olabilmekte, bu da lokal anestezinin yeterli etkinlik göstermesini güçleştirerek tedavi sürecini zorlaştırabilmektedir (Almuallem & Busuttil-Naudi, 2018). BAKH'li çocuklarda ağrı ve hassasiyet nedeniyle gelişen

olumsuz tedavi deneyimleri, dental korku ve anksiyete düzeyinin artmasına yol açabilmekte ve buna bağlı olarak davranış yönetiminde güçlükler yaşanabilmektedir. Ayrıca, özellikle ön grup dişlerde görülen renk değişiklikleri ve opasiteler estetik sorunlara neden olarak çocukların psikososyal durumunu ve yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir (Garg et al., 2012).

BAKH Görülen Dişlerde Koruyucu Yaklaşımlar

Çocuklarda üç yaşına kadar olan dönemde BAKH ile ilişkili olduğu düşünülen olası etiyolojik faktörlerin öyküsünün bulunması, bu bireylerin risk grubu olarak değerlendirilmesini ve düzenli klinik takibe alınmasını gerektirir (William, Messer, et al., 2006a). Sürekli birinci büyük azı dişleri sürmeye başladığında hipomineralize mine yüzeyleri çürük ve erozyona karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle erken dönemde uygulanacak koruyucu yaklaşımlar, mine yıkımının önlenmesi ve dişlerin uzun dönem prognozunun iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Koruyucu tedavinin temelini, ağız hijyeninin sağlanması ve beslenme alışkanlıklarının düzenlenmesi oluşturur. Çocuklar ve ebeveynleri, her ana öğünden sonra dişlerin florürlü diş macunu ile fırçalanması, ara öğünlerde atıştırmaların sınırlandırılması ve karyojenik gıdalardan kaçınılması konusunda bilgilendirilmelidir. Ayrıca asidik ve gazlı içeceklerin tüketiminin azaltılması, tüketilecekse pipet kullanılması önerilmektedir (Caglar, Kargul, Tanboga, et al., 2005). Kalsiyum içeriği yüksek ve *Streptococcus mutans* düzeyini azaltmaya katkı sağlayabilen probiyotik gıdaların tüketimi de desteklenebilir (Caglar, Kargul, & Tanboga, 2005; Caglar, Sandalli, et al., 2005). Sürekli birinci büyük azı dişleri sürdükten sonra hipomineralize yüzeyler erişilebilir hâle gelir gelmez remineralizasyon tedavisine başlanması önerilmektedir. Erken dönemde uygulanacak remineralizasyon ajanları, mine yüzeyinde hipermineralizasyon sağlayarak posterüptif mine kırıklarının gelişmesini geciktirebilir ve hassasiyetin azaltılmasına katkıda bulunabilir (Caglar, Kargul, & Tanboga, 2005; Caglar, Sandalli, et al., 2005) BAKH'den etkilenen dişlerde soğuk, sıcak, tatlı yiyecek ve içecekler ile diş fırçalama gibi uyaranlara karşı belirgin dentin hassasiyeti görülebilmektedir (Jälevik & Norén, 2000; Weerheijm, Jälevik, et al., 2001). Dentin hassasiyeti; termal, dokunsal, ozmotik, kimyasal veya evaporatif uyaranlara maruz kalınması sonucu ortaya çıkan, kısa süreli ve keskin ağrı olarak tanımlanmaktadır (Bekes et al., 2017). BAKH'lı dişlerde görülen aşırı hassasiyetin patofizyolojisi tam olarak açıklanamamış olsa da mevcut bulgular, hipomineralize mine dokusunun artmış porozitesinin bakterilerin dentin tübüllerine ilerlemesini kolaylaştırdığını göstermektedir. Posterüptif mine kırığı bulunmasa bile dentin tübüllerinde bakteriyel invazyon gelişebilmekte ve bu durum subklinik pulpal inflamasyona neden olabilmektedir (T. G. Fagrell et al., 2008). Şiddetli olgularda ise sürmeyi takiben kısa sürede mine yıkımı meydana gelmekte, alttaki dentin açığa

çıkarmakta ve bakteriyel kontaminasyon kolaylaşmaktadır. Gelişen pulpal inflamasyonun duyuşal sinir liflerinde morfolojik ve sitokimyasal değişikliklere neden olarak ağrı eşiğini düşürdüğü düşünölmektedir (Byers et al., 2003; Jälevik & Klingberg, 2002). Bu nedenle dentin hassasiyetinin yönetiminde öncelikle risk faktörlerinin ortadan kaldırılması, ardından ise hastaya özğü desensitizasyon ve remineralizasyon yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir (Steffen et al., 2017). Tedavinin temel amacı, hipomineralize mine yüzeylerinin remineralizasyonunu sağlamak, açıkta kalan dentin tübülleri kırarak dentin sıvısının hareketini azaltmak ve bakteriyel penetrasyonu sınırlandırmaktır (de Castro et al., 2021; Rodd et al., 2007). Remineralizasyon amacıyla en yaygın kullanılan ajanlardan biri kazein fosfopeptit-amorf kalsiyum fosfat (CPP-ACP)'tır. Özellikle yeni sürmüş MIH'lı dişlerde mine olgunlaşmasının henüz tamamlanmadığı erken dönemde uzun süreli CPP-ACP kullanımı önerilmektedir (Bakkal et al., 2017). CPP-ACP, tükürükte kalsiyum ve fosfat iyonlarının biyoyararlanımını artırarak remineralizasyonu destekler ve hassasiyetin azalmasına katkı sağlar (Lygidakis, 2010). Bu amaçla en sık kullanılan preparatlar %10 CPP-ACP içeren Tooth Mousse ile %10 CPP-ACP'ye ek olarak %0,2 sodyum florür (900 ppm F) içeren MI Paste Plus'tır. Florür ve CPP-ACP'nin birlikte kullanımının tek başına uygulanmalarına göre daha başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Al-Batayneh et al., 2017) Ancak bu ürünlerin süt proteini kaynaklı kazein içermesi nedeniyle süt proteini alerjisi bulunan çocuklarda kullanılmaması gerektiğı unutulmamalıdır (Bakkal et al., 2017). Ayrıca CPP-ACP içeren şekersiz sakız ve pastiller de alternatif uygulamalar arasında yer almaktadır. Tooth Mousse'un dört aylık kullanımının ardından BAKH'lı dişlerde hassasiyetin anlamlı düzeyde azaldığı bildirilmiştir (Ghanim et al., 2017).

Remineralizasyon ve hassasiyet kontrolünde kullanılan bir diğör ajan ise biyoaktif cam teknolojisi içeren NovaMin diş macunlarıdır. NovaMin'in mine yüzeyine daha yoğun bağlanabildiğı ve CPP-ACP içeren ürönlere kıyasla daha yüksek remineralizasyon kapasitesi sağlayabildiğı bildirilmiştir. Etkinliğini artırmak amacıyla gece boyunca Essix tipi şeffaf plaklar içerisinde uygulanabileceğı de belirtilmektedir (Wang et al., 2016). Bunların yanı sıra kazein fosfopeptit-amorf kalsiyum florür fosfat (CPP-ACFP), trikalsiyum fosfatlı veya trikalsiyum fosfatsız %5–6 sodyum florür vernikleri, %8 arjinin ve kalsiyum karbonat içeren preparatlar, ozon uygulamaları ve düşük seviyeli lazer tedavisi de dentin hassasiyetinin azaltılmasında kullanılan güncel yöntemler arasında yer almaktadır (Lygidakis et al., 2010). Fissür örtücüler ise yalnızca çürükten korunmada değıl, aynı zamanda BAKH'lı dişlerde hassasiyetin azaltılmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Güncel çalışmalar, fissür örtücü uygulamalarının hassasiyeti anlamlı düzeyde azalttığını göstermektedir (Bekes et al., 2022). Mine yüzeyi sağlam olan BAKH'lı azı dişlerinde retansiyonu artırmak amacıyla adeziv sistemlerle birlikte rezin esaslı fissür örtücüler tercih edilmektedir (Ghanim et al., 2017;

Lygidakis et al., n.d.). Buna karşılık, dişin tam sürmediği, belirgin hassasiyet bulunduğu veya posterüptif mine kırığının geliştiği durumlarda cam iyonomer esaslı fissür örtücüler önerilmektedir. Kullanılan materyalden bağımsız olarak hassasiyetin uygulamadan hemen sonra azaldığı bildirilmektedir. Ancak fissür örtücülerin düzenli aralıklarla kontrol edilmesi ve kayıp meydana geldiğinde yenilenmesi gerekmektedir (Ghanim et al., 2017; Lygidakis, 2010).

BAKH Görülen Dişlerde Restoratif Tedaviler

Keser Dişlerin Tedavisi

Hipomineralize sürekli kesici dişlerde görülen opasiteler, krem beyazdan sarı-kahverengiye kadar değişen renklerde izlenebilmekte olup, renk koyulaştıkça lezyonun şiddeti ve mine porozitesi artmaktadır. Özellikle sarı ve kahverengi opasiteler, daha yüksek protein içeriği ve daha düşük mineralizasyon derecesi nedeniyle daha şiddetli etkilenmeyi göstermektedir. Bu lezyonlar, fonksiyonel sorunlara neden olmamakla birlikte, özellikle ön bölgede yer almaları nedeniyle çocuk ve adölesanlarda önemli estetik ve psikososyal problemlere yol açabilmektedir (Mathu-Muju & Wright, 2006; Mittal et al., 2014). Bu nedenle tedavi planlamasında temel amaç; mümkün olduğunca diş dokusunu koruyarak estetik görünümü iyileştirmek ve hastanın yaşam kalitesini artırmaktır. Günümüzde bu amaçla mikroabrazyon, diş beyazlatma, rezin infiltrasyonu, kompozit restorasyonlar ve uygun olgularda porselen veneerler gibi farklı tedavi seçenekleri uygulanmaktadır. Mikroabrazyon, yüzeysel mine defektlerinin tedavisinde kullanılan konservatif bir yöntemdir. İşlem, mine yüzeyinden yaklaşık 100 µm'den (0,1 mm) daha az bir tabakanın kontrollü olarak uzaklaştırılması esasına dayanır. Genellikle %18 hidroklorik asit veya %37,5 fosforik asidin pomza ile uygulanması sonucu oluşan kimyasal erozyon ve mekanik abrazyonun kombinasyonu kullanılır (Goel et al., 2021). Sundfeld ve ark. tarafından yapılan çalışmalarda, %35 fosforik asit ve pomza (Opalustre) içeren sistemlerin 5–10 uygulaması sonucunda yaklaşık 25–200 µm mine kaybı meydana geldiği ve bu miktarın klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca 120 saniyelik mikroabrazyon uygulamasının mine kalınlığının yaklaşık %10'unu uzaklaştırdığı, buna rağmen yöntemin güvenli ve konservatif bir tedavi seçeneği olduğu gösterilmiştir (Pini et al., 2015; Rodrigues et al., 2013; Sundfeld et al., 2007). Diş beyazlatma, hipomineralize dişlerde opasiteleri tamamen ortadan kaldırmaktan ziyade dişin genel parlaklığını artırarak renk farklılığını kamufle etmeyi amaçlamaktadır (Denis et al., 2013). Ancak peroksit bazlı beyazlatıcı ajanların mine yapısında karbon içeriğini artırırken kalsiyum ve fosfat miktarını azaltması nedeniyle hipomineralize dişlerde tek başına kullanılması önerilmemektedir. Peroksitlerin oluşturduğu oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları hem organik hem de inorganik mine matriksinde çözünmeye neden olabilmektedir. Bu nedenle Stefano Mastroberardino ve arkadaşları

(2012), beyazlatma jeli ile CPP-ACP (Tooth Mousse) kullanımını önermiştir. CPP-ACP, beyazlatma süresince hipomineralize alanların remineralizasyonunu destekleyerek diş dokusunu korurken beyazlatma etkinliğini azaltmamaktadır. Hidrojen peroksit ile CPP-ACP'nin 1:6 ile 3:4 arasındaki oranlarda birlikte kullanılabileceği bildirilmiştir. Beyazlatma tedavisinin en sık görülen yan etkileri diş hassasiyeti, oral mukozada irritasyon ve mine yüzeyinde meydana gelen değişikliklerdir. Hekim kontrolünde, kişiye özel hazırlanan plaklar içerisinde günlük %10 karbamid peroksit uygulanarak gerçekleştirilen ev tipi beyazlatma ise en konservatif beyazlatma yöntemi olarak kabul edilmektedir (Goel et al., 2021). Rezin infiltrasyonu, BAKH'den etkilenen ön dişlerde estetik görünümün iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen minimal invaziv tedavi seçeneklerinden biridir. Bu yöntemin temel amacı, hipomineralize mineye ait opasitelerin optik özelliklerini değiştirerek dişin saydamlığını ve genel rengini iyileştirmektir (Borges et al., 2017; Crombie et al., 2014). Hipomineralize mine dokusunun yüksek porozitesi, düşük viskoziteli rezinlerin lezyon içerisine penetre olmasını kolaylaştırmaktadır. Tedavi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, infiltrantın penetrasyonunu artırmak amacıyla daha mineralize yüzey tabakası kemomekanik yöntemlerle uzaklaştırılır. İkinci aşamada ise TEGDMA esaslı düşük viskoziteli rezin, mekanik ve kapiller difüzyon mekanizmalarıyla lezyon içerisine infiltre edilir. Yapılan çalışmalarda, özellikle %15–20 hidroklorik asit ile hazırlanan yüzeylerde uygulanan rezin infiltrasyonunun işlem sonrasında opasitelerin görünürlüğünü belirgin şekilde azalttığı ve estetik sonuçları iyileştirdiği bildirilmiştir (Bhandari et al., 2018; Crombie et al., 2014). Kompozit veneer restorasyonlar opasitelerin derin olduğu veya minimal invaziv yöntemlerle yeterli estetik sonucun elde edilemediği olgularda tercih edilmektedir. Kompozit veneerler, diş dokusundan minimal madde kaldırılarak uygulanabilmeleri, tek seansta tamamlanabilmeleri ve gerektiğinde kolayca tamir edilebilmeleri nedeniyle özellikle çocuk ve adolesan hastalarda önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte kompozit rezinler zaman içerisinde renklenmeye, aşınmaya ve marjinal kırıklara eğilimli olduğundan düzenli klinik takip ve gerektiğinde bakım gerektirmektedir (Goel et al., 2021). Porselen veneerler ise diş eti seviyesinin ve yüz gelişiminin tamamlandığı erişkin bireylerde uygulanması önerilen indirekt restorasyonlardır. Üstün renk stabilitesi, estetik başarısı ve aşınma direnci nedeniyle uzun dönem başarılı sonuçlar vermekle birlikte; çocuklarda klinik kron boyunun kısa olması, pulpa odasının genişliği, tedavi süresinin uzunluğu, yüksek maliyet ve kooperasyon güçlüğü gibi nedenlerle rutin olarak tercih edilmemektedir. Bu nedenle BAKH'lı çocuk hastalarda porselen veneerler genellikle büyüme tamamlandıktan sonra değerlendirilen bir tedavi seçeneği olarak kabul edilmektedir (Goel et al., 2021).

Posterior Dişlerin Tedavisi

BAKH'lı dişlerde restoratif tedavi planlamasında ilk verilmesi gereken karar, etkilenen dişin korunarak restore edilmesi veya çekilmesi gerekliliğidir. Bu karar; çocuğun kronolojik ve dental yaşı, hipomineralizasyonun şiddeti, pulpa tutulumu, dişin restoratif olarak kurtarılabilirliği, üçüncü molar germelerinin varlığı, uzun dönem prognoz, ortodontik gereksinimler ve tedavinin maliyeti gibi birçok faktör birlikte değerlendirilerek verilmelidir (Lygidakis, 2010; Lygidakis et al., 2010). Ayrıca çocuk ve ebeveynleri, dişin prognozu ile uygulanabilecek tedavi seçenekleri, bunların avantajları ve olası sınırlılıkları konusunda ayrıntılı olarak bilgilendirilmelidir (Lygidakis et al., 2010). BAKH olgularının restorasyonu, normal mine yapısına sahip dişlere kıyasla daha güçtür. Bunun başlıca nedenleri; hastaların çoğunlukla küçük yaş grubunda olması nedeniyle kooperasyonun sınırlı olması, hipomineralize birinci büyük azı dişlerinde belirgin dentin hassasiyetinin bulunması, çürüğün hızlı ilerlemesi, restorasyonların marjinal bölgelerinde kırıkların daha sık görülmesi ve kavite preparasyonu sırasında hipomineralize minenin ne kadar uzaklaştırılması gerektiğine ilişkin kesin bir görüş birliğinin bulunmamasıdır (Kotsanos et al., 2005; Zagdwon et al., 2003). Kavite preparasyonunda genel olarak iki farklı yaklaşım benimsenmektedir. İlk yaklaşımda hipomineralize mine dokusunun tamamı uzaklaştırılarak sağlam mine sınırlarında restorasyon yapılmaktadır. Bu yöntem daha fazla sağlam diş dokusunun kaybına neden olmakla birlikte, adeziv bağlanmanın daha güvenilir olması nedeniyle restorasyonların uzun dönem başarısını artırmaktadır. İkinci yaklaşım ise yalnızca ileri derecede poröz mine dokusunun kaldırılmasını esas alan daha konservatif bir yöntemdir. Ancak bu yaklaşımda restorasyon kenarlarında marjinal kırık oluşma riski daha yüksektir (Fayle, 2003; William, Messer, et al., 2006a). Özellikle kompozit rezin restorasyon planlanan olgularda, hipomineralize mineye adeziv bağlanmanın zayıf olması nedeniyle defektli mine dokusunun tamamen uzaklaştırılması önerilmektedir (William, Messer, et al., 2006b). Restoratif materyal seçimi; hastanın yaşı, kooperasyonu, lezyonun yaygınlığı, dişin sürme durumu, oklüzal yüklenme ve nem kontrolünün sağlanabilirliği gibi faktörlere göre bireyselleştirilmelidir. Günümüzde BAKH tedavisinde cam iyonomer simanlar, rezin modifiye cam iyonomer simanlar, kompozit rezinler, paslanmaz çelik kronlar ve indirekt restorasyonlar en sık kullanılan seçeneklerdir. Amalgam ise hem retansiyon için fazla miktarda sağlam diş dokusunun uzaklaştırılmasını gerektirmesi hem de hipomineralize mineye yeterli destek sağlayamaması nedeniyle günümüzde önerilmemektedir (William, Burrow, et al., 2006; William, Messer, et al., 2006b; Zagdwon et al., 2003). Cam iyonomer simanlar, florür salımı, diş dokusuna kimyasal bağlanabilmeleri ve nem toleranslarının yüksek olması nedeniyle özellikle yeni sürmüş, izolasyonun güç olduğu MIH'lı dişlerde avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte mekanik dayanımlarının yetersiz olması nedeniyle sürekli büyük azı dişlerinin yüksek oklüzal stres

taşıyan bölgelerinde uzun dönem restorasyon materyali olarak tercih edilmemekte, daha çok geçici restorasyon veya ara dönem koruyucu restorasyon amacıyla kullanılmaktadır (Kotsanos et al., 2005; Venezie et al., 1994; Weerheijm, Jälevik, et al., 2001). Rezin modifiye cam iyonomer simanlar ise klasik cam iyonomer simanlara göre daha estetik olup aşınma ve kırılmaya karşı daha dirençlidir. Ancak bu materyaller de yüksek oklüzal yük altında yeterli performans göstermediğinden kalıcı restorasyon amacıyla sınırlı endikasyona sahiptir (Weerheijm, Jälevik, et al., 2001). Yeterli izolasyonun sağlanabildiği olgularda kompozit rezinler, estetik özellikleri, mekanik dayanımları ve tamir edilebilir olmaları nedeniyle BAKH tedavisinde en sık tercih edilen direkt restoratif materyallerdendir. Bununla birlikte başarılı bir adeziv bağlanma elde edebilmek için kavite sınırlarının sağlam mine içerisinde sonlandırılması ve hipomineralize mine dokusunun tamamen uzaklaştırılması önerilmektedir. Özellikle bir veya iki duvarı supragingival olan, tüberkül kaybının bulunmadığı kavitelerde kompozit rezin restorasyonlar başarılı sonuçlar vermektedir. Nem kontrolünün restorasyon başarısında kritik öneme sahip olması nedeniyle rubber dam izolasyonu mümkün olduğunca kullanılmalıdır (William, Burrow, et al., 2006). Kompomerler ise kompozit rezinlere göre daha düşük eğilme ve gerilme direncine sahip olduklarından, sürekli dişlerde yüksek stres altında çalışan bölgelerde önerilmemektedir. Bu nedenle BAKH'den etkilenen birinci büyük azı dişlerinde kullanım alanları oldukça sınırlıdır (Bekes et al., 2020; Weerheijm, Jälevik, et al., 2001). Orta ve ileri şiddette BAKH olgularında, özellikle birden fazla tüberkülün veya geniş oklüzal yüzeylerin etkilendiği durumlarda indirekt restorasyonlar önemli bir tedavi alternatifi oluşturmaktadır. Bu restorasyonlar geniş madde kayıplarında daha iyi mekanik dayanım sağlamakla birlikte teknik hassasiyet gerektirmeleri, tedavi süresinin uzun olması, geçici restorasyon ihtiyacı ve yüksek maliyet gibi dezavantajlara sahiptir. Döküm metal restorasyonlar yüksek aşınma direnci sunarken estetik açıdan yetersiz kalmaktadır. İndirekt kompozit restorasyonlar gerektiğinde kolayca tamir edilebilme avantajına sahipken, seramik restorasyonlar üstün estetik ve aşınma direnci sağlamaktadır. Ancak seramik restorasyonların uygulanabilmesi için daha fazla diş preparasyonu gerektiğinden, pulpa boynuzlarının geniş olduğu genç daimi dişlerde dikkatli olunmalıdır. Bu nedenle indirekt restorasyon materyali seçimi her hasta için bireysel olarak planlanmalıdır (Dhareula et al., 2019; Linner et al., 2020). Paslanmaz çelik kronlar (PÇK), orta ve şiddetli BAKH olgularında günümüzde en yüksek klinik başarıya sahip restoratif seçeneklerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu kronlar, zayıflamış kron yapısını tamamen örterek hipomineralize diş mekanik ve termal uyaranlardan korur, dentin hassasiyetini azaltır ve oklüzal ile proksimal ilişkilerin korunmasına katkı sağlar. Kısa sürede uygulanabilmeleri, ekonomik olmaları ve tek seansta tedavinin tamamlanabilmesi önemli avantajlarıdır. Bununla birlikte kronların yeterli adaptasyon göstermemesi durumunda gingival inflamasyon,

periodontal cep derinliğinde artış ve oklüzal uyumsuzluk gibi komplikasyonlar gelişebilmektedir (Croll, 2000; Mahoney, 2001; Radcliffe & Cullen, 1991; William, Messer, et al., 2006). PÇK ile adeziv restorasyon arasında seçim yapılırken hastanın kooperasyonu, uzun dönem prognoz, ekonomik koşullar ve klinisyenin deneyimi birlikte değerlendirilmelidir (William, Messer, et al., 2006a). Prognozu kötü olan, ileri derecede madde kaybı bulunan, pulpa tutulumu gelişmiş veya restoratif tedaviyle uzun dönem başarının beklenmediği olgularda planlı çekim de tedavi seçenekleri arasında yer almaktadır (Kotsanos et al., 2005; Zagdwon et al., 2003). Çekim kararı verilirken hastanın dental gelişim dönemi, mevcut veya olası ortodontik problemler, üçüncü molar germelerinin varlığı, tedavi süresi ve maliyet gibi faktörler birlikte değerlendirilmelidir. Ortodontik açıdan en uygun çekim zamanının, radyografik olarak birinci büyük azı dişlerinin furkasyon bölgesinde intraradiküler dentin oluşumunun başladığı yaklaşık 8–9 yaş dönemi olduğu bildirilmektedir (Abdalla et al., 2021; Biondi et al., 2019; Fayle, 2003; Zagdwon et al., 2003). Son yıllarda dijital diş hekimliğindeki gelişmeler BAKH'lı dişlerin restorasyonunda yeni tedavi olanakları sunmuştur. İntraoral tarayıcılar (IOS) sayesinde ölçü alma işlemi daha konforlu hâle gelirken, özellikle kooperasyonu sınırlı çocuk hastalarda tedavi süreci kolaylaşmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) sistemleri ise minimal diş preparasyonu ile yüksek uyum gösteren indirekt restorasyonların kısa sürede hazırlanmasına olanak sağlamaktadır. Dijital iş akışının sağladığı yüksek hassasiyet, diş dokusunun maksimum düzeyde korunması ve uzun dönem restorasyon başarısı göz önünde bulundurulduğunda, bu teknolojilerin özellikle genç daimi dişlerde gelecek vadeden tedavi seçenekleri arasında yer aldığı düşünülmektedir (Davidovich et al., 2020). CAD/CAM teknolojilerinde kullanılan restoratif materyaller arasında en yaygın seçenekler monolitik zirkonya ve lityum disilikat cam seramik (IPS e.max CAD) restorasyonlardır. Monolitik zirkonya; yüksek mekanik dayanıklılığı, biyouyumluluğu ve yeterli estetik özellikleri sayesinde posterior restorasyonlarda başarılı klinik sonuçlar sunmaktadır (Elisa Kauling et al., 2020). Buna karşın, zirkonyanın adeziv simantasyonunun teknik olarak daha zor olması nedeniyle, üstün estetik özellikleri, yüksek kırılma direnci ve daha güvenilir adeziv bağlanma kapasitesi sunan IPS e.max CAD restorasyonlar klinik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir (Elsherbini et al., 2022). Monolitik zirkonya ve IPS e.max CAD materyallerinin MIH'dan etkilenen büyük azı dişlerindeki klinik performansının karşılaştırıldığı bir çalışmada, restorasyonlar modifiye FDI kriterleri doğrultusunda estetik, fonksiyonel ve biyolojik açıdan değerlendirilmiştir. Olası değerlendirme yanlılığını en aza indirmek amacıyla incelemeler, restorasyon tiplerinden haberdar olmayan iki bağımsız araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir yıllık takip sonunda, her iki materyal arasında estetik, fonksiyonel ve biyolojik performans açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamış; monolitik zirkonya ve

IPS e.max CAD overlay restorasyonlarının MIH'lı büyük azı dişlerinde güvenilir ve başarılı tedavi seçenekleri olduğu bildirilmiştir (Zou et al., 2018). Kaplan–Meier sağkalım analizinde, restorasyonların sağkalım oranı monolitik zirkonya grubunda %100, IPS e.max CAD grubunda ise %96 olarak belirlenmiştir. Başarı oranları ise sırasıyla %98,8 ve %98,7 olup, iki materyal arasında klinik başarı açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu bulgular, her iki CAD/CAM materyalinin de MIH'dan etkilenen posterior dişlerin restorasyonunda yüksek klinik başarı ve güvenilirlik sunduğunu gösteren önceki çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur. Ayrıca mevcut veriler, her iki overlay restorasyon tipinin de tek posterior diş restorasyonlarında uygulanabilir bir seçenek olduğunu, bununla birlikte yüksek mekanik dayanıklılığı güçlü adeziv özelliklerle birleştiren zirkonya ile güçlendirilmiş lityum silikat cam seramik restorasyonların gelecekte umut vadeden bir alternatif olabileceğini düşündürmektedir (Al-Haj Husain et al., 2020; Souza et al., 2021; Tsanova et al., 2018). Bununla birlikte, mevcut çalışmaların önemli sınırlılıkları arasında değerlendirilen olgu sayısının düşük olması ve takip sürelerinin kısa olması yer almaktadır. Bu nedenle, CAD/CAM restorasyonlarının MIH'lı dişlerdeki uzun dönem klinik başarısını ve sağkalımını ortaya koyabilmek amacıyla daha geniş örneklemli, prospektif ve uzun süreli klinik araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır (Eldehna et al., 2023).

SONUÇ

Büyük azı keser hipomineralizasyonu (BAKH), etiyolojisi tam olarak aydınlatılamamış, klinik bulguları bireyler arasında farklılık gösterebilen önemli gelişimsel bir mine defektidir. Erken tanı ve doğru risk değerlendirilmesi prognozda önemli rol oynamaktadır. Mevcut literatür BAKH yönetiminde tek bir tedavi yönteminin tüm olgular için uygun olmadığını, başarılı sonuçların koruyucu, restoratif ve gerektiğinde multidisipliner yaklaşımların birlikte değerlendirilmesiyle elde edilebileceğini göstermektedir.

REFERANSLAR

- Abdalla, H. E., Abuaffan, A. H., & Kemoli, A. M. (2021). Molar incisor hypomineralization, prevalence, pattern and distribution in Sudanese children. *BMC Oral Health*, 21(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01383-1>
- Aine, L., Backström, M. C., Mäki, R., Kuusela, A. -L., Koivisto, A. -M., Ikonen, R. -S., & Mäki, M. (2000). Enamel defects in primary and permanent teeth of children born prematurely. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, 29(8), 403–409. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0714.2000.290806.x>

- Alaluusua, S. (2010). Aetiology of Molar-Incisor Hypomineralisation: A systematic review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 11(2), 53–58. <https://doi.org/10.1007/BF03262713>
- Alaluusua, S., Lukinmaa, P. L., Koskimies, M., Pirinen, S., Hölttä, P., Kallio, M., Holttinen, T., & Salmenperä, L. (1996). Developmental dental defects associated with long breast feeding. *European Journal of Oral Sciences*, 104(5–6), 493–497. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1996.tb00131.x>
- Al-Batayneh, O. B., Jbarat, R. A., & Al-Khateeb, S. N. (2017). Effect of application sequence of fluoride and CPP-ACP on remineralization of white spot lesions in primary teeth: An in-vitro study. *Archives of Oral Biology*, 83, 236–240. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.08.003>
- Al-Haj Husain, N., Özcan, M., Molinero-Mourelle, P., & Joda, T. (2020). Clinical Performance of Partial and Full-Coverage Fixed Dental Restorations Fabricated from Hybrid Polymer and Ceramic CAD/CAM Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/jcm9072107>
- Almuallem, Z., & Busuttil-Naudi, A. (2018). Molar incisor hypomineralisation (MIH) - an overview. *British Dental Journal*. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2018.814>
- Altner, S., Milutinovic, I., & Bekes, K. (2024). Possible Etiological Factors for the Development of Molar Incisor Hypomineralization (MIH) in Austrian Children. *Dentistry Journal*, 12(3), 44. <https://doi.org/10.3390/dj12030044>
- Bakkal, M., Abbasoglu, Z., & Kargul, B. (2017). The Effect of Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate on Molar-Incisor Hypomineralisation: A Pilot Study. *Oral Health & Preventive Dentistry*, 15(2), 163–167. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a37928>
- Beentjes, V. E., Weerheijm, K. L., & Groen, H. J. (2002). Factors involved in the aetiology of molar-incisor hypomineralisation (MIH). *European Journal of Paediatric Dentistry*, 3(1), 9–13.
- Bekes, K., Amend, S., Priller, J., Zamek, C., Stamm, T., & Krämer, N. (2022). Hypersensitivity relief of MIH-affected molars using two sealing techniques: a 12-week follow-up. *Clinical Oral Investigations*, 26(2), 1879–1888. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04163-5>
- Bekes, K., Heinzlmann, K., Lettner, S., & Schaller, H.-G. (2017). Efficacy of desensitizing products containing 8% arginine and calcium carbonate for hypersensitivity relief in MIH-affected molars: an 8-week clinical study. *Clinical Oral Investigations*, 21(7), 2311–2317. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-2024-8>

- Bekes, K., Mitulović, G., Meißner, N., Resch, U., & Gruber, R. (2020). Saliva proteomic patterns in patients with molar incisor hypomineralization. *Scientific Reports*, 10(1), 7560. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64614-z>
- Bhandari, R., Thakur, S., Singhal, P., Chauhan, D., Jayam, C., & Jain, T. (2018). Concealment effect of resin infiltration on incisor of Grade I molar incisor hypomineralization patients: An in vivo study. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 21(4), 450–454. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_61_18
- Biondi, A. M., Córtese, S. G., Babino, L., & Toscano, M. A. (2019). Molar incisor hypomineralization: Analysis of asymmetry of lesions. *Acta Odontologica Latinoamericana : AOL*, 32(1), 44–48.
- Borges, A. B., Caneppele, T. M. F., Masterson, D., & Maia, L. C. (2017). Is resin infiltration an effective esthetic treatment for enamel development defects and white spot lesions? A systematic review. *Journal of Dentistry*, 56, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.10.010>
- Brogårdh-Roth, S., Matsson, L., & Klingberg, G. (2011). Molar-incisor hypomineralization and oral hygiene in 10- to-12-yr-old Swedish children born preterm. *European Journal of Oral Sciences*, 119(1), 33–39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2011.00792.x>
- Byers, M. R., Suzuki, H., & Maeda, T. (2003). Dental neuroplasticity, neuro-pulpal interactions, and nerve regeneration. *Microscopy Research and Technique*, 60(5), 503–515. <https://doi.org/10.1002/jemt.10291>
- Caglar, E., Kargul, B., & Tanboga, I. (2005). Bacteriotherapy and probiotics' role on oral health. *Oral Diseases*, 11(3), 131–137. <https://doi.org/10.1111/j.1601-0825.2005.01109.x>
- Caglar, E., Kargul, B., Tanboga, I., & Lussi, A. (2005). Dental erosion among children in an Istanbul public school. *Journal of Dentistry for Children (Chicago, Ill.)*, 72(1), 5–9.
- Caglar, E., Sandalli, N., Twetman, S., Kavaloglu, S., Ergeneli, S., & Selvi, S. (2005). Effect of yogurt with Bifidobacterium DN-173 010 on salivary mutans streptococci and lactobacilli in young adults. *Acta Odontologica Scandinavica*, 63(6), 317–320. <https://doi.org/10.1080/00016350510020070>
- Croll, T. P. (2000). Restorative options for malformed permanent molars in children. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*, 21(8), 676–678, 680, 682.
- CROMBIE, F., MANTON, D., & KILPATRICK, N. (2009). Aetiology of molar–incisor hypomineralization: a critical review. *International Journal of*

Paediatric Dentistry, 19(2), 73–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2008.00966.x>

Crombie, F., Manton, D., Palamara, J., & Reynolds, E. (2014). Resin infiltration of developmentally hypomineralised enamel. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 24(1), 51–55. <https://doi.org/10.1111/ipd.12025>

da Costa Rosa, T., Pintor, A. V. B., Magno, M. B., Marañón-Vásquez, G. A., Maia, L. C., & Neves, A. A. (2022). Worldwide trends on molar incisor and deciduous molar hypomineralisation research: a bibliometric analysis over a 19-year period. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 23(1), 133–146. <https://doi.org/10.1007/s40368-021-00676-5>

Davidovich, E., Dagon, S., Tamari, I., Etinger, M., & Mijiritsky, E. (2020). An Innovative Treatment Approach Using Digital Workflow and CAD-CAM Part 2: The Restoration of Molar Incisor Hypomineralization in Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph17051499>

de Castro, C. R. N., Lima, C. C. B., Costa, L. C., Silva, R. N. C., Pascotto, R. C., de Moura, M. S., Almeida de Deus Moura, L. de F., & Moura de Lima, M. de D. (2021). Hypomineralized Teeth Have a Higher Frequency of Dental Hypersensitivity. *Pediatric Dentistry*, 43(3), 218–222.

Denis, M., Atlan, A., Vennat, E., Tirlet, G., & Attal, J.-P. (2013). White defects on enamel: diagnosis and anatomopathology: two essential factors for proper treatment (part 1). *International Orthodontics*, 11(2), 139–165. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2013.02.014>

Dhareula, A., Goyal, A., Gauba, K., Bhatia, S. K., Kapur, A., & Bhandari, S. (2019). A clinical and radiographic investigation comparing the efficacy of cast metal and indirect resin onlays in rehabilitation of permanent first molars affected with severe molar incisor hypomineralisation (MIH): a 36-month randomised controlled clinical trial. *European Archives of Paediatric Dentistry: Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 20(5), 489–500. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00430-y>

Eldehna, A. M., Montaser, A. G., ALrafee, S. A., & Abdelgawad, A. (2023). Clinical outcome of CAD/CAM overlays of MIH affected young permanent molars. *The Saudi Dental Journal*, 35(6), 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.05.028>

Elisa Kauling, A., Güth, J.-F., Erdelt, K., Edelhoff, D., & Keul, C. (2020). Influence of speed sintering on the fit and fracture strength of 3-unit monolithic zirconia

- fixed partial dentures. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(3), 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.09.003>
- Elsherbini, M., Al-Zordk, W., Diaa, M., Amin, R. A., & Sakrana, A. A. (2022). *Effect of vertical preparation on fit of heat pressed zirconia reinforced lithium disilicate and monolithic zirconia three-unit fixed partial dentures: A comparative study*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1671022/v1>
- Fagrell, T. (2011). Molar incisor hypomineralization. Morphological and chemical aspects, onset and possible etiological factors. *Swedish Dental Journal. Supplement*, (216), 5, 11–83.
- Fagrell, T. G., Lingström, P., Olsson, S., Steiniger, F., & Norén, J. G. (2008). Bacterial invasion of dentinal tubules beneath apparently intact but hypomineralized enamel in molar teeth with molar incisor hypomineralization. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 18(5), 333–340. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2007.00908.x>
- Fatturi, A. L., Wambier, L. M., Chibinski, A. C., Assunção, L. R. da S., Brancher, J. A., Reis, A., & Souza, J. F. (2019). A systematic review and meta-analysis of systemic exposure associated with molar incisor hypomineralization. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 47(5), 407–415. <https://doi.org/10.1111/cdoe.12467>
- Fayle, S. A. (2003). Molar incisor hypomineralisation: restorative management. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 4(3), 121–126.
- Garg, N., Jain, A. K., Saha, S., & Singh, J. (2012). Essentiality of early diagnosis of molar incisor hypomineralization in children and review of its clinical presentation, etiology and management. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 5(3), 190–196. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1164>
- Ghanim, A., Silva, M. J., Elfrink, M. E. C., Lygidakis, N. A., Mariño, R. J., Weerheijm, K. L., & Manton, D. J. (2017). Molar incisor hypomineralisation (MIH) training manual for clinical field surveys and practice. *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 18(4), 225–242. <https://doi.org/10.1007/s40368-017-0293-9>
- Goel, N., Jha, S., Bhol, S., Dash, B. P., Sarangal, H., & Namdev, R. (2021). Molar Incisor Hypomineralization: Clinical Characteristics with Special Emphasis on Etiological Criteria. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13(Suppl 1), S651–S655. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_801_20
- Guergolette, R. P., Dezan, C. C., Frossard, W. T. G., Ferreira, F. B. de A., Cerci Neto, A., & Fernandes, K. B. P. (2009). Prevalence of developmental defects of

- enamel in children and adolescents with asthma. *Jornal Brasileiro de Pneumologia : Publicacao Oficial Da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisilogia*, 35(4), 295–300. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132009000400002>
- Gurrusquieta, B. J., Núñez, V. M. M., & López, M. L. A. J. (2017). Prevalence of Molar Incisor Hypomineralization in Mexican Children. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 41(1), 18–21. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-41.1.18>
- Hall, R. K. (1989). Prevalence of developmental defects of tooth enamel (DDE) in a pediatric hospital department of dentistry population (1). *Advances in Dental Research*, 3(2), 114–119. <https://doi.org/10.1177/08959374890030020801>
- Hernandez, M., Boj, J., & Espasa, E. (2016). Do We Really Know the Prevalence of MIH? *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 40(4), 259–263. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-40.4.259>
- Hunt, P. A., Lawson, C., Gieske, M., Murdoch, B., Smith, H., Marre, A., Hassold, T., & VandeVoort, C. A. (2012). Bisphenol A alters early oogenesis and follicle formation in the fetal ovary of the rhesus monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(43), 17525–17530. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207854109>
- Jälevik, B. (2010). Prevalence and Diagnosis of Molar-Incisor-Hypomineralisation (MIH): A systematic review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 11(2), 59–64. <https://doi.org/10.1007/BF03262714>
- Jälevik, B., & Klingberg, G. A. (2002). Dental treatment, dental fear and behaviour management problems in children with severe enamel hypomineralization of their permanent first molars. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 12(1), 24–32.
- Jälevik, B., & Norén, J. G. (2000). Enamel hypomineralization of permanent first molars: a morphological study and survey of possible aetiological factors. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 10(4), 278–289. <https://doi.org/10.1046/j.1365-263x.2000.00210.x>
- Jälevik, B., Norén, J. G., Klingberg, G., & Barregård, L. (2001). Etiologic factors influencing the prevalence of demarcated opacities in permanent first molars in a group of Swedish children. *European Journal of Oral Sciences*, 109(4), 230–234. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0722.2001.00047.x>
- Kotsanos, N., Kaklamanos, E. G., & Arapostathis, K. (2005). Treatment management of first permanent molars in children with Molar-Incisor Hypomineralisation. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 6(4), 179–184.

- Krishnan, R., & Ramesh, M. (2014). Molar incisor hypomineralisation: A review of its current concepts and management. *SRM Journal of Research in Dental Sciences*, 5(4), 248. <https://doi.org/10.4103/0976-433X.145129>
- Laisi, S., Ess, A., Sahlberg, C., Arvio, P., Lukinmaa, P.-L., & Alaluusua, S. (2009). Amoxicillin may cause molar incisor hypomineralization. *Journal of Dental Research*, 88(2), 132–136. <https://doi.org/10.1177/0022034508328334>
- Laisi, S., Kiviranta, H., Lukinmaa, P.-L., Vartiainen, T., & Alaluusua, S. (2008). Molar-incisor-hypomineralisation and dioxins: new findings. *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 9(4), 224–227. <https://doi.org/10.1007/BF03262639>
- Linner, T., Khazaei, Y., Bücher, K., Pfisterer, J., Hickel, R., & Kühnisch, J. (2020). Comparison of four different treatment strategies in teeth with molar-incisor hypomineralization-related enamel breakdown-A retrospective cohort study. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 30(5), 597–606. <https://doi.org/10.1111/ipd.12636>
- Lygidakis, N. A. (2010). Treatment modalities in children with teeth affected by molar-incisor enamel hypomineralisation (MIH): A systematic review. *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 11(2), 65–74. <https://doi.org/10.1007/BF03262715>
- Lygidakis, N. A., Dimou, G., & Marinou, D. (2008). Molar-Incisor-Hypomineralisation (MIH). A retrospective clinical study in Greek children. II. Possible medical aetiological factors. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 9(4), 207–217. <https://doi.org/10.1007/BF03262637>
- Lygidakis, N. A., Dimou, G., & Stamataki, E. (n.d.). *Retention of fissure sealants using two different methods of application in teeth with hypomineralised molars (MIH): A 4 year clinical study.*
- Lygidakis, N. A., Garot, E., Somani, C., Taylor, G. D., Rouas, P., & Wong, F. S. L. (2022). Best clinical practice guidance for clinicians dealing with children presenting with molar-incisor-hypomineralisation (MIH): an updated European Academy of Paediatric Dentistry policy document. *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 23(1), 3–21. <https://doi.org/10.1007/s40368-021-00668-5>
- Lygidakis, N. A., Wong, F., Jälevik, B., Vierrou, A.-M., Alaluusua, S., & Espelid, I. (2010). Best Clinical Practice Guidance for clinicians dealing with children presenting with Molar-Incisor-Hypomineralisation (MIH): An EAPD Policy Document. *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the*

European Academy of Paediatric Dentistry, 11(2), 75–81.
<https://doi.org/10.1007/BF03262716>

- Mahoney, E. K. (2001). The treatment of localised hypoplastic and hypomineralised defects in first permanent molars. *The New Zealand Dental Journal*, 97(429), 101–105.
- Martínez, A., Cubillos, P., Jiménez, M., Brethauer, U., Catalán, P., & González, U. (2002). Prevalence of developmental enamel defects in mentally retarded children. *ASDC Journal of Dentistry for Children*, 69(2), 151–155, 124.
- Mathu-Muju, K., & Wright, J. T. (2006). Diagnosis and treatment of molar incisor hypomineralization. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*, 27(11), 604–610; quiz 611.
- Mittal, N. P., Goyal, A., Gauba, K., & Kapur, A. (2014). Molar incisor hypomineralisation: prevalence and clinical presentation in school children of the northern region of India. *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 15(1), 11–18. <https://doi.org/10.1007/s40368-013-0045-4>
- Pini, N. I. P., Sundfeld-Neto, D., Aguiar, F. H. B., Sundfeld, R. H., Martins, L. R. M., Lovadino, J. R., & Lima, D. A. N. L. (2015). Enamel microabrasion: An overview of clinical and scientific considerations. *World Journal of Clinical Cases*, 3(1), 34–41. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v3.i1.34>
- Pitiphat, W., Luangchaichaweng, S., Pungchanchaikul, P., Angwaravong, O., & Chansamak, N. (2014). Factors associated with molar incisor hypomineralization in <sc>T</sc> hai children. *European Journal of Oral Sciences*, 122(4), 265–270. <https://doi.org/10.1111/eos.12136>
- Radcliffe, R. M., & Cullen, C. L. (1991). Preservation of future options: restorative procedures on first permanent molars in children. *ASDC Journal of Dentistry for Children*, 58(2), 104–108.
- Robinson, C., Kirkham, J., Brookes, S. J., Bonass, W. A., & Shore, R. C. (1995). The chemistry of enamel development. *The International Journal of Developmental Biology*, 39(1), 145–152.
- Rodd, H. D., Morgan, C. R., Day, P. F., & Boissonade, F. M. (2007). Pulpal expression of TRPV1 in molar incisor hypomineralisation. *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 8(4), 184–188. <https://doi.org/10.1007/BF03262594>
- Rodrigues, M. C., Mondelli, R. F. L., Oliveira, G. U., Franco, E. B., Baseggio, W., & Wang, L. (2013). Minimal alterations on the enamel surface by micro-abrasion:

- in vitro roughness and wear assessments. *Journal of Applied Oral Science : Revista FOB*, 21(2), 112–117. <https://doi.org/10.1590/1678-7757201302117>
- Sadashivamurthy, P., & Deshmukh, S. (2012). Missing links of Molar Incisor Hypomineralization: A review. In *J. Int Oral Health*. www.ispcd.org
- Schneider, P. M., & Silva, M. (2018). Endemic Molar Incisor Hypomineralization: a Pandemic Problem That Requires Monitoring by the Entire Health Care Community. *Current Osteoporosis Reports*, 16(3), 283–288. <https://doi.org/10.1007/s11914-018-0444-x>
- Schwendicke, F., Elhennawy, K., Reda, S., Bekes, K., Manton, D. J., & Krois, J. (2018). Global burden of molar incisor hypomineralization. *Journal of Dentistry*, 68, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.12.002>
- Silva, M. J., Scurrah, K. J., Craig, J. M., Manton, D. J., & Kilpatrick, N. (2016). Etiology of molar incisor hypomineralization – A systematic review. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 44(4), 342–353. <https://doi.org/10.1111/cdoe.12229>
- Sluka, B., Held, U., Wegehaupt, F., Neuhaus, K. W., Attin, T., & Sahrman, P. (2024). Is there a rise of prevalence for Molar Incisor Hypomineralization? A meta-analysis of published data. *BMC Oral Health*, 24(1), 127. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03637-0>
- Souza, J., Fuentes, M. V., Baena, E., & Ceballos, L. (2021). One-year clinical performance of lithium disilicate versus resin composite CAD/CAM onlays. *Odontology*, 109(1), 259–270. <https://doi.org/10.1007/s10266-020-00539-3>
- Steffen, R., Krämer, N., & Bekes, K. (2017). The Würzburg MIH concept: the MIH treatment need index (MIH TNI) : A new index to assess and plan treatment in patients with molar incisor hypomineralisation (MIH). *European Archives of Paediatric Dentistry : Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 18(5), 355–361. <https://doi.org/10.1007/s40368-017-0301-0>
- Sundfeld, R. H., Croll, T. P., Briso, A. L. F., de Alexandre, R. S., & Sundfeld Neto, D. (2007). Considerations about enamel microabrasion after 18 years. *American Journal of Dentistry*, 20(2), 67–72.
- Tsanova, M. P., Manchorova-Veleva, N. A., Mateva, N. G., & Tsanova, S. T. (2018). Clinical Evaluation of CAD/CAM Indirect Zirconia Restorations of Severely Destroyed Vital Teeth in the Posterior Area - Early Clinical Results. *Folia Medica*, 60(3), 402–410. <https://doi.org/10.2478/folmed-2018-0013>
- Venezie, R. D., Vadiakas, G., Christensen, J. R., & Wright, J. T. (1994). Enamel pretreatment with sodium hypochlorite to enhance bonding in hypocalcified

amelogenesis imperfecta: case report and SEM analysis. *Pediatric Dentistry*, 16(6), 433–436.

Vieira, A. R., & Manton, D. J. (2019). On the Variable Clinical Presentation of Molar-Incisor Hypomineralization. *Caries Research*, 53(4), 482–488. <https://doi.org/10.1159/000496542>

Wang, Y., Mei, L., Gong, L., Li, J., He, S., Ji, Y., & Sun, W. (2016). Remineralization of early enamel caries lesions using different bioactive elements containing toothpastes: An in vitro study. *Technology and Health Care : Official Journal of the European Society for Engineering and Medicine*, 24(5), 701–711. <https://doi.org/10.3233/THC-161221>

Weerheijm, K. L. (2004). Molar Incisor Hypomineralization (MIH): Clinical Presentation, Aetiology and Management. *Dental Update*, 31(1), 9–12. <https://doi.org/10.12968/denu.2004.31.1.9>

Weerheijm, K. L., Duggal, M., Mej re, I., Papagiannoulis, L., Koch, G., Martens, L. C., & Hallonsten, A.-L. (2003). Judgement criteria for molar incisor hypomineralisation (MIH) in epidemiologic studies: a summary of the European meeting on MIH held in Athens, 2003. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 4(3), 110–113.

Weerheijm, K. L., Groen, H. J., Beentjes, V. E., & Poorterman, J. H. (2001). Prevalence of cheese molars in eleven-year-old Dutch children. *ASDC Journal of Dentistry for Children*, 68(4), 259–262, 229.

Weerheijm, K. L., Jälevik, B., & Alaluusua, S. (2001). Molar-incisor hypomineralisation. *Caries Research*, 35(5), 390–391. <https://doi.org/10.1159/000047479>

Whatling, R., & Fearne, J. M. (2008). Molar incisor hypomineralization: a study of aetiological factors in a group of UK children. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 18(3), 155–162. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2007.00901.x>

William, V., Burrow, M. F., Palamara, J. E. A., & Messer, L. B. (2006). Microshear bond strength of resin composite to teeth affected by molar hypomineralization using 2 adhesive systems. *Pediatric Dentistry*, 28(3), 233–241.

William, V., Messer, L. B., & Burrow, M. F. (2006a). Molar incisor hypomineralization: review and recommendations for clinical management. *Pediatric Dentistry*, 28(3), 224–232.

- William, V., Messer, L. B., & Burrow, M. F. (2006b). Molar incisor hypomineralization: review and recommendations for clinical management. *Pediatric Dentistry*, 28(3), 224–232.
- Zagdwon, A., Fayle, S., & Pollard, M. (2003). A prospective clinical trial comparing preformed metal crowns and cast restorations for defective first permanent molars. *European Journal of Paediatric Dentistry: Official Journal of European Academy of Paediatric Dentistry*, 4, 138–142.
- Zhao, D., Dong, B., Yu, D., Ren, Q., & Sun, Y. (2018). The prevalence of molar incisor hypomineralization: evidence from 70 studies. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 28(2), 170–179. <https://doi.org/10.1111/ipd.12323>
- Zou, Y., Bai, J., & Xiang, J. (2018). Clinical performance of CAD/CAM-fabricated monolithic zirconia endocrowns on molars with extensive coronal loss of substance. *International Journal of Computerized Dentistry*, 21(3), 225–232.

Geviş Getiren Hayvanlarda Ön Midenin Değişken Morfolojisi

Şükrü Hakan ATALGIN¹
Zekeriya ÖZÜDOĞRU²

- 1- Prof. Dr.; Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi Anatomi ABD sukruhakan@balikesir.edu.tr
ORCID [0000-0001-9436-6270](https://orcid.org/0000-0001-9436-6270)
- 2- Prof. Dr.; Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi Anatomi ABD
zekeriya.ozudogru@balikesir.edu.tr Orcid 0000-0002-0789-3628

ÖZET

Rumen, geviş getiren hayvanlarda sindirim sisteminin en büyük ve işlevsel açıdan en karmaşık bölümüdür. Bu bölümde rumen mukozasının makroskopik ve mikroskopik yapısı, epitel hücre tipleri, papilla ruminis'in morfolojisi ve gelişimi, rumen epiteli ile kısa zincirli yağ asitleri (SCFA) arasındaki fizyolojik ilişki ve asidoz gibi beslenme kaynaklı hastalıklarda gözlemlenen patolojik değişiklikler kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. Özellikle ruminantlardan elde edilen taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve stereomikroskopi verileri, literatür bilgileriyle bütünleşik olarak sunulmaktadır. Rumen asidozunun papilla ruminis morfolojisi üzerindeki etkileri, asidotik hayvanlarda gözlemlenen balon tipi hücreler, nekrotik hücre artıkları ve yüzey erozyonları ayrıntılandırılmaktadır. Bölümün son kısımlarında rumen mukozasının yönetim stratejileri ve araştırma perspektifleri tartışılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Değişim, mukoza, papilla ruminis, ruminant, rumen, taramalı elektron mikroskobu (SEM)

1. GİRİŞ

Geviş getiren hayvanlar (ruminantlar), sindirim sistemlerinde birden fazla mide bölümü barındıran ve bu sayede lifli bitki materyallerini etkin biçimde sindirebildikleri fizyolojik bir üstünlüğe sahip olan memelilerdir. Bu grubun en önemli temsilcileri sığır, koyun, keçi ve geyiklerdir. Ruminantların sindirim sisteminin en hacimli ve işlevsel açıdan en dinamik bölümü olan rumen; içinde barındırdığı zengin mikrobiyal flora aracılığıyla, özellikle sellüloz başta olmak üzere pek çok kompleks karbonhidratın fermentasyonunu gerçekleştirmektedir (Hofmann, 1989; Dyce ve ark., 2010).

Rumenin iç yüzeyi, mukozal yapılar olan papillae ruminis (rumen papillaları) ile kaplanmıştır. Bu papillalar, yüzey alanını büyük ölçüde artırarak sindirim ürünlerinin emilimini kolaylaştırmakta; dolayısıyla hayvanın enerji metabolizması üzerinde doğrudan bir etki kurmaktadır. Papillaların morfolojisi ise hayvanın beslenme alışkanlıklarına, yaşına, rasyonun yapısına ve beslenmenin süresine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (Ahmed ve ark., 2013; Gäbel ve ark., 1987).

Türkiye'de küçükbaş hayvancılık, özellikle koyun yetiştiriciliği, mera ve çayırılık alanların değerlendirilmesinde, kırsal ekonominin sürdürülmesinde ve et, süt, yün gibi hayvansal ürünlerin üretiminde kritik bir yer tutmaktadır. Akkaraman ırkı, toplam koyun popülasyonu içindeki yaklaşık %45,8'lik payıyla Türkiye'nin en yaygın koyun ırkını oluşturmaktadır (Akçapınar, 2000). Yoğun üretim sistemlerine geçişle birlikte konsantre yem kullanımının artması, rumen asidozu vakalarını da beraberinde getirmekte ve bu durum hem

hayvan sağlığı hem de ekonomik açıdan ciddi sorunlara yol açmaktadır (Liu ve ark., 2013; Beauchemin ve ark., 2008).

Bu bölümde, rumen mukozasının anatomik ve histolojik özellikleri sistematik biçimde aktarılmakta; papillaların gelişimi, hücresel düzeydeki morfolojisi ve beslenme kaynaklı patolojik değişiklikler SEM bulgularıyla desteklenerek incelenmektedir. Özellikle bu konudaki güncel alışmalar (Atalgin, 2025 ve Atalgin ve ark., 2023), koyunlarda rumen morfolojisine ilişkin özgün bulgular sunmaktadır.

2. RUMEN'İN GENEL ANATOMİSİ

2.1. Konum ve Boyut

Rumen, karın boşluğunun sol yarısında yer alır ve neredeyse tüm sol abdominal bölgeyi kaplar. Koyun ve sığırlarda en büyük n mide bölümü olan rumen, toplam mide kapasitesinin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Sığırlarda rumen kapasitesi 100-150 litreye ulaşabilirken koyunlarda bu değer 10-25 litre arasındadır. Doğal doluluk durumunda rumen, diyaframa kadar uzanır ve sağ abdominal bölgeye de taşabilir (Dyce ve ark., 2010).

Rumen i kısımdan incelendiğinde yüzeyi boyunca uzanan pila ruminis adlı yapılar dikkat çeker (şekil 1). Bu yapılar, rumeni çeşitli keseler (saccus ruminis) ve kr uzantılara (saccus caecus cranialis ve caudalis) ayırmaktadır. Sütunlar mukozadan yoksundur; yani papilla ruminis bu bölgelerde bulunmaz (Scott ve Gardner, 1973; Atalgin ve ark., 2023).



şekil 1. Rumen i görünümü. Oklar papilla ruminis, yildizlar: pila ruminis (Atalgin ve ark., 2023).

2.2. Ön Mide Bileşenleri

Ruminantların ön midesi dört bölümden oluşmaktadır: rumen (işkembe), retikulum (börkenek), omasum (kırkbayır) ve abomasum (şirden). Gerçek anlamda sindirim asitli ortamda yalnızca abomasumda gerçekleşmekte olup diğer üç bölüm fermentatif sindirime zemin hazırlamaktadır.

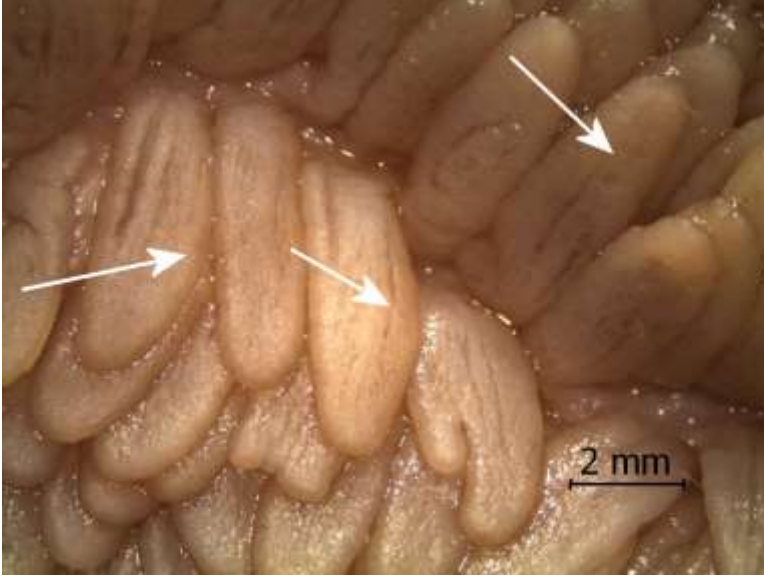
Tablo 1. Ruminant ön midesi bölümleri ve temel özellikleri.

Bölüm	Başlıca Fonksiyon	Mukozal Özellik
Rumen	Fermentasyon, tamponlama, SCFA emilimi	Papilla ruminis, stratifiye yassı epitel
Retikulum	Yabancı cisim tutma, geviş hazırlığı	Crista reticuli, celula reticuli (Bal peteği yapısı)
Omasum	Su ve minerallerin emilimi	Lamina omasalis üzeri papilla tipleri
Abomasum	Enzimatik sindirim (gerçek mide)	Gastrik bezler, mukus hücreleri

3. RUMEN MUKOZASININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ

3.1. Makroskopik Görünüm

Rumen mukozasının iç yüzeyi, çıplak gözle incelendiğinde parmak benzeri ya da yaprak biçimli çok sayıda çıkıntı ile kaplı olduğu görülmektedir. Bu çıkıntılara papilla ruminis (Şekil 1-2) adı verilmektedir. Papillalar, pila ruminis (Şekil 1) (rumen sütunları) ve bunların yakın çevreleri dışında rumenin tüm iç yüzeyini kaplar. Sütunların yakınında papillalar hem sayı hem de uzunluk bakımından azalmaktadır (Atalgin ve ark., 2023).



Şekil 2. Rumen iç görünümü, Oklar: Papilla ruminis (Atalgin ve ark., 2023).

Papillaların rengi, hayvanın beslenmesine bağlı olarak değişmektedir. Saman ile beslenen koyunlarda papillalar açık kahverengi görünürken konsantre yem ile beslenen gruplarda papillaların rengi koyu kahverengiye dönüşmektedir. Bu renk değişimi, papillaların keratinizasyon derecesi ve içeriklerine bağlıdır (Ahmed ve ark., 2013; Atalgin ve ark., 2023). Asidoz vakalarında da papilla rengi koyu kahverengi olarak gözlemlenmektedir (Atalgin, 2025).

Papillaların şekli de konumlarına göre farklılık göstermektedir. Rumenin dorsal ve lateral duvarında kısa, dil biçimli (lingual) papillalar bulunurken ventral duvarda ve kranial kör uzantıda uzun, geniş ve yaprak biçimli papillalar yer almaktadır. Bu bölgesel farklılık, yem maddesinin bu alanda daha uzun süre kalmasıyla açıklanmaktadır (Atalgin ve ark., 2023; Ahmed ve ark., 2013).

3.2. Papilla Ruminis Tipleri ve Sınıflandırması

Papilla ruminis, yüzey alanını artırarak kısa zincirli yağ asitlerinin Emilimini kolaylaştıran temel yapılardır. Morfolojik açıdan papillalar şu tiplerde sınıflandırılabilir:

- Lingual (dil biçimli) papillalar: Kısa, dar ve genellikle dorsal duvarda bulunurlar.
- Yaprak biçimli papillalar: Geniş, uzun ve ventral duvarda yoğunlaşmışlardır; yüzey alanı en büyük olan tiptir.

- Silindirik (parmak biçimli) papillalar: Buzağı ve genç hayvanlarda sık görülür; olgunlaşmayla birlikte şekil değişebilir.
- Çift tepeli (asimetrik çiftleşmiş apiksli) papillalar: Bazı bireylerde papillanın tepesinde asimetrik ikili çıkıntı görülmektedir.

Papillaların yüzeyinde, ışık ve elektron mikroskobu incelemeleriyle görülebilen primer ve sekonder oluklar tanımlanmıştır. Bu oluklar özellikle konsantre yemle beslenen hayvanlarda daha belirgin ve sayıca fazladır. Primer oluk papillanın uzunluğu boyunca ortada ilerler; sekonder oluklar ise primer oluğu kesen daha sık yapılarıdır. Saman ile beslenen hayvanlarda bu olukların sayısı genellikle birdir; konsantre ağırlıklı diyetle bu sayı ve derinlik artmaktadır (Ahmed ve ark., 2013; Tamate ve ark., 1979; Atalgın ve ark., 2023).

3.3. Histolojik Tabakalar

Rumen duvarı, diğer mide bölümlerine kıyasla gastrik bez içermemektedir ve dört temel tabakadan oluşmaktadır:

(1) Tunika mukoza: En iç tabakadır. Stratifiye (çok katlı) yassı epitel hücrelerinden oluşur ve kısmen keratinize bir yapıdadır. Papilla ruminis bu tabakadan köken alır. Lamina propria mukoza, papillaların bağ dokusu çekirdeğini oluşturur ve içinde kapillerler, sinir lifleri ve lenfatik yapılar bulunur.

(2) Tunika submukoza: Gevşek bağ doku tabakasıdır; kan ve lenf damarlarını barındırır.

(3) Tunika muskularis: İç sirküler ve dış longitudinal düz kas katmanlarından oluşur. Ruminasyonu ve içeriğin karıştırılmasını sağlayan güçlü kontraksiyonlara olanak tanır.

(4) Tunika seroza (viseral periton): En dış tabakadır; bağ doku ve mezotel hücrelerinden oluşur.

Rumen epiteli, gastrik asit veya sindirim enzimi salgılamaz. Temel işlevi fermentasyon ürünlerinin (özellikle SCFA'ların) emilimi ve rumen içeriğiyle konak doku arasında bariyer işlevi görmesidir.

4. RUMEN EPİTELİ: HÜCRESEL DÜZEYDE YAPI

4.1. Hücre Tipleri

Rumen epitelinin taramalı elektron mikroskobisi (SEM) ile incelenmesi, yüzey hücrelerinin morfolojisi hakkında son derece ayrıntılı bilgiler

sağlamaktadır. Schnorr ve Vollmerhaus (1967) ile Hofmann ve Schnorr (1982) tarafından keratinize hücreler üç temel morfolojik tipe ayrılmıştır:

1. Yassı (Flattened) Hücreler: Epitel yüzeyinin tamamlanmış keratinizasyonunu temsil eder. Düzleşmiş, ince, çakıl taşı görünümündedir.
2. Balon Tipi (Balloon-type) Hücreler: Şişkinleşmiş, yuvarlak görümlü, sitoplazmaları genişlemiş hücrelerdir. Stres veya patolojik koşullarda artış gösterir. Asidoz vakalarında bu hücre tipinin belirgin biçimde çoğaldığı saptanmıştır (Atalgin, 2025).
3. İntermedier (Ara) Tip Hücreler: Hem yassı hem balon tip özelliklerini kısmen taşıyan geçiş hücreleridir. Straw-konsantre karma diyetle beslenen Akkaraman koyunlarında bu hücre tipinin baskın olduğu gösterilmiştir (Atalgin ve ark., 2023).

4.2. Hücre Geometrisi ve Boyutları

SEM çalışmaları, rumen epitel hücrelerinin yüzeyden bakıldığında çoğunlukla dörtgen, beşgen ve altıgen gibi poligonal formlar sergilediğini ortaya koymaktadır. Scott ve Gardner (1973), tüm rumen yüzeyinin poligonal hücrelerle kaplı olduğunu ve hücre sınırlarının net biçimde seçilebildiğini bildirmiştir. Bu bulgu pek çok sonraki çalışmayla da doğrulanmıştır (Atalgin ve ark., 2023; Atalgin, 2025).

~~Straw konsantre diyetle beslenen Akkaraman koyunlarında hücre kenar uzunluklarının 3,3 ile 35 mikrometre arasında değiştiği ve kenarların eşit uzunlukta olmadığı saptanmıştır. Asidoz vakalarından elde edilen örneklerde ise hücre kenar uzunlukları 8,5 ile 11,4 mikrometre arasında ölçülmüştür (Atalgin ve ark., 2023; Atalgin, 2025).~~

4.3. Epitel Tabakasının Yenilenmesi

Rumen epiteli dinamik bir yenileme kapasitesine sahiptir. Yüzey epitel hücreleri sürekli olarak dökülerek yerini daha derindeki proliferatif hücrelere bırakmaktadır. Bu süreç 'fizyolojik deskuamasyon' olarak adlandırılmakta olup bazı araştırmacılar bunu rumen epitelinin normal bir özelliği olarak değerlendirmiştir (Scott ve Gardner, 1973; Penner ve ark., 2011). Ancak patolojik deskuamasyon (parakeratoz) ile fizyolojik dökülme arasındaki ayrımı belirlemek için SEM, ışık mikroskobu ve TEM (transmisyon elektron mikroskobu) bulgularının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

5. BESLENMENİN RUMEN MUKOZASI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

5.1. Kaba Yem ve Konsantre Yem Arasındaki Karşılaştırma

Besleme tipinin rumen papillalarının morfolojisi üzerindeki etkisi araştırmacıların gündemindedir. Papillaların büyüklüğü ve şekli, yem kompozisyonuna ve besleme süresine bağlı olarak dönüşümlü biçimde değişebilmektedir. Bu değişimlerin 1-3 hafta gibi kısa bir sürede bile ortaya çıkabildiği bildirilmektedir (Gäbel ve ark., 1987).

Ahmed ve ark. (2013), koyunlarda saman ile konsantre yem grupları arasındaki papilla morfolojisini kapsamlı biçimde karşılaştırmıştır. Sonuçlar şu şekilde özetlenebilir: konsantre yemle beslenen grupta papillalar belirgin biçimde daha uzun ve geniştir; konsantre yemle beslenen hayvanların papillaları yaprak biçimli ve koyu kahverengidir; saman ile beslenenler ise açık kahverengi ve küçük, parmak biçimli papillalara sahiptir; cm² başına papilla sayısı konsantre grupta saman grubuna kıyasla belirgin olarak yüksektir.

Tablo 2. Saman ve konsantre besleme gruplarında rumen papilla özellikleri (Ahmed ve ark., 2013; Atalgin ve ark., 2023 uyarlanmıştır).

Parametre	Saman Besleme	Konsantre Besleme
Papilla rengi	Açık kahverengi	Koyu kahverengi
Papilla şekli	Kısa, parmak biçimli	Geniş, yaprak biçimli
Papilla/cm² sayısı	~38 adet	~48 adet (4. haftada)
Papilla Yüzey oluk sayısı	1 (yüzeysel)	2-6 (derin)
Hücre tipi	Normal epitel	Balon tip, nekrotik artık
Epitel bariyeri	Sağlam	Zedelenebilir
Parakeratoz riski	Düşük	Yüksek

5.2. Kısa Zincirli Yağ Asitleri (SCFA) ve Papilla Gelişimi

Rumen mikroorganizmaları, fermentasyon sürecinde başta asetik asit, propiyonik asit (propiyonat) ve bütirik asit (bütirat) olmak üzere çeşitli kısa zincirli yağ asitleri (SCFA) üretir. Bu asitler hem ruminant için temel enerji kaynağı oluşturur hem de rumen papillalarının gelişim ve büyümesini doğrudan uyarır.

Bütirat ve propiyonat, özellikle genç ruminantların rumen papilla gelişimini belirgin biçimde hızlandığı için 'papillatrof' moleküller olarak adlandırılmaktadır. Brownlee (1956)'nin klasik çalışması, farklı diyetlerle beslenen sığırlarda rumen papilla gelişiminin SCFA üretimiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Sander ve ark. (1959) ise sodyum bütirat ve sodyum propiyonatın genç buzağılarda rumen mukozası gelişimini uyardığını deneysel olarak kanıtlamıştır.

Rumen epitel hücreleri, bütiratu kendi enerji kaynağı olarak metabolize etmektedir; bu durum bütiratın bu doku üzerindeki proliferatif etkisini açıklamaktadır. Böylece yüksek enerji içerikli diyetler, SCFA üretimini artırarak papillaların uzamasına ve sayısının çoğalmasına katkıda bulunmakla birlikte, aşırı asit birikiminin epiteli tahrip etme riski de beraberinde gelmektedir (Beauchemin ve ark., 2008; Penner ve ark., 2011).

5.3. Ara Tip Beslemenin Özellikleri

Hofmann (1989), ruminantları beslenme tercihlerine göre üç gruba ayırmıştır: pasture-feeders (otlakçılar/grazers), concentrate-selectors (konsantre) ve intermediate-type eaters (ara tip beslenenler). Koyunlar ve sığırlar bu sınıflandırmada çoğunlukla ara tip ya da otlakçı olarak değerlendirilmektedir.

Atalgın ve ark. (2023) tarafından yürütülen çalışmada, %60 saman + %40 konsantre diyetle beslenen Akkaraman koyunlarının rumen mukozası stereomikroskopi ve SEM aracılığıyla incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen temel bulgular şunlardır: papilla ruminis tüm rumen yüzeyinde (pila ruminis dışında) yoğun dağılım göstermektedir; papillalar açık kahverengidir; bazı papillaların tepesinde asimetric çift uç (doubled-apices) gözlemlenmektedir; hücreler büyük ölçüde intermedier tip olmakla birlikte balon tip hücrelere de rastlanmaktadır; ventral duvarda primer ve sekonder oluklar belirgindir; yüzeyde bakteriyel kolonilere de rastlanmaktadır.

6. RUMEN ASİDOZU VE MUKOZAL DEĞİŞİKLİKLER

6.1. Patogenez

Rumen asidozu, rumen pH'nın normalin (6,5-7,0) altına düşmesiyle karakterize metabolik bir hastalıktır. Hastalık özellikle kolay fermente edilebilir karbonhidratların kontrolsüz ve aşırı tüketilmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır; bu durum tahıl yüklemesi, ani yem değişikliği veya konsantre yeme birden bire geçiş gibi nedenlerle tetiklenebilmektedir. Şiddetli vakalarda rumen pH'ı 5'in altına düşerek 24 saat içinde hayvanın ölümüne neden olabilmektedir (Beauchemin ve ark., 2008; Penner ve ark., 2011).

Patogenezin temel basamakları şöyle özetlenebilir: Kolayca fermente olan karbonhidratlar (nişasta, şeker) hızla laktat ve SCFA'lara dönüştürülür. Laktat birikimi rumen pH'ını hızla düşürür. Düşen pH, asit toleranslı mikroorganizmaların (özellikle *Streptococcus bovis* ve *Lactobacillus spp.*) çoğalmasını teşvik eder; bunun karşılığında protozoa ve gram-negatif bakteriler büyük ölçüde yok olur. Asit ortam, rumen epitelini doğrudan tahrip eder ve epitel bariyer fonksiyonu bozulur. Endotoksinlerin ve laktatın kan dolaşımına geçmesiyle sistemik belirtiler (rumenitis, karaciğer absesi, laminitis) ortaya çıkar (Liu ve ark., 2013).

6.2. Asidozun Epitel Üzerindeki Etkileri

Yüksek tahıl (high-grain) diyetleri veya asidoz koşulları, rumen epitelinde çeşitli düzeylerde hasara neden olmaktadır. Liu ve ark. (2013), asidotik keçilerde rumen epitel sıkı bağlantı (tight junction, TJ) proteinlerinde bozulma tespit etmiş; bu durumun epitel geçirgenliğini artırdığını bildirmiştir. Steele ve ark. (2009) ise bir süt sığırında akut parakeratoz ve rumenitis olgusunu SEM ile ayrıntılı biçimde belgelemiştir.

6.3. Asidotik Koyunlarda SEM Bulguları

Atalgin (2025) tarafından yürütülen ve asidozdan ölen Akkaraman koyunlarının rumen dokusunu SEM yöntemiyle inceleyen çalışma, bu alandaki en güncellerden birini oluşturmaktadır. Çalışmada dört dişi erişkin Akkaraman koyunundan rumen ventral duvarından alınan örnekler %5 glutaraldehit + fosfat tamponu ve %1 osmiyum tetroksit ile fikse edildikten sonra altınla kaplanarak Jeol JVM 5000 mikroskobu ile 5-15 kV'da incelenmiştir.

Makroskopik bulgular: Papillalar koyu kahverengi, şişkin görünümündedir. Papillaların ventral duvarda uzun ve yaprak biçimli olduğu, dorsal ve lateral duvarda ise kısa ve dil biçimli olduğu gözlemlenmiştir. Papilla yüzeyinde primer veya sekonder oluk gözlenmemiştir; bu bulgu, asidotik hayvanlarda normal oluk yapısının bozulduğuna işaret edebilir.

SEM bulguları (düşük büyütme, x34): Papillaların kök bölgelerinde hücre hasarı saptanmış; bu erozyonların her papillada yaklaşık üçte birlik bir alanı kapladığı belirlenmiştir. Ventral duvardan alınan örneklerde hücre artıkları (debris) belirgindir.

SEM bulguları (orta büyütme, x130): Rumen yüzeyinde poligonal (dörtgen, beşgen, altıgen) hücreler gözlemlenmiştir. Hücre kenar uzunluklarının 8,5-11,4 µm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu büyütmede özellikle şişkin, balon tipi hücreler dikkat çekmektedir.

Bulgular şu açıdan önem taşıtmaktadır: asidoz vakalarında derin parakeratoz gzlemlenmese de hücresel düzeyde anlamlı morfolojik değişiklikler mevcuttur. Erozyonların papillaların kök bölgelerinde yoğunlaşması, bu bölgenin asit hasarına özellikle duyarlı olduğuna işaret etmektedir.

6.4. Asidoz Tipleri

Klinik pratikte asidoz iki ana formda ele alınmaktadır:

Akut rumen asidozu: Rumen pH'ının aniden 5'in altına düşmesiyle seyreder. Yüksek miktarda kolay fermente edilebilir karbonhidrat alımından birkaç saat sonra gelişir; şiddetli vakalarda yüksek mortalite oranıyla sonuçlanabilir. Rumen epiteli bu süreçte hızla tahriş olur ve nekrotik alanlar oluşur.

Subakut rumen asidozu (SARA): Rumen pH'ının günde birkaç saat 5,5-6,0 aralığında seyretmesiyle karakterizedir. Belirti vermeden haftalarca sürebilir. SARA'da epitel bariyer hasarı kümülatif olarak ilerler; rumenitis, karaciğer absesi ve üretim kayıpları ekonomik açıdan önemli sonuçlar doğurur (Fanning ve ark., 2018).

7. KARşILAşTIRMALI ANALİZ: SAğLIKLI VE ASİDOTİK HAYVANLARDA RUMEN MUKOZASI

7.1. Makroskopik Farklılıklar

Sağlıklı, konsantre diyetle beslenen koyunlarda papillalar açık kahverengi, düzenli ve belirgin oluk yapıları içermektedir. Asidotik hayvanlarda ise papillalar koyu kahverengi, şişkin ve oluksuz görünümdedir. Bu görsel farklılıklar, kasaplık materyalin postmortem incelenmesinde bile hekime tanısıl ipuçları sunabilmektedir (Atalgin, 2025; Atalgin ve ark., 2023).

7.2. SEM Düzeyinde Farklılıklar

SEM incelemesinde iki grup arasındaki morfolojik farklar şu tabloda özetlenmiştir:

Tablo 3. Straw-konsantre diyetle beslenen sağlıklı koyunlar ile asidotik koyunların SEM bulgularının karşılaştırması (Atalgin ve ark., 2023; Atalgin, 2025 uyarlanmıştır).

SEM Parametresi	Straw-Konsantre Grubu	Asidoz Grubu
Hücre tipi	Intermediyer (baskın)	Balon tip (baskın)
Yüzey morfolojisi	Granüler, düzgün poligonal	Şişkin, düzensiz
Hücre ölümü	Fizyolojik (normal)	Artmış, nekrotik
Oluk yapısı	Primer + sekonder belirgin	Gözlemlenmemiş
Kök bölgesi	Sağlam	Erozyonlar (1/3 alan)
Mikrobiyal flora	Bakteriyel koloniler görülür	Gözlemlenmemiş
Parakeratoz	Yüzeyde deskuamasyon	Derin parakeratoz yok

7.3. Ruminant Kategorileri ile Mukozal Uyum

Hofmann (1989) sınıflandırmasına göre koyunlar ara tip beslenicidir. Konsantre seçicilere kıyasla daha büyük bir rumene ve daha az gelişmiş papillaların bazal yapısına sahip olsalar da yem değişikliğine mukozal tepki hızlıdır. Araştırmalar, yüksek konsantre diyetle beslenen koyunların 4-12 hafta içinde papilla morfolojisinde belirgin değişiklikler sergilediğini göstermektedir. Bu esneklik hem fizyolojik bir avantaj hem de patolojik bir risk faktörüdür.

8. RUMEN MUKOZASININ FİZYOLOJİK ÖNEMİ

8.1. Emilim İşlevi

Rumen papillaları, başta asetate, propiyonat ve bütirat olmak üzere SCFA'ların büyük çoğunluğunun emildiği birincil alandır. Emilim basit difüzyon ve aktif taşıma mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir. Papillaların yüzey alanını artırması, bu sürecin etkinliğini doğrudan belirlemektedir. Bütiratin %80'dan

fazlası rumen epitelinde metabolize edilirken propiyonat ve asetat karaciğere ulaşmaktadır.

8.2. Bariyer İşlevi ve İmmün Savunma

Rumen epiteli, mikroorganizmaların ve toksik maddelerin kan dolaşımına geçmesini önleyen kritik bir bariyer oluşturmaktadır. Bu bariyer işlevi, epitel hücreleri arasındaki sıkı bağlantı (tight junction) proteinleri (özellikle claudin, occludin ve ZO-1) aracılığıyla sağlanmaktadır. Penner ve ark. (2011), rumen epitelinin aynı zamanda immün sistemin önemli bir bileşeni olduğunu vurgulayarak bu tabakada bağışıklık hücrelerinin varlığını ve sitokin salınımını belgelemiştir.

Asidoz ve konsantre yem yüklenmesi koşullarında sıkı bağlantı proteinlerinin ekspresyonu azalmakta, epitel geçirgenliği artmakta ve endotoksinler (lipopolisakkaritler) sistemik dolaşıma geçmektedir. Bu süreç sistemik inflamasyon, karaciğer absesi, laminitis ve üretim kaybına zemin hazırlamaktadır (Liu ve ark., 2013).

8.3. Tampon Kapasitesi

Tükürük, rumenin asit-baz dengesini düzenleyen en önemli tampon kaynağıdır. Bir süt sığırdı günde 100-200 litre tükürük üretebilmekte; bu tükürük yüksek bikarbonat içeriğı sayesinde rumen pH'ını fizyolojik aralıkta tutmaya yardımcı olmaktadır. Ruminasyon (geviş getirme) davranışı tükürük salgısını uyardığı için yeterli kaba yem alımı, rumen pH dengesinin korunmasında kritik rol üstlenmektedir. Konsantre yoğun diyetlerde ruminasyon azalmakta ve tampon kapasitesi yetersiz kalmaktadır (Beauchemin ve ark., 2008).

9. YÖNETİM STRATEJİLERİ VE KORUNMA

9.1. Besleme Yönetimi

Rumen asidozunu ve buna bağı mukozal hasarı önlemenin en etkili yolu, besleme programının dikkatli planlanmasıdır. Temel ilkeler şunlardır: yem değişikliklerinin kademeli yapılması (en az 2-3 haftalık adaptasyon süresi), kaba yem/konsantre dengelerinin korunması (genellikle minimum %50 kaba yem), günlük yem tüketiminin düzenlenmesi, yem partikül büyüklüğünün ruminasyonu destekleyecek düzeyde tutulması.

9.2. Tampon Madde Kullanımı

Sodyum bikarbonat (NaHCO_3) ve magnezyum oksit (MgO) gibi tampon maddeler rasyona eklenerek rumen pH'ının fizyolojik aralıkta tutulmasına

katkı sağlanabilir. Bu maddeler özellikle yoğun süt sığırcılığı sistemlerinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte koyun yetiştiriciliğinde de pratik yarar sağlamaktadır.

9.3. İzleme ve Tanı

Rumen asidozunun erken tanınması, mukozal hasarın geri dönüşümsüz hale gelmesini önlemek için kritik önemdedir. Rumenosentez (rumen sıvısı örnekleme) ile pH ölçümü, klinik değerlendirme, dışkı kıvamı ve ruminasyon sayısının izlenmesi başlıca tanısal yaklaşımlardır. SEM gibi ileri görüntüleme yöntemlerinin araştırma dışı pratik kullanımı sınırlı olmakla birlikte postmortem tanı ve bilimsel değerlendirme açısından vazgeçilmez bir araçtır (Atalgin, 2025).

9.4. Probiyotikler ve Prebiyotikler

Son yıllarda rumen mikrobiyomunu dengelemek amacıyla canlı maya kültürleri (*Saccharomyces cerevisiae*), *Aspergillus oryzae* özütleri ve çeşitli bakteri karışımları kullanılmaktadır. Bu ürünler, asit üreten bakterilerin baskılanmasına ve rumen pH'nın dengelenmesine katkıda bulunabilmektedir. Ancak etkinlikleri hayvan türüne, rasyon tipine ve ürünün formülasyonuna göre önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

10. ARAŞTIRMA BULGULARININ LİTERATÜRLE KARŞILAŞTIRILMASI

10.1. Makroskopik Düzey

Scott ve Gardner (1973), koyunlarda rumen yüzeyinin poligonal hücrelerle kaplı olduğunu ve hücre sınırlarının net seçilebildiğini bildirmiştir. Bu bulgu, Atalgin ve ark. (2023) ve Atalgin (2025) tarafından yürütülen her iki çalışmada da tutarlı biçimde doğrulanmıştır. Garcia ve ark. (2012) ise oğlaklarda rumen duvarının düzgün, keratinizasyon veya deskuamasyon belirtisi olmayan bir yüzey sergilediğini öne sürmüştür; ancak bu bulgu, konsantre yemle beslenen veya asidotik hayvanlarda elde edilen verilerle gelişmektedir.

10.2. Parakeratoz Tartışması

Pek çok çalışma, konsantre yemle beslenen hayvanlarda parakeratoz ve nekrotik hücre artıklarının belirgin olduğunu göstermektedir (Ahmed ve ark., 2013; Liu ve ark., 2013; Steele ve ark., 2009). Atalgin (2025), asidotik koyunlarda derin parakeratoz gözlemlenmediğini belirtmiş; bununla birlikte asidoz düzeyi ve süresinin bu bulguyu etkileyebileceğine dikkat çekmiştir. Bu

durum, asidozun farklı evrelerinde mukozal tablonun birbirinden farklılaşabileceğini düşündürmektedir.

10.3. Mikrobiyal Flora

Steele ve ark. (2009, 2011), SEM görüntülerinde özellikle kaba yeme dayalı beslenme sırasında bakteri ve protozoa içeren heterojen bir mikrofloranın gözlemlenebildiğini bildirmiştir. Atalgin ve ark. (2023), straw-konsantre diyetle beslenen koyunlarda bakteriyel kolonilere rastladıklarını rapor ederken Atalgin (2025), asidoz grubunda bu floranın tespit edilmediğini belirtmiş ve bunun örnek hazırlama tekniğiyle ilişkili olabileceğine dikkat çekmiştir. Bu metodolojik farklılık, çalışmalar arası karşılaştırmalarda göz önünde bulundurulmalıdır.

10.4. Oluk Yapıları

Tamate ve ark. (1979), koyunlarda ruminoretikular papillaların primer ve sekonder oluklar içerdiğini SEM ile belgelemiştir. Atalgin ve ark. (2023), straw-konsantre diyetle beslenen hayvanlarda hem primer hem sekonder olukları saptamıştır. Oysa Atalgin (2025), asidotik hayvanlarda oluk yapısına rastlamamıştır; bu bulgu, asidozun papilla yüzey mimarisini tahrip ettiğine dair önemli bir kanıt olarak yorumlanabilir.

11. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

11.1. Mevcut Bulguların Klinik Önemi

Rumen mukozasının yapısı ve işlevi, ruminant sağlığı ve üretim performansı açısından temel belirleyicilerden biridir. Papillaların SEM ile incelenmesi; hastalık mekanizmalarının anlaşılmasına, erken patolojik değişikliklerin tanınmasına ve beslenme yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır.

Atalgin (2025) ve Atalgin ve ark. (2023) tarafından Akkaraman koyunlarında yürütülen çalışmalar, bu ırka özgü morfolojik referans değerlerin oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır. Asidotik hayvanlarda gözlemlenen balon tipi hücre artışı, papilla kök bölgesindeki erozyonlar ve oluk yapısının kaybı; klinik patoloji açısından değerlendirilmesi gereken özgün bulgulardır.

11.2. Araştırma Boşlukları

Mevcut çalışmalar ışığında gelecekte yanıtlanması gereken sorular şu başlıklar altında özetlenebilir: Asidozun farklı evrelerinde (akut vs. subakut) papilla morfolojisi nasıl değişmektedir? Asidoz sonrası papillaların iyileşme

potansiyeli ve süresi nedir? Türe özgü (koyun, sığır, keçi, geyik) papilla morfolojisi farklılıkları hangi mekanizmalarla belirlenmektedir? Tight junction proteinlerinin ifadesi ile SEM morfolojisi arasındaki korelasyon nasıldır?

11.3. Yöntemsel Öneriler

Gelecekteki çalışmalarda SEM ile birlikte transmisyon elektron mikroskobu (TEM), immüno floresan ve moleküler teknikler kullanılarak rumen epitelinin hem yapısal hem moleküler düzeyde karakterizasyonu hedeflenmelidir. Ayrıca beslenme geçmişi tam olarak kayıt altına alınmış, farklı asidoz evrelerinden materyalin dahil edildiği çok merkezli çalışmalar, literatürdeki boşlukları doldurmaya katkıda bulunacaktır.

Rumen mukozasının morfolojisi, besleme tipi ve hastalık durumuna bağlı olarak dikkate değer bir uyum yeteneği sergilemektedir. SEM, bu değişimleri hücresel düzeyde belgelemenin en güçlü araçlarından biri olmaya devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, R.S., Martens, H., Muelling, C. (2013). Scanning electron microscopical and morphometrical studies on ruminal papillae of sheep fed on concentrates. *Journal of Animal Research*, 3(2), 111-123.
- Akçapınar, H. (2000). Koyun yetiştiriciliği (pp. 106-107). Ankara: İsmat Press.
- Anderson, K., Nagaraja, T., Morrill, J. (1987). Ruminal metabolic development in calves weaned conventionally or early. *Journal of Dairy Science*, 70(5), 1000-1005.
- Atalgın, Ş.H. (2025). Scanning electron microscopic investigation of rumen papillae in sheep that died from acidosis. *Balıkesir Health Sciences Journal*, 14(1), 89-93.
- Atalgın, Ş.H., Kürtül, İ., Takçı, L. (2023). Stereomicroscopic and scanning electron microscopic observations of the forestomach mucosa of Akkaraman sheep fed with straw-concentrate diet. *Veterinaria*, 72(3), 302-311.
- Beauchemin, K., Eriksen, L., Nørgaard, P., Rode, L. (2008). Salivary secretion during meals in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 2077-2081.
- Brownlee, A. (1956). The development of rumen papillae in cattle fed on different diets. *British Veterinary Journal*, 112, 369-375.
- Dirksen, G.U., Liebich, H.G., Mayer, E. (1985). Adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *The Bovine Practitioner*, 116-120.
- Dyce, K., Sack, W., Wensing, C. (2010). *Textbook of Veterinary Anatomy* (4th ed.). Saunders Elsevier.
- Fanning, J.P., Hynd, P.I., Cockcroft, P.D. (2018). The relative roles of the ruminal fluid and epithelium in the aetiology of ruminal acidosis. *Small Ruminant Research*, 162, 57-62.

- Gäbel, G., Martens, H., Sündermann, M., Galfi, P. (1987). The effect of diet, intraruminal pH and osmolarity on sodium, chloride and magnesium absorption from the temporarily isolated and washed reticulo-rumen of sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 72(4), 501-511.
- García, A., Masot, J., Franco, A., Gázquez, A., Redondo, E. (2012). Histomorphometric and immunohistochemical study of the goat rumen during prenatal development. *The Anatomical Record*, 295(5), 776-785.
- Hofmann, R.R. (1989). Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia*, 78(4), 443-457.
- Hofmann, R.R., Schnorr, B. (1982). Die funktionelle Morphologie des Wiederkäuer-Magens. Enke.
- Liu, J.H., Xu, T.T., Liu, Y.J., Zhu, W.Y., Mao, S.Y. (2013). A high-grain diet causes massive disruption of ruminal epithelial tight junctions in goats. *American Journal of Physiology*, 305(3), R232-R241.
- Penner, G., Steele, M., Aschenbach, J., McBride, B. (2011). Ruminant Nutrition Symposium: Molecular adaptation of ruminal epithelia to highly fermentable diets. *Journal of Animal Science*, 89(4), 1108-1119.
- Sander, E., Warner, R., Harrison, H., Loosli, J. (1959). The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *Journal of Dairy Science*, 42(9), 1600-1605.
- Schnorr, B., Vollmerhaus, B. (1967). Die Feinstruktur des Pansenepithels von Ziege und Rind. *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe A*, 14(9), 789-818.
- Scott, A., Gardner, I.C. (1973). Papillar form in the forestomach of the sheep. *Journal of Anatomy*, 116(2), 255.
- Steele, M.A., AlZahal, O., Hook, S.E., Croom, J., McBride, B.W. (2009). Ruminal acidosis and the rapid onset of ruminal parakeratosis in a mature dairy cow: a case report. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 51(1), 1-6.
- Swan, G.E., Groenewald, H.B. (2000). Morphological changes associated with the development of the rumino-reticulum in growing lambs fed different rations. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 67, 105-114.
- Tamate, H., Shiomura, Y., Sakata, T. (1979). Scanning electron microscopic observation of the sheep ruminal mucosa at its epithelium-connective. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, 30(2).
- Weyrauch, K., Schnorr, B. (1979). Der Papillarkörper der vormagenschleimhaut bei schaf und ziege. *Anatomia Histologia Embryologia*, 8(3), 248-261.
- Yamamoto, Y., Atoji, Y., Agungpriyono, S., Suzuki, Y. (1998). Morphological study of the forestomach of the Japanese serow. *Anatomia Histologia Embryologia*, 27(2), 73-81.
- Zitnan, R., Voigt, J., Wegner, J., et al. (1999). Morphological and functional development of the rumen in the calf. *Archiv für Tierernährung*, 52(4), 351-362.

Kuşlarda Glandula Uropygialis'in (Bursal Bez) Makroanatomik, Morfometrik, Histolojik ve Vasküler Özellikleri

şükrü Hakan ATALGIN¹

Mehmet CAN²

- 1- Prof. Dr.; Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakóltesi Anatomi ABD sukruhakan@balikesir.edu.tr
ORCID No: [0000-0001-9436-6270](https://orcid.org/0000-0001-9436-6270)
- 2- Prof. Dr.; Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakóltesi Anatomi ABD mehmetcan@balikesir.edu.tr
ORCID 0000-0001-9409-026X

ÖZET

Bu kitap bölümü, avian türlerinde tüy bakımı, hidrodinamik yalıtım, antimikrobiyal bariyer, D vitamini sentezi ve kokusal iletişim gibi kritik fizyolojik işlevleri üstlenen holokrin karakterdeki *glandula uropygialis*'in makroanatomik, morfometrik, histolojik ve vasküler mimarisini karşılaştırmalı olarak ele almaktadır. İncelenen kuş familyalarının ekolojik ortamlarına ve suyla temas derecelerine göre bezin makroskopik şekli (kalp, armut, böbrek, oval-fasulye, V şeklinde, veya tek lob) ve papilla ucundaki tüy demetinin (*circulus uropygialis*) morfolojisi türler arasında geniş bir çeşitlilik sergilemektedir. Mikroskobik analizler, parenkimal yapının türe göre basit dallanmış tubuler veya dallanmış alveoler karakterde organize olduğunu ve tübül duvarlarının hücresel parçalanma (holokrin) döngüsünü yansıtan dört fonksiyonel katmandan (germinatif, intermediyer, sekretorik ve dejeneratif) oluştuğunu doğrulamaktadır. Son olarak, bezin kesintisiz lipid üretimini destekleyen zengin kan akımı, *arteria coccygea media* orijinli türe özgü kaudal segmental arterler ve bıldırcın gibi yüksek salgı aktivitesi gösteren türlerde yüzeyel anastomoz ağları vasıtasıyla dinamik bir biçimde koordine edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arteriyel vaskülarizasyon, glandula uropygialis, histoloji, makroanatomi.

1. GİRİŞ

Kuşlar (Aves), memelilerle karşılaştırıldığında, deride çok sayıda özelleşmiş ve yaygın bez yapılarına sahip olmayan bir sınıf oluştururlar. Memelilerdeki yaygın sebum üreten *glandula sebacea* yapılarının aksine, avian anatomisinde fonksiyonel ve morfolojik olarak bu görevi üstlenen en belirgin ve en büyük organ ***glandula uropygialis*** (kuyruk sokumu bezi / bursal bez) olarak adlandırılmaktadır. Ektodermal kökenli bir epidermal deri bezi olan *glandula uropygialis*, holokrin karakterde çalışan bir lipid sentez merkezidir.

Neredeyse tüm kuş türlerinin embriyonik evrelerinde mevcudiyetini koruyan bu glandüler yapı, bazı taksonomik grupların ergin bireylerinde yoktur. Buna karşılık, özellikle su kuşlarında ve sığırgözü gibi belirli yabani karasal türlerde bez son derece gelişmiş bir anatomik yapısı vardır. Salgılanma mekanizması holokrin nitelikte olup, hücrelerin tamamen parçalanarak sitoplazmik içeriklerini lümeneye bırakması esasına dayanmaktadır. Bu yönüyle bez, avian organizmasının tüy bütünlüğünü korumada, su geçirmezlik sağlamada ve mikrobiyolojik patojenlere karşı kimyasal bariyer oluşturmada merkezi bir role sahiptir.

2. TOPOGRAFİK VE MAKROANATOMİK ÖZELLİKLER

Glandula uropygialis, genel olarak synsacrocaudal bölgede, son caudal vertebralar ile pygostyl düzeyinde, derinin hemen altında bilateral bir yerleşim gösterir. Bezin kraniyal ve lateral sınırları sıklıkla **musculus levator coccygeus** ve **musculus coccygeus lateralis** gibi kuyruğu kontrol eden gelişmiş kas kitleleriyle komşudur.

Makroskopik incelemelerde bezin dış yüzeyinin yoğun bir yağ dokusu ve fibröz kapsül yapısıyla sarılı olduğu görülmektedir. Kuş familyaları arasında bezin dış morfolojisi, habitat ve yaşam stratejilerine bağlı olarak geniş bir varyasyon yelpazesi sunar:

- **Ördek ve Kazlar (Waterfowl):** Lobların kraniyal bölgede hafifçe ayrışması ve kaudalde birleşmesiyle belirginleşen "V" harfi veya kalp benzeri bir morfoloji sergilerler (Aslan, K. ve ark., 2000).
- **Güvercin ve Atmaca Türleri:** Bezin lob sınırları kraniyalden kaudale doğru düz bir hat şeklinde izlenir ve dış görünümü belirgin bir armut geometrisine sahiptir (Karaavci, F. ve ark. 2024).
- **Kartallar:** Makroskopik olarak böbrek şeklinde bir morfolojik yapıya sahiptir (Karaavci, F. ve ark. 2024).
- **Leylekler:** Dış hatları belirgin bir biçimde oval-fasulye formunda şekillenmiştir (Karaavci, F. ve ark. 2024).
- **Kargalar:** Diğer avian türlerinden farklı olarak tek bir lob profili gösterir ve dorso-kaudal düzlemde yerleşim sergiler (Karaavci, F. ve ark. 2024).
- **Saksağanlar:** Dorsal bakıda oval fasulye tanesi görünümündeyken, kaudovertral planda yine "V" morfolojisine yaklaşmaktadır (Balkaya, H. ve ark., 2016).

Loblar arasındaki makroskopik sınır, dış kapsülün içeriye doğru yaptığı ve septum interlobare olarak adlandırılan bağ dokusal bir bölme vasıtasıyla netleştirilir. Bezin rengi, içerdikleri lipokrom pigmentleri ve salgı yoğunluğuna bağlı olarak koyu sarımtırak-krem tonlarından açık beyaz tonlarına kadar değişkenlik arz edebilmektedir.

3. MORFOMETRİK ANALİZLER VE HABİTAT KORELASYONU

Morfometrik ölçümler, glandula uropygialis'in hacimsel gelişiminin kuşun ekolojik ortamı ve suyla olan temas derecesiyle sıkı bir ilişki içinde olduğunu doğrulamaktadır. Suda yüzme ve dalma davranışı gösteren su kuşlarının, karasal türlere kıyasla vücut ağırlıklarına oranla çok daha büyük bez kütlelerine sahip oldukları tespit edilmiştir (Karaavci, F. ve ark. 2024).

Tablo 1: Farklı Avian Türlerinde Glandula Uropygialis Morfometrik Parametreleri
(Karaavci, F. ve ark. 2024).

Tür Bilgisi	Lob Uzunluğu (mm) (Sağ/Sol)	Lob Genişliği (mm) (Sağ/Sol)	Dorsoventral Yükseklik (mm)	Toplam Bez Ağırlığı (gr)
Yeşilbaş Ördek (<i>Anas platyrhynchos</i>)	28.56 /28.52	11.64 /11.93	11.78 /11.88	4.51 gr
Evci Kaz (<i>Anser anser</i>)	22.14 /21.81	14.41 /14.44	14.21 /14.19	Veri Yok
Leylek (<i>Ciconia ciconia</i>)	18.98 /19.77	11.60 /13.60	12.60 /12.64	Veri Yok
Kartal (<i>Accipitridae</i>)	11.22 /11.32	5.46 /5.40	6.51/6.40	Veri Yok
Kaya Güvercini (<i>Columba livia</i>)	8.80 /8.85	3.47 /3.44	3.35/3.39	0.028 gr
Saksağan (<i>Pica pica</i>)	6.73 /7.01	5.81 /5.63	3.26/3.26	0.12 gr
Bıldırcın (<i>Coturnix coturnix</i>)	16.00 (Uzunluk)	10.00 (Genişlik)	Veri Yok	Veri Yok

Morfometrik çalışmalarda elde edilen indeks değerleri incelendiğinde; bezi oluşturan lobların uzunluğunun genişliğine oranını ifade eden Lobus Glandulae Uropygialis İndeksi (LGUI), yeşilbaş ördeklerde ortalama $2.42 \pm$

0.24 olarak saptanmıştır. Buna karşılık, lob uzunluğunun papilla uzunluğuna oranını gösteren Glandula Uropygialis Uzunluk İndeksi (GUUI) su kuşlarında daha düşük (2.92 ± 0.62) seyretmektedir; bu durum geniş tabanlı papilla yapısından kaynaklanmaktadır (Aslan, K. ve ark., 2000).

İstatistiksel analizler genel olarak glandula uropygialis'in morfolojik yapısında makroskopik düzeyde belirgin bir cinsiyet farkı olmadığını ortaya koysa da, yeşilbaş ördeklerde erkek bireylerin toplam bez ağırlığının (5.10 ± 0.22 g) dişi bireylerinkine (4.02 ± 0.26 g) göre anlamlı derecede yüksek olduğu saptanmıştır. Morfolojik varyasyonların temel sebebi, su ortamındaki tüy su geçirmezliği bariyer ihtiyacı ile tüy parazitlerine ve mantarlara karşı yürütülen biyolojik savunma sıklığıdır. Ancak bazı araştırmacılar bez büyüklüğü ile habitat arasında her zaman zorunlu ve mutlak bir doğrusal korelasyon bulunmadığını, bireysel faktörlerin ve mevsimsel lipid döngülerinin de metrik değerleri etkilediğini vurgulamaktadır (Yılmaz, B. ve Yılmaz, R., 2019; Aslan, K. ve ark., 2000).

4. PAPİLLA UROPYGİALİS VE CİRCULUS UROPYGİALİS (TÜY YAPILARI)

Glandula uropygialis bünyesinde üretilen holokrin sekresyon, bezin kaudal ucunda konumlanan ve meme başı benzeri bir diklik oluşturan papilla uropygialis vasıtasıyla dış ortama aktarılır. Salgının papilladan dışarıya tahliye edildiği mikroskobik porlar (porus glandulae uropygialis) ve kanalların anatomik organizasyonu gruplar arasında spesifiktir. Örneğin, yeşilbaş ördeklerde ve kazlarda papilla içerisinde sağ ve sol loblarla bağlantılı iki adet bağımsız akıtıcı kanal (ductus glandulae uropygialis) uzanırken, saksaganlarda ve kargalarda holokrin bez üniteleri papilla gövdesi içinde birleşerek tek bir ortak akıtıcı kanala açılmaktadır (Aslan, K. ve ark., 2000, Balkaya, H. ve ark., 2016)

Papilla ucunda yer alan tüy yapılarının varlığı ve düzeni, bez salgısının gaga yardımıyla vücuda homojen dağıtılmasında bir fırça görevi üstlenir. Bu yapılar mikroskobik olarak üç ana kategoriye ayrılmaktadır:

1. **Gelişmiş Tüy Demeti (Circulus uropygialis):** Özellikle su kuşlarında (kaz, ördek) ve leyleklerde belirgindir. Bu canlılarda por çevresini kuşatan tüyler Tip I (down feather - hav tüyü) karakterindedir. Yağlı sekresyon bu hav tüylerini bir arada tutarak adeta mekanik bir sıvı haznesi ve süngerimsi fırça ucu oluşturur. Kazlarda tüy uzunluğu 19.3 mm düzeyine ulaşarak karasal kuşlara kıyasla ciddi bir gelişim üstünlüğü gösterir (Yılmaz, B. ve Yılmaz, R., 2019).
2. **Çıplak Papilla Formu (Naked type):** Güvercinlerde (Columbiformes) ve kargalarda circulus uropygialis yoktur (Şekil 1); papilla ve kanal açıklıkları doğrudan çıplak deri yüzeyine

konumlanmıştır. Bu durum, gaga morfolojisi ve tüy bakım (preening) mekanizmalarındaki yapısal tasarımlarla uyumluluk göstermektedir.

5. HİSTOLOJİK VE ULTRASTRÜKTÜREL MİMARİ

Histomorfolojik kesitlerin Masson'un Üçlü Boyaması (Masson's Trichrome – MTC) ve Hematoksilen-Eozin (H&E) ile incelenmesi, bezin oldukça organize bir bağ dokusal çatıya sahip olduğunu doğrulamaktadır. En dışta yer alan kalın, kollajen liflerden zengin capsula, parenkima içerisine doğru trabeculae adı verilen uzantılar (septalar) gönderir. Bu bağ dokusal bölmeler parenkimayı lobçuklara ayırırken içerilerinde gelişmiş kan damarları, lenfatik kanallar, sinir lifleri ve yer yer lenfoid agregasyonlar (bağışıklık hücre toplulukları) barındırır. Kapsül ve septadaki düz kas liflerinin varlığı saksağan gibi karasal kuşlarda lümene doğru olan mekanik boşaltımı destekleyecek şekilde yoğunken, ördek ve kazlarda septal düz kas yapısının minimal düzeyde olduğu ya da hiç bulunmadığı gözlenmiştir (Hassanin A., 2020; Balkaya, H. Ve ark., 2016).

Parenkimal organizasyon incelenen avian türlerinde iki temel geometrik formda şekillenir:

- **Basit Dallanmış Tubuler Yapı:** Ördek (Şekil 4) ve kaz gibi su kuşlarında bez tübülleri merkezdeki geniş boşaltıcı lümene doğru periferden merkeze radyal (ışınsal) bir dizilim gösteren uzun tubuler tüpler halindedir (Yılmaz, B. Ve Yılmaz, R.,2019).
- **Dallanmış Alveoler Yapı:** Güvercinlerde bez parenkiması memelilerin sebase bezlerine benzer şekilde kısa, geniş odacıklı alveol yapılarından oluşur ve doğrudan merkezi kaviteye açılır.

Histolojik olarak tübüllerin veya alveollerin duvar mimarisi, dıştan içe doğru hücrelerin diferansiyasyon ve holokrin dejenerasyon aşamalarını yansıtan dört belirgin katmandan meydana gelir:

6. Germinatif Katman (Stratum basale / Basal Hücreler)

En dışta, bazal membran üzerine oturan, tek veya bazen iki sıralı, oval-kübik morfolojili kök hücre benzeri elemanlardan oluşur. Sitoplazmaları yoğun olarak bazofiliktir ve nükleusları koyu, belirgin nükleollüdür. Transmisyon Elektron Mikroskopisi (TEM) analizleri, bu katmandaki hücrelerin sitoplazmasında henüz hiçbir lipid vakuolünün (yağ damlacığı) bulunmadığını, hücrelerin sürekli mitoz bölünme gerçekleştirerek üst katmanlardaki sekretorik hücre havuzunu beslediğini göstermektedir. Periyodik Asit-Schiff (PAS) boyamalarında, bu bazal zonda hücre içi glikojen ve polisakkarit birikimini gösteren pozitif reaksiyon oldukça yükündür.

II. İntermediyer Katman (Stratum intermedium)

Bazal katmanın üzerinde yer alan, düzensiz dizimli, çok köşeli (poligonal) birkaç sıra hücre tabakasından ibarettir. Hücrelerin sitoplazması hafif

asidofilik karakterdedir. Ultrastrüktürel analizlerde, intermediyer hücrelerin sitoplazmasında son derece yoğun, iyi gelişmiş ve kristalları belirgin filamentöz/oval mitokondri ümen syonu rapor edilmiştir. Bu yüksek mitokondriyal konsantrasyon, aktif yağ asidi sentezinin ve lipogenez metabolizmasının bu hücresel tabakada güçlü bir şekilde başladığının doğrudan kanıtıdır. Hücre hacmi bazal hücrelere kıyasla daha büyüktür.

III. Sekretorik Katman (Stratum secretorium)

Hücre boyutlarının maksimuma ulaştığı, tübülün orta segmentlerini işgal eden tabakadır. Hücrelerin sitoplazması, sentezlenen lipidlerin histolojik takip esnasında erimesi sonucu ortaya çıkan çok sayıda irili ufaklı beyaz renkli yağ vakuölü ile doludur. TEM seviyesinde bu lipoid vesiküllerin hücre merkezinden apikale doğru ilerledikçe hacimsel olarak büyüdüğü saptanmıştır. Bu zonda lipogenez süreçlerinin tamamlanmasına bağlı olarak hücresel organeller (özellikle mitokondriler) sitoplazma içinde gerileyerek sayıca azalma gösterirler.

IV. Dejeneratif Katman (Stratum necroticum / Dejeneratif Hücreler)

Tübül lümenine veya merkezi boşluğa (ümen / cavum centrale) komşu olan en içteki katmandır. Hücre sitoplazmasında küçük lipid damlacıkları birleşerek tüm hücreyi kaplayan devasa yağ kitlelerine dönüşmüştür. Hücre nükleusları tamamen büzüşmüş, kromatin kondansasyonu nedeniyle koyu, piknotik bir görünüm kazanmış veya tamamen parçalanmıştır. Apoptotik ve nekrotik süreçlerin bir kombinasyonu ile hücre bütünlüğü lümende tamamen infilak ederek holokrin sekresyon ürününe dönüşür (Hassanin A.,2020).

7. ARTERİYEL VASKÜLARİZASYON VE ANASTOMOZ PATERNLERİ

Glandula uropygialis'in yüksek metabolik hızı ve kesintisiz holokrin üretimi, bezin son derece spesifik ve zengin bir arteriyel beslenme ağına sahip olmasını gerektirir. Tüm kuş türlerinde bezin birincil ana arteriyel kaynağı, aorta descendens'in kaudal uzantısı olan arteria coccygea media yapısıdır. Ancak bu ana arterden ayrılan segmental damarların beze ulaşma durumuları türler arasında dikkate değer anatomik tasarımlar söz konusudur:

Kaz ve Ördeklerde Arteriyel Dağılım

Arteria coccygea media, kaudal hat boyunca ilerlerken öncelikle 4-5 çift a. coccygea lateralis (lateral kuyruk arteri) dalı verir. Bu daldan yaklaşık 1.1 – 1.5 cm sonra ana gövdeden bilateral olarak şu ana glandüler arterler ayrılır:

- Arteria gl. uropygii dextra (Sağ glandüler uropygial arter)
- Arteria gl. uropygii sinistra (Sol glandüler uropygial arter)
- Arteria gl. uropygii ventralis (Ventral glandüler uropygial arter)

Sağ ve sol ana uropygial arterler bez dokusuna giriş yapmadan önce dört fonksiyonel ramusa (uç dal) ayrılmaktadır:

1. **Ramus muscularis:** Bez çevresindeki m. coccygealis lateralis ve m. levator coccygealis gibi kuyruk kaslarını ve üstteki deri alanını besler.
2. **Ramus medialis:** Lobların lateral kenarlarını geçip mediyale ilerleyerek dorsal yüzeyi kanlandırır. Sulcus medianus düzeyinde her iki lobun dalı birleşerek bezin iç derinliklerine küçük kollar gönderir.
3. **Ramus lateralis:** Lobların dorso-lateral yüzeyleri boyunca uzanarak bezin abdominal tabanına doğru dallar verir; bu damarın çapı diğer ramuslara göre daha geniştir.
4. **Ramus ventralis:** Lobların altında kranio-kaudal yönde simetrik seyreden ince, dar çaplı damarlardır.

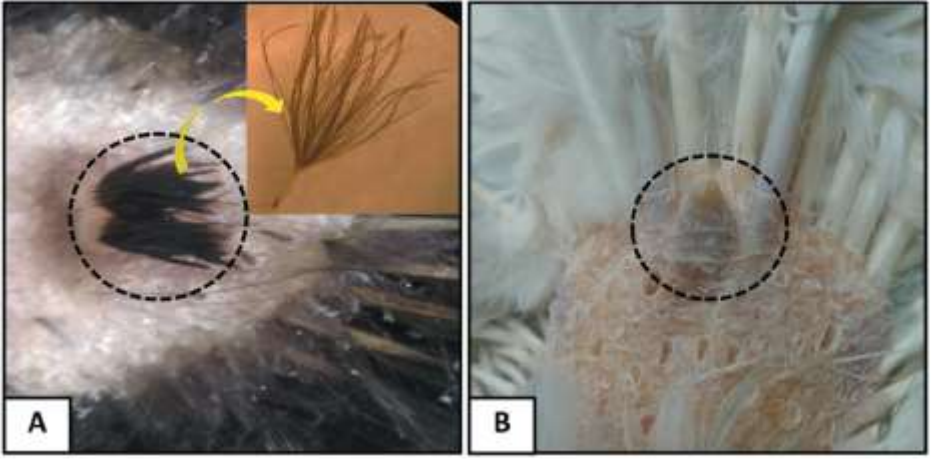
Anastomoz ilişkileri açısından su kuşlarında, kazların (Şekil 5) ve ördeklerin %50'sinde sağ ventral uropygial arterin birinci ve ikinci alt kolları arasında makroskopik düzeyde net arteriyel anastomoz köprüleri bildirilmiştir (Aslan, K. ve ark., 2000).

Japon Bildırcını ve Silver Polish Tavuklarında Vasküler Çeşitlilik

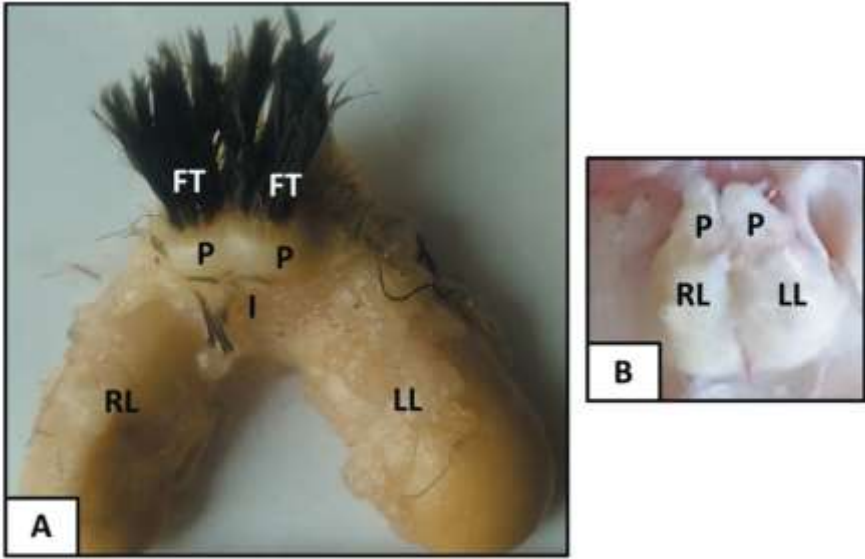
Sülüngiller (Phasianidae) ve Galliformes takımına ait türler arasında damar orijinleri belirgin sapmalar gösterir:

Silver Polish Tavuğu: A. coccygea media'dan ayrılan toplam 7 çift kaudal segmental arterden 4. kaudal segmental arter uropygial bez arteri (a. glandulae uropygialis) olarak spesifikleşir. Beze ulaştığında klasik medial ve lateral ramuslara bölünme desenini korur. Loblar üzerinde belirgin anastomoz köprüleri içermez.

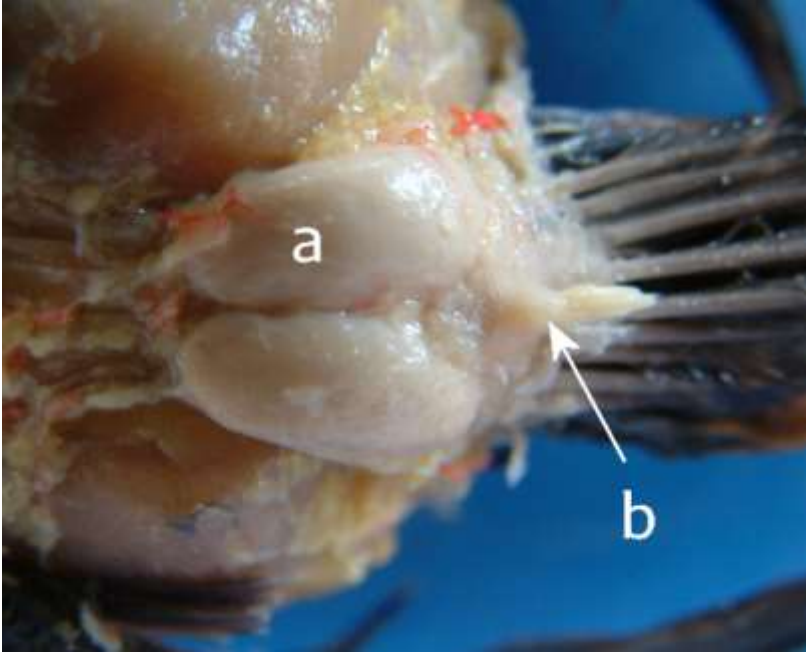
Japon Bildırcını (Coturnix coturnix japonica) (Şekil 3): Sadece 4 çift segmental artere sahiptir ve bezin ana beslenmesini 1. kaudal segmental arter üstlenir. Bildırcınlarda uropygial arter dokuya girerken belirgin ana ramuslara (medial/lateral) bölünmez, doğrudan bez parenkimasına dağılır. Ancak bezin vaskülarizasyonuna 2. ve 3. segmental arterlerden, pudental arterden ve çevre damarlardan çok sayıda bilateral kollateral katılım sağlar. Bu kollarlar arasında bez yüzeyinde son derece yoğun anastomozlar şekillenmektedir. Bildırcındaki bu karmaşık vasküler ağ tasarımı, bezin birim zamandaki sekresyon aktivitesinin tavuk grubuna göre çok daha dinamik ve yoğun olduğunu biyolojik olarak ortaya koymaktadır (Atalgın, H., ve Kürtül, İ. 2008).



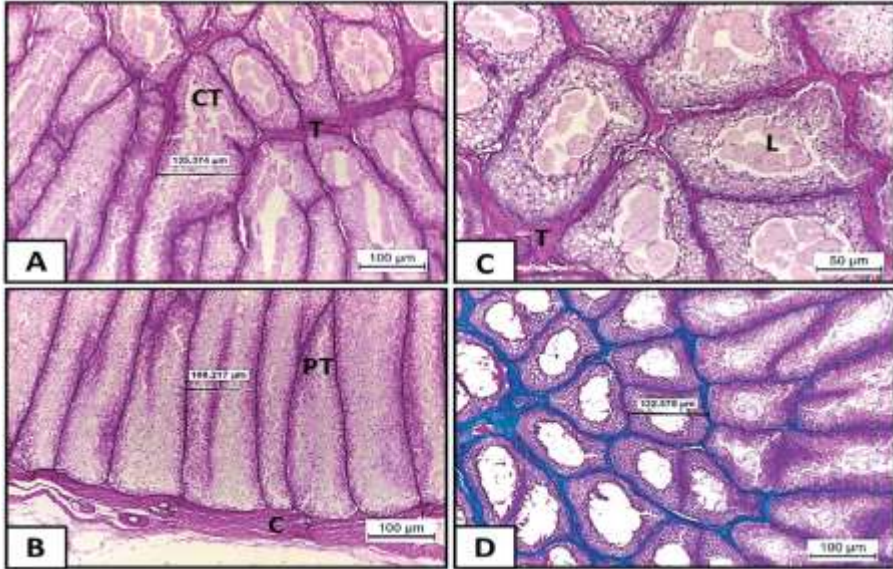
Şekil 1. Ördek (A) ve güvercinin (B) üropygial bezinin makroskopik anatomisi. Ördekte bez açıklıklarının çevreleyen çift tüy demetleri bulunur; bu özellik güvercinde yoktur. (Hassanin A.,2020)



Şekil 2. Ördek (A) ve güvercinin (B) diseksiyon edilmiş bezi. RL, sağ lob; LL, sol lob; I, isthmus; P, papilla; FT, tüy demeti. (Hassanin A.,2020)

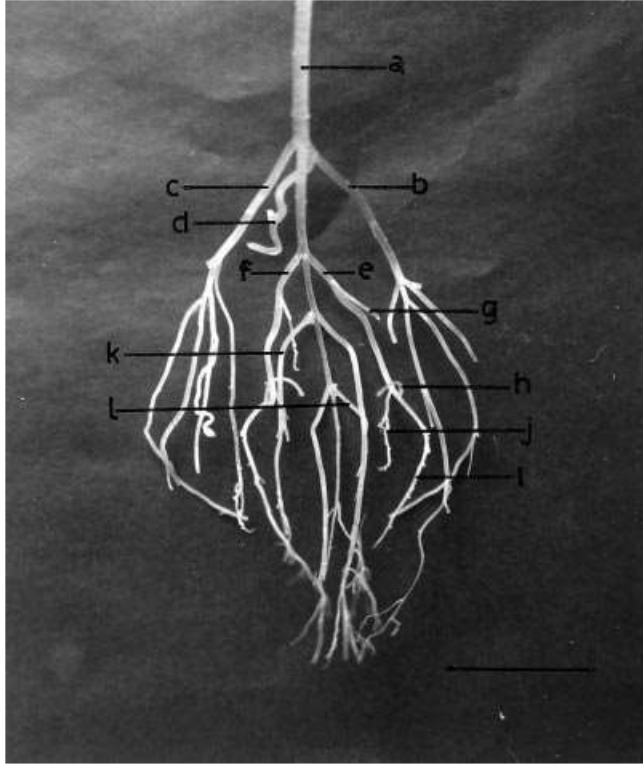


Şekil 3. Bildircının üropigial bezinin dorsal görünümü. (a) Uropygial bez ve (b) Uropygial kanal (Atalgın ve Kurtul 2008).



Şekil 4. Ördek üropigial bezinin ışık mikroskobu görüntüsü. A, B) Bezde periferik (PT) ve merkezi (CT) tüplerin kalın bir kapsülle çevrili olduğu panoramik görüntüler. C PAS boyama. C) Kalın trabeküller (T) ve çok sayıda kürecikle dolu geniş lümenler (L) içeren merkezi tüpler.

H & E boyama. D) Kalın kolajen lifleri (mavi) içeren ve düz kas hücrelerinden yoksun trabeküller. MT boyaması (Hassanin A.,2020).



Şekil 5. Kazlarda üropigial bezleri besleyen arterlerin üstten görünümü.
 (a) a. coccygea media; (b) a. coccygea lateralis dextra; (c) a. coccygea lateralis sinistra; (d) a. mesenterica caudalis; (e) a. gl. uropygi dextra; (f) a. gl. uropygi sinistra; (g) ramus muscularis (a. gl. uropygi); (h) ramus medialis (a. gl. uropygi); (i) ramus lateralis (a. gl. uropygi); (j) ramus ventralis (a. gl. uropygi); (k) a. gl. uropygi ventralis; (l) anastomoz yapan dal. Scale bar: 100 mm.

7. FİZYOLOJİK SEKRESYON VE EKOLOJİK FONKSİYONLAR

Glandula uropygialis'in ürettiği holokrin lipid matrisi; uzun ve kısa zincirli yağ asitleri, spesifik lipid sentez enzimleri, yağ asidi esterlerinden zengin balmumu bileşikler (waxes), trigliseridler, fosfolipidler ve dökülen hücresel deskuamasyon kalıntılarından oluşan kompleks bir karışımdır. Bezin fizyolojik fonksiyonları, kuşun dış çevreyle olan ilişkisini koordine eden çok yönlü faydalar içerir:

1. **Tüy Bakımı, Yumuşaklık ve Termal İzolasyon:** Yağlı sekresyon tüylerin keratin yapısını dış mekanik etkilerden korur, kırılabilirliği engeller ve esneklik/yumuşaklık kazandırır. Tüyler arasındaki hava boşluklarını stabilize ederek suyun deriye ulaşmasını engeller; böylece mükemmel bir termal izolasyon ve yüzme kabiliyeti (su geçirmezlik) tesis edilir.

2. **Antimikrobiyal ve Antimikotik Kimyasal Koruma:** Salgı bileşimindeki monomerik mumlar ve yağ asitleri, tüy parazitlerinin, tüy dökücü bakterilerin (*Bacillus licheniformis* vb.) ve patojenik kutanöz mantar/bakteri suşlarının gelişimini engelleyen holokrin bir bariyer oluşturur.
3. **Biyolojik Vitamin D Sentezi:** Sekresyon içeriğindeki ergosterol türevleri tüy yüzeyine yayıldıktan sonra güneş ışığının ultraviyole (UV) ışınlarına maruz kalarak Vitamin D öncüllerine dönüşür. Kuşlar daha sonraki tüy bakımı sırasında bu tüyleri gagalarıyla temizlerken Vitamin D'yi oral yolla alırlar.
4. **Kimyasal İletişim, Feromonlar ve Eş Seçimi:** Son yıllarda yapılan davranışsal ve biyokimyasal araştırmalar, uropygial bez salgısının türe özgü uçucu koku bileşikleri (koku işaretleri) barındırdığını kanıtlamıştır. Bu salgılar, kuşlar arasında sosyal iletişim, cinsiyet tanıma, feromonal uyarı ve olfaktör (kokusal) eş seçimi süreçlerinde yönlendirici rol oynamaktadır.

8. SONUÇ

Glandula uropygialis, avian sınıfının karasal ve sucul habitatlara gösterdiği fonksiyonel uyumun en hassas mikromorfolojik göstergelerinden biridir. Morfometrik ölçümlerden elde edilen LGUI ve GUUI indeksleri, bezin hacimsel sınırlarının ekolojik zorunluluklarla şekillendiğini gösterirken ; histolojik düzeydeki tubulo-alveoler kademeli mimari, holokrin hücre yaşam döngüsünün kusursuz bir tasarımını yansıtmaktadır. Özellikle arteria coccygea media kaynaklı vaskülarizasyon desenlerinde, Japon bıldırcımındaki ağsı anastomoz pleksusları ile su kuşlarındaki simetrik ramus dağılımları, organın bölgesel kan akımı ihtiyacının organ aktivitesiyle olan metabolik paralelliğini doğrulamaktadır. Bezin makro ve mikroanatomik parametrelerinin derinlemesine anlaşılması, gelecekte yapılacak ornitoloji araştırmalarına, veteriner dermatoloji uygulamalarına ve avian adaptasyon stratejilerinin aydınlatılmasına temel bir veri kaynağı sunmaya devam edecektir.

KAYNAKÇA

Aslan, K., Özcan, S., & Kurtul, İ. (2000). Arterial vascularization of the uropygial glands (Gl. uropygialis) in geese (*Anser anser*) and ducks (*Anas platyrhynchos*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 29(5), 291–293. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0264.2000.00274.x>

Atalgın, H., & Kürtül, İ. (2008). Arterial vascularization of the uropygial glands (Gl. uropygialis) in the Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) and silver polish (*Gallus gallus domesticus*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 37(3), 177–180. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0264.2007.00823.x>

Balkaya, H., Özdemir, D., Özüdoğru, Z., Kara, H., & Erbaş, E. (2016). Saksaağanda (*Pica pica*) Glandula uropygialis'in anatomik ve histolojik yapıları üzerine bir alışma [A study on the anatomic and histological structures of magpie (*Pica pica*) Glandula uropygialis]. *Van Veterinary Journal*, 27(1), 21–24.

Hassanin, A., Shoeib, M., & Massoud, D. (2021). Micro- and macroanatomical features of the uropygial gland of duck (*Anas platyrhynchos*) and pigeon (*Columba livia*). *Biotechnic & Histochemistry*, 96(3), 213–222. <https://doi.org/10.1080/10520295.2020.1782990>

Karaavci, F. A., Dortbudak, M. B., Demircioglu, M., & Kocyigit, A. (2024). Investigation of Glandula Uropygialis in different avian species using morphometric and histological methods. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 53(5), e13107. <https://doi.org/10.1111/ahe.13107>

Yılmaz, B., & Yılmaz, R. (2019). Yeşilbaş ördeklerde (*Anas platyrhynchos*) Glandula uropygialis'in makroanatomik ve histolojik özellikleri [Macroanatomical and Histological Features of Uropygial Gland in Mallard Ducks (*Anas platyrhynchos*)]. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakóltesi Dergisi*, 8(2), 214–220.

2023 Kahramanmaraş Depremleri Bağlamında Kırılgan Gruplar: Engelli Bireyler, Yaşlı Bireyler, Kadınlar Ve Çocukların Afet Deneyimlerine Kesişimsel Bir Bakış

Teslime ÇAKALOĞLU¹

¹ Arş. Gör.; Atatürk Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Erzurum, Türkiye. teslimec@atauni.edu.tr ORCID No: 0009-0000-4475-7206

ÖZET

Afetler toplumun tüm kesimlerini eşit biçimde etkilememekte; önceden var olan sosyal, ekonomik ve fiziksel eşitsizlikler kimin daha kırılgan olacağını belirlemektedir. Bu bölümün amacı, engelli bireyler, yaşlı bireyler, kadınlar ve çocukların afet deneyimlerini, tek tek grup temelli çalışmaların ötesine geçerek ortak bir kavramsal çerçevede bir araya getirmektir. Betimsel bir literatür derlemesi niteliğindeki bu çalışmada, yazar tarafından bu bölüme özgü olarak önerilen koşullu erişilebilirlik kavramı, Baskı ve Serbestleşme (Pressure and Release) modeli ve engelliliğin sosyal modeli bir araya getirilerek bütüncül bir kuramsal çerçeve oluşturulmuş; ardından her bir grubun afet deneyimine ilişkin güncel uluslararası ve ulusal literatür, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri bağlamında gözden geçirilmiştir. Bu tarama, dört grubun afet deneyimini ortaklaştıran üç temel tema ortaya koymaktadır: afet öncesi planlamadan görünmezlik ve dışlanma, bakım ağlarına bağımlılık ile bu ağların afet sırasında kopması ve farklı kırılganlık türlerini gözetmeyen tekdüze mekânsal tasarım. Bulgular ayrıca kırılganlık türlerinin birbirinden bağımsız değil, bireyin taşıdığı çoklu kimlikler arasındaki etkileşim biçiminde kesiştiğini göstermektedir. Bölüm, afet yönetimi politikalarının tekil grup odaklı yaklaşımlardan bütüncül ve kesişimsel bir çerçeveye geçmesi gerektiği; bu geçişin kırılgan grup temsilcilerinin planlama süreçlerine doğrudan katılımını ve geçici barınma alanlarının çok katmanlı ihtiyaçlar gözetilerek tasarlanmasını gerektirdiği sonucuna ulaşmaktadır. Ayrıca bu bütünleşik yaklaşımın yalnızca fiziksel değil, yapay zekâ destekli erken uyarı sistemleri gibi yeni teknolojik altyapıları da kapsamaya gerektiği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: afet yönetimi, kırılgan gruplar, koşullu erişilebilirlik, engellilik, toplumsal cinsiyet, Kahramanmaraş depremleri

GİRİŞ

Afetler, toplumların tüm kesimlerini aynı derecede etkilememektedir; önceden var olan sosyal, ekonomik ve fiziksel eşitsizlikler, afet anında ve sonrasında kimin daha fazla risk altında kalacağını büyük ölçüde belirlemektedir. Afet çalışmalarında geniş kabul gören sosyal kırılganlık paradigması, doğal tehlikelerin kendi başına afete dönüşmediğini, bunun yerine toplumsal, ekonomik ve politik süreçlerin bir araya gelerek belirli grupları orantısız biçimde etkilediğini ileri sürmektedir (Wisner, Blaikie, Cannon ve Davis, 2004). Bu bakış açısına göre risk, yalnızca tehlikenin

şiddetiyle değil, insanların bu tehlikeye karşı sahip oldukları kaynaklara erişimiyle ve toplumsal düzenin onları ne ölçüde güvencesiz bıraktığıyla şekillenmektedir.

Bu orantısız etkinin en belirgin biçimde gözlemlendiği gruplardan biri engelli bireylerdir. Araştırmalar, engelli bireylerin afetlerde hem fiziksel güvenlik hem de yardım, barınma, tahliye ve iyileşme süreçlerine erişim bakımından sistematik olarak dezavantajlı bir konumda bulunduğunu ortaya koymaktadır (Ton, Gaillard, Adamson, Akgungor ve Ho, 2020). Bu dezavantajın kaynağı çoğunlukla bireyin bedensel sınırlılıkları değil, toplumsal düzenin ve fiziksel çevrenin bu sınırlılıkları gözetmeksizin kurgulanmış olmasıdır; bu nedenle engelli bireylerin afetlerde yaşadığı güçlükler, engelliliğin sosyal modelinin öngördüğü biçimde, bireysel bir eksiklik olarak değil toplumsal olarak üretilen bir dezavantaj olarak ele alınmalıdır.

Benzer bir kırılganlık örüntüsü yaşlı bireylerde de gözlenmektedir. Yaşlı nüfus, afetlere karşı fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutlarda özgün bir kırılganlık sergilemekte; bu kırılganlık yalnızca sağlık durumlarından değil, aynı zamanda bağımsızlığını kaybetme kaygısından, hizmetlere erişimde karşılaşılan ihmalden ve afet sonrası yerinden edilme süreçlerinin yarattığı örselenmeden de beslenmektedir. Afet risk azaltma çalışmalarının yaşlı bireylere yönelik önlemleri çoğunlukla afet sonrasına, yani müdahale ve iyileştirme aşamalarına erteleme eğiliminde olduğu; bu grubun kötü muamele ve ihmal türlerinin afet bağlamında yeterince araştırılmadığı bildirilmektedir (Gutman ve Yon, 2014).

Kadınlar da afetlerde farklı ve genellikle görünmez kalan bir kırılganlık biçimiyle karşı karşıya kalmaktadır. Toplumsal cinsiyet rolleri gereği çocuk, yaşlı ve engelli bakımını üstlenen kadınlar, afet sonrası geçici barınma alanlarında hem bu bakım yükünü sürdürmek hem de kendi temel ihtiyaçlarının (mahremiyet, hijyen, güvenlik) karşılanmaması sorunuyla baş etmek zorunda kalmaktadır; toplumsal cinsiyete duyarlı olmayan barınma düzenlemeleri ve artan toplumsal cinsiyete dayalı şiddet riski, kadınların afet sonrası kırılganlığını derinleştiren başlıca etmenler arasında sayılmaktadır (Kaplan, Alkasaby, Düken, Kaçkin ve Riad, 2024).

Çocuklar da afetlerde kendine özgü bir kırılganlık biçimiyle karşı karşıya kalan, ancak ilgili çalışmalarda genellikle ebeveynlerinin veya bakım verenlerinin deneyimi üzerinden dolayı biçimde ele alınan bir gruptur. Çocuklar, gelişimsel olarak afeti anlamlandırma ve baş etme kapasiteleri sınırlı olduğundan psikolojik açıdan; bağımsız hareket edememeleri nedeniyle de fiziksel açıdan kırılgan konumdadır; ayrıca afetler çocukların eğitim süreçlerinde kesintiye ve gecikmeye yol açmaktadır (Peek, 2008). Bulgular,

çocukların yalnızca korunmaya muhtaç edilgen özneler olarak değil, afet hazırlık ve iyileştirme süreçlerine katılabilecek kapasiteye sahip bireyler olarak da ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

6 Şubat 2023'te meydana gelen Kahramanmaraş depremleri, bu dört grubun kırılğanlığını Türkiye bağlamında somut biçimde görünür kılmıştır. Deprem bölgesinde yürütülen saha araştırmaları, engelli bireylerin ortak tuvalet ve barınma alanlarına erişemediğini, ailelerinin bu erişim güçlüğüne tek başına karşılamak zorunda kaldığını ve insani yardım müdahalesinin engellilik boyutunu büyük ölçüde ihmal ettiğini ortaya koymuştur (Amnesty International, 2023). Kahramanmaraş'ta kurulan çadır kentlerde yürütülen bir fenomenolojik araştırma da kadınların mahremiyet, güvenlik ve bakım yükü bakımından ciddi güçlüklerle karşılaştığını; buna karşın insani yardıma erişim ve kadınlara yönelik pozitif ayrımcılık uygulamalarının yaşamı kolaylaştıran etmenler arasında yer aldığını göstermiştir (Demiröz Yıldırım, 2025a). Deprem bölgesindeki çocuklarla yürütülen nicel bir araştırma ise çocukların yaşam doyumu ve umut düzeylerinin yaşa, deprem sırasında bulundukları şehre ve deprem sonrası konaklanan yere göre anlamlı biçimde farklılaştığını, dolayısıyla çocukların afet deneyiminin tekdüze değil bağlamsal etmenlerle şekillenen bir deneyim olduğunu ortaya koymuştur (Özçakal, Danışman ve Soyly, 2025).

Bu bulguların ortaklaştığı nokta, afet sonrası insani müdahalenin genel nüfusa yönelik standart uygulamalarla sınırlı kaldığında, kırılğan grupların ihtiyaçlarının sistematik biçimde göz ardı edildiğidir. Ne var ki literatürde engelli bireyler, yaşlı bireyler, kadınlar ve çocuklara ilişkin çalışmalar büyük ölçüde birbirinden bağımsız yürütülmekte, bu dört grubun deneyimlerini ortak bir kavramsal zeminde tartışan bütüncül çalışmalar sınırlı kalmaktadır.

Bu bölümün amacı, tek tek grup temelli çalışmaların ötesine geçerek engelli bireylerin, yaşlı bireylerin, kadınların ve çocukların afet deneyimlerini ortak bir kavramsal çerçeve altında bir araya getirmektir. Bu doğrultuda bölüm, koşullu erişilebilirlik (conditional accessibility), Baskı ve Serbestleşme (Pressure and Release-PAR) modeli ve engelliliğin sosyal modeli gibi kuramsal çerçeveleri tanıtmakta; ardından her bir grubun afet deneyimine ilişkin güncel ulusal ve uluslararası literatürü gözden geçirmektedir. Afet yönetiminin günümüzde yapay zekâ destekli erken uyarı ve tahliye sistemleriyle hızla dijitalleşmesi, erişimin yalnızca fiziksel mekânla değil, bu yeni teknolojik altyapıyla da koşullanabileceğini göstermekte; bölümün sonuç kısmında koşullu erişilebilirlik kavramı bu dijital boyutla birlikte kısaca yeniden ele alınmaktadır. Bölümün nihai amacı, bu dört grubun

deneyimlerinden süzölen ortak temaları belirleyerek afet yönetimi politikalarına kesişimsel bir bakış açısı kazandırmaktır.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Koşullu Erişilebilirlik

Bu bölümde kırılğan grupların afet deneyimlerini bir arada okumak için önerilen kavramlardan ilki koşullu erişilebilirliktir. Bu kavramın literatürde yerleşik bir karşılığı bulunmamaktadır; burada yazar tarafından bu bölüme özgü olarak önerilen bir kavramsallaştırma olarak sunulmaktadır. Kavram, evrensel tasarım (universal design) ve engellilik çalışmalarındaki erişilebilirlik yazınından hareketle geliştirilmiş, ancak bu yazından iki noktada ayrılmaktadır.

İlk olarak, evrensel tasarım yaklaşımı erişimi büyük ölçüde sabit bir fiziksel özellik olarak ele alır (bir binanın rampasının olup olmaması gibi); koşullu erişilebilirlik ise afet bağlamında erişimin durağan değil, bireyin taşıdığı kırılğanlık türüne (engellilik, ileri yaş, toplumsal cinsiyet, yaş), afetin evresine (hazırlık, müdahale, iyileştirme) ve yerel bağlama (kırsal/kentsel, geçici barınma/kalıcı konut) göre sürekli yeniden şekillenen dinamik bir ilişki olduğunu öne sürer. İkinci olarak, sosyal kırılğanlık paradigması (Wisner, Blaikie, Cannon ve Davis, 2004) kırılğanlığı genellikle tek bir grup ekseninde (yalnızca engellilik ya da yalnızca yaş) ele alırken, koşullu erişilebilirlik bu kırılğanlık türlerinin afetin farklı evrelerinde nasıl kesiştiğini ve erişimi nasıl birlikte koşullandırdığını görünür kılmayı amaçlar. Başka bir deyişle bu kavram, sosyal kırılğanlık yaklaşımının çoğu zaman grup temelli kategoriler üzerinden ilerleyen analizini genişleterek, farklı kırılğanlık türlerinin afetin farklı evrelerinde erişim üzerindeki eşzamanlı etkilerini görünür kılmayı amaçlamaktadır; bu bölümün izleyen kısımlarında sunulan dört grup karşılaştırmasının aynı analitik zeminde okunabilmesi, büyük ölçüde bu genişletilmiş bakış açısına dayanmaktadır.

Bu ayrımı somutlaştırmak gerekirse: afet öncesinde erişilebilir kabul edilen bir hizmete geçici barınma koşullarında erişilememesi ya da afet sonrası yeniden yapılanma sürecinde erişimin yerel yönetim, aile ve sivil toplum gibi farklı aktörlerin inisiyatifine bağlı hâle gelmesi, erişimin sabit bir düzenlemeden çok sürekli müzakere edilen bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu bölümün izleyen kısımlarında koşullu erişilebilirlik, tek bir grubun (örneğin yalnızca engelli bireylerin) fiziksel erişim sorunlarına odaklanmak yerine, farklı kırılğanlık türlerinin afetin farklı evrelerinde nasıl kesiştiğini görünür kılan bütünleştirici bir mercek olarak kullanılacaktır. Bu

bütünleştirici işlevi somut bir kuramsal temele oturtmak için, bir sonraki bölümde afet ve kırılganlık yazınının en çok başvurulan çerçevelerinden biri olan Baskı ve Serbestleşme modeline geçilmektedir.

Baskı ve Serbestleşme (Pressure and Release-PAR) Modeli

Afet çalışmalarında sıklıkla başvurulan bir diğer kuramsal çerçeve, Wisner ve arkadaşları tarafından geliştirilen Baskı ve Serbestleşme (Pressure and Release-PAR) modelidir (Wisner, Blaikie, Cannon ve Davis, 2004). PAR modeli, afetlerin tek başına doğal bir tehlikenin sonucu olmadığını; kök nedenler (root causes), dinamik baskılar (dynamic pressures) ve güvensiz koşullar (unsafe conditions) olmak üzere üç aşamalı bir kırılganlık ilerleyişi sonucunda ortaya çıktığını öne sürmektedir. Kök nedenler, sınırlı erişim, iktidarsızlık ve ideolojik yapılar gibi geniş ölçekli sosyal, ekonomik ve politik süreçleri; dinamik baskılar bu kök nedenlerin eğitim eksikliği, kaynak yetersizliği veya kurumsal ihmal gibi somut süreçlere dönüşmesini; güvensiz koşullar ise bireylerin afet anında karşı karşıya kaldığı tehlikeli fiziksel ve toplumsal ortamı ifade etmektedir. Modele göre afetin sonucu, yalnızca tehlikenin şiddetiyle değil, bu üç aşamalı kırılganlık ilerleyişinin tehlikeyle kesiştiği noktada belirlenmektedir. PAR modeli, bu bölümde ele alınan dört grubun (engelli bireyler, yaşlı bireyler, kadınlar, çocuklar) afet öncesinde biriken kırılganlıklarının afet anında nasıl açığa çıktığını açıklamak için kullanılmaktadır.

Engelliliğin Sosyal Modeli

Bu bölümde kullanılan üçüncü kuramsal çerçeve, Oliver tarafından geliştirilen engelliliğin sosyal modelidir (Oliver, 1983, 1990). Sosyal model, engelliliği bireyin bedensel veya zihinsel sınırlılıklarının doğrudan bir sonucu olarak gören tıbbi/bireysel modelin aksine, engelliliğin toplumun fiziksel çevreyi, hizmetleri ve tutumları bu sınırlılıkları gözetmeksizin düzenlemesinden kaynaklanan toplumsal bir dışlanma biçimi olduğunu öne sürmektedir. Bu ayrım, bedensel/zihinsel sınırlılık (impairment) ile engellilik (disability) kavramları arasında yapılmakta; sosyal modele göre engellilik, bireyin taşıdığı bir özellik değil toplumun ürettiği bir dezavantaj olarak tanımlanmaktadır. Afet bağlamına uygulandığında bu model, engelli bireylerin afetlerde yaşadığı güçlüklerin bireysel bir kırılganlık olarak değil, afet öncesi ve sonrası planlamaların engelliliği gözetmeksizin tasarlanmış olmasının bir sonucu olarak okunması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu üç çerçeve -koşullu erişilebilirlik, PAR modeli ve engelliliğin sosyal modeli- birlikte ele alındığında, bu bölümün izleyen kısımlarında sunulan

engelli bireyler, yaşlı bireyler, kadınlar ve çocukların afet deneyimlerini yorumlamak için bütüncül bir kavramsal zemin oluşturmaktadır.

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Engelli Bireyler ve Afet Deneyimi

Engelli bireylerin afet deneyimine ilişkin mevcut literatür, bu grubun afetlerde karşılaştığı güçlüklerin büyük ölçüde bireysel sınırlılıklardan değil, afet yönetimi süreçlerinin engelliliği gözetmeksizin tasarlanmasından kaynaklandığını tutarlı biçimde ortaya koymaktadır. Vietnam'da kırsal bölgelerde yürütülen bir çalışma, engelli bireylerin afetlerde yaşadığı güçlüklerin kaynağının yalnızca kaynak yetersizliği değil, bu kaynakları değerli işlevlere dönüştürmelerini engelleyen bireysel ve çevresel etmenlerin etkileşimi olduğunu göstermiştir (Ton, Gaillard, Adamson, Akgungor ve Ho, 2020).

Türkiye'de yürütülen araştırmalar da benzer bulgulara işaret etmektedir. Ortopedik engelli bireylerle yürütülen bir fenomenolojik araştırma, katılımcıların afet hazırlık eğitimlerine erişimde sorun yaşadığını, afet gönüllülüğü süreçlerine katılım taleplerinin reddedildiğini ve bütünselik afet yönetimi süreçlerine dahil edilmediklerini ortaya koymuştur (Demiröz Yıldırım, 2023). Aynı araştırmacının afet yönetiminde farklı rol ve sorumluluklara sahip on dokuz paydaşla yürüttüğü izleyen bir çalışma, engelli bireylerin afet yönetimi süreçlerinde dışlanma ve temsil edilmeme, özel gereksinimlerinin karşılanmaması, tahliye güçlükleri ve erişilebilirlik sorunlarıyla karşılaştığını göstermiştir. Bu güçlükler yalnızca engelli bireylerin durumundan değil, afet personelinin bu konudaki bilgi ve donanım eksikliğinden de kaynaklanmaktadır (Demiröz Yıldırım, 2025b). Aynı çalışmada paydaşlar, tekerlekli sandalyeye bağımlı bireylerin acil çıkışlara ulaşamadığını, işitme engelli bireylerin yardım çağrılarına erişemediğini ve geçici barınma alanlarında engelli bireylere özgü tuvalet ve banyo düzenlemelerinin yapılmadığını bildirmiştir.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, bu sorunları somut biçimde görünür kılmıştır. Deprem bölgesinde yürütülen saha araştırmaları, engelli bireylerin ortak barınma ve sanitasyon alanlarına erişemediğini, tekerlekli sandalye kullanan bireylerin yardımcı ekipmanlarının enkaz altında kaldığını veya afet sırasında zarar gördüğünü ve insani yardım dağıtımının engellilik boyutunu büyük ölçüde ihmal ettiğini ortaya koymuştur (Amnesty International, 2023). Bu bulgular, engelliliğin sosyal modelinin öngördüğü gibi, engelli bireylerin afetlerde yaşadığı dezavantajın bireysel bir eksiklikten

değil, afet öncesi ve sonrası planlamaların engelliliği gözetmeksizin tasarlanmasından kaynaklandığını doğrulamaktadır (Priestley ve Hemingway, 2007).

Mevcut literatürün genel eğilimi, engelli bireylerin afet deneyimini şekillendiren üç temel eksen olduğuna işaret etmektedir: afet öncesi planlama ve eğitim süreçlerinden dışlanma, tahliye ve barınma aşamalarında fiziksel erişim engelleri ve afet personelinin bilgi ve donanım eksikliği. Bu üç eksen, bir önceki bölümde tanıtilen koşullu erişilebilirlik kavramıyla doğrudan örtüşmektedir; zira erişim, engelli bireyler için afetin farklı evrelerinde (hazırlık, tahliye, barınma) farklı biçimlerde koşullanmakta ve her aşamada yeniden müzakere edilmektedir.

Yaşlı Bireyler ve Afet Deneyimi

Yaşlı bireylerin afet deneyimine ilişkin uluslararası literatür, bu grubun kırılganlığını dört boyutta ele almaktadır: sosyal izolasyon, mortalite riski, hizmetlere erişim güçlüğü ve afet planlamasında yaşlı dostu yaklaşımların eksikliği. Peek'in (2013) yaş ve afet kırılganlığına ilişkin kapsamlı değerlendirmesine göre, sosyal izolasyon yaşlı bireyler için tek başına bir sonuç değil, aynı zamanda bir risk çarpanıdır: tek başına yaşayan, sınırlı sosyal ağa sahip yaşlı bireyler afet öncesi uyarılara, tahliye çağrılarına ve afet sonrası yardım bilgisine daha geç ya da hiç ulaşamamaktadır.

Bu izolasyonun sonuçları mortalite verilerine de yansımaktadır. Wenchuan, Büyük Doğu Japonya ve Orta İtalya depremlerini karşılaştırmalı olarak inceleyen bir bildiri, yaşlı bireylerin afet kaynaklı ölüm oranlarının genç nüfusa kıyasla belirgin biçimde yüksek olduğunu; bu farkın ülkeden ülkeye değişen sosyal güvenlik sistemlerinin kapsayıcılık düzeyine bağlı olarak farklılaştığını öngörmektedir (Si ve Mi, 2025). Bu ön bulgu, yaşlı bireylerin afet kırılganlığının yalnızca bireysel sağlık durumundan değil, toplumun bu bireyleri afet öncesinde ne ölçüde görünür ve desteklenmiş kıldığından da kaynaklanabileceğine işaret etmektedir.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında zorunlu göçe maruz kalan altmış beş yaş üstü bireylerle yürütülen bir saha araştırması, yaşlı bireylerin göç sonrasında sağlık hizmetlerine erişim, ulaşım, ekonomik gelir yetersizliği ve yalnızlık gibi sorunlarla karşılaştığını; katılımcıların büyük çoğunluğunun geri göç etme isteği taşıdığını ortaya koymuştur (Sevim, 2024). Bu bulgu, yaşlı bireyler için afetin etkisinin afet anıyla sınırlı kalmadığını; göç ve yerinden edilme sürecinin, hizmetlere erişimi kalıcı biçimde zorlaştırarak kendi başına bir kırılganlık kaynağı oluşturduğunu göstermektedir.

Bu tabloya karşın ilgili çalışmalar, yaşlı dostu şehir çerçevesinin (age-friendly cities) afet risk azaltma planlarına sistematik olarak entegre edilmediğini de vurgulamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün geliştirdiği bu ereve; erişilebilir açık alanlar, ulaşım, barınma ve toplum destek hizmetleri gibi sekiz alanda yaşlı bireylerin ihtiyaçlarını merkeze alan bir kentsel planlama modeli sunmakta, ancak bu model afet hazırlık ve tahliye planlarıyla nadiren ilişkilendirilmektedir (World Health Organization, 2007). Bu ilişkilendirmenin eksikliği, yaşlı bireylerin sıradan zamanlardaki günlük yaşam engellerinin afet anında daha da ağırlaşmasına yol açmaktadır.

Bu alışmalar ortak biçimde, PAR modelinin öngördüğü kırılganlık ilerleyişini doğrulamaktadır: yaşlı bireylerin afet öncesinde sahip olduğu sınırlı sosyal ve ekonomik kaynaklar -dar gelir, azalan hareket kabiliyeti, sosyal izolasyon- afet sırasında güvensiz koşullara ve yükselen mortalite riskine dönüşmekte; afet sonrasında ise göç, yalnızlık ve hizmetlere erişim güçlüğü biçiminde uzun süreli bir dezavantaja evrilmektedir. Yaşlı bireylere yönelik önlemlerin genellikle afet sonrasına ertelenmesi ve bu grubun afet öncesi planlama süreçlerinde büyük ölçüde görünmez kalması, koşullu erişilebilirlik kavramının işaret ettiği biçimde, erişimin afetin farklı evrelerinde farklı biçimlerde koşullanan bir ilişki olduğunu bir kez daha doğrulamaktadır.

Kadınlar ve Afet Deneyimi

Kadınların afet deneyimi, feminist afet kuramının da vurguladığı gibi, afet öncesinde var olan toplumsal cinsiyete dayalı eşitsizliklerin afet bağlamında yeniden üretilmesi ve çoğu zaman derinleşmesiyle şekillenmektedir. Bradshaw'a (2013) göre kadınların afetlerdeki kırılganlığı, kadınların doğaları gereği güçsüz olmasından değil, fiziksel, ekonomik ve sosyal kaynaklara erişimlerinin sınırlı olmasından ve afet öncesi toplumsal cinsiyet ilişkilerinin afet sonrası müdahale süreçlerinde de sürdürülmesinden kaynaklanmaktadır. 6 şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında kadınların ruh sağlığını inceleyen bir araştırma, depremin kadınları orantısız biçimde etkilediğini; barınma ve sanitasyon hizmetlerinin genellikle güvenlik ve mahremiyetten yoksun biçimde sunulduğunu ve deprem sonrası dönemde toplumsal cinsiyete dayalı şiddet vakalarında artış bildirildiğini ortaya koymuştur (Kaplan, Alkasaby, Düken, Kaçkin ve Riad, 2024). Araştırmacılar, kadınlara yönelik psikososyal müdahalelerin yalnızca temel ihtiyaçları karşılamakla sınırlı kalmaması; aynı zamanda toplumsal cinsiyete dayalı şiddetin ele alınmasını ve kadına özgü ihtiyaçlara duyarlı, uzmanlaşmış destek hizmetlerinin sunulmasını gerektirdiğini vurgulamaktadır.

Kahramanmaraş'ta kurulan bir çadır kentte yürütülen fenomenolojik bir araştırma, kadınların bu ortamda hem çocuk, yaşlı ve engelli bakımını sürdürmek zorunda kaldığını hem de mahremiyet ve güvenlik ihtiyaçlarının çoğu zaman karşılanmadığını göstermiştir; ortak tuvalet ve banyo alanlarının toplumsal cinsiyete duyarlı biçimde tasarlanmaması, kadınların çadır kentteki yaşamını zorlaştıran başlıca etmenler arasında yer almıştır (Demiröz Yıldırım, 2025a). Aynı araştırma, insani yardıma erişim ve kadınlara yönelik pozitif ayrımcılık uygulamalarının ise yaşamı kolaylaştıran etmenler arasında sayıldığını ortaya koymuştur.

Bu bulgular, kadınların afet deneyiminin tek boyutlu bir mağduriyet olarak değil, hem yük hem de sorumluluk taşıyan çok katmanlı bir konum olarak okunması gerektiğini göstermektedir. Toplumsal cinsiyet rolleri gereği bakım sorumluluğunu üstlenen kadınlar, afet sonrası geçici barınma düzenlemelerinde kendi ihtiyaçlarını geri plana atmak zorunda kalmakta; bu durum, koşullu erişilebilirlik kavramının işaret ettiği biçimde, kadınlar için erişimin yalnızca fiziksel bir düzenleme meselesi değil, aynı zamanda bakım yükü ve toplumsal cinsiyet rolleriyle koşullanan bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Çocuklar ve Afet Deneyimi

Çocukların afet deneyimine ilişkin ilgili literatür, bu grubun kırılganlığının gelişimsel, fiziksel ve toplumsal boyutları bir arada taşıdığını göstermektedir. Çocuklar, afeti anlamlandırma ve baş etme kapasitelerinin gelişim düzeyleriyle sınırlı olması nedeniyle psikolojik açıdan; bağımsız hareket edip tahliye olamamaları nedeniyle fiziksel açıdan kırılgan bir konumdadır. Buna ek olarak afetler, çocukların eğitim süreçlerinde kesintiye ve gecikmeye yol açmakta, bu da uzun vadeli gelişimsel etkiler doğurmaktadır (Peek, 2008). Aynı çalışmalar ayrıca çocukların yalnızca korunmaya muhtaç edilgen özneler olarak değil, afet hazırlık, müdahale ve iyileştirme süreçlerine katılabilecek kapasiteye sahip aktif bireyler olarak da ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır; bu açıdan çocuklara yönelik afet yaklaşımı, yaşlı bireylerde olduğu gibi yalnızca koruma odaklı değil, katılımı da önceleyen bir çerçeveye ihtiyaç duymaktadır.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen çocuklarla yürütülen nicel bir araştırma, çocukların yaşam doyumu ve umut düzeyleri arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu; bu düzeylerin yaşa, deprem sırasında bulunulan şehre ve deprem sonrası konaklanan yere göre anlamlı biçimde farklılaştığını ortaya koymuştur (Özçakal, Danışman ve Soylu, 2025). Bu bulgu, çocukların afet deneyiminin tekdüze olmadığını; yaş grubuna ve afet

sonrası barınma koşuluna (aile yanında kalma, geçici barınma alanı, başka bir şehre göç) bağlı olarak önemli ölçüde farklılaştığını göstermektedir.

Çocukların afet sonrası korunma ihtiyacı, özellikle refakatsiz kalan veya kimliği geçici olarak belirlenemeyen çocuklar söz konusu olduğunda ayrı bir önem kazanmaktadır. Türkiye'de 6 Şubat depremleri sonrasında enkazdan çıkarılan refakatsiz çocukların korunma sürecinde tıbbi sosyal hizmet uzmanlarının rolünü inceleyen bir çalışma, bu çocukların aile birleştirme, kimlik tespiti ve geçici bakım süreçlerinde çok sayıda usul ve koordinasyon güçlüğüyle karşılaştığını; afet sonrası kaos ortamının çocukları ihmal ve istismar risklerine açık hâle getirdiğini, bu nedenle koruyucu protokollerin ve uzmanlaşmış personelin afet müdahale planlarında önceden tanımlanmış olması gerektiğini ortaya koymuştur (Ünlü, 2024). Aynı dönemde çocuk hakları alanında çalışan uzmanlar, refakatsiz bir çocukla karşılaşıldığında bu çocuğun kimlik bilgilerinin sosyal medyada paylaşılmaması ve doğrudan yetkili kurumlara (Aile ve Sosyal Hizmetler İl Müdürlükleri, kolluk kuvvetleri) bildirilmesi gerektiği konusunda kamuoyunu uyarmıştır; resmî değerlendirmeler organize bir kaçırma vakasını doğrulamamış olsa da, denetimsiz ve kalabalık afet ortamlarının çocukları istismara açık hâle getirebileceği vurgulanmıştır.

Kız çocuklar, bu genel kırılganlığa ek olarak toplumsal cinsiyete özgü risklerle de karşı karşıya kalmaktadır. Birleşmiş Milletler'in deprem bölgesine ilişkin bir değerlendirmesi, çocuk yaşta, erken ve zorla evlilik riskinin afet sonrası dönemde arttığını ve bu riskin özellikle ergenlik çağındaki kız çocuklarını hedef aldığını belirtmiştir (UN Women, 2023). Konteyner kentlerde yaşayan kız çocuklarla yürütülen bir saha araştırması, kız çocukların üzerindeki ev içi temizlik ve kardeş bakımı yükünün okula ve psikososyal destek hizmetlerine katılımlarını sınırladığını ortaya koymuştur. Güvenlik ve aydınlatma eksikliği nedeniyle akşam saatlerinde dışarı çıkamayan kız çocuklarında bu durum kaçırılma korkusunu artırmaktadır; fiziksel engeli olan bir kız çocuğu ise okul kaydı ve ulaşımı sağlanamadığı için eğitimine devam edememiştir (Kılıç ve Kıyıcı, 2024).

Bu bulgular, çocukların -özellikle kız çocukların- afet sonrası kırılganlığının yalnızca doğrudan afet deneyimiyle sınırlı olmadığını; barınma güvenliği, bakım yükü ve toplumsal cinsiyet normlarının bir araya gelerek eğitime erişim, hareket özgürlüğü ve korunma hakkını uzun süreli biçimde etkilediğini göstermektedir. PAR modeli çerçevesinden bakıldığında, çocukların afet öncesindeki gelişimsel bağımlılığı ve sınırlı karar alma gücü, afet sırasında ve sonrasında barınma koşuluna göre farklılaşan bir kırılganlığa dönüşmekte; bu da koşullu erişilebilirlik kavramının işaret ettiği biçimde, çocuklar için

erişimin yaşa, cinsiyete ve bakım bağlamına göre koşullanan bir ilişki olduğunu doğrulamaktadır. Çocuklar ve kadınlar arasındaki bu kırılganlık kesişimi, bölümün genelinde vurgulanan kesişimsel bakışın somut bir örneğini oluşturmaktadır.

ORTAK TEMALAR VE KESİŞİMSELLİK

Sentezlenen bulgular, engelli bireyler, yaşlı bireyler, kadınlar ve çocuklara ilişkin literatürün dört grubun afet deneyimini ortaklaştıran üç temel temayı paylaştığını göstermektedir: görünmezlik ve planlamadan dışlanma, bakım ağlarına bağımlılık ile bu ağların afet sırasında kopması, ve çeşitliliği gözetmeyen tekdüze mekânsal tasarım.

İlk tema olan görünmezlik, dört grup için de tekrarlayan bir örüntü olarak karşımıza çıkmaktadır: engelli bireyler afet yönetimi planlarında ayrı bir paydaş olarak temsil edilmemekte (Demiröz Yıldırım, 2025b), yaşlı bireylere yönelik önlemler afet sonrasında ertelenmekte, kadınların ihtiyaçları barınma alanı tasarımında gözletilmemekte (Kaplan, Alkasaby, Düken, Kaçkin ve Riad, 2024) ve çocuklar büyük ölçüde ebeveynlerinin deneyimi üzerinden dolaylı olarak var olmaktadır (Peek, 2008). Bu görünmezlik, dört grubun da afet öncesi planlama süreçlerinde ayrı bir paydaş olarak tanınmamasından kaynaklanmaktadır.

İkinci tema olan bakım ağlarına bağımlılık, kırılganlığın bireysel değil ilişkisel bir mesele olduğunu göstermektedir. Engelli bireyler aile üyelerine, yaşlı bireyler bakım verenlere, çocuklar ebeveynlerine -çoğunlukla annelerine- bağımlı durumdadır; bu bağımlılık afet sırasında bakım ağlarının kesintiye uğramasıyla (kayıp, yaralanma, göç, ayrılık) tehlikeli bir hâl almaktadır (Gutman ve Yon, 2014). Bu durum aynı zamanda kadınların kırılganlığını da açıklamaktadır: toplumsal cinsiyet rolleri gereği bakım verme sorumluluğunu üstlenen kadınlar, hem kendi ihtiyaçlarını geri planda tutmak hem de bakımını üstlendiği kişilerin (çocuk, yaşlı, engelli) ihtiyaçlarını afet koşullarında karşılamak zorunda kalmaktadır.

Üçüncü tema olan tekdüze mekânsal tasarım, koşullu erişilebilirlik kavramının en açık biçimde gözlemlendiği alandır. Geçici barınma alanlarında ortak tuvalet ve banyo düzenlemeleri; engelli bireyler için erişilemez (Amnesty International, 2023), kadınlar için mahremiyetten yoksun (Demiröz Yıldırım, 2025a) ve kız çocukları için güvenlik kaygısı yaratan (Kılıç ve Kıyığı, 2024) bir hâl almaktadır. Bu üç bulgunun aynı fiziksel mekâna -ortak sanitasyon alanlarına- işaret etmesi, tekdüze tasarımın farklı

gruplar için farklı biçimlerde dezavantaj ürettiğini somut olarak göstermektedir.

Bu üç ortak temanın yanı sıra, ilgili çalışmalar grupların kendi içinde de homojen olmadığını, birden fazla kırılmanlık türünü aynı anda taşıyan bireylerin (örneğin engelli bir kadın, yaşlı bir kadın ya da engelli bir çocuk) katmanlı bir dezavantajla karşılaştığını göstermektedir. Nitekim insani yardım süreçlerinde kadınlar, ergenlik çağındaki kız çocukları ve ileri yaştaki kadınlar gibi farklı grupların ihtiyaçlarının hazırlık, planlama ve uygulama aşamalarının her birinde ayrı ayrı ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (UN Women, 2023). Bu nokta, bölümün başında tanıtılan kesişimsellik argümanının literatürden doğan somut bir karşılığıdır: kırılmanlık türleri birbirinden bağımsız kategoriler olarak değil, bireyin taşıdığı çoklu kimlikler (yaş, engellilik durumu, toplumsal cinsiyet) arasındaki etkileşim olarak okunmalıdır.

Bu ortak temalar, afet yönetimi politikalarına yönelik iki temel çıkarım sunmaktadır. İlk olarak, afet öncesi planlama süreçlerinde kırılman grupların temsilcilerinin doğrudan katılımı sağlanmalı; ikinci olarak, geçici barınma ve sanitasyon alanları tek bir 'ortalama' kullanıcı için değil, koşullu erişilebilirlik kavramının öngördüğü biçimde, farklı kırılmanlık türlerinin kesiştiği çok katmanlı ihtiyaçlar gözetilerek tasarlanmalıdır.

SONUÇ

Bu bölümde engelli bireyler, yaşlı bireyler, kadınlar ve çocukların 2023 Kahramanmaraş depremleri bağlamındaki afet deneyimleri; koşullu erişilebilirlik, Baskı ve Serbestleşme (Pressure and Release-PAR) modeli ve engelliliğin sosyal modeli çerçevesinde bir arada değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan tablo, afetlerin kırılman grupları homojen bir mağdur kütesi olarak değil, her birinin kendine özgü ama birbiriyle kesişen dezavantaj biçimleriyle etkilediğini göstermektedir. Görünmezlik, bakım ağlarına bağımlılık ve tekdüze mekânsal tasarım biçiminde özetlenen ortak temalar, dört grubun afet deneyiminin tesadüfi değil, afet öncesi toplumsal düzenin bir uzantısı olarak üretildiğini ortaya koymaktadır.

Bölüm boyunca ortaya konan bulgular, afet yönetimi politikalarının tekil grup odaklı ve parça parça yaklaşımlardan bütüncül, kesişimsel bir çerçeveye geçmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu geçiş yalnızca daha kapsayıcı fiziksel düzenlemeleri -erişilebilir sanitasyon alanları, güvenli aydınlatma, uygun tahliye rotaları- değil, aynı zamanda kırılman grupların temsilcilerinin

planlama süreçlerine afetten önce, afet sırasında ve sonrasında doğrudan katılımını gerektirmektedir.

Bölümün ortaya koyduğu tekdüze tasarım sorunu, günümüzde afet yönetimine hızla giren yapay zekâ destekli teknolojiler için de geçerliliğini korumaktadır. Bu nedenle bu teknolojiler, koşullu erişilebilirlik kavramının bir sonraki sınama alanı olarak burada kısaca ele alınmaktadır. Erken uyarı sistemlerinde yapay zekâ, meteorolojik, hidrolojik ve coğrafi verileri hızla işleyerek daha isabetli ve yerelleştirilmiş tahminler üretebilmekte, bu da kırılgan grupların önceden ve güvenli biçimde tahliye edilmesine katkı sağlayabilmektedir.

Ancak araştırmalar, bu teknolojilerin de aynı görünmezlik sorununu yeniden üretebileceğini göstermektedir. Eğitim verileri ağırlıklı olarak 'ortalama' bireyin verilerinden oluşan yapay zekâ sistemleri, engelli bireylerin erişilebilir tahliye rotalarını, işitme veya görme engelli bireylerin ihtiyaç duyduğu alternatif uyarı biçimlerini ya da yerinden edilmiş grupların öngörülemeyen hareketlerini gözden kaçırabilmektedir (Blanchard, 2023). Başka bir deyişle, tekdüze mekânsal tasarımın geçici barınma alanlarında yarattığı dezavantaj, tekdüze veri tasarımı biçiminde dijital alanda da tekrarlanabilmektedir. Bu nedenle yapay zekânın afet yönetimine entegrasyonu, kapsayıcı veri toplama ve kırılgan grupların geri bildirimlerinin sisteme dahil edilmesi ilkeleriyle birlikte ele alınmalıdır; aksi hâlde teknoloji, bu bölümde tartışılan görünmezlik sorununu çözmek yerine yeni bir araçla yeniden üretme riski taşımaktadır.

Sonuç olarak, kırılgan grupların afet deneyimlerine ilişkin gelecekteki araştırmalar ve politikalar, yalnızca fiziksel erişilebilirliği değil, dijital ve teknolojik erişilebilirliği de kapsayan bütüncül bir koşullu erişilebilirlik anlayışını benimsemelidir. Bu bölümde sunulan kavramsal çerçeve ve literatür sentezi, afet yönetiminde kimsenin geride bırakılmadığı bir yaklaşıma doğru atılacak adımlar için bir başlangıç noktası oluşturmayı amaçlamaktadır.

REFERANSLAR

- Amnesty International. (2023). Türkiye: People with disabilities neglected in humanitarian response to devastating earthquake. Amnesty International.
- Blanchard, K. (2023). Inclusive integration of artificial intelligence in disaster risk reduction. RADIX: Radical Interpretations of Disasters.
- Bradshaw, S. (2013). Gender, development and disasters. Edward Elgar Publishing.
- Demiröz Yıldırım, S. (2023). Integrated disaster management experience of people with disabilities: A phenomenological research on the experience of people

- with orthopedic disabilities in Türkiye. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 88, 103611.
- Demiröz Yıldırım, S. (2025a). Women in crisis: Navigating life and resilience after the 2023 earthquakes in Kahramanmaraş tent city, Türkiye. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, Article 1968.
- Demiröz Yıldırım, S. (2025b). Inclusiveness of disaster management for persons with disabilities in Türkiye from stakeholders' perspective. *Scientific Reports*, 15, Article 22779.
- Gutman, G. M., ve Yon, Y. (2014). Elder abuse and neglect in disasters: Types, prevalence, and research gaps. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, 38-47.
- Kaplan, V., Alkasaby, M., Düken, M. E., Kaçkin, Ö., ve Riad, A. (2024). The impact of earthquakes on women: Assessing women's mental health in aftermath of the Kahramanmaraş-centred earthquake in Türkiye. *Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdae059>
- Kılıç, Z., ve Kıyıcı, G. (2024). Depremlerin ikinci yılında konteyner kentlerdeki yaşama kız çocuk odaklı bakış. *Suna'nın Kızları*.
- Oliver, M. (1983). *Social work with disabled people*. Macmillan.
- Oliver, M. (1990). *The politics of disablement*. Macmillan.
- Özçakal, B., Danışman, Ö., ve Soylu, Y. (2025). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen çocukların yaşam doyumları ve umut düzeylerinin incelenmesi üzerine nicel bir araştırma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, 63, 685-705.
- Peek, L. (2008). Children and disasters: Understanding vulnerability, developing capacities, and promoting resilience — An introduction. *Children, Youth and Environments*, 18(1), 1-29.
- Peek, L. (2013). Age. İçinde D. S. K. Thomas, B. D. Phillips, W. E. Lovekamp, ve A. Fothergill (Ed.), *Social vulnerability to disasters* (2. bs., ss. 167-198). CRC Press.
- Priestley, M., ve Hemingway, L. (2007). Disability and disaster recovery: A tale of two cities? *Journal of Social Work in Disability & Rehabilitation*, 5(3-4), 23-42.
- Sevim, Y. (2024). Deprem nedeniyle zorunlu göçe maruz kalan yaşlı bireyler üzerine sosyolojik bir araştırma. *Kent Akademisi*, 17(5), 2057-2080. <https://doi.org/10.35674/kent.1498224>
- Si, W., ve Mi, H. (2025). Vulnerability of older adults in natural disaster scenarios: A case study of earthquakes [Bildiri özeti]. *Innovation in Aging*, 9(Suppl 2), igaf122.097. <https://doi.org/10.1093/geroni/igaf122.097>

- Ton, K. T., Gaillard, J. C., Adamson, C. E., Akgungor, C., ve Ho, H. T. (2020). An empirical exploration of the capabilities of people with disabilities in coping with disasters. *International Journal of Disaster Risk Science*, 11, 602-614.
- UN Women. (2023). Depremi ardından kadınlar ve kız çocukları. UN Women Türkiye.
- Ünlü, İ. İ. (2024). Afetlerde refakatsiz ve kimliği belirlenemeyen çocukların korunması sürecinde tıbbi sosyal hizmet uzmanlarının rol ve görevleri: 6 Şubat depremi örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 7(3), 728-742. <https://doi.org/10.35341/afet.1462622>
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., ve Davis, I. (2004). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters* (2. bs.). Routledge.
- World Health Organization. (2007). *Global age-friendly cities: A guide*. WHO.

Bitkilerin Antidiyabetik Etki Mekanizması

Kübra Nur TANKIZ¹
Zehra Tuğba MURATHAN²

- 1- Yüksek Lisans Öğrencisi; Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji ABD, tankiz_kubra@icloud.com ORCID No: <http://orcid.org/0009-0007-8236-341X>
- 2- Prof. Dr.; Malatya Turgut Özal Üniversitesi Battalgazi MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü. zehra.murathan@ozal.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1468-7240>

ÖZET

Diabetes mellitus, insülin sekresyonu, insülin etkisi veya her ikisindeki bozukluklar sonucunda ortaya çıkan ve dünya genelinde prevalansı giderek artan kronik metabolik bir hastalıktır. Diyabet, uzun vadede kardiyovasküler hastalıklar, nefropati, retinopati ve nöropati gibi ciddi komplikasyonlara neden olabilmektedir. Mevcut farmakolojik tedavilere rağmen, tedavide karşılaşılan yan etkiler ve uzun süreli kullanım gereksinimi, bitkisel kaynaklı doğal bileşiklere olan ilgiyi artırmıştır. Bitkiler; fenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler, alkaloidler, saponinler ve polisakkaritler başta olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşenler içermeleri nedeniyle antidiyabetik özellikleri açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bitkilerin antidiyabetik etkileri, karbonhidrat sindiriminde görev alan α -amilaz ve α -glukozidaz enzimlerinin inhibisyonu, bağırsaklardan glukoz emiliminin azaltılması, insülin sekresyonunun ve insülin duyarlılığının artırılması, glukoz taşıyıcılarının düzenlenmesi, hepatik glukoz üretiminin baskılanması ve glikojen sentezinin uyarılması gibi farklı mekanizmalar üzerinden gerçekleşebilmektedir. Bunun yanı sıra, oksidatif stres ve kronik inflamasyonun diyabet patogenezindeki rolü göz önünde bulundurulduğunda, bitkisel bileşiklerin antioksidan ve antiinflamatuvar aktiviteleri de antidiyabetik etkilerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu derlemede, bitkilerin ve bitkisel kökenli biyoaktif bileşiklerin diyabet üzerindeki etkileri; karbonhidrat metabolizması, insülin sinyal yolları ve oksidatif stres ile ilişkili moleküler mekanizmalar çerçevesinde ele alınmış ve güncel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca, bitkisel kaynaklı bileşiklerin diyabetin önlenmesi ve yönetimindeki potansiyeli ile mevcut sınırlılıkları ve gelecekteki araştırma gereksinimleri tartışılmıştır. Sonuç olarak bitkisel ürünlerin diyabet yönetiminde tek başına tedavi edici ajanlar olarak değil, diyabetin çok yönlü patofizyolojisini anlamaya katkı sağlayan biyolojik kaynaklar olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu çerçevede bitkisel kaynakların antidiyabetik potansiyelinin, oksidatif stres ve postprandiyal glukoz kontrolüyle ilişkili mekanizmalar üzerinden araştırılması anlamlı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler-Diabetes mellitus, antidiyabetik bitkiler, hiperglisemi, insülin direnci

GİRİŞ

Diabetes mellitus, glukoz metabolizmasının sürekli bozulmasıyla seyreden ve yalnızca kan şekeri yüksekliğiyle açıklanamayacak kadar geniş sonuçlar doğuran kronik bir metabolik hastalıktır. Hastalık ilerledikçe karbonhidrat, lipid ve protein metabolizması birlikte etkilenmekte; retina, böbrek, sinir sistemi, kalp ve damar yapılarında kalıcı komplikasyonlar gelişebilmektedir. Bu nedenle diyabet, tek bir organ hastalığı olarak değil,

çok sayıda dokunun birlikte etkilendiği sistemik bir bozukluk olarak ele alınmalıdır [1].

Dünya genelinde diyabet sıklığının artması, konunun halk sağlığı açısından önemini daha da artırmıştır. Dünya Sağlık Örgütü, diyabetle yaşayan kişi sayısının 1990 yılında yaklaşık 200 milyon iken 2022 yılında 830 milyona ulaştığını bildirmiştir. Uluslararası Diyabet Federasyonu ise 20-79 yaş aralığında diyabetle yaşayan yetişkin sayısının 2024 yılı için yaklaşık 589 milyon olduğunu, bu sayının 2050 yılında 853 milyona yaklaşabileceğini raporlamıştır [2,3].

Diyabet yükündeki artışın arkasında yaşanan nüfus, kentleşme, sedanter yaşam, enerji yoğun beslenme alışkanlıkları, obezite, genetik yatkınlık ve sağlık hizmetlerine erişimdeki eşitsizlikler birlikte yer almaktadır. Bu durum, diyabetin önlenmesi ve yönetiminde yalnızca ilaç tedavisine değil, beslenme, yaşam tarzı ve destekleyici biyolojik kaynakların bilimsel biçimde incelenmesine de ihtiyaç olduğunu göstermektedir [2,4].

Güncel tedavi yaklaşımında tıbbi beslenme tedavisi, düzenli fiziksel aktivite, oral antidiyabetik ilaçlar, insülin ve yeni nesil farmakolojik ajanlar temel yeri tutmaktadır. Bununla birlikte diyabetin kronik seyri, tedaviye uyum güçlükleri, bazı ilaçların gastrointestinal yakınmalar oluşturabilmesi ve hastalığın çok hedefli patofizyolojisi, bitkisel kaynaklı ürünlerin bilimsel araştırmalarda daha fazla yer almasına neden olmuştur [11,12].

Bitkiler, içerdikleri fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloidler, terpenoidler, saponinler, tanenler, organosülfür bileşikler, müsilaj ve polisakkaritler aracılığıyla glukoz metabolizmasının farklı basamaklarına etki edebilecek zengin biyolojik kaynaklardır. Bu bileşikler bazı durumlarda karbonhidrat sindirim enzimlerini baskılamakta, bazı durumlarda insülin duyarlılığını desteklemekte, bazı durumlarda ise oksidatif stres ve inflamasyonun şiddetini azaltmaktadır [8,11].

Bu çalışmanın temel amacı, bitkilerin antidiyabetik etki mekanizmasını diyabetin metabolik temelleriyle ilişkilendirerek açıklamaktır. Bu amaçla önce diyabetin tanımı ve çeşitleri ele alınmış, ardından tip 2 diyabette insülin direnci, postprandiyal hiperglisemi ve oksidatif stres süreçleri değerlendirilmiştir. Daha sonra antidiyabetik etkisi literatürde incelenen farklı bitkiler, etki mekanizmaları yönünden karşılaştırılmış genel çerçeve içinde dengeli biçimde ele alınmıştır [1,4,8].

2. DİYABETES MELLİTUSUN TANIMI

Diyabetes mellitus, insülin salınımında yetersizlik, insülin etkisinde azalma veya her iki sürecin birlikte bulunması sonucunda gelişen kronik hiperglisemi tablosudur. Tanımda geçen hiperglisemi, yalnızca bir laboratuvar bulgusu değildir; hücrelerin enerji kullanımını, damar duvarını, böbrek filtrasyonunu, sinir iletimini ve bağışıklık yanıtını etkileyen merkezi bir metabolik bozukluğu ifade etmektedir [1].

Sağlıklı metabolizmada glukoz, bağırsaktan emildikten sonra kana geçmekte ve pankreas beta hücrelerinden salgılanan insülinin etkisiyle başta kas ve yağ dokusu olmak üzere hücre içine alınmaktadır. Diyabette ise bu düzenli süreç bozulmakta; ya yeterli insülin üretilmemekte ya da üretilen insülin hedef dokularda beklenen yanıtı oluşturamamaktadır [1,4].

Diyabetin tanısında açlık plazma glukozu, oral glukoz tolerans testi, HbA1c ve klasik semptomların eşlik ettiği rastgele plazma glukozu gibi ölçütler kullanılmaktadır. Bu ölçütler, kan glukoz yüksekliğinin geçici bir durum mu yoksa kronik bir metabolik bozukluğun göstergesi mi olduğunu ayırmaya yardım etmektedir [1].

Diyabetin klinik önemi, uzun süreli hipergliseminin dokular üzerinde oluşturduğu kalıcı hasardan kaynaklanmaktadır. Kronik yüksek glukoz düzeyi mikrovasküler düzeyde retinopati, nefropati ve nöropatiye; makrovasküler düzeyde ise koroner arter hastalığı, inme ve periferik damar hastalığına zemin hazırlayabilmektedir [1,5].

2.1. Diyabetin Sınıflandırılması

Güncel sınıflandırmada diyabet temel olarak tip 1 diyabet, tip 2 diyabet, gestasyonel diyabet ve diğer spesifik diyabet tipleri olarak ele alınmaktadır. Bu sınıflandırma yalnızca akademik bir ayrım değildir; her diyabet tipinin ortaya çıkış nedeni, klinik seyri, tedavi yaklaşımı ve komplikasyon riski farklılık gösterebilmektedir [1].

Tablo 2.1: Diyabetes mellitusun temel sınıflandırması

Diyabet tipi	Temel patofizyoloji	Klinik açıdan ayırt edici özellik
Tip 1 diyabet	Otoimmün beta hücre yıkımı ve mutlak insülin eksikliği	İnsülin tedavisi yaşamsaldır.
Tip 2 diyabet	İnsülin direnci ve göreceli insülin sekresyon yetersizliği	En yaygın diyabet tipidir.
Gestasyonel diyabet	Gebelikte başlayan veya gebelikte tanınan glukoz intoleransı	Anne ve fetus açısından izlem gerektirir.
Diğer spesifik tipler	Genetik, pankreatik, endokrin veya ilaç kaynaklı nedenler	Altta yatan nedene göre yaklaşım değişir.

2.1.1. Tip 1 diyabet

Tip 1 diyabet, çoğunlukla pankreatik beta hücrelerinin otoimmün yıkımı sonucunda gelişen ve mutlak insülin eksikliğiyle seyreden bir diyabet tipidir. Bu nedenle tip 1 diyabette insülin tedavisi destekleyici değil, yaşamsal bir tedavi basamağıdır [1].

Tip 1 diyabet çocukluk ve genç erişkinlik dönemlerinde daha sık tanınmakla birlikte her yaşta ortaya çıkabilmektedir. Hastalığın temelinde bağışıklık sisteminin beta hücrelerine karşı geliştirdiği yanıt bulunduğu için, bitkisel ürünlerin bu diyabet tipinde doğrudan insülin yerine geçebileceği yönünde bir yaklaşım bilimsel olarak doğru değildir [1].

2.1.2. Tip 2 diyabet

Tip 2 diyabet, diyabet olgularının büyük bölümünü oluşturan ve genellikle insülin direnci ile beta hücre fonksiyon kaybının birlikte ilerlediği bir hastalıktır. Başlangıç döneminde pankreas daha fazla insülin salgılayarak glukoz dengesini korumaya çalışmakta, fakat zamanla bu telafi mekanizması yetersiz kalmaktadır [4].

Tip 2 diyabetin temelinde kas, karaciğer ve yağ dokusunda insüline verilen yanıtın azalması önemli yer tutmaktadır. Kas dokusunda glukoz alımı azalırken, karaciğerde glukoz üretimi artmakta ve yağ dokusunda serbest yağ asidi salınımı hızlanmaktadır. Bu süreçler birlikte değerlendirildiğinde tip 2 diyabetin yalnızca pankreasa ait bir hastalık olmadığı anlaşılmaktadır [4].

DeFronzo tarafından ortaya konulan çok hedefli patofizyoloji yaklaşımı, tip 2 diyabette beta hücre yetmezliği, karaciğerde glukoz üretimi, kas dokusunda insülin direnci, yağ dokusunda lipoliz, bağırsak inkretin yanıtı, alfa hücre kaynaklı glukagon artışı, böbrekte glukoz geri emilimi ve merkezi sinir sistemi etkilerinin birlikte rol oynadığını vurgulamaktadır [4].

2.1.3. Gestasyonel diyabet ve diğer spesifik tipler

Gestasyonel diyabet, gebelikte başlayan veya ilk kez gebelikte fark edilen glukoz intoleransını ifade etmektedir. Bu durum hem anne hem de fetus açısından kısa ve uzun dönemli riskler oluşturduğu için düzenli izlem gerektirmektedir [1].

Diğer spesifik diyabet tipleri; monogenik diyabetleri, ekzokrin pankreas hastalıklarına bağlı diyabeti, endokrinopatilerle ilişkili diyabeti ve ilaç ya da kimyasal maddelere bağlı gelişen diyabet tablolarını kapsamaktadır. Bu alt gruplarda tedavi yaklaşımı, altta yatan nedene göre değişmektedir [1].

2.2. Tip 2 Diyabetin Metabolik Temelleri

Tip 2 diyabetin anlaşılmasında insülin direnci ve beta hücre yetersizliği birlikte ele alınmalıdır. İnsülin direnci ortaya çıktığında aynı miktarda insülin daha az biyolojik etki oluşturmakta, hücre içine glukoz girişi yavaşlamakta ve kan glukoz düzeyi yükselmeye başlamaktadır [4].

Başlangıçta pankreas beta hücreleri bu duruma daha fazla insülin salgılayarak yanıt vermektedir. Ancak uzun süreli hiperglisemi, serbest yağ asitlerinin artışı, inflamasyon ve oksidatif stres beta hücreleri üzerinde yük oluşturmakta; bu yük zaman içinde insülin salgılama kapasitesinin azalmasıyla sonuçlanmaktadır [4,6].

Karaciğer, tip 2 diyabette glisemik dengenin bozulduğu en önemli organlardan biridir. Normal koşullarda insülin, karaciğerde glukoneogenez ve glikojenolizi baskılamaktadır. İnsülin direnci geliştiğinde ise karaciğer, kan glukozu zaten yüksek olmasına rağmen glukoz üretimini sürdürmektedir [4].

Kas dokusu, öğün sonrası glukoz kullanımının önemli bölümünden sorumludur. İnsülin sinyal iletimindeki bozulma ve GLUT-4 aracılı glukoz taşınımındaki azalma, kas dokusunun glukozu yeterince alamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle insülin duyarlılığını artıran yaklaşımlar, tip 2 diyabette önemli bir araştırma alanıdır [4,8].

Yağ dokusunda insülinin lipolizi baskılayıcı etkisinin azalması, dolaşımdaki serbest yağ asitlerinin yükselmesine yol açmaktadır. Serbest yağ asitleri karaciğerde glukoz üretimini artırabilmekte, kas dokusunda insülin sinyalini bozabilmekte ve beta hücrelerinde lipotoksisteye katkı sağlayabilmektedir [4,37].

2.3. Postprandiyal Hiperglisemi

Postprandiyal hiperglisemi, öğün sonrasında kan glukoz düzeyinin beklenenden daha yüksek veya daha uzun süreli seyretmesidir. Tip 2 diyabette erken faz insülin yanıtının zayıflaması ve insülin direncinin artması, öğün sonrası glukoz yükselmelerinin daha belirgin hale gelmesine neden olmaktadır [1,4].

Diyetle alınan nişasta ve diğer kompleks karbonhidratlar, sindirim kanalında önce daha küçük karbonhidrat birimlerine, ardından monosakkaritlere parçalanmaktadır. Bu süreçte alfa-amilaz nişastanın hidrolizinde, alfa-glukozidaz ise bağırsak fırçası kenarında oligosakkaritlerin glukoz dönüşümünde görev almaktadır [9,10].

Bitkisel ürünlerin antidiyabetik etkilerinde en çok araştırılan mekanizmalardan biri, bu sindirim enzimlerinin yavaşlatılmasıdır. Alfa-amilaz ve alfa-glukozidaz aktivitesinin azalması, karbonhidratların glukoz dönüşüm hızını düşürmekte ve yemek sonrası glukoz artışının daha kontrollü seyretmesine katkı sağlayabilmektedir [9,10].

Bu mekanizma farmakolojik olarak akarboz gibi alfa-glukozidaz inhibitörlerinin etki ilkesine benzemektedir. Ancak bitki ekstraktlarında etki gücü bitkinin türüne, kullanılan kısmına, ekstraksiyon yöntemine ve içerdiği fenolik bileşik yoğunluğuna göre değişmektedir [9,10].

2.4. Oksidatif Stresin Diyabet Üzerindeki Etkisi

Oksidatif stres, reaktif oksijen türlerinin üretimi ile antioksidan savunma sistemleri arasındaki dengenin serbest radikaller lehine bozulmasıdır. Diyabette kronik hiperglisemi, mitokondriyal elektron taşıma zincirinde aşırı yük oluşturarak reaktif oksijen türlerinin artmasına neden olabilmektedir [5,6].

Diyabette oksidatif stresin artması yalnızca hücre içi bir biyokimyasal olay değildir; damar endoteli, sinir dokusu, böbrek glomerülleri ve pankreatik beta hücreleri üzerinde doğrudan hasar oluşturabilmektedir. Bu nedenle oksidatif stres, diyabetin hem gelişiminde hem de komplikasyonlarında merkezi bir süreç olarak kabul edilmektedir [5,7].

Hiperglisemiye bağlı oksidatif yükün artmasında birkaç yolak birlikte etkilidir. Poliol yolu, protein kinaz C aktivasyonu, heksozamin yolu ve ileri glikasyon son ürünlerinin oluşumu, hücre içinde oksidatif hasarı artıran başlıca mekanizmalar arasında yer almaktadır [5].

Pankreatik beta hücreleri oksidatif strese karşı özel olarak hassastır. Bunun nedeni, beta hücrelerinde katalaz, glutatyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan savunma enzimlerinin birçok dokuya göre daha sınırlı düzeyde bulunmasıdır [6,7].

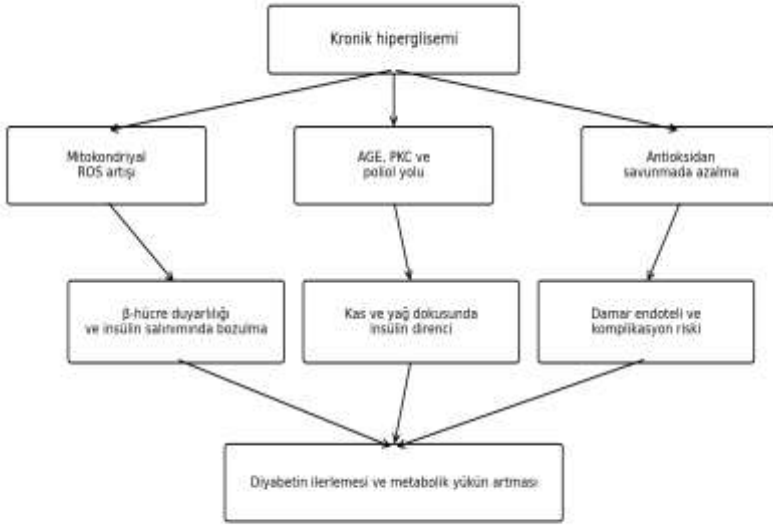
Uzun süreli glukotoksisite ve lipotoksisite, beta hücrelerinde mitokondriyal hasar, endoplazmik retikulum stresi ve apoptoza giden sinyalleri artırabilmektedir. Bu süreç ilerledikçe insülin salgılama kapasitesi azalmakta ve tip 2 diyabetin klinik tablosu daha belirgin hale gelmektedir [6,7].

Oksidatif stres insülin direnciyle de yakından ilişkilidir. Serbest radikaller, insülin reseptörü sonrası sinyal iletimini bozabilmekte, inflamatuvar yolakları uyarmakta ve kas ile yağ dokusunda glukoz alımını azaltabilmektedir [37].

Damar duvarında oksidatif stres artışı, nitrik oksit biyoyararlanımını azaltarak endotelial fonksiyon bozukluğuna katkı sağlayabilmektedir. Bu durum diyabette hipertansiyon, ateroskleroz ve kardiyovasküler komplikasyon riskinin artmasıyla ilişkilendirilmektedir [5,37].

Bitkisel biyoaktif bileşiklerin diyabet araştırmalarında ilgi görmesinin önemli nedenlerinden biri, antioksidan ve antiinflamatuvar etkilerinin glukoz metabolizması üzerindeki dolaylı katkılarıdır. Polifenoller ve flavonoidler serbest radikalleri sprebilmekte, bazı antioksidan yanıt yollarını destekleyebilmekte ve hücresel hasarın şiddetini azaltabilmektedir [7,8].

Bununla birlikte antioksidan etki, bitkisel ürünlerin tek başına diyabet tedavisi anlamına gelmez. Daha doğru yaklaşım, oksidatif stresi azaltma potansiyelinin insülin duyarlılığı, beta hücre fonksiyonu ve postprandiyal glukoz kontrolü gibi diğer mekanizmalarla birlikte değerlendirilmesidir [5,8].



Şekil 2.1: Diyabette oksidatif stresin metabolik etkileri

3. BİTKİLERİN ANTİDİYABETİK ETKİ MEKANİZMALARI

3.1. Bitkisel Ürünlerin Genel Antidiyabetik Etki Çerçevesi

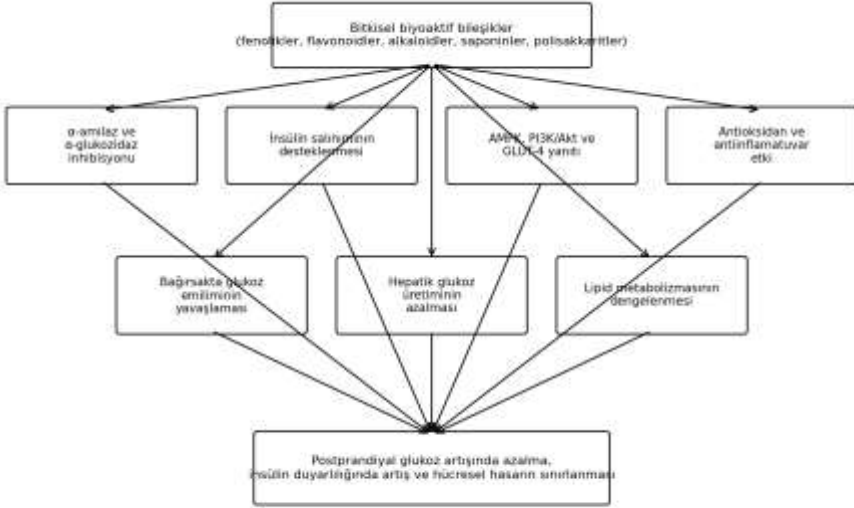
Bitkisel ürünlerin antidiyabetik etkileri tek bir mekanizmayla açıklanamaz. Bazı bitkiler karbonhidrat sindirimini yavaşlatırken, bazıları insülin duyarlılığını artırmakta, bazıları beta hücre hasarını azaltmakta, bazıları ise oksidatif stres ve inflamatuvar yanıt üzerinde etkili olabilmektedir [8,11,12].

Bu çok yönlü etki biçimi, bitkilerdeki kimyasal çeşitlilikten kaynaklanmaktadır. Fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloidler, saponinler, tanenler, terpenoidler ve polisakkaritler aynı bitki içinde birlikte bulunabilmekte ve farklı moleküler hedefler üzerinden glukoz homeostazına katkı sağlayabilmektedir [8,11].

Bitkisel ürünlerin araştırma değeri, özellikle tip 2 diyabetin çok hedefli patofizyolojisiyle uyumludur. Tip 2 diyabette yalnızca insülin eksikliği değil, insülin direnci, karaciğerde glukoz üretimi, bağırsak glukoz emilimi, oksidatif stres ve inflamasyon birlikte yer aldığı için, tek bir etki noktasına odaklanmak çoğu zaman yetersiz kalmaktadır [4,8].

Bununla birlikte bitkilerin antidiyabetik potansiyeli değerlendirilirken aşırı iddialı ifadelerden kaçınılmalıdır. Bir bitkinin geleneksel olarak kullanılması, onun doğrudan tedavi edici olduğu anlamına gelmez; önemli

olan, hangi bileşiklerin hangi biyolojik basamakları etkilediğinin bilimsel verilerle gösterilmesidir [11,12].



Şekil 3.1: Bitkisel biyoaktif bileşiklerin antidiyabetik etki basamakları

3.2. Karbonhidrat Sindirim Enzimlerinin Baskılanması

Bitkisel ürünlerin antidiyabetik etki mekanizmaları içinde en iyi açıklanan basamaklardan biri alfa-amilaz ve alfa-glukozidaz enzimlerinin baskılanmasıdır. Alfa-amilaz nişastanın daha küçük parçalara ayrılmasını, alfa-glukozidaz ise oligosakkaritlerin emilebilir glukozla dönüşmesini sağlamaktadır [9,10].

Bu enzimlerin aktivitesinin azalması, karbonhidratların sindirim hızını düşürmekte ve glukozun kana geçişini yavaşlatmaktadır. Böylece özellikle yemek sonrası ani kan şekeri yükselmelerinin azaltılması hedeflenmektedir [9,10].

Fenolik asitler, flavonoidler, proantosiyanidinler ve tanenler bu enzimlere bağlanarak veya enzim-substrat etkileşimini azaltarak baskılayıcı etki gösterebilmektedir. Bu nedenle polifenolce zengin bitkisel kaynaklar, postprandiyal hiperglisemi açısından önemli bilimsel değerlendirme açısından önemli hale gelmiştir [8,9].

Enzim inhibisyonu, bitkisel ürünlerin etkisini açıklamada güçlü bir mekanizma sunmakla birlikte, tek başına yeterli değildir. Çünkü bir bitkinin sindirim enzimlerini baskılaması, o bitkinin insanlarda uzun dönem glisemik kontrolü iyileştireceği anlamına doğrudan gelmemektedir [9,10].

Tablo 3.1: Bitkisel ürünlerin başlıca antidiyabetik etki mekanizmaları

Mekanizma	Biyolojik açıklama	Glisemik sonuç
Alfa-amilaz / alfa-glukozidaz inhibisyonu	Karbonhidrat sindirimi yavaşlar.	Postprandiyal glukoz artışı sınırlanabilir.
İnsülin sekresyonunun desteklenmesi	Beta hücre yanıtı güçlenebilir.	Glukozun hücre içine alınması kolaylaşabilir.
İnsülin duyarlılığının artması	AMPK ve PI3K/Akt gibi yollar etkilenebilir.	Kas ve yağ dokusunda glukoz kullanımı artabilir.
Antioksidan etki	ROS yükü ve hücresel hasar azalabilir.	Beta hücre ve damar yapısı korunabilir.
Bağırsak emiliminin yavaşlaması	Lif ve müsilaj viskozite oluşturur.	Glukoz kana daha yavaş geçebilir.
Hepatik glukoz üretiminin düzenlenmesi	Glukoneogenez baskılanabilir.	Açlık glukozu üzerinde etki görülebilir.

3.3. İnsülin Sekresyonunun Desteklenmesi ve Beta Hücre Fonksiyonunun Korunması

Bazı bitkisel bileşiklerin pankreatik beta hücrelerinde insülin salınımını destekleyebildiği bildirilmektedir. Bu etki genellikle beta hücre zar potansiyeli, kalsiyum girişi, mitokondriyal enerji üretimi ve hücre içi sinyal yollarıyla ilişkilendirilmektedir [11,21].

İnsülin sekresyonunun desteklenmesi, özellikle tip 2 diyabetin erken ve orta dönemlerinde önem taşımaktadır. Bu dönemde beta hücreleri tamamen işlevsiz değildir; ancak insülin direncini dengelemek için daha fazla çalışmak zorunda kaldıkları için metabolik strese açık hale gelmektedir [4,6].

Oksidatif stresin beta hücreleri üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alındığında, antioksidan özellik taşıyan bitkisel bileşiklerin beta hücre korunmasında dolaylı katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu çerçevede flavonoidler, kurkuminoidler, kateşinler ve proantosiyanidinler dikkat çeken bileşik gruplarıdır [7,8,25].

Beta hücre fonksiyonunun korunması, yalnızca insülin salınımını artırmak anlamına gelmez. Hücrenin mitokondriyal bütünlüğünün, endoplazmik retikulum dengesinin ve inflamatuvar strese karşı dayanıklılığının korunması da bu sürecin parçasıdır [6,7].

3.4. İnsülin Duyarlılığının Artırılması ve GLUT-4 Yanıtı

İnsülin duyarlılığının artması, dokuların mevcut insüline daha iyi yanıt vermesi anlamına gelir. Tip 2 diyabette bu mekanizma özellikle kas ve yağ dokusu açısından önemlidir; çünkü bu dokularda glukoz alımının artması kan glukoz düzeyinin düşmesine katkı sağlar [4].

Kas hücrelerinde glukoz alımının temel taşıyıcılarından biri GLUT-4 olarak bilinmektedir. İnsülin sinyalinin güçlenmesi, GLUT-4 taşıyıcılarının

hücre zarına taşınmasını artırarak glukozun hücre içine girişini kolaylaştırmaktadır [4,8].

Bazı bitkisel polifenoller ve fenolik bileşikler, AMPK ve PI3K/Akt gibi hücre içi sinyal yollarını etkileyerek insülin duyarlılığını destekleyebilmektedir. AMPK aktivasyonu, enerji dengesi bozulduğunda hücreyi glukoz alımına ve yağ asidi oksidasyonuna yönlendiren önemli bir mekanizmadır [8,25].

İnsülin duyarlılığının artması, yalnızca kan şekeri açısından değil, lipid metabolizması ve inflamasyon açısından da önemlidir. İnsülin direncinin azalması, serbest yağ asidi yükünü, hepatik glukoz üretimini ve inflamatuvar sinyal yoğunluğunu sınırlayabilmektedir [4,37].

3.5. Bağırsakta Glukoz Emiliminin Azaltılması ve Lifli Yapı

Bitkisel ürünlerin bir bölümü yüksek lif, pektin, müsilaj veya polisakkarit içeriğiyle bağırsakta glukoz emilimini yavaşlatabilmektedir. Çözünür lifler bağırsak içeriğinin viskozitesini artırarak karbonhidratların enzimlerle temasını ve glukozun emilim hızını azaltabilmektedir [8,33].

Lifli yapıların glisemik yanıtı katkısı, yalnızca mekanik bir geciktirme etkisiyle sınırlı değildir. Lifler bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilerek kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumuna katkı sağlayabilir ve bu ürünler metabolik sinyal yollarını etkileyebilir [8].

Bamya, çemen otu ve bazı tohumlu bitkiler bu açıdan dikkat çekmektedir. Özellikle müsilajlı yapı, öğün sonrası glukoz yanıtının daha yavaş gelişmesine yardımcı olabilecek fiziksel bir ortam oluşturabilmektedir [19,31,33].

Glukoz emiliminin yavaşlaması, tip 2 diyabette postprandiyal hipergliseminin kontrolü açısından değerlidir. Ancak bu etkinin derecesi tüketilen miktara, hazırlama biçimine, lifin çözünürlüğüne ve kişinin genel beslenme düzenine bağlı olarak değişmektedir [8,19].

3.6. Karaciğerde Glukoz Üretiminin Baskılanması

Karaciğer, açlık döneminde glukoz üretimiyle kan şekeri dengesini koruyan temel organdır. Tip 2 diyabette insülin direnci nedeniyle karaciğer, yüksek glukoz düzeyine rağmen glukoz üretimini yeterince baskılayamaz [4].

Bazı bitkisel bileşiklerin glukoneogenez enzimleri, AMPK aktivasyonu ve hepatik lipid birikimi üzerinden karaciğer glukoz üretimini etkileyebileceği bildirilmektedir. Bu etki, özellikle insülin direnciyle birlikte seyreden açlık hiperglisemisinin anlaşılmasında önemlidir [8,25].

Yeşil çay kateşinleri, kurkumin ve bazı polifenolik bileşikler hepatik glukoz metabolizması üzerinde etkileri nedeniyle araştırılmıştır. Ancak bu etkilerin insana yansımaları, kullanılan bileşiğin biyoyararlanımına ve çalışma koşullarına göre farklılık gösterebilmektedir [16,24,25].

3.7. Oksidatif Stres ve İnflamasyonun Azaltılması

Diyabette oksidatif stres ve düşük dereceli kronik inflamasyon birbirini besleyen iki önemli süreçtir. Oksidatif stres inflamatuvar yanıtı artırabilirken, inflamasyon da reaktif oksijen türlerinin üretimini yükselterek hücrel hasarı derinleştirebilmektedir [5,37].

Bitkisel ürünlerde bulunan polifenoller, flavonoidler, kurkuminoidler, kateşinler ve proantosiyanidinler antioksidan özellikleri nedeniyle bu süreçlerde dikkat çekmektedir. Bu bileşikler serbest radikalleri doğrudan etkileyebilmekte veya endojen antioksidan savunmayı destekleyebilmektedir [7,8,25].

İnflamasyon açısından bakıldığında TNF-alfa, IL-1 beta ve IL-6 gibi sitokinlerin insülin sinyalini bozduğu bilinmektedir. Bazı bitkisel bileşikler NF-kappaB gibi inflamatuvar yolları baskılayarak insülin direncinin şiddetini azaltabilecek potansiyel göstermektedir [7,16].

Oksidatif stresin azaltılması, diyabet yönetiminde tek başına mucizevi bir yaklaşım değildir; fakat beta hücre fonksiyonu, damar sağlığı ve insülin duyarlılığıyla ilişkili olduğu için bitkisel ürünlerin destekleyici etki çerçevesinde önemli bir mekanizma olarak değerlendirilmelidir [5,7].

3.8. Fitokimyasal Bileşiklerin Rolü

Fenolik bileşikler, bitkisel antidiyabetik etkinin en fazla tartışılan gruplarından biridir. Bu bileşikler hem antioksidan özellik gösterebilmekte hem de karbonhidrat sindirim enzimlerinin aktivitesini azaltabilmektedir [8,9].

Flavonoidler, kuersetin, kaempferol, kateşinler ve antosiyaninler gibi alt grupları içeren geniş bir bileşik ailesidir. Flavonoidlerin glukoz emilimi, insülin sinyali, inflamasyon ve oksidatif stres üzerinde etkiler gösterebildiği bildirilmektedir [8,25].

Alkaloidler ve terpenoidler de bazı bitkilerde antidiyabetik etkinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu bileşiklerin etkileri bitkinin türüne ve kimyasal yapısına göre değişmekle birlikte, enzim inhibisyonu, insülin salınımı ve glukoz taşınımı gibi basamaklarda rol oynayabilmektedir [11,12].

Saponinler ve tanenler özellikle karbonhidrat sindirimi, lipid metabolizması ve bağırsak emilimi açısından önemlidir. Tanenlerin proteinlerle etkileşime girme özelliği, sindirim enzimleri üzerinde baskılayıcı etki oluşturabilmektedir [8,9].

Polisakkaritler ve müsilaj yapıları ise daha çok fiziksel ve metabolik geciktirme etkileriyle öne çıkmaktadır. Bağırsakta viskozite artışı, glukozun emilim hızını yavaşlatmakta ve öğün sonrası kan şekeri yanıtını daha dengeli hale getirebilmektedir [8,33].

Tablo 3.2: Başlıca fitokimyasal gruplar ve olası etkileri

Bileşik grubu	Örnek bileşikler	Olası antidiyabetik katkı
Fenolik bileşikler	Fenolik asitler, oleuropein	Antioksidan etki, enzim inhibisyonu, inflamasyonun azalması
Flavonoidler	Kuersetin, kaempferol, kateşinler	Glukoz taşınımı, insülin duyarlılığı, ROS azalması
Saponinler	Çemen otu saponinleri	Glukoz emilimi ve lipid metabolizması üzerine olası etki
Tanenler	Hidrolize ve kondanse tanenler	Sindirim enzimleriyle etkileşim ve antioksidan etki
Polisakkaritler ve müsilaj	Bamya müsilajı, pektinler	Bağırsakta viskozite artışı ve glukoz emiliminin yavaşlaması
Organosülfür bileşikleri	Sarımsak ve soğan bileşikleri	Antioksidan ve metabolik düzenleyici etki

4. DİYABETTE KULLANILAN BİTKİLER

Diyabette kullanılan bitkiler, geleneksel bilgi ile modern araştırmaların kesiştiği geniş bir alandır. Bu bitkilerin bazıları baharat, bazıları sebze, bazıları tıbbi bitki, bazıları ise gıda destek ürünü olarak gündeme gelmektedir [11,12,13].

Bu bölümde bitkiler tedavi önerisi olarak değil, antidiyabetik etki mekanizmalarının anlaşılmasına yardım eden örnekler olarak ele alınmıştır. Bu yaklaşım, danışmanlık gerektiren bir hastalık olan diyabette bitkilerin farmakolojik tedavinin yerine konulmaması gerektiği düşüncesiyle uyumludur [1,12].

Tablo 4.1: Antidiyabetik etkileriyle incelenen bazı bitkiler

Türkçe ad	Latince ad	Öne çıkan bileşikler	Temel mekanizma
Tarçın	<i>Cinnamomum verum</i> / <i>Cinnamomum cassia</i>	Sinnamaldehit, polifenoller	İnsülin sinyali ve glisemik yanıt üzerine olası etki
Zerdeçal	<i>Curcuma longa</i>	Kurkumin	Antioksidan ve antiinflamatuvar etki, beta hücre desteği
Çörek otu	<i>Nigella sativa</i>	Timokinon	İnsülin yanıtı, oksidatif stres ve inflamasyon üzerine etki
Çemen otu	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Lif, saponin, hidroksiizolösin	Glukoz emiliminin yavaşlaması ve glisemik kontrol
Kudret narı	<i>Momordica charantia</i>	Charantin, vicine	İnsülin benzeri etki ve glukoz kullanımının

			desteklenmesi
Gymnema	<i>Gymnema sylvestre</i>	Gymnemik asitler	Glukoz emilimi ve insülin sekresyonu üzerine olası etki
Aloe	<i>Aloe vera</i>	Polisakkaritler, fenolikler	Glisemik kontrol ve antioksidan destek
Yeşil çay	<i>Camellia sinensis</i>	Kateşinler, EGCG	Antioksidan etki ve glukoz metabolizması
Üzüm çekirdeği	<i>Vitis vinifera</i>	Proantosiyanidinler	Oksidatif stres ve inflamasyon üzerine etki
Zeytin yaprağı	<i>Olea europaea</i>	Oleuropein	Antioksidan ve metabolik destekleyici etki
Sarımsak	<i>Allium sativum</i>	Organosülfür bileşikleri	Glukoz ve lipid metabolizması üzerine olası etki
Soğan	<i>Allium cepa</i>	Kuersetin, organosülfürler	Antioksidan etki ve insülin yanıtı

4.1. Tarçın

Tarçın, *Cinnamomum* türlerinin kabuklarından elde edilen ve tip 2 diyabet çalışmalarında sık incelenen bir baharattır. *Cinnamomum verum* ve *Cinnamomum cassia* türleri, fenolik bileşikleri ve sinnamaldehit gibi aktif bileşenleri nedeniyle glukoz metabolizmasıyla ilişkilendirilmiştir [15].

Tarçının olası etkileri arasında insülin sinyalinin güçlenmesi, glukoz alımının artması, mide boşalmasının yavaşlaması ve antioksidan etkinin desteklenmesi sayılmaktadır. Bununla birlikte klinik çalışmalarda sonuçlar her zaman aynı yönde değildir ve bu nedenle tarçın daha çok destekleyici potansiyel taşıyan bir bitkisel kaynak olarak değerlendirilmelidir [15].

Allen ve arkadaşlarının meta-analizinde tarçın kullanımının açlık plazma glukozu ve bazı lipid parametrelerinde azalmayla ilişkili bulunması, tarçının diyabet araştırmalarındaki yerini güçlendirmiştir. Ancak kullanılan tarçın türü, doz, süre ve hasta grubu farklılıkları, sonuçların genelleştirilmesini güçleştirmektedir [15].

4.2. Zerdeçal

Zerdeçalın ana biyoaktif bileşeni kurkumindir ve *Curcuma longa* köklerinden elde edilmektedir. Kurkuminin antidiyabetik etkisi en çok antioksidan, antiinflamatuvar, insülin duyarlılığını destekleyici ve beta hücre fonksiyonunu koruyucu mekanizmalarla açıklanmaktadır [16,17].

Kurkumin, NF-kappaB gibi inflamasyonla ilişkili yolları ve oksidatif stres yanıtını etkileyebildiği için tip 2 diyabetin metabolik zemininde anlamlı bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu özellik, kurkuminin yalnızca kan şekeri değil, diyabete eşlik eden inflamatuvar yük açısından da tartışılmasına neden olmaktadır [16,17].

Bununla birlikte kurkuminin biyoyararlanımı sınırlıdır. Bu nedenle deneysel çalışmalarda gösterilen etkilerin insan çalışmalarına aynı güçte yansması her zaman beklenmemelidir. Yine de zerdeçal, bitkisel biyoaktif bileşiklerin çok yönlü etki gösterebileceğini açıklamak için iyi bir örnek oluşturmaktadır [16,17].

4.3. Çörek otu

Çörek otu, *Nigella sativa* tohumlarından elde edilen ve geleneksel kullanımda geniş yer bulan bir bitkidir. Tohum ve yağ fraksiyonlarında timokinon başta olmak üzere uçucu yağ bileşenleri, alkaloidler ve fenolik yapılar bulunmaktadır [18].

Nigella sativa üzerine yapılan sistematik değerlendirmelerde, bazı klinik çalışmalarda açlık glukozu, HbA1c ve insülin direnci göstergelerinde iyileşmeler bildirilmiştir. Bu etkilerin insülin salınımı, antioksidan etki, inflamasyonun azalması ve lipid metabolizmasının düzenlenmesiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir [18].

Çörek otu, diyabet araştırmalarında dikkat çekmekle birlikte, her bitkisel üründe olduğu gibi sonuçlar kullanılan form, doz ve çalışma süresine göre değişmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında çörek otu, mekanizma çeşitliliğini gösteren örnek bitkilerden biri olarak ele alınmıştır [18].

4.4. Çemen otu

Çemen otu, *Trigonella foenum-graecum* tohumlarının yüksek lif, saponin ve 4-hidroksiizolösin gibi bileşenleri nedeniyle diyabetle ilişkilendirilen bir bitkidir. Çözünür lif yapısı, bağırsakta karbonhidrat emilimini yavaşlatabilecek özellik taşımaktadır [19,20].

Çemen tohumunun glisemik kontrol üzerindeki etkileri klinik çalışmalar ve meta-analizlerde incelenmiştir. Bazı değerlendirmelerde açlık glukozu, öğün sonrası glukoz ve HbA1c üzerinde olumlu etkiler bildirilmiştir [19,20].

Çemen otu, bitkisel lif ve biyoaktif amino asit bileşenlerinin diyabet mekanizmasındaki yerini göstermek açısından önemlidir. Bu bitkide etki yalnızca antioksidan özellikten değil, aynı zamanda sindirim, emilim ve insülin yanıtıyla ilişkili çoklu basamaklardan kaynaklanmaktadır [19,20].

4.5. Kudret narı

Kudret narı, *Momordica charantia* meyvesiyle tanınan ve özellikle Asya geleneksel tıbbında diyabetle ilişkilendirilen bir bitkidir. Meyve, tohum ve yapraklarında charantin, vicine, polipeptid-p ve çeşitli fenolik bileşikler bulunduğu bildirilmektedir [23].

Kudret narı için öne sürülen mekanizmalar arasında insülin benzeri etki, glukoz kullanımının artması, karaciğerde glukoz üretiminin azalması ve bağırsak glukoz emiliminin sınırlanması bulunmaktadır. Ancak Cochrane

değerlendirmesinde klinik kanıtların sınırlı ve çalışmaların heterojen olduğu belirtilmiştir [23].

Bu nedenle *Momordica charantia*, geleneksel kullanımın güçlü olduğu fakat klinik kanıtların dikkatle yorumlanması gereken bitkilere iyi bir örnektir. Çalışma açısından bu durum, bitkisel ürünlerin mekanistik potansiyelinin bilimsel kanıtla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir [23].

4.6. *Gymnema*

Gymnema sylvestre, özellikle Hindistan geleneksel tıbbında şeker tadını azaltıcı özelliğiyle bilinen bir bitkidir. Yapraklarında bulunan gymnemik asitlerin bağırsakta glukoz emilimini azaltabileceği ve pankreatik insülin yanıtını destekleyebileceği belirtilmektedir [21].

Gymnema sylvestre için öne çıkan mekanizmalardan biri, bağırsak glukoz taşıma süreçlerinin ve tat reseptörleriyle ilişkili algnın etkilenmesidir. Bu özellik, bitkisel ürünlerin yalnızca hücre içi metabolik yollarla değil, sindirim ve davranışsal beslenme yanıtlarıyla da ilişkili olabileceğini göstermektedir [21].

Gymnema örneği, bitkisel ürünlerin antidiyabetik etkisinin bazen doğrudan glukoz metabolizması, bazen iştah ve tat algısı, bazen de insülin salınımı üzerinden açıklanabileceğini düşündürmektedir [21].

4.7. *Aloe vera*

Aloe vera, yaprak jelinde polisakkaritler, fenolik bileşikler, vitaminler ve çeşitli biyoaktif maddeler taşıyan bir bitkidir. Diyabetle ilişkili çalışmalarda özellikle açlık glukozu ve HbA1c üzerindeki etkileri incelenmiştir [22].

Suksomboon ve arkadaşlarının sistematik derleme ve meta-analizinde, *Aloe vera* kullanımının prediyabet ve tip 2 diyabette glisemik kontrol üzerinde bazı olumlu etkiler gösterebileceği belirtilmiştir. Ancak çalışmalar arasında belirgin heterojenlik olduğu için sonuçlar ihtiyatla değerlendirilmelidir [22].

Aloe vera, bitkisel polisakkaritlerin ve antioksidan bileşenlerin glukoz metabolizmasına olası katkısını göstermek açısından önemlidir. Buna rağmen bitkinin hangi formunun, hangi dozda ve hangi hasta grubunda daha etkili olduğunun netleşmesi için daha tutarlı verilere ihtiyaç bulunmaktadır [22].

4.8. *Yeşil çay*

Yeşil çay, *Camellia sinensis* yapraklarından elde edilmekte ve kateşinler bakımından zengin bir içecek olarak bilinmektedir. Epigallokateşin gallat gibi kateşinler, antioksidan ve antiinflamatuvar etkileri nedeniyle glukoz metabolizmasıyla ilişkilendirilmiştir [24,25].

Yeşil çayın olası antidiyabetik etkileri arasında alfa-glukozidaz aktivitesinin azalması, hepatik glukoz üretiminin baskılanması, insülin duyarlılığının desteklenmesi ve oksidatif stresin sınırlanması yer almaktadır [24,25].

Klinik çalışmaları değerlendiren meta-analizlerde yeşil çay tüketiminin kısa dönem açlık glukozu üzerinde bazı etkiler gösterebildiği, ancak HbA1c ve insülin göstergelerinde sonuçların daha sınırlı olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle yeşil çay, mekanistik olarak güçlü fakat klinik etkisi değişken bir bitkisel kaynak olarak değerlendirilmelidir [24].

4.9. Üzüm çekirdeği

Üzüm çekirdeği, *Vitis vinifera* kaynaklı proantosiyanidinler bakımından zengin bir bitkisel üründür. Proantosiyanidinlerin güçlü antioksidan etkileri, diyabetin oksidatif stresle ilişkili yönleri açısından dikkat çekmektedir [26,27].

Tip 2 diyabetli bireylerde üzüm çekirdeği ekstreleriyle yapılan çalışmalarda glisemik göstergeler, inflamasyon belirteçleri ve oksidatif stres parametreleri üzerinde etkiler araştırılmıştır. Bazı çalışmalarda inflamasyon ve glisemik yük üzerinde iyileşmeler bildirilmiştir [26,27].

Üzüm çekirdeği örneği, polifenollerin diyabette yalnızca glukoz düşürücü değil, aynı zamanda damar sağlığı ve oksidatif stres üzerinden dolaylı destekleyici etki gösterebileceğini açıklamak için önemlidir [26,27].

4.10. Zeytin yaprağı, sarımsak ve soğan

Zeytin yaprağı, *Olea europaea* bitkisinin fenolik bileşikleriyle, özellikle oleuropein içeriğiyle öne çıkmaktadır. Zeytin yaprağı ekstrelerinin antioksidan, antiinflamatuvar ve glukoz metabolizmasıyla ilişkili etkileri nedeniyle diyabet araştırmalarında yer aldığı görülmektedir [28].

Sarımsak, *Allium sativum* türüne ait kükürtlü bileşikler, flavonoidler ve antioksidan özellik taşıyan maddeler içermektedir. Klinik çalışmaları değerlendiren meta-analizlerde sarımsağın glukoz ve lipid parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiş, bazı olumlu sonuçlar bildirilmiştir [29].

Soğan, *Allium cepa* türünün özellikle kuersetin ve organosülfür bileşikleriyle ilişkilendirilen bir sebzedir. Diyabet çalışmalarında soğan bileşenlerinin antioksidan etki, insülin yanıtı ve lipid metabolizması üzerinden destekleyici potansiyel taşıyabileceği tartışılmaktadır [30].

Bu üç bitki, Türkiye beslenme kültüründe yaygın yer alan gıdaların da antidiyabetik mekanizmalar açısından araştırılabileceğini göstermektedir. Ancak bu durum, gündelik besinlerin ilaç yerine geçeceği anlamına gelmez; bilimsel değer, mekanizmanın anlaşılması ve destekleyici etkilerin doğru yorumlanmasıyla ortaya çıkmaktadır [28,29,30].

4.11. Türkiye florasında geleneksel kullanım örnekleri

Türkiye florası, tıbbi bitkiler açısından zengin bir kaynaktır ve diyabetle ilişkili geleneksel kullanımlar etnobotanik çalışmalarda sıkça kayıt altına alınmıştır. Sarıkaya ve arkadaşları, Türkiye florasında diyabet tedavisinde kullanılan bitkilerin özellikle Rosaceae, Lamiaceae ve Asteraceae familyalarında toplandığını bildirmiştir [13].

Bu çalışmada en yaygın kullanılan türler arasında *Cerasus mahaleb*, *Rosa canina*, *Teucrium polium*, *Urtica dioica* ve *Viscum album* yer almıştır. Bu bitkiler geleneksel kullanım açısından önemli olmakla birlikte, modern diyabet tedavisindeki yerlerinin belirlenmesi için mekanistik ve klinik kanıtların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir [13].

Urtica dioica, yani ısırgan, fenolik bileşikler, flavonoidler ve mineral içeriği nedeniyle farklı biyolojik etkilerle ilişkilendirilmektedir. Diyabet açısından değerlendirildiğinde olası etkiler daha çok antioksidan yanıt, glukoz metabolizması ve inflamasyonla ilişkilendirilmektedir [13].

Teucrium polium, Türkiye'de kısımahmut olarak bilinen ve geleneksel kullanımı bulunan bir bitkidir. Bu türün diyabetle ilişkili çalışmalarda yer alması, Lamiaceae familyasının fitokimyasal zenginliğiyle bağlantılıdır [13].

Rosa canina, kuşburnu olarak bilinen ve C vitamini, fenolik bileşikler ve antioksidan kapasite açısından dikkat çeken bir türdür. Diyabet bağlamında kuşburnu daha çok oksidatif stres ve metabolik komplikasyonlarla ilişkili bir destekleyici bitki örneği olarak değerlendirilmektedir [13].

Viscum album ve *Cerasus mahaleb* gibi türlerin geleneksel kayıtlarda yer alması, Türkiye florasının yalnızca besinsel değil, farmakognozik araştırmalar açısından da değerli olduğunu göstermektedir. Bu türlerin diyabet mekanizmalarıyla ilişkilendirilmesi için kontrollü bilimsel çalışmaların artırılması gerekmektedir [13].

Tablo 4.2: Türkiye florasında diyabetle ilişkili geleneksel kullanım örnekleri

Latince ad	Familiya	Değerlendirme
<i>Cerasus mahaleb</i>	Rosaceae	Geleneksel kullanım kayıtlarında diyabetle ilişkilendirilmiştir.
<i>Rosa canina</i>	Rosaceae	Antioksidan kapasite ve fenolik içerik yönünden önemlidir.
<i>Teucrium polium</i>	Lamiaceae	Türkiye florasında diyabetle ilişkili geleneksel kullanımı bildirilmiştir.
<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae	Flavonoid ve fenolik içeriği nedeniyle metabolik etkiler açısından incelenmektedir.
<i>Viscum album</i>	Santalaceae	Etnobotanik kayıtlarda diyabetle ilişkili kullanımlar arasında yer almaktadır.

Bamya, *Abelmoschus esculentus* türüne ait, meyvesi ve tohumu beslenmede kullanılan bir bitkidir. Bamyanın diyabetle ilişkilendirilmesinde

en önemli özelliklerinden biri çözünür lif ve müsilaç içeriğidir. Bu yapı bağırsak içeriğinin viskozitesini artırarak karbonhidrat sindirimini ve glukoz emilimini yavaşlatabilecek fiziksel bir ortam oluşturabilmektedir. Bamya meyvesi ve tohumunda fenolik bileşikler, flavonoidler, polisakkaritler, proantosiyanidinler ve çeşitli besin bileşenleri bulunmaktadır. Bu bileşenlerin bir bölümü antioksidan özellikleriyle, bir bölümü ise sindirim enzimleri üzerindeki etkileriyle diyabet araştırmalarında değerlendirilmiştir [31,33,34]. Bamyanın tohum kısmı, fenolik içerik ve biyoaktif fraksiyonlar açısından ayrıca önem taşımaktadır. Tohum ekstraktları üzerine yapılan çalışmalar, antioksidan kapasite ve metabolik etkiler yönünden bamya tohumunun araştırılmaya değer bir kaynak olduğunu göstermektedir [35].

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Diabetes mellitus, insülin eksikliği veya insülin etkisindeki bozulma sonucunda ortaya çıkan; ancak etkileri glukoz yüksekliğiyle sınırlı kalmayan kronik bir metabolik hastalıktır. Hastalığın özellikle tip 2 diyabet formunda insülin direnci, beta hücre yetersizliği, karaciğerde glukoz üretimi, bağırsak glukoz emilimi, inflamasyon ve oksidatif stres birlikte rol oynamaktadır [1,4,5].

Oksidatif stres, diyabetin hem ortaya çıkışı hem de komplikasyonları açısından merkezi öneme sahiptir. Kronik hiperglisemi reaktif oksijen türlerini artırmakta, beta hücre fonksiyonunu bozmakta, insülin direncini derinleştirmekte ve damar hasarına zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle antioksidan özellik taşıyan bitkisel bileşiklerin diyabet araştırmalarındaki yeri yalnızca destekleyici değil, aynı zamanda mekanistik açıdan da anlamlıdır [5,6,7].

Literatür birlikte değerlendirildiğinde bitkisel ürünlerin diyabette en sık üç ana mekanizma üzerinden tartışıldığı görülmektedir. Bunlar karbonhidrat sindirim enzimlerinin baskılanması, insülin duyarlılığının desteklenmesi ve oksidatif stresin azaltılmasıdır. Bu mekanizmalara ek olarak beta hücre fonksiyonunun korunması, karaciğer glukoz üretiminin düzenlenmesi, bağırsak glukoz emiliminin yavaşlatılması ve inflamatuvar yanıtın baskılanması da önemli mekanizma başlıklarıdır.

Bu Çalışmada incelenen literatür, bitkisel ürünlerin antidiyabetik etkilerinin çok yönlü olduğunu göstermektedir. Bitkilerde bulunan fenolik bileşikler, flavonoidler, saponinler, tanenler, alkaloidler, terpenoidler, lifler ve polisakkaritler; alfa-amilaz ve alfa-glukozidaz inhibisyonu, insülin duyarlılığının artması, GLUT-4 yanıtının desteklenmesi, karaciğerde glukoz üretiminin düzenlenmesi ve oksidatif stresin azaltılması gibi mekanizmalarla ilişkilendirilmektedir [8,9,10].

Tarçın, zerdeçal, çörek otu, çemen otu, kudret narı, *Gymnema*, *Aloe vera*, yeşil çay, üzüm çekirdeği, zeytin yaprağı, sarımsak, soğan ve Türkiye florasında geleneksel kullanımı bulunan bazı bitkiler, farklı etki

basamaklarıyla antidiyabetik potansiyel göstermektedir. Bamyacı bu genel çerçeve içinde özellikle lif, mäsılaj, fenolik bileşikler ve proantosiyanidinler yönünden dikkat çeken bir örnektir. Bamyanın alfa-amilaz ve alfa-glukozidaz enzimleri üzerindeki etkileri, postprandiyal glukoz kontrolü açısından araştırılmaya değer bir mekanizma sunmaktadır.

REFERANSLAR

- [1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2025). 2. Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2025. *Diabetes Care*, 48(Suppl. 1), S27-S49. <https://doi.org/10.2337/dc25-S002>
- [2] World Health Organization. (2024). Diabetes. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>. (Erişim tarihi: 03.06.2026).
- [3] International Diabetes Federation. (2025). IDF Diabetes Atlas, 11th edition. International Diabetes Federation, Brussels.
- [4] DeFronzo, R.A. (2009). From the triumvirate to the ominous octet: A new paradigm for the treatment of type 2 diabetes mellitus. *Diabetes*, 58(4), 773-795. <https://doi.org/10.2337/db09-9028>
- [5] Giacco, F., Brownlee, M. (2010). Oxidative stress and diabetic complications. *Circulation Research*, 107(9), 1058-1070. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.110.223545>
- [6] Robertson, R.P. (2004). Chronic oxidative stress as a central mechanism for glucose toxicity in pancreatic islet beta cells in diabetes. *Journal of Biological Chemistry*, 279(41), 42351-42354. <https://doi.org/10.1074/jbc.R400019200>
- [7] Dinić, S., Arambašić Jovanović, J., Uskoković, A., Mihailović, M., Grdović, N., Marković, J., Karadžić, J., Tolić, A., Rajić, J., Poznanović, G., Vidaković, M. (2022). Oxidative stress-mediated beta cell death and dysfunction as a target for diabetes management. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 1006376. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1006376>
- [8] Hanhineva, K., Törrönen, R., Bondia-Pons, I., Pekkinen, J., Kolehmainen, M., Mykkänen, H., Poutanen, K. (2010). Impact of dietary polyphenols on carbohydrate metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(4), 1365-1402. <https://doi.org/10.3390/ijms11041365>
- [9] Dirir, A.M., Daou, M., Yousef, A.F., Yousef, L.F. (2022). A review of alpha-glucosidase inhibitors from plants as potential candidates for the treatment of type-2 diabetes. *Phytochemistry Reviews*, 21(4), 1049-1079. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09773-1>
- [10] Kashtoh, H., Baek, K.H. (2023). New insights into the latest advancement in alpha-amylase inhibitors of plant origin with anti-diabetic effects. *Plants*, 12(16), 2944. <https://doi.org/10.3390/plants12162944>
- [11] Modak, M., Dixit, P., Londhe, J., Ghaskadbi, S., Devasagayam, T.P.A. (2007). Indian herbs and herbal drugs used for the treatment of diabetes. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 40(3), 163-173. <https://doi.org/10.3164/jcbrn.40.163>
- [12] Kooti, W., Farokhipour, M., Asadzadeh, Z., Ashtary-Larky, D., Asadi-Samani, M. (2016). The role of medicinal plants in the treatment of diabetes: A systematic review. *Electronic Physician*, 8(1), 1832-1842. <https://doi.org/10.19082/1832>

[13] Sarıkaya, S., Öner, H., Harput, Ü.Ş. (2009). Türkiye florasında diyabet tedavisinde kullanılan tıbbi bitkiler. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 38(4), 317-342.

[14] Orhan, N., Aslan, M., Şüküroğlu, M. (2010). Diyabet tedavisinde kullanılan bitkisel ürünler ve gıda destekleri. *MİSED*, Mayıs 2010, 27-38.

[15] Allen, R.W., Schwartzman, E., Baker, W.L., Coleman, C.I., Phung, O.J. (2013). Cinnamon use in type 2 diabetes: An updated systematic review and meta-analysis. *Annals of Family Medicine*, 11(5), 452-459. <https://doi.org/10.1370/afm.1517>

[16] Pivari, F., Mingione, A., Brasacchio, C., Soldati, L. (2019). Curcumin and type 2 diabetes mellitus: Prevention and treatment. *Nutrients*, 11(8), 1837. <https://doi.org/10.3390/nu11081837>

[17] Marton, L.T., Pescinini-E-Salzedas, L.M., Camargo, M.E.C., Barbalho, S.M., Haber, J.F.S., Sinatora, R.V., Detregiachi, C.R.P., Girio, R.J.S., Buchaim, D.V., Cincotto dos Santos Bueno, P. (2021). The effects of curcumin on diabetes mellitus: A systematic review. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 669448. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.669448>

[18] Hamdan, A., Haji Idrus, R., Mokhtar, M.H. (2019). Effects of *Nigella sativa* on type-2 diabetes mellitus: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 4911. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244911>

[19] Neelakantan, N., Narayanan, M., de Souza, R.J., van Dam, R.M. (2014). Effect of fenugreek intake on glycemia: A meta-analysis of clinical trials. *Nutrition Journal*, 13, 7. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-7>

[20] Kim, J., Jayedi, A., Joseph, P., Shab-Bidar, S. (2023). The effect of fenugreek in type 2 diabetes and prediabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 13999. <https://doi.org/10.3390/ijms241813999>

[21] Kanetkar, P., Singhal, R., Kamat, M. (2007). *Gymnema sylvestre*: A memoir. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 41(2), 77-81. <https://doi.org/10.3164/jcbrn.2007010>

[22] Suksomboon, N., Poolsup, N., Punthanitisarn, S. (2016). Effect of *Aloe vera* on glycaemic control in prediabetes and type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 41(2), 180-188. <https://doi.org/10.1111/jcpt.12382>

[23] Ooi, C.P., Yassin, Z., Hamid, T.A. (2012). *Momordica charantia* for type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8, CD007845. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007845.pub3>

[24] Xu, R., Bai, Y., Yang, K., Chen, G. (2020). Effects of green tea consumption on glycemic control: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition and Metabolism*, 17, 56. <https://doi.org/10.1186/s12986-020-00469-5>

[25] Wen, L., Wu, D., Tan, X., Zhong, M., Xing, J., Li, W., Yin, F. (2022). The role of catechins in regulating diabetes: An update review. *Nutrients*, 14(21), 4681. <https://doi.org/10.3390/nu14214681>

[26] Ghanbari, P., Koohdani, F., Rashidi, A., et al. (2024). The effects of grape seed extract supplementation on glycemic control and inflammatory markers: A systematic review and meta-analysis. *BMC Nutrition*, 10, Article 38.

- [27] Kar, P., Laight, D., Rooprai, H.K., Shaw, K.M., Cummings, M. (2009). Effects of grape seed extract in type 2 diabetic subjects at high cardiovascular risk: A double blind randomized placebo controlled trial. *Diabetic Medicine*, 26(5), 526-531. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2009.02727.x>
- [28] Mansour, H.M.M., et al. (2023). Antioxidant and anti-diabetic properties of olive (*Olea europaea* L.) leaf extract. *Antioxidants*, 12(6), 1210.
- [29] Wang, J., Zhang, X., Lan, H., Wang, W. (2017). Effect of garlic supplement in the management of type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Food and Nutrition Research*, 61(1), 1377571. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1377571>
- [30] Akash, M.S.H., Rehman, K., Chen, S. (2014). Spice plant *Allium cepa*: Dietary supplement for treatment of type 2 diabetes mellitus. *Nutrition*, 30(10), 1128-1137. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.02.011>
- [31] Nikpayam, O., Safaei, E., Bahreini, N., Saghafi-Asl, M. (2021). The effects of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) products on glycemic control and lipid profile: A comprehensive systematic review. *Journal of Functional Foods*, 87, 104795. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104795>
- [32] Zhang, X., et al. (2024). The effects of okra consumption on glycemic parameters and lipid profiles: A systematic review and meta-analysis. *Food Science and Nutrition*, 12, 9043-9056.
- [33] Dantas, T.L., Alonso Buriti, F.C., Florentino, E.R. (2021). Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) as a potential functional food source of mucilage and bioactive compounds with technological applications and health benefits. *Plants*, 10(8), 1683. <https://doi.org/10.3390/plants10081683>
- [34] Lu, Y., Demleitner, M.F., Song, L., Rychlik, M., Huang, D. (2016). Oligomeric proanthocyanidins are the active compounds in *Abelmoschus esculentus* Moench for its alpha-amylase and alpha-glucosidase inhibition activity. *Journal of Functional Foods*, 20, 463-471. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.10.037>
- [35] Doreddula, S.K., Bonam, S.R., Gaddam, D.P., Desu, B.S.R., Ramarao, N., Pandey, V. (2014). Phytochemical analysis, antioxidant, antistress, and nootropic activities of aqueous and methanolic seed extracts of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) in mice. *The Scientific World Journal*, 2014, 519848. <https://doi.org/10.1155/2014/519848>
- [36] Haque, M.A., Hossain, M.S., Sayed, N.M.A., Islam, M.T., Khan, M.R., Ahmmed, F., Zohora, F.T., Agagündüz, D., Ming, L.C., Capasso, R. (2022). *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench pod extract showed antagonistic effects against the synergistic antidiabetic activity of metformin and acarbose upon concomitant administration in glucose-induced hyperglycemic mice. *Biologics*, 2(2), 128-138. <https://doi.org/10.3390/biologics2020010>
- [37] Ceriello, A., Motz, E. (2004). Is oxidative stress the pathogenic mechanism underlying insulin resistance, diabetes, and cardiovascular disease? The common soil hypothesis revisited. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 24(5), 816-823. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000122852.22604.78>

Sanal Gerçeklik Gözlüklerinin Hemodiyaliz Hastalarının Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisi

İzzettin EKİNCİ

Bingöl Üniversitesi SHMYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri E-posta: iekinci@bingol.edu.tr
ORCID: 0000-0003-0418-6773

ÖZET

Kronik böbrek hastalığının son evresinde yaşamı sürdürebilmenin temel yöntemlerinden biri olan hemodiyaliz, haftada üç kez, seans başına ortalama üç ila dört saat süren, yaşam boyu devam eden bir tedavi biçimidir. Bu tedavi süreci; arteriyovenöz fistül kanülasyonuna bağlı tekrarlayan ağrı, tedavi öncesi ve sırasında yaşanan anksiyete, uzun ve monoton seans süresine bağlı sıkılma ve zaman algısında yavaşlama, hareketsizliğe bağlı fiziksel yetersizlik, yorgunluk ve depresif belirtiler nedeniyle hastaların sağlıklı ilişkili yaşam kalitesini ciddi biçimde olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda, baş üstü ekranlar (head-mounted display) aracılığıyla kullanılan sanal gerçeklik (SG) gözlükleri, dikkati başka yöne çekme (distraksiyon) ilkesine dayanan, düşük maliyetli, ilaç dışı ve nispeten güvenli bir tamamlayıcı girişim olarak hemodiyaliz hemşireliği ve nefroloji literatüründe giderek artan bir ilgi görmektedir. Bu kitap bölümünde, PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library ve CINAHL gibi uluslararası veri tabanlarında taranan, çoğunluğu 2019-2026 yılları arasında yayımlanmış randomize kontrollü çalışmalar, sistematik derlemeler, meta-analizler ve protokol makaleleri temel alınarak; sanal gerçeklik gözlüklerinin hemodiyaliz hastalarında ağrı, anksiyete, depresyon, semptom yükü, hemodinamik parametreler, fiziksel fonksiyon ve genel yaşam kalitesi üzerindeki etkileri sistematik biçimde ele alınmaktadır. Ayrıca sanal gerçekliğin etki mekanizmaları, uygulama güvenliği, siber hastalık (cybersickness) riski, klinik uygulamaya entegrasyon koşulları ve gelecek araştırma gereksinimleri tartışılmaktadır. Derlenen kanıtlar, sanal gerçeklik gözlüklerinin özellikle fistül kanülasyonuna bağlı ağrı ve işlem anksiyetesinin azaltılmasında tutarlı ve istatistiksel olarak anlamlı yararlar sağladığını; intradiyalitik egzersizle birleştirildiğinde fiziksel performans ve depresif belirtiler üzerinde de olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, örneklem büyüklüklerinin sınırlı olması, izlem sürelerinin kısalığı ve metodolojik heterojenlik, bulguların klinik rehberlere dönüştürülmesi önünde hâlâ önemli sınırlılıklar oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sanal Gerçeklik, Hemodiyaliz, Yaşam Kalitesi, Ağrı, Anksiyete, Kronik Böbrek Hastalığı.

1. GİRİŞ

Kronik böbrek hastalığı (KBH), dünya genelinde hızla artan yükü ile günümüzün en önemli bulaşıcı olmayan hastalıklarından biri hâline gelmiştir. Global Burden of Disease (GBD) 2023 çalışmasına göre 2023 yılında dünya genelinde 20 yaş ve üzeri 788 milyon yetişkin kronik böbrek hastalığı ile yaşamakta olup, bu sayı 1990 yılındaki 378 milyon rakamının iki katından

fazladır; yaş standardize edilmiş küresel prevalans %14,2 olarak bildirilmiştir. Aynı çalışmada kronik böbrek hastalığı, 2023 yılında küresel ölüm nedenleri sıralamasında dokuzuncu sırada yer almış ve 1,48 milyon ölümden sorumlu tutulmuştur.

Hastalığın en ileri evresi olan böbrek yetmezliğinde, yaşamın sürdürülebilmesi için böbrek replasman tedavisi (BRT) gerekli hâle gelmektedir. GBD 2023 verilerine göre 2023 yılında dünya genelinde böbrek replasman tedavisi alan kişi sayısı 4,6 milyona ulaşmış olup, bu rakam 1990 yılındaki 1,6 milyon kişiye kıyasla yaklaşık üç kat artış göstermiştir; diyaliz için yaşa göre standardize edilmiş prevalans yüz binde 39,3 olarak hesaplanmıştır. Hemodiyaliz, dünya genelinde böbrek yetmezliği olan hastaların yarısından fazlasına sunulan, en yaygın böbrek replasman tedavisi biçimi olmaya devam etmektedir; küresel ölçekte incelenen 165 ülkenin 162'sinde hemodiyaliz hizmetine erişim bulunduğu bildirilmektedir.

Hemodiyaliz, hastaların haftada genellikle üç kez, her seferinde üç ile dört saat süren tedavi seanslarına gelmelerini gerektiren, ömür boyu sürebilecek bir tedavi biçimidir. Bu tedavi süreci yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda psikolojik ve sosyal boyutlarıyla da hastaların yaşamını derinden etkilemektedir. Arteriyovenöz fistül (AVF) veya greft yoluyla yapılan iğne girişimleri her seansta tekrarlanan bir ağrı kaynağı oluştururken, tedavinin öngörülemeyen komplikasyonları, diyet ve sıvı kısıtlamaları, iş gücü kaybı ve bağımlılık duygusu hastalarda yoğun anksiyete ve depresif belirtilere zemin hazırlamaktadır. Nagy ve arkadaşlarının 298 hemodiyaliz hastası üzerinde yürüttüğü kesitsel çalışmada, hastaların %49,6'sında anormal düzeyde anksiyete, %55'inde ise depresyon saptanmış; bu iki durumun sağlıkla ilişkili yaşam kalitesini anlamlı biçimde düşürdüğü gösterilmiştir (Nagy ve ark., 2023). Benzer şekilde, Hollanda'da yürütülen çok merkezli DIVERS-II çalışmasında hemodiyaliz hastalarında depresyon ve anksiyete düzeylerinin pandemi öncesinde de zaten yüksek olduğu ve bu durumun yaşam kalitesini kalıcı biçimde etkilediği bildirilmiştir (Nadort ve ark., 2022).

Bu tablo karşısında, hemodiyaliz hastalarının yaşam kalitesini artırmaya yönelik ilaç dışı, düşük maliyetli ve uygulanabilir girişimlere duyulan gereksinim giderek artmaktadır. Son on yılda hızla gelişen sanal gerçeklik (SG) teknolojisi, hem akut işlem ağrısının ve anksiyetesinin yönetiminde hem de intradiyalitik egzersiz uygulamalarında dikkat çekici bir araç olarak öne çıkmıştır. Baş üstü ekranlar (head-mounted display, HMD) aracılığıyla kullanıcıyı üç boyutlu, etkileşimli bir sanal ortama taşıyan bu

teknoloji, hastanın dikkatini ağırlı veya sıkıcı uyarandan uzaklaştırarak algısal ve duygusal deneyimini değiştirmeyi amaçlamaktadır. Hernandez ve arkadaşlarının (2023) tasarladığı Joviality randomize kontrollü çalışma protokolü başta olmak üzere, güncel literatürde hemodiyaliz bağlamında sanal gerçeklik uygulamalarının sayısı hızla artmaktadır.

Bu bölümün amacı; PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library ve CINAHL veri tabanlarında yer alan, ağırlıklı olarak 2019-2026 yılları arasında yayımlanmış randomize kontrollü çalışmalar, sistematik derlemeler ve meta-analizler ışığında sanal gerçeklik gözlüklerinin hemodiyaliz hastalarının yaşam kalitesi üzerindeki etkilerini kapsamlı, kanıta dayalı ve doğrulanabilir kaynaklarla ele almaktır. Bölümde sırasıyla kronik böbrek hastalığının epidemiyolojik arka planı, yaşam kalitesi kavramının hemodiyaliz bağlamındaki belirleyicileri, sanal gerçeklik teknolojisinin temel ilkeleri, bu teknolojinin hemodiyaliz sürecindeki başlıca uygulama alanları, kanıt düzeyi yüksek sistematik derleme ve meta-analiz bulguları, etki mekanizmaları, güvenlik konuları ve klinik uygulamaya entegrasyon önerileri sunulmaktadır.

2. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE KAYNAK TARAMA STRATEJİSİ

Bu kitap bölümü, sistematik bir derleme olarak tasarlanmamakla birlikte, içerdiği kanıtların doğrulanabilirliğini ve güncelliğini sağlamak amacıyla sistematik derleme yöntemlerine yakın bir kaynak tarama stratejisi izlenerek hazırlanmıştır. Tarama sürecinde PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science (WoS), Cochrane Library ve CINAHL veri tabanları esas alınmış; bu veri tabanlarına ek olarak JMIR, Wiley Online Library, ScienceDirect, SAGE Journals ve Oxford Academic gibi yayıncı platformlarında yer alan tam metinlere de doğrudan erişilmiştir.

Tarama sırasında kullanılan anahtar terimler ve bunların Boole operatörleriyle birleştirilmiş biçimleri arasında "virtual reality" AND "hemodialysis", "virtual reality glasses" AND "dialysis", "virtual reality" AND "arteriovenous fistula" AND "pain", "metaverse" AND "renal dialysis", "intradialytic exercise" AND "virtual reality" ve "quality of life" AND "hemodialysis" AND "anxiety" ifadeleri yer almıştır. Tarama, öncelikli olarak 2019-2026 yılları arasında yayımlanmış çalışmalarla sınırlandırılmış; ancak kavramsal çerçeveyi oluşturan kapı kontrol kuramı gibi temel referanslar ile

küresel epidemiyolojik veriler için daha geniş bir zaman aralığına da başvurulmuştur.

Kaynak seçiminde önceliklendirilen çalışma türleri; randomize kontrollü çalışmalar, sistematik derlemeler ve meta-analizler, çok merkezli pilot çalışmalar, PROSPERO'da kayıtlı çalışma protokolleri ve ulusal tez veri tabanlarında (YÖK Ulusal Tez Merkezi) yer alan doktora tezleridir. Yalnızca hakemli dergilerde yayımlanmış, dijital nesne tanımlayıcısına (DOI) veya PubMed kimlik numarasına (PMID) sahip, tam metnine veya özetine erişilebilir çalışmalar bölüme dahil edilmiştir. Yayıncı web sitelerinde erişilemeyen, doğrulanamayan veya ikincil kaynaklardan aktarılan iddialar bölüme dahil edilmemiştir.

Bu yöntemsel yaklaşım sayesinde, bölümde sunulan sayısal veriler (örneklem büyüklükleri, istatistiksel anlamlılık düzeyleri, ölçek puanları) doğrudan birincil kaynaklardan alınmış ve her bir bulgu, ilgili çalışmanın yazarı ve yayın yılı belirtilerek metin içi atıfla desteklenmiştir. Kaynakça bölümünde yer alan tüm referanslar, güncel ve doğrulanabilir uluslararası veri tabanlarında taranarak teyit edilmiştir.

3. KRONİK BÖBREK HASTALIĞI, HEMODİYALİZ VE KÜRESEL EPİDEMİYOLOJİ

Kronik böbrek hastalığı, glomerüler filtrasyon hızında azalma veya idrarda protein/albumin atılımında artış ile tanımlanan, geri dönüşü genellikle mümkün olmayan bir klinik tablodur. GBD 2023 Kronik Böbrek Hastalığı Çalışma Grubu'nun 204 ülke ve bölgeyi kapsayan analizine göre, hastalığın yaş standardize edilmiş küresel prevalansı %14,2 olup, en yüksek prevalans %18,0 ile Kuzey Afrika ve Orta Doğu bölgesinde gözlenmektedir. Hastaların büyük çoğunluğu evre 1-3 kronik böbrek hastalığına sahiptir; bununla birlikte, hastalığın ilerlemesiyle birlikte böbrek replasman tedavisine duyulan gereksinim de artmaktadır.

Ortiz ve arkadaşlarının (2026) güncellediği küresel yük analizine göre, 2023 yılı itibarıyla dünya genelinde böbrek replasman tedavisi alan kişi sayısı 4,6 milyona ulaşmış olup, bu rakam 1990 yılına kıyasla yaklaşık üç kat artış göstermiştir. Aynı çalışmada, kronik böbrek hastalığına bağlı ölümlerin her 20 saniyede bir gerçekleştiği vurgulanmakta ve GBD projeksiyonlarına göre kronik böbrek hastalığının 2050 yılına kadar Batı Avrupa'da üçüncü önde gelen ölüm nedeni hâline geleceği öngörülmektedir. Böbrek replasman

tedavisi alanların büyük çoğunluğunu hemodiyaliz hastaları oluşturmakta; küresel ölçekte incelenen 165 ülkenin 162'sinde (%98) hemodiyaliz hizmetine erişim bulunduğu, buna karşın periton diyalizi ve böbrek naklinin ülkelerin yaklaşık dörtte üçünde mevcut olduğu bildirilmiştir (Lancet Global Health, 2024).

Böbrek replasman tedavisine erişimde ülkeler arasında belirgin eşitsizlikler bulunmaktadır. Bello ve arkadaşlarının (2024) küresel böbrek hastalığı yükü ve bakım eşitsizliklerine ilişkin güncellemesinde, gelir düzeyi yüksek bölgeler ile düşük gelirli bölgeler arasında böbrek replasman tedavisi prevalansının 200 kata varan farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir; bu eşitsizlik özellikle Sahra-altı Afrika ülkelerinde belirgindir. Bu veriler, hemodiyaliz hizmetlerinin küresel ölçekte hem nicelik hem de nitelik açısından geliştirilmesi gerektiğine, dolayısıyla hasta deneyimini iyileştirecek düşük maliyetli, ölçeklenebilir tamamlayıcı girişimlere duyulan gereksinime işaret etmektedir.

Hemodiyaliz tedavisinin fizyolojik temeli, kanın vücut dışına alınarak bir diyaliz makinesi ve yarı geçirgen membran aracılığıyla süzülmesi ve metabolik atıkların, fazla sıvının uzaklaştırılmasıdır. Bu işlem için sürekli ve güvenilir bir damar yoluna gereksinim duyulur; bu amaçla en sık tercih edilen yöntem arteriyovenöz fistüldür. Fistül kanülasyonu, her diyaliz seansının başında iki kez uygulanan iğne girişimini gerektirir ve haftada üç seans, yılda yaklaşık 150 kanülasyon işlemi anlamına gelmektedir. Bu tekrarlayan girişimsel süreç, hem fiziksel ağrı hem de öngörülebilir ancak önlenemeyen bir anksiyete kaynağı oluşturmaktadır (Namazinia ve ark., 2025; Güler ve ark., 2026).

Böbrek replasman tedavisine duyulan gereksinimin altında yatan başlıca etiyolojik nedenler arasında tip 2 diyabet ve hipertansiyon yer almaktadır; GBD 2023 Böbrek Yetmezliği Çalışma Grubu'nun analizine göre, 1990'dan 2023'e kadar geçen sürede küresel diyaliz prevalansı tüm yaş gruplarında %104,0 oranında artış göstermiştir. Bu hızlı artış, hemodiyaliz hizmeti sunan sağlık sistemleri üzerindeki yükün önümüzdeki yıllarda daha da artacağına, dolayısıyla hem klinik kaynakların hem de hasta deneyimini iyileştirecek tamamlayıcı, ölçeklenebilir çözümlerin öneminin daha da artacağına işaret etmektedir. Kronik böbrek hastalığının önlenmesine yönelik birincil koruma stratejilerinin, inme ve iskemik kalp hastalığına kıyasla çok daha az öncelik gördüğü de literatürde vurgulanan önemli bir noktadır (Ortiz ve ark., 2026); bu durum, hâlihazırda hemodiyaliz tedavisi almakta olan

milyonlarca hastanın yaşam kalitesini artırmaya yönelik girişimlerin, hastalığın önlenmesine yönelik çabalarla eş zamanlı olarak sürdürülmesi gerektiğini göstermektedir.

4. HEMODİYALİZ HASTALARINDA YAŞAM KALİTESİ: KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE BELİRLEYİCİLER

Sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi (health-related quality of life, HRQoL), bireyin fiziksel, psikolojik ve sosyal işlevselliğinin, hastalığından ve tedavisinden nasıl etkilendiğine dair öznel algısını ifade eden çok boyutlu bir kavramdır. Hemodiyaliz hastalarında yaşam kalitesi genellikle Kidney Disease Quality of Life (KDQOL-36), Short Form-36/12 (SF-36/SF-12) ve EuroQoL-5D (EQ-5D) gibi standardize ölçekler kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu ölçekler; fiziksel işlevsellik, ağrı, genel sağlık algısı, canlılık, sosyal işlevsellik, duygu durumu ve böbrek hastalığına özgü semptom yükü gibi alt boyutları kapsamaktadır.

Hemodiyaliz hastalarında yaşam kalitesini olumsuz etkileyen belirleyiciler literatürde büyük ölçüde örtüşmektedir. Bunların başında anksiyete ve depresyon gelmektedir. Nagy ve arkadaşlarının (2023) Mısır'da 298 hemodiyaliz hastası üzerinde yürüttüğü çalışmada, Hastane Anksiyete ve Depresyon Ölçeği (HADS) ile değerlendirilen anormal anksiyete oranı %49,6, anormal depresyon oranı ise %55 olarak bulunmuş; her iki durumun da KDQOL-36 ile ölçülen yaşam kalitesi puanlarıyla anlamlı ve olumsuz ilişkili olduğu gösterilmiştir. Bu oranlar, genel popülasyona kıyasla belirgin biçimde yüksektir ve hemodiyaliz hastalarının ruhsal sağlık açısından yüksek riskli bir grup olduğunu ortaya koymaktadır.

Ağrı da yaşam kalitesini etkileyen önemli bir belirleyicidir. Tharwat ve arkadaşlarının (2025) idame hemodiyaliz hastalarında yürüttüğü çalışmada, diz ağrısı prevalansının yüksek olduğu ve bu ağrının depresyon, anksiyete düzeyleri ile sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığı bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, fistül kanülasyonuna bağlı akut işlem ağrısı da önemli bir sorun alanıdır; bir çalışmada hemodiyaliz hastalarının %78'inin orta-şiddetli düzeyde kanülasyon ağrısı bildirdiği rapor edilmiştir (Elzeky ve ark., 2024 içinde atıfta bulunulan İbrahim ve ark., 2022 çalışması).

Fiziksel hareketsizlik ve buna bağlı kondisyon kaybı, hemodiyaliz hastalarında yaşam kalitesini etkileyen bir başka önemli boyuttur. Uzun süreli oturma pozisyonunda geçen diyaliz seansları, hastaların zaten sınırlı olan

fiziksel aktivite düzeylerini daha da azaltmakta; bu durum kas kütlesi kaybı, kırılabilirlik (frailty) ve fonksiyonel bağımsızlıkta azalma ile sonuçlanabilmektedir (Segura-Ortí ve García-Testal, 2019). Ayrıca tedavi seansının kendisi; monotonluk, zamanın yavaş geçtiği algısı ve sıkılma nedeniyle psikolojik bir yük oluşturmakta, bu durum da dolaylı olarak duygu durumunu ve tedaviye uyumu etkilemektedir.

Son olarak, COVID-19 pandemisi gibi küresel sağlık krizlerinin hemodiyaliz hastalarının ruh sağlığı üzerindeki etkisi de literatürde incelenmiştir. Hollanda'da yürütülen çok merkezli DIVERS-II çalışmasında, pandemi öncesi döneme kıyasla depresyon, anksiyete ve yaşam kalitesi puanlarında anlamlı bir farklılık bulunmamış; ancak bu durumun, söz konusu belirtilerin pandemi öncesinde de zaten yüksek düzeyde olmasından kaynaklandığı yorumlanmıştır (Nadort ve ark., 2022). Bu bulgu, hemodiyaliz popülasyonunun kronik ve sürekli bir psikososyal risk altında olduğunu, dolayısıyla akut kriz dönemlerinden bağımsız olarak yapısal destekleyici girişimlere gereksinim duyduğunu göstermektedir.

Yaşam kalitesini etkileyen bir diğer önemli boyut, hemodiyaliz tedavisinin hastaların sosyal ve mesleki yaşamı üzerindeki yapısal kısıtlayıcı etkisidir. Haftada üç kez, her seferinde üç-dört saat süren tedavi programı, buna ek olarak seans öncesi ve sonrası ulaşım süreleri de eklendiğinde, hastaların haftalık zamanlarının önemli bir bölümünü almaktadır. Bu durum, çalışma hayatına devam etme, aile içi rollerini sürdürme ve sosyal etkinliklere katılma kapasitesini sınırlandırmakta; Nagy ve arkadaşlarının (2023) çalışmasında da çalışmayan hastalarda anksiyete ve depresyon oranlarının anlamlı biçimde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu bulgu, yaşam kalitesini iyileştirmeye yönelik girişimlerin yalnızca tedavi seansı içindeki deneyimi değil, tedavinin hastanın genel yaşam düzenine getirdiği yapısal kısıtlılıkları da göz önünde bulundurması gerektiğine işaret etmektedir. Sanal gerçeklik gibi seans içi deneyimi iyileştiren müdahaleler, bu geniş yapısal kısıtlılıkları ortadan kaldıramasa da, hastanın tedaviyle kurduğu ilişkiyi daha az olumsuz, daha katlanılabilir hâle getirerek dolaylı bir katkı sağlayabilir.

5. YAŞAM KALİTESİ VE SEMPTOM DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILAN ÖLÇÜM ARAÇLARI

Sanal gerçeklik müdahalelerinin etkinliğinin doğru biçimde değerlendirilebilmesi, kullanılan ölçüm araçlarının geçerli, güvenilir ve

hemodiyaliz popölasyonuna uygun olmasına bağlıdır. Literatürde en sık kullanılan yaşam kalitesi ölçeği, böbrek hastalığına özgü Kidney Disease Quality of Life (KDQOL-36) ölçeğidir; bu ölçek genel sağlık algısı, fiziksel ve duygusal işlevsellik gibi jenerik alt boyutların yanı sıra, böbrek hastalığı semptom listesi, böbrek hastalığının günlük yaşama etkisi ve böbrek hastalığının yükü gibi hastalığa özgü alt boyutları da içermektedir. Nagy ve arkadaşlarının (2023) çalışmasında olduğu gibi, bu ölçek hemodiyaliz hastalarında yaşam kalitesinin çok boyutlu değerlendirilmesinde yaygın biçimde tercih edilmektedir.

Genel sağlıkla ilişkili yaşam kalitesini değerlendirmek amacıyla Short Form-36 (SF-36) ve kısa formu SF-12 de sıklıkla kullanılmaktadır; Nadort ve arkadaşlarının (2022) DIVERS-II çalışmasında yaşam kalitesi bu ölçekle izlenmiştir. EuroQoL-5 Boyut (EQ-5D-5L) ve EQ görsel analog ölçeği (EQ-VAS) ise, hem sağlık durumunun beş boyutta (hareketlilik, öz-bakım, alışılmış aktiviteler, ağrı/rahatsızlık, anksiyete/depresyon) sınıflandırılmasını hem de genel sağlık algısının 0-100 aralığında puanlanmasını sağlayan, sanal gerçeklik araştırmalarında (örneğin inme hastalarında yürütülen çalışmalarda) kullanılan bir başka yaygın araçtır.

Anksiyete düzeyinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan araçlar arasında Durumluk-Sürekli Kaygı Envanteri (State-Trait Anxiety Inventory, STAI) yer almaktadır; Güler ve arkadaşlarının (2026) çalışmasında bu envanter fistül kanülasyonu öncesi ve sonrası anksiyete düzeyini karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Anksiyete için ayrıca Görsel Analog Ölçek-Anksiyete (VAS-A) formu da tercih edilmektedir (Rodríguez de Galvis ve ark., 2025). Depresyon ve anksiyetenin birlikte değerlendirilmesinde Hastane Anksiyete ve Depresyon Ölçeği (HADS) yaygın olarak kullanılmakta olup, Nagy ve arkadaşlarının (2023) çalışmasında bu ölçek tercih edilmiştir.

Ağrı değerlendirmesinde altın standart, Görsel Analog Ölçek (VAS) olmaya devam etmektedir; bu ölçek, hastanın algıladığı ağrı şiddetini 0-10 veya 0-100 aralığında işaretlemesine dayanan basit, hızlı uygulanabilir bir araçtır (Güler ve ark., 2026; Namazinia ve ark., 2025). Bilişsel kısıtlılığı olan veya sözel iletişimde güçlük yaşayan hastalarda ise Yüz Ağrı Ölçeği-Gözden Geçirilmiş (Faces Pain Scale-Revised, FPS-R) formu tercih edilebilmektedir (Rodríguez de Galvis ve ark., 2025).

Fiziksel fonksiyonun değerlendirilmesinde 6 dakika yürüme testi (6MWT), 4 metre yürüme hızı testi, Kısa Fiziksel Performans Bataryası

(SPPB), kalkıp-yürü testi (timed up-and-go) ve otur-kalk testleri kullanılmaktadır; Segura-Ortí ve García-Testal'in (2019) çalışmalarında bu testler bir arada uygulanmıştır. Kırılgnlık düzeyinin değerlendirilmesinde ise Fried kırılgnlık fenotipi kriterleri (istemsiz kilo kaybı, tükenmişlik, güçsüzlük, yavaş yürüme hızı, düşük fiziksel aktivite) yaygın olarak kullanılmaktadır (Benavent Caballer ve ark., 2022).

Sanal gerçeklik uygulamalarına özgü ek değerlendirme araçları da literatürde yer almaktadır. Kullanılabilirlik değerlendirmesi için Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (System Usability Scale, SUS) kullanılmakta olup, Hernandez ve arkadaşlarının (2023) geliştirdiği Joviality yazılımı için ortalama 82,8/100 puan bildirilmiştir. Cybersickness riskinin değerlendirilmesinde ise Simülatör Hastalığı Anketi (Simulator Sickness Questionnaire, SSQ) veya daha güncel Sanal Gerçeklik Hastalığı Anketi (Virtual Reality Sickness Questionnaire, VRSQ) kullanılmaktadır. Bu araçların birlikte, standartlaştırılmış biçimde kullanılması, gelecekteki meta-analizlerin karşılaştırılabilirliğini artıracaktır.

6. SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİSİNE GENEL BAKIŞ

Sanal gerçeklik, kullanıcının bilgisayar tarafından üretilen üç boyutlu bir ortama duyuşal olarak "daldırılmasını" (immersion) sağlayan bir teknolojidir. Klinik uygulamalarda en sık kullanılan biçimi, baş üstü ekranlar (head-mounted display, HMD) aracılığıyla sunulan, kullanıcının baş hareketlerini algılayarak görüntüyü buna göre güncelleyen etkileşimli sistemlerdir. Literatürde sanal gerçeklik uygulamaları genel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır: tam daldırıcı (immersive) sistemler, kullanıcıyı gerçek ortamdan tamamen izole ederek 360 derecelik görsel ve işitsel bir deneyim sunarken; yarı daldırıcı veya daldırıcı olmayan (non-immersive) sistemler ise genellikle bir ekran veya hareket algılama kamerası (örneğin Kinect) aracılığıyla etkileşim sağlamaktadır (Segura-Ortí ve García-Testal, 2019; Kang ve ark., 2025).

Sağlık alanında sanal gerçekliğin terapötik etkisinin altında yatan en yaygın kabul gören kuramsal çerçeve, ağrı kontrolünün kapı kontrol kuramına (gate control theory) dayanmaktadır. Bu kurama göre, dikkatin sınırlı bir bilişsel kapasiteye sahip olması nedeniyle, sanal gerçeklik ortamında yoğunlaşan dikkat, ağrılı ve tehdit edici uyaranların merkezi sinir sisteminde işlenmesini azaltmakta, bu da algılanan ağrı ve anksiyete düzeyinde azalmaya

yol açmaktadır. Sanal gerçekliğin bu mekanizma aracılığıyla ince iğne aspirasyon biyopsisi, yanık tedavisi sırasında pansuman değişimi, intravenöz girişim ve dental işlemler gibi çok çeşitli tıbbi prosedürlerde ağrı ve anksiyeteyi azalttığı gösterilmiştir (Elzaky ve ark., 2024).

Metaverse (üst gerçeklik) kavramı ise son yıllarda sanal gerçekliği de kapsayan daha geniş bir dijital sağlık ekosistemini tanımlamak için kullanılmaya başlanmıştır. Chong ve arkadaşlarının (2025) hemodiyaliz hastalarında metaverse teknolojilerini inceleyen sistematik derleme ve meta-analizinde, incelenen çalışmaların büyük bölümünün sanal gerçeklik temelli olduğu, geri kalanının ise sensör tabanlı egzersiz oyunlaştırması (gamification) kullandığı bildirilmiştir. Bu durum, sanal gerçekliğin hemodiyaliz bağlamında hâlâ baskın metaverse teknolojisi olduğunu göstermektedir.

Klinik ortamlarda kullanılan sanal gerçeklik içerikleri de çeşitlilik göstermektedir. Bazı çalışmalarda doğa manzaraları, okyanus veya orman sahneleri gibi sakinleştirici 360 derecelik videolar kullanılırken (Coşar ve ark., 2026), bazı çalışmalarda pozitif psikoloji temelli, mindfulness (bilinçli farkındalık) egzersizlerini içeren özel olarak tasarlanmış yazılımlar (örneğin Joviality yazılımı) tercih edilmektedir (Hernandez ve ark., 2023). Egzersiz odaklı uygulamalarda ise kullanıcının bacak hareketleriyle etkileşime girdiği oyunlaştırılmış sistemler (örneğin "Treasure Hunt" adlı hazine avı oyunu) kullanılmaktadır (Benavent Caballer ve ark., 2022; Segura-Ortí ve García-Testal, 2019). Bu çeşitlilik, sanal gerçekliğin hemodiyaliz bağlamında tek bir standart uygulama biçimine indirgenemeyecek kadar esnek bir müdahale platformu olduğunu göstermektedir.

Kullanılan donanımlar açısından değerlendirildiğinde, hemodiyaliz araştırmalarında hem tüketici sınıfı hem de araştırma amaçlı geliştirilmiş baş üstü ekranların kullanıldığı görülmektedir. Namazinia ve arkadaşlarının (2025) çalışmasında görece uygun fiyatlı, akıllı telefon tabanlı bir sanal gerçeklik başlığı (Shinecon 4. Nesil) tercih edilirken, Segura-Ortí ve García-Testal'in (2019) egzersiz temelli çalışmalarında hareket algılama kamerası (Kinect) ile bütünleşik, daldırıcı olmayan bir sistem kullanılmıştır. Bu çeşitlilik, sanal gerçekliğin hemodiyaliz ünitelerine entegrasyonunda tek bir "standart" donanımın zorunlu olmadığını, kurumun bütçesine ve hedeflenen klinik amaca göre farklı teknoloji düzeylerinin tercih edilebileceğini göstermektedir. Tüketici sınıfı baş üstü ekranların birim maliyetinin, birçok sağlık sisteminde birkaç haftalık anksiyolitik veya analjezik ilaç tedavisi

maliyetiyle karşılaştırılabilir düzeyde olması ve cihazların yüzlerce kez tekrar kullanılabilmesi, sanal gerçekliği kaynak kısıtlı ortamlarda dahi potansiyel olarak uygulanabilir kılan önemli bir özelliktir.

7. SANAL GERÇEKLİK GÖZLÜKLERİNİN HEMODİYALİZ SÜRECİNDEKİ UYGULAMA ALANLARI

7.1. Arteriyovenöz Fistül Kanülasyonu Sırasında Ağrı Yönetimi

Arteriyovenöz fistül kanülasyonu, hemodiyaliz sürecinin en sık tekrarlanan ve en fazla ağrı bildirilen basamağıdır. Bu nedenle sanal gerçeklik araştırmalarının önemli bir bölümü doğrudan kanülasyon ağrısına odaklanmıştır. Namazinia ve arkadaşlarının (2025) İran'da 9 Dey Hastanesinde 60 hemodiyaliz hastası ile yürüttüğü randomize klinik çalışmada, Shinecon 4. Nesil sanal gerçeklik başlığı kullanılarak sağlanan distraksiyonun, kontrol grubuna kıyasla fistül iğne girişimi sırasında algılanan ağrı şiddetini anlamlı biçimde azalttığı bulunmuştur. Araştırmacılar, sanal gerçekliğin hemodiyaliz ünitelerinde rutin bakımın bir parçası olarak kullanılmasını önermişlerdir.

Türkiye'den yürütülen bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Güler ve arkadaşlarının (2026) 80 hemodiyaliz hastası üzerinde gerçekleştirdiği ve ClinicalTrials.gov'da NCT06776497 numarasıyla kayıtlı pilot randomize kontrollü çalışmada, fistül iğne girişimi sırasında video izletilen sanal gerçeklik başlığının, hem Görsel Analog Ölçek (VAS) ile ölçülen ağrı düzeyini hem de Durumluk-Sürekli Kaygı Envanteri ile ölçülen anksiyete düzeyini kontrol grubuna kıyasla anlamlı biçimde azalttığı bildirilmiştir. Yazarlar, sanal gerçekliğin uzun dönem kullanım etkinliğinin ileri çalışmalarla değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Yine Türkiye'de dergipark üzerinden yayımlanan bir başka randomize kontrollü çalışmada, 47 hemodiyaliz hastasında sanal gerçeklik gözlüğü ile video izletmenin fistül kanülasyon ağrısı üzerindeki etkisi değerlendirilmiş; bu çalışmada gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bu bulgu, sanal gerçeklik etkinliğinin örneklem büyüklüğü, uygulama süresi ve içerik türüne göre değişkenlik gösterebileceğine işaret etmesi bakımından önemlidir; dolayısıyla tek bir çalışmanın sonucu genellenmeden, meta-analitik kanıtların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Elzeky ve arkadaşlarının (2024) yürüttüğü randomize kontrollü çalışmada sanal gerçeklik temelli distraksiyonun, fistül ponksiyonu sırasında hem ağrı hem de anksiyete üzerinde olumlu etkileri olduğu doğrulanmıştır. Yazarlar, sanal gerçeklik görüntülerini izleyen hastalarda dikkatin ağırlı uyarandan uzaklaştığını ve bunun algılanan anksiyete ile ağrı düzeyini azalttığını, bu mekanizmanın kapı kontrol kuramıyla tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar, ince iğne aspirasyon biyopsisi, pansuman değişimi ve yanık tedavisi gibi diğer ağırlı tıbbi işlemlerde de bildirilmiştir; bu durum sanal gerçekliğin işlemsel ağrı yönetiminde işlem-bağımsız, genellenebilir bir etkiye sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Çok merkezli bir başka çalışmada, Rodríguez de Galvis ve arkadaşları (2025), prospektif, non-randomize, çapraz geçişli (crossover) bir tasarımıyla, 73 hemodiyaliz hastasında (yaş ortalaması $66,2 \pm 13,3$, %67 erkek) sanal gerçeklik başlıklarının vasküler erişim ponksiyonu ve diyaliz sonlandırma anındaki ağrı ve anksiyete üzerindeki etkisini incelemiştir. Ağrı Yüz Ağrı Ölçeği-Gözden Geçirilmiş (FPS-R), anksiyete ise Görsel Analog Ölçek-Anksiyete (VAS-A) formu ile ölçülmüş; katılımcılar 13 seansa kadar sanal gerçeklik uygulaması almışlardır. Bu çalışma, sanal gerçekliğin yalnızca tek seanslık değil, tekrarlayan uygulamalarda da kullanılabilirliğini göstermesi bakımından önemlidir.

7.2. Anksiyete Yönetimi

Hemodiyaliz hastalarında anksiyete, yalnızca kanülasyon işlemiyle sınırlı değildir; tedavi öncesi bekleme süreci, komplikasyon korkusu, uzun dönemli tedaviye bağımlılık duygusu ve ölüm kaygısı gibi çok boyutlu kaynaklardan beslenmektedir. Sanal gerçeklik uygulamaları, hem akut işlem anksiyetesini hem de daha genel, tedaviye bağlı anksiyeteyi azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Güler ve arkadaşlarının (2026) çalışmasında olduğu gibi birçok araştırma, sanal gerçeklik uygulamasının Durumluk-Sürekli Kaygı Envanteri puanlarında anlamlı azalmalar sağladığını göstermektedir.

Chong ve arkadaşlarının (2025) meta-analizinde, incelenen 14 çalışmanın (11 denemenin) meta-analitik bulguları, sanal gerçekliğin fistül kanülasyon ağrısını anlamlı biçimde azalttığını ve oksijen saturasyonu ile kalp hızı gibi hemodinamik parametrelerde orta düzeyde iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. Bu bulgu, sanal gerçekliğin yalnızca öznel anksiyete

algısını değil, aynı zamanda anksiyetenin fizyolojik korelatlarını da olumlu yönde etkileyebildiğini göstermesi bakımından önemlidir.

Öte yandan, sanal gerçekliğin daha uzun süreli, cerrahi girişim öncesi anksiyeteyi azaltmaya yönelik kullanımı da literatürde araştırılmaktadır; hemodiyaliz hastalarında invaziv girişimler öncesi anksiyeteyi azaltmaya yönelik sanal gerçeklik maruz bırakma terapisi girişimsel çalışmaları bu alanda gelişmekte olan bir araştırma koludur (PubMed kayıtlı çalışma, 2025). Bu tür uygulamalar, sanal gerçekliğin yalnızca kısa süreli distraksiyon aracı olarak değil, aynı zamanda sistematik duyarsızlaştırma ilkesine dayanan bir bilişsel-davranışçı müdahale bileşeni olarak da kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu yaklaşımın somut bir örneği, Hosseini ve arkadaşlarının (2024) Tahran Üniversitesi Tıp Bilimleri'ne bağlı bir hemodiyaliz ünitesinde yürüttüğü yarı deneysel çalışmadır. Araştırmacılar, cerrahi girişim niteliğindeki işlemler öncesinde hemodiyaliz hastalarının anksiyete düzeyini azaltmak amacıyla sanal gerçeklik ile simüle edilmiş bir ortam kullanmışlar; eşleştirilmemiş gruplarla yürütülen ön test-son test tasarımlı bu çalışmada, sanal gerçeklik uygulamasının işlem öncesi anksiyeteyi azaltmada etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Bu bulgu, sanal gerçekliğin yalnızca kanülasyon gibi rutin işlemlerde değil, hastalar için daha yüksek tehdit algısı oluşturan cerrahi nitelikli girişimler öncesinde de anksiyolitik bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

7.3. İntradiyalitik Egzersiz ve Fiziksel Fonksiyon

Intradiyalitik egzersiz, diyaliz seansı sırasında, genellikle seansın ilk yarısında veya son 30 dakikasında uygulanan fiziksel aktivite programlarını ifade etmektedir. Bu yaklaşım, hastaların diyaliz için zaten harcadıkları zamanı fiziksel aktivite için kullanmalarını sağlayarak, ayrı bir zaman ayırma gerekliliğinin önündeki en önemli engeli ortadan kaldırmaktadır (Journal of Renal Nutrition, 2025). Segura-Ortí ve García-Testal'in (2019) derlemesinde, intradiyalitik egzersizin fiziksel fonksiyonu ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesini iyileştirebildiği, ancak rutin klinik uygulamaya yeterince entegre edilemediği belirtilmiştir.

Sanal gerçeklik temelli egzersiz sistemleri, bu alanda hastaların motivasyonunu ve uyumunu artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Segura-Ortí ve García-Testal'in (2019) 12 haftalık intradiyalitik sanal gerçeklik egzersiz

programını değerlendiren çalışmalarında; 4 metre yürüme hızı, Kısa Fiziksel Performans Bataryası, kalkıp-yürü testi, tek bacak üzerinde denge testi, oturma-kalk testleri ve 6 dakika yürüme testi gibi çok sayıda fiziksel performans ölçütünde anlamlı iyileşmeler saptanmıştır. Aynı araştırma grubunun daha sonra yürüttüğü bir pilot alt çalışmada, sanal gerçeklik egzersizinin diyaliz seansının son 30 dakikasında uygulanmasının hemodinamik açıdan güvenli olduğu ve bu uygulama zamanının katılım devamlılığını koruduğu gösterilmiştir.

Benavent Caballer ve arkadaşlarının (2022) REVID çalışmasında, daldırıcı olmayan sanal gerçeklik temelli bir video oyunu (hazine avı oyunu) kullanılarak yürütülen intradiyalitik egzersiz programının, kırılabilirlik (frailty) fenotipi üzerindeki etkisi araştırılmış; katılımcıların Fried kırılabilirlik kriterlerine göre değerlendirildiği bu çalışmada, hemodiyaliz yol açtığı yorgunluk, güçsüzlük, kilo kaybı ve düşük fiziksel aktivite düzeyi gibi sorunların sanal gerçeklik temelli egzersizle hedeflenebileceği vurgulanmıştır.

Daha yakın tarihli bir çalışmada, sanal gerçeklik temelli bisiklet egzersizinin hemodiyaliz hastalarında psikolojik ve fizyolojik etkileri incelenmiş; müdahale grubunda depresyon ve anksiyete belirti ölçek puanlarında anlamlı azalmaların yanı sıra, serum kreatinin ve kan üre azotu düzeylerinde de anlamlı düşüşler gözlenmiştir. Bu bulgu, sanal gerçeklik temelli egzersizin yalnızca psikolojik değil, bazı biyokimyasal parametreler üzerinde de ölçülebilir etkiler oluşturabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca, sanal gerçeklik temelli intradiyalitik egzersizin vücut kompozisyonu üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışmada, hücre dışı ve hücre içi su oranlarında egzersiz grubu lehine değişimler bildirilmiştir.

7.4. Depresyon ve Psikolojik İyi Oluş

Depresyon, hemodiyaliz hastalarında en sık görülen ve en az tanı konulan ruhsal sağlık sorunlarından biridir. Hernandez ve arkadaşlarının (2023) tasarladığı Joviality çalışması, bu boşluğu doldurmak amacıyla, komorbid depresyonu olan hemodiyaliz hastalarında beş haftalık, sanal gerçeklik aracılığıyla sunulan pozitif psikolojik müdahalenin fizibilitesini ve ön etkinliğini değerlendirmeyi amaçlayan iki kollu bir randomize kontrollü çalışma protokolüdür. Bu çalışmada katılımcılar, Joviality yazılımı aracılığıyla sunulan sanal gerçeklik müdahalesi veya iki boyutlu doğa görüntüleri içeren sahte (sham) sanal gerçeklik koluna randomize edilmekte;

birincil sonuç ölçütleri arasında depresif belirtiler, psikolojik iyi oluş ve sıkıntı, yaşam kalitesi, tedaviye uyum, klinik biyobelirteçler ve tüm nedenlere bağlı hastaneye yatış oranları yer almaktadır.

Aynı araştırma grubunun daha önceki çalışmalarında geliştirilen intradiyalitik sanal gerçeklik programının, hemodiyaliz hastalarında sıklıkla görülen yorgunluk, bulantı, baş dönmesi ve baş ağrısı gibi tedavi ve/veya hareketle ilişkili semptomların şiddetini, herhangi bir olumsuz etki oluşturmada azalttığı bildirilmiştir. Bu bulgular, sanal gerçekliğin yalnızca ruhsal belirtileri değil, aynı zamanda hastaların genel tedavi deneyimini şekillendiren somatik semptomları da olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir.

Polonya'da yürütülen ve Scientific Reports dergisinde yayımlanan bir çalışmada, sanal gerçeklik temelli egzersizlerin hemodiyaliz hastalarında anksiyete ve depresyon üzerindeki etkisi incelenmiş; literatür taramasında intradiyalitik sanal gerçeklik egzersizinin fiziksel aktiviteyi, fiziksel kondisyonu ve yaşam kalitesini artırdığı, video oyunu temelli egzersiz uygulamalarının ise geleneksel terapiye eğlenceli ve etkili bir tamamlayıcı sunduğu vurgulanmıştır. Aerobik egzersizin hemodiyaliz hastalarında depresif belirtileri azalttığına dair kanıtlar da bu bulguları desteklemektedir.

Mindfulness (bilinçli farkındalık) temelli sanal gerçeklik uygulamaları da bu alanda gelişmekte olan bir başka yaklaşımdır. Depresif belirtileri olan hemodiyaliz hastalarında kişiselleştirilmiş sanal gerçeklik egzersizi ve mindfulness uygulamasının bir arada sunulduğu fizibilite çalışmalarında, kullanıcıların uygulamayı güvenli ve kabul edilebilir bulduğu, sanal gerçekliğin diyaliz sürecindeki olumsuz duygusal deneyimi hafifletmede tamamlayıcı bir rol oynayabileceği bildirilmiştir (Clinical Kidney Journal, 2026 kapsamında derlenen çalışmalar).

7.5. Semptom Yüğü, Konfor ve Hemodinamik Parametreler

Hemodiyaliz seansı sırasında hastalar; kas krampları, kaşıntı, bulantı, baş dönmesi, soğukluk hissi ve genel rahatsızlık gibi çok sayıda semptomla karşılaşabilmektedir. Coşar ve arkadaşlarının (2026) Türkiye'de 54 hemodiyaliz hastası ile yürüttüğü, ön test-son test tasarımı randomize kontrollü çalışmada, sanal gerçeklik temelli videoların hastaların semptomları, vital bulguları ve konfor düzeyleri üzerindeki etkileri sekiz haftalık bir süreçte değerlendirilmiştir. Bu öncü çalışma, sanal gerçeklik

uygulamasının hemodiyaliz hastalarının konfor düzeyini artırmaya yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymuştur.

Benzer biçimde, Türkiye'de yürütülen doktora tez çalışmalarında da sanal gerçeklik gözlüklerinin hemodiyaliz semptomları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bulut'un (2024) Trakya Üniversitesinde tamamladığı doktora tezinde, sanal gerçeklik gözlüğü ve solunum egzersizi uygulamalarının hemodiyaliz hastalarının semptomları ve yaşam kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; Gülpınar'ın (2025) Karadeniz Teknik Üniversitesinde tamamladığı tez çalışmasında ise ayak masajı ve sanal gerçeklik uygulamalarının hemodiyaliz semptomları ve konfor düzeyi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu tez çalışmaları, konunun Türkiye'deki hemşirelik ve nefroloji araştırmacıları tarafından da aktif biçimde çalışıldığını göstermektedir.

Hemodinamik güvenlik açısından, sanal gerçeklik temelli egzersiz uygulamalarının diyaliz seansı sırasında güvenli biçimde gerçekleştirilebildiği, seansın son 30 dakikasında uygulandığında intradiyalitik hipotansiyon riskini artırmadığı gösterilmiştir. Chong ve arkadaşlarının (2025) meta-analizinde de sanal gerçekliğin oksijen satürasyonu ve kalp hızı gibi hemodinamik parametrelerde orta düzeyde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, sanal gerçekliğin hemodiyaliz hastalarında yalnızca psikolojik değil, fizyolojik açıdan da güvenli ve potansiyel olarak yararlı bir müdahale olduğuna işaret etmektedir.

Kişiselleştirilmiş sanal gerçeklik uygulamalarının çok merkezli pilot çalışmalarında da benzer bulgular elde edilmiştir; hastaların sanal ortam içeriğini kendi tercihlerine göre seçebilmelerinin, uygulamaya olan bağlılığı ve algılanan yararı artırdığı bildirilmiştir (Clinical Kidney Journal, 2026). Bu durum, sanal gerçeklik müdahalelerinin standart, tek tip bir içerikle değil, hasta merkezli ve kişiselleştirilmiş biçimde tasarlandığında daha etkili olabileceğini düşündürmektedir.

7.6. Yaşam Kalitesi Üzerine Bütüncül Etkiler

Tek tek semptomlar ve fizyolojik parametreler üzerindeki etkilerin ötesinde, sanal gerçeklik uygulamalarının hemodiyaliz hastalarının genel yaşam kalitesi üzerindeki bütüncül etkisi, alanın nihai ve en klinik açıdan anlamlı sonuç ölçütüdür. Kang ve arkadaşlarının (2025) Journal of Medical Internet Research'te yayımlanan sistematik derleme ve meta-analizi, diyaliz

hastalarında (hemodiyaliz ve periton diyalizi) sanal gerçeklik eğitiminin motor yetenekler, psikolojik belirtiler (özellikle anksiyete ve depresyon), sosyal işlevsellik ve öz-yeterlilik üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde değerlendirmiştir. Bulgular, sanal gerçeklik eğitiminin hastaların fiziksel kondisyonunu artırdığını, anksiyete ve depresyonu hafiflettiğini ve tedaviye uyumu geliştirerek daha iyi öz-yönetimi kolaylaştırdığını göstermiştir.

Bu bulgular, sanal gerçekliğin yaşam kalitesi üzerindeki etkisinin tek bir mekanizma yoluyla değil, birbirini besleyen çok yönlü bir süreç aracılığıyla ortaya çıktığını düşündürmektedir: azalan ağrı ve anksiyete tedaviye devam etme isteğini artırmakta, artan fiziksel aktivite kondisyonu ve öz-yeterliliği geliştirmekte, iyileşen ruh hâli ise sosyal işlevselliği ve tedaviye uyumu desteklemektedir. Bu döngüsel etkileşim, sanal gerçekliğin neden yalnızca semptom düzeyinde değil, aynı zamanda genel yaşam kalitesi düzeyinde de anlamlı iyileşmeler sağlayabildiğini açıklamaktadır.

Bununla birlikte, yaşam kalitesi üzerindeki etkilerin büyüklüğü çalışmalar arasında değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliğin, kullanılan sanal gerçeklik içeriğinin türü (doğa videosu, egzersiz oyunu, mindfulness programı), müdahalenin süresi ve sıklığı, örneklem özellikleri ve kullanılan yaşam kalitesi ölçeğinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle, sonraki bölümde sistematik derleme ve meta-analiz düzeyindeki kanıtlar daha ayrıntılı biçimde ele alınacaktır.

7.7. Hasta Deneyimi, Kabul Edilebilirlik ve Kullanılabilirlik

Bir müdahalenin klinik etkinliği kadar, hastalar tarafından nasıl algılandığı ve kabul edildiği de sürdürülebilir uygulama açısından belirleyicidir. Hernandez ve arkadaşlarının (2023) geliştirdiği Joviality sanal gerçeklik programına ilişkin fizibilite verilerinde, hemodiyaliz hastalarının sanal ortama yüksek düzeyde daldırıcılık (immersion) bildirdiği ve yazılımın kullanım kolaylığı açısından ortalama Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği puanının 100 üzerinden 82,8 olduğu, bunun "mükemmele yakın kullanılabilirlik" düzeyine karşılık geldiği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, ilk seansta tedavi ve/veya harekete bağlı semptom şiddetinde sanal gerçeklik uygulaması sonrası anlamlı azalmalar (22,6'dan 11,2'ye) gözlenmiştir.

Rodríguez de Galvis ve arkadaşlarının (2025) çok merkezli pilot çalışmasında da kullanılabilirlik ve hasta memnuniyeti sistematik biçimde değerlendirilmiş; katılımcıların büyük bölümünün sanal gerçeklik deneyimini

olumlu bulduğu ve tedavi sürecindeki sıkıntısını azalttığını bildirdiği belirtilmiştir. Kişiselleştirilmiş sanal gerçeklik uygulamalarının çok merkezli pilot çalışmalarında da (Clinical Kidney Journal, 2026) hastaların içerik tercihlerinin dikkate alınmasının, algılanan yararı ve uzun dönemli katılımı artırdığı gösterilmiştir.

Kabul edilebilirlik açısından bir diğer önemli bulgu, sanal gerçekliğin hemodiyaliz hastaları tarafından çoğunlukla korkutucu veya yabancı bir teknoloji olarak değil, tedavi sürecindeki monotonluğu kıran, hoş karşılanan bir deneyim olarak algılandığı yönündedir. Bununla birlikte, ileri yaşta olan, teknolojiyle daha az aşına hastalarda ilk uygulama öncesinde basit ve anlaşılır bir tanıtım/alıştırma sürecinin sunulması, kabul edilebilirliği ve güvenliği artıracak önemli bir uygulama basamağı olarak öne çıkmaktadır.

8. SİSTEMATİK DERLEMELER VE META-ANALİZLERDEN ELDE EDİLEN KANITLAR

Bireysel randomize kontrollü çalışmaların ötesinde, alanın kanıt düzeyini belirleyen en güçlü kaynaklar sistematik derlemeler ve meta-analizlerdir. Bu bölümde, hemodiyaliz hastalarında sanal gerçeklik uygulamalarına ilişkin güncel ve doğrulanabilir üç önemli sentez çalışması ele alınmaktadır.

Kang ve arkadaşlarının (2025) Journal of Medical Internet Research'te yayımlanan meta-analizi, diyaliz hastalarında sanal gerçeklik eğitiminin etkilerini değerlendiren, PROSPERO'da kayıtlı, PRISMA rehberine uygun biçimde yürütülmüş bir çalışmadır. Yetişkin (18 yaş ve üzeri) hemodiyaliz veya periton diyalizi hastalarını kapsayan bu meta-analizde, sanal gerçeklik temelli egzersiz müdahalelerinin geleneksel hemodiyaliz bakımı veya sanal gerçeklik içermeyen egzersizle karşılaştırıldığı çalışmalar dahil edilmiştir. Sonuçlar, sanal gerçeklik eğitiminin motor yetenek, psikolojik belirtiler, sosyal işlevsellik ve öz-yeterlilik üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermiştir.

Chong ve arkadaşlarının (2025) Applied Nursing Research dergisinde yayımlanan sistematik derleme ve meta-analizi ise daha geniş bir kapsamla, hemodiyaliz hastalarında "metaverse" teknolojilerinin (sanal gerçeklik ve sensör tabanlı egzersiz oyunlaştırması dâhil) fiziksel ve psikolojik sonuçlar üzerindeki etkilerini sentezlemiştir. CINAHL, Cochrane Library Central, Embase, PubMed ve Scopus veri tabanlarının 2024 yılı Kasım ayına kadar

tarandığı bu çalışmada, PROSPERO'da kayıtlı protokol ve Gözden Geçirilmiş Cochrane Yanlılık Riski aracı kullanılmıştır. On dört çalışmanın (11 denemenin) dahil edildiği meta-analizde, sanal gerçekliğin arteriyovenöz fistül kanülasyon ağrısını anlamlı biçimde azalttığı; oksijen satürasyonu ve kalp hızı gibi hemodinamik parametrelerde, 6 dakika yürüme testi, fiziksel aktivite ve yürüme hızı gibi fiziksel sonuçlarda ve depresif belirtilerde orta düzeyde iyileşmeler sağladığı bulunmuştur. Yazarlar, gelecekteki çalışmaların artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik gibi daha geniş bir metaverse modalite yelpazesini araştırması ve standartlaştırılmış sonuç ölçüm zaman noktaları belirlemesi gerektiğini önermişlerdir.

Üçüncü önemli kanıt kaynağı, Cochrane İşbirliği tarafından yürütülmekte olan ve kronik böbrek hastalığı olup hemodiyaliz alan kişilerde sanal gerçeklik temelli egzersizin yararlarını ve zararlarını değerlendirmeyi amaçlayan sistematik derleme protokolüdür. Bu protokol, sanal gerçeklik temelli egzersizin ruh sağlığı, fiziksel fonksiyon ve yaşam kalitesi üzerindeki etkilerinin, en yüksek metodolojik titizlik standardıyla (Cochrane standartları) değerlendirileceğini göstermesi bakımından, alanın olgunlaşmakta olan bir araştırma alanı hâline geldiğinin güçlü bir kanıtıdır. Cochrane derlemelerinin, sağlık politikalarını ve klinik rehberleri şekillendirmedeki rolü göz önüne alındığında, bu protokolün tamamlanmış hâlinin gelecekte alanın referans kaynağı olması beklenmektedir.

Bu üç kanıt kaynağı birlikte değerlendirildiğinde, ortaya çıkan tutarlı bulgu şudur: sanal gerçeklik, özellikle (1) fistül kanülasyonuna bağlı akut ağrı ve anksiyetenin azaltılmasında ve (2) intradiyalitik egzersizle birleştirildiğinde fiziksel performans ve depresif belirtilerin iyileştirilmesinde, orta düzeyde ancak istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Buna karşın, genel yaşam kalitesi ölçütleri üzerindeki etki büyüklüğü, çalışmalar arası heterojenlik nedeniyle daha değişken ve daha az kesin biçimde tahmin edilebilmektedir.

Tablo 1. Hemodiyaliz Hastalarında Sanal Gerçeklik Uygulamalarına İlişkin Seçilmiş Çalışmaların Özeti

Yazar (Yıl)	Ülke	Tasarım / Örneklem	Müdahale	Temel Sonuç
Güler ve ark. (2026)	Türkiye	RKÇ, n=80	AVF girişimi sırasında video izletme (SG gözlüğü)	Ağrı ve anksiyetede anlamlı azalma
Coşar ve ark. (2026)	Türkiye	Ön test-son test RKÇ, n=54	8 haftalık SG temelli video	Semptom ve konfor düzeyinde iyileşme
Namazinia ve ark. (2025)	İran	RKÇ, n=60	AVF girişimi sırasında SG başlığı	Kanülasyon ağrısında anlamlı azalma
Elzeky ve ark. (2024)	Mısır/Filistin	RKÇ	AVF ponksiyonu sırasında SG distraksiyonu	Ağrı ve anksiyetede azalma
Rodríguez de Galvis ve ark. (2025)	İspanya (çok merkezli)	Prospektif, crossover, n=73	Ponksiyon ve sonlandırmada SG başlığı	Ağrı ve anksiyetede azalma; yüksek kabul edilebilirlik
Hosseini ve ark. (2024)	İran	Yarı deneysel	Girişim öncesi SG simülasyonu	İşlem öncesi anksiyetede azalma
Hernandez ve ark. (2023) – Joviality protokolü	ABD	RKÇ protokolü, n=84 (planlanan)	5 haftalık pozitif psikoloji temelli SG	Depresif belirtiler, yaşam kalitesi (sonuçlar bekleniyor)
Segura-Ortí ve García-Testal (2019)	İspanya	Derleme + 12 haftalık RKÇ	İntradiyalitik SG egzersizi	Fiziksel fonksiyon ve HRQoL'de iyileşme
Benavent Caballer ve ark. (2022) – REVID	İspanya	RKÇ (özet bildirisi)	Daldırıcı olmayan SG egzersiz oyunu	Kırılganlık göstergelerinde iyileşme hedefi
Kang ve ark. (2025)	Çin (meta-analiz)	Sistematik derleme + meta-analiz	SG eğitimi (çeşitli protokoller)	Motor yetenek, anksiyete/depresyon, öz-yeterlilikte iyileşme
Chong ve ark. (2025)	Kore/ABD (meta-analiz)	Sistematik derleme + meta-analiz, 14 çalışma	SG ve sensör tabanlı egzersiz oyunlaştırması	Kanülasyon ağrısı, hemodinami, fiziksel sonuçlar, depresyonda iyileşme

9. ETKİ MEKANİZMALARI: NEDEN İŞE YARIYOR?

Sanal gerçekliğin hemodiyaliz hastalarında gözlenen yararlı etkilerinin altında birbirini tamamlayan birkaç mekanizma yatmaktadır. Birincisi, daha önce değinilen kapı kontrol kuramına dayanan bilişsel distraksiyon mekanizmasıdır; sınırlı dikkat kaynaklarının sanal ortama yönlendirilmesi, ağırlı ve tehdit edici uyarıların işlenmesini azaltmaktadır (Elzeky ve ark., 2024).

İkinci mekanizma, "varlık" (presence) duygusuyla ilişkilidir. Sanal gerçeklik, kullanıcıda gerçekten o ortamda bulunuyormuş hissi (presence) uyandırdığı ölçüde, fiziksel ortamdan (hastane, diyaliz koltuğu, iğne) duysal ve duygusal olarak kopma deneyimini güçlendirmektedir. Bu durum, özellikle tam daldırıcı baş üstü ekranların, iki boyutlu video izlemeye kıyasla neden daha güçlü etkiler oluşturabileceğini açıklamaktadır.

Üçüncü mekanizma, otonom sinir sistemi üzerinden işlemektedir. Sakinleştirici doğa manzaraları veya kontrollü egzersiz içerikleri içeren sanal gerçeklik uygulamalarının, sempatik sinir sistemi aktivasyonunu azaltarak kalp hızı ve kan basıncı gibi stres yanıtı göstergelerinde iyileşme sağladığı düşünülmektedir; Chong ve arkadaşlarının (2025) meta-analizinde bildirilen hemodinamik parametrelerdeki olumlu değişimler bu mekanizmayla tutarlıdır.

Dördüncü mekanizma, davranışsal aktivasyon ve öz-yeterlilik artışıdır. Özellikle egzersiz temelli sanal gerçeklik uygulamalarında, oyunlaştırma unsurları (puan, hedef, geri bildirim) hastanın kendi performansını görsel olarak izleyebilmesini sağlamakta, bu da içsel motivasyonu ve devam etme isteğini artırmaktadır. Bu durum, geleneksel egzersiz programlarında sıkça karşılaşılan düşük uyum sorununun aşılmasına katkı sağlamaktadır (Segura-Ortí ve García-Testal, 2019).

Son olarak, pozitif psikoloji temelli sanal gerçeklik müdahalelerinde (örneğin Joviality programı) hedeflenen mekanizma, olumlu duyguların sistematik biçimde artırılmasıdır. Hernandez ve arkadaşlarının (2023) protokolünde açıklandığı üzere, bu tür programlar mindfulness, minnettarlık ve anlam bulma gibi pozitif psikolojik becerileri sanal gerçeklik ortamında yapılandırılmış biçimde uygulamayı amaçlamakta; bu yaklaşımın, yalnızca semptom azaltmaya değil, aynı zamanda psikolojik sağlamlığın (resilience) güçlendirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

10. GÜVENLİK, SINIRLILIKLAR VE SİBER HASTALIK (CYBERSICKNESS)

Sanal gerçeklik uygulamalarının klinik ortamda yaygınlaştırılabilmesi için etkinliğinin yanı sıra güvenliğinin de titizlikle değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda en sık tartışılan konu, "siber hastalık" (cybersickness) olarak adlandırılan; baş dönmesi, bulantı, dezoryantasyon ve göz-motor rahatsızlıkları ile karakterize istenmeyen etkiler kümesidir.

Cybersickness üzerine yapılan sistematik bir derlemede, incelenen 55 makaleden 10'unun (%18) dahil edilme kriterlerini karşıladığı, bu çalışmalarda toplam 416 hastanın yer aldığı ve yan etkilerin, masaüstü sistemlere kıyasla baş üstü ekranlarda daha sık bildirildiği; en sık görülen belirtilerin dezoryantasyon, ardından bulantı ve göz-motor bozuklukları olduğu raporlanmıştır.

Yaşlı yetişkinler, hemodiyaliz popülasyonunun önemli bir bölümünü oluşturdukları için, bu grupta sanal gerçeklik güvenliğine ilişkin kanıtlar özellikle önem taşımaktadır. Drazich ve arkadaşlarının (2023) yaşlı yetişkinlerde tam daldırıcı sanal gerçeklik ve cybersickness ilişkisini inceleyen sistematik derlemesinde, ileri yaşın daha fazla cybersickness ile ilişkili olmadığı; incelenen çalışmalarda minimal düzeyde cybersickness belirtisi ve güçlü katılımcı devamlılığı gözlemlendiği bildirilmiştir. Yazarlar, bu bulgular ışığında araştırmacıların artık fizibiliteden ziyade etkinliğe odaklanabileceğini önermiştir.

Huzurevlerinde yaşayan yaşlı yetişkinlerle yürütülen bir fizibilite çalışmasında da, dört haftalık, haftada bir seans uygulanan sanal gerçeklik müdahalesi sonrasında katılımcıların %11'inin (n=3) cybersickness nedeniyle çalışmadan ayrıldığı; bununla birlikte, dikkatli tasarım ilkeleri uygulandığında düşük cybersickness deneyimi elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu bulgular, hemodiyaliz gibi ek komorbiditeleri olan, genellikle daha ileri yaşta ve bazen ortostatik toleransı sınırlı bir popülasyonda sanal gerçeklik uygulanırken, oturur pozisyonda kullanım, kısa seans süreleri (10-20 dakika aralığı) ve kademeli alıştırma protokollerinin tercih edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Hemodiyaliz'e özgü ek bir güvenlik boyutu, intradiyalitik hipotansiyon riskidir. Segura-Ortí ve García-Testal'in (2019) çalışmalarında gösterildiği gibi, sanal gerçeklik temelli egzersizin diyaliz seansının son 30 dakikasında uygulanması, hemodinamik stabiliteyi koruyarak güvenli biçimde gerçekleştirilebilmektedir; bu da uygulama zamanlamasının, sonuçların güvenliği açısından kritik bir değişken olduğunu göstermektedir.

Metodolojik sınırlılıklar açısından değerlendirildiğinde, mevcut literatürün önemli bir bölümü küçük örneklem büyüklüklerine (genellikle 40-90 hasta aralığında), tek merkezli tasarımlara ve kısa izlem sürelerine (çoğunlukla birkaç hafta ile birkaç ay arasında) dayanmaktadır. Ayrıca kullanılan sanal gerçeklik içeriği, uygulama süresi, sıklığı ve karşılaştırma

grubu tanımları (aktif kontrol, standart bakım, sahte sanal gerçeklik) çalışmalar arasında büyük farklılıklar göstermekte, bu durum meta-analitik sentezde yüksek heterojenliğe yol açmaktadır (Chong ve ark., 2025). Bu sınırlılıklar, mevcut kanıtların umut verici olmakla birlikte, standart klinik rehberlere dönüştürülmeden önce daha büyük örneklemli, çok merkezli ve uzun izlemli çalışmalarla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Hemodiyaliz popülasyonuna özgü ek güvenlik değerlendirmeleri de gereklidir. Bu hastalarda sıklıkla görülen ortostatik intolerans, otonom nöropati ve intradiyalitik kan basıncı dalgalanmaları, baş üstü ekranın oluşturduğu görsel-vestibüler uyumsuzlukla birleştiğinde teorik olarak baş dönmesi riskini artırabilir; bu nedenle uygulamanın oturur pozisyonda, hasta yatağa/koltuğa güvenli biçimde sabitlenmiş durumdayken yapılması önerilmektedir. Ayrıca, vasküler erişim bölgesinin (fistül veya kateter) baş üstü ekranın kablosu veya hastanın olası ani hareketleri nedeniyle travmatize edilmemesi için pozisyonlamaya özen gösterilmesi gerekmektedir. Rodríguez de Galvis ve arkadaşlarının (2025) çok merkezli pilot çalışmasında olduğu gibi, bu tür güvenlik protokolleri sistematik biçimde uygulandığında, sanal gerçeklik uygulamalarının hemodiyaliz ünitelerinde ciddi bir advers olay bildirilmeksizin gerçekleştirilebildiği görülmektedir.

11. KLİNİK UYGULAMAYA ENTEGRASYON: HEMŞİRELİK VE MULTİDİSİPLİNER YAKLAŞIM

Sanal gerçeklik gözlüklerinin hemodiyaliz ünitelerinde rutin uygulamaya kazandırılması, büyük ölçüde diyaliz hemşirelerinin ve multidisipliner ekibin sürece aktif katılımına bağlıdır. Hemodiyaliz hemşireleri, hastalarla en uzun süre birebir temas kuran sağlık profesyonelleri olarak, hem kanülasyon işlemi sırasında hem de intradiyalitik egzersiz uygulamalarında sanal gerçeklik cihazlarının doğru kullanımını sağlamak, hastaların uygunluğunu değerlendirmek ve olası yan etkileri (cybersickness, hemodinamik değişiklikler) izlemek açısından kilit bir rol üstlenmektedir.

Klinik uygulamaya entegrasyon için önerilen adımlar arasında; hastanın bilişsel durumu, görme keskinliği, denge sorunları ve nöbet öyküsü gibi kontrendikasyonlar açısından ön değerlendirmenin yapılması, ilk uygulamanın kısa süreli (5-10 dakika) ve gözetim altında gerçekleştirilmesi, seans sırasında vital bulguların (kan basıncı, kalp hızı, oksijen satürasyonu) izlenmesi ve hastanın herhangi bir rahatsızlık bildirimi durumunda cihazın

derhal çıkarılması yer almaktadır. Ayrıca, hijyen açısından baş üstü ekranların her kullanım sonrası dezenfekte edilmesi, hemodiyaliz ünitelerinin enfeksiyon kontrolü standartları açısından zorunlu bir uygulama basamağıdır.

İçerik seçiminin kişiselleştirilmesi de klinik başarı için önemli bir faktördür. Kişiselleştirilmiş sanal gerçeklik uygulamalarının çok merkezli pilot çalışmalarında, hastaların kendi tercihlerine göre içerik seçebilmesinin uygulamaya bağlılığı artırdığı gösterilmiştir. Bu nedenle, hemodiyaliz ünitelerinde farklı içerik kütüphaneleri (doğa manzaraları, egzersiz oyunları, mindfulness programları, kültürel/dini içerikler) sunulması, hasta memnuniyetini ve sürdürülebilir kullanımı destekleyebilir.

Maliyet-etkinlik açısından değerlendirildiğinde, sanal gerçeklik başlıklarının görece düşük maliyeti (tüketici sınıfı cihazların birim fiyatının, uzun dönemli farmakolojik anksiyolitik veya analjezik tedavi maliyetleriyle kıyaslandığında rekabetçi olması) ve tekrar kullanılabilir olması, bu teknolojiyi kaynak kısıtlı sağlık sistemleri için de potansiyel olarak uygulanabilir kılmaktadır. Bununla birlikte, cihazların temini, personel eğitimi, içerik geliştirme ve bakım-onarım maliyetlerinin sistematik biçimde değerlendirildiği maliyet-etkinlik çalışmalarına literatürde hâlâ gereksinim duyulmaktadır.

Multidisipliner işbirliği açısından, nefrologlar, diyaliz hemşireleri, fizyoterapistler, psikologlar ve biyomedikal mühendislerin birlikte çalışması, sanal gerçeklik uygulamalarının hem klinik olarak güvenli hem de teknik olarak sürdürülebilir biçimde tasarlanmasını sağlayabilir. Özellikle egzersiz temelli uygulamalarda fizyoterapistlerin, psikolojik müdahalelerde ise klinik psikologların program tasarımına dahil edilmesi, müdahalenin kanıta dayalı çerçevesini güçlendirecektir.

Kutu 1. Hemodiyaliz Ünitesinde Sanal Gerçeklik Uygulaması İçin Önerilen Kontrol Listesi

- Uygulama öncesi hastanın bilişsel durumu, görme keskinliği, denge sorunları, nöbet öyküsü ve şiddetli hareket hastalığı öyküsü açısından değerlendirilmesi
- İlk uygulamanın kısa süreli (5-10 dakika) ve hemşire gözetiminde gerçekleştirilmesi
- Uygulama öncesi, sırası ve sonrasında kan basıncı, kalp hızı ve oksijen saturasyonunun izlenmesi

- Vasküler erişim bölgesinin baş üstü ekranın kablosu veya hareketiyle travmatize edilmemesi için pozisyonlamanın dikkatli yapılması
- Egzersiz temelli uygulamaların, hemodinamik stabiliteyi korumak amacıyla tercihen seansın son 30 dakikasında uygulanması
- Hastanın herhangi bir rahatsızlık (baş dönmesi, bulantı, dezoryantasyon) bildirmesi durumunda cihazın derhal çıkarılması
- Baş üstü ekranların her kullanım sonrası enfeksiyon kontrolü standartlarına uygun biçimde dezenfekte edilmesi
- Hastanın tercihinine göre seçilebilecek çeşitlendirilmiş içerik kütüphanesinin (doğa, egzersiz, mindfulness) sunulması
- Uygulamanın etkinliğinin standart ölçeklerle (VAS, STAI, KDQOL-36) düzenli izlenmesi ve kayıt altına alınması

12. MALİYET-ETKİNLİK VE SAĞLIK SİSTEMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Yeni bir sağlık teknolojisinin klinik uygulamaya kazandırılabilmesi için etkinlik ve güvenlik kanıtlarının yanı sıra, sağlık sistemi açısından maliyet-etkinliğinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Hemodiyaliz hizmetlerinin küresel ölçekte hızla büyüyen bir yük oluşturduğu göz önüne alındığında (Ortiz ve ark., 2026), bu alana eklenecek her yeni müdahalenin ekonomik sürdürülebilirliği özel bir önem taşımaktadır. Sanal gerçeklik gözlüklerinin başlangıç maliyeti, tüketici sınıfı cihazlarda görece düşük olup, tek bir cihaz onlarca hasta tarafından tekrar tekrar kullanılabilir; bu durum, kişi başına düşen maliyeti zaman içinde önemli ölçüde azaltmaktadır.

Dolaylı maliyet tasarrufları açısından değerlendirildiğinde, sanal gerçekliğin işlem ağrısı ve anksiyetesini azaltmadaki etkinliği (Chong ve ark., 2025; Namazinia ve ark., 2025), potansiyel olarak anksiyolitik ve analjezik ilaç kullanımını azaltabilir; bu da hem doğrudan ilaç maliyetlerinde hem de ilaç yan etkilerine bağlı ek sağlık hizmeti kullanımında tasarruf sağlayabilir. Benzer şekilde, intradiyalitik egzersiz uygulamalarının fiziksel fonksiyonu ve kırılabilirlik göstergelerini iyileştirmesi (Segura-Ortí ve García-Testal, 2019; Benavent Caballer ve ark., 2022), uzun dönemde düşme, hastaneye yatış ve fonksiyonel bağımlılığa bağlı maliyetlerin azalmasına katkı sağlayabilir. Depresif belirtilerin azaltılması ise, Hernandez ve arkadaşlarının (2023)

Joviality protokolünde sonuç ölçütleri arasında yer alan tüm nedenlere bağlı hastaneye yatış oranlarının azaltılması hedefiyle doğrudan ilişkilidir; depresyonun hemodiyaliz hastalarında artmış hastaneye yatış ve mortalite riskiyle ilişkili olduğu bilinmektedir.

Bununla birlikte, mevcut literatürde sanal gerçeklik müdahalelerinin resmi, biçimsel maliyet-etkinlik analizlerinin (örneğin kaliteye ayarlanmış yaşam yılı [QALY] başına maliyet hesaplamaları) hemodiyaliz bağlamında henüz yeterince yapılmadığı görülmektedir. Bu durum, mevcut kanıtların klinik etkinlik düzeyinde güçlü olmasına karşın, sağlık politikası düzeyinde geri ödeme kararlarına temel oluşturacak ekonomik değerlendirme düzeyinde henüz olgunlaşmadığını göstermektedir. Personel eğitimi, cihaz bakımı, içerik güncelleme ve hijyen protokollerine ilişkin operasyonel maliyetlerin de bu tür analizlere dahil edilmesi, sonuçların gerçekçi ve uygulanabilir olması açısından önemlidir.

Kaynak kısıtlı sağlık sistemleri açısından değerlendirildiğinde, Bello ve arkadaşlarının (2024) küresel böbrek hastalığı bakım eşitsizliklerine ilişkin bulguları, düşük ve orta gelirli ülkelerde temel hemodiyaliz altyapısına erişimin dahi sınırlı olduğunu göstermektedir; bu bağlamda, sanal gerçeklik gibi tamamlayıcı teknolojilerin öncelik sıralamasında, temel diyaliz erişiminin sağlanmasının gerisinde kalması beklenen bir durumdur. Buna karşın, temel hemodiyaliz altyapısının zaten kurulu olduğu orta ve yüksek gelirli sağlık sistemlerinde, sanal gerçeklik göreceli olarak düşük maliyetli, hızlı uygulanabilir bir yaşam kalitesi iyileştirme aracı olarak öncelikli biçimde değerlendirilebilir.

13. TÜRKİYE'DEN KANITLAR VE YEREL BAĞLAM

Türkiye, dünya genelinde hemodiyaliz hasta sayısının yüksek olduğu ülkelerden biridir ve bu bağlamda hemşirelik ve nefroloji araştırmacıları, sanal gerçeklik uygulamalarına ilişkin literatüre giderek artan katkılar sunmaktadır. Bu bölümde ele alınan çalışmalar arasında, Güler ve arkadaşlarının (2026) Hemodialysis International dergisinde yayımlanan ve ClinicalTrials.gov'da kayıtlı pilot randomize kontrollü çalışması, fistül kanülasyonu sırasında ağrı ve anksiyete yönetiminde sanal gerçeklik gözlüklerinin etkinliğini uluslararası standartlarda değerlendiren örnek bir çalışma niteliğindedir.

Coşar ve arkadaşlarının (2026) Therapeutic Apheresis and Dialysis dergisinde yayımlanan çalışması, sanal gerçeklik temelli videoların

hemodiyaliz hastalarının semptomları, vital bulguları ve konfor düzeyi üzerindeki etkilerini sekiz haftalık bir süreçte inceleyen, bu alanda öncü nitelikte bir Türkiye çalışmasıdır. Bunun yanı sıra, dergipark üzerinden erişilebilen çalışma, fistül kanülasyon ağrısı üzerinde sanal gerçeklik gözlüklerinin etkisini değerlendirmiş; Bulut'un (2024) Trakya Üniversitesinde ve Gülpınar'ın (2025) Karadeniz Teknik Üniversitesinde tamamladığı doktora tez çalışmaları ise sırasıyla solunum egzersizi ile birleştirilmiş sanal gerçeklik gözlüğü uygulamasının ve ayak masajı ile birleştirilmiş sanal gerçeklik uygulamasının hemodiyaliz semptomları ve konfor düzeyi üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Bu çalışmaların birlikte değerlendirilmesi, Türkiye'deki hemodiyaliz hemşireliği araştırma camiasının, sanal gerçeklik teknolojisini yalnızca ağrı ve anksiyete yönetimiyle sınırlı tutmayıp, konfor, semptom yükü ve solunum/egzersiz temelli tamamlayıcı yaklaşımlarla bütünleştirerek çok yönlü biçimde araştırdığını göstermektedir. Bu durum, Türkiye'nin uluslararası sanal gerçeklik-hemodiyaliz literatürüne hem randomize kontrollü çalışmalar hem de yüksek lisans/doktora tez çalışmaları düzeyinde anlamlı katkılar sunduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte, bu çalışmaların büyük bölümü tek merkezli ve nispeten küçük örneklemliler olup, Türkiye'ye özgü çok merkezli, büyük örneklemliler randomize kontrollü çalışmalara ve maliyet-etkinlik analizlerine olan gereksinim devam etmektedir.

14. GELECEK ARAŞTIRMA YÖNELİMLERİ

Mevcut literatürün sistematik değerlendirmesi, alanın gelecekteki gelişimi için birkaç öncelikli araştırma yönü ortaya koymaktadır. Birincisi, çalışmaların büyük çoğunluğunun kısa dönemli sonuçlara (tek seans veya birkaç haftalık müdahale) odaklanması nedeniyle, sanal gerçeklik müdahalelerinin orta ve uzun dönemli (6-12 ay ve üzeri) etkilerini değerlendiren, daha uzun izlem süreli çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Kang ve arkadaşlarının (2025) meta-analizinde belirtildiği gibi, mevcut kanıtların çoğu kısa dönemli sonuç ölçütlerine dayanmaktadır.

İkincisi, Chong ve arkadaşlarının (2025) da vurguladığı gibi, gelecekteki araştırmaların yalnızca sanal gerçekliğe değil, artırılmış gerçeklik (augmented reality) ve karma gerçeklik (mixed reality) gibi daha geniş bir metaverse teknoloji yelpazesine odaklanması, hangi teknolojinin hangi klinik

sonuç için en uygun olduğunun belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, sonuç ölçüm zaman noktalarının standartlaştırılması, gelecekteki meta-analizlerin istatistiksel gücünü ve karşılaştırılabilirliğini artıracaktır.

Üçüncüsü, maliyet-etkinlik analizlerinin literatürde hâlâ sınırlı olması, sanal gerçeklik uygulamalarının sağlık politikası düzeyinde benimsenmesi önündeki önemli bir engel olarak durmaktadır. Sanal gerçeklik ekipmanlarının başlangıç maliyeti, personel eğitim maliyeti ve içerik geliştirme maliyetlerinin, elde edilen klinik yararlar (azalan analjezik/anksiyolitik ilaç kullanımı, artan tedaviye uyum, azalan hastane yatışları) karşısında sistematik biçimde değerlendirildiği sağlık ekonomisi çalışmalarına gereksinim duyulmaktadır.

Dördüncüsü, kırılganlık (frailty), bilişsel bozukluk veya görme/işitme kaybı gibi ek komorbiditeleri olan hemodiyaliz hastalarında sanal gerçeklik uygulamalarının güvenliği ve etkinliği hakkındaki kanıtlar sınırlıdır. Bu özel alt gruplar için özelleştirilmiş protokollerin geliştirilmesi ve test edilmesi, teknolojinin daha geniş ve daha kırılgan bir hasta popülasyonuna güvenli biçimde yaygınlaştırılabilmesi açısından önemlidir.

Son olarak, ev tabanlı veya periton diyalizi bağlamında sanal gerçeklik uygulamalarının araştırılması, hâlihazırda büyük ölçüde merkez tabanlı hemodiyaliz ortamına odaklanan literatürün kapsamını genişletecek, hastaların tedavi sürecinin tamamında (klinik ve ev ortamı dahil) yaşam kalitesini destekleyecek daha bütüncül bir yaklaşımın geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, gelecekteki çalışmaların yalnızca ortalama grup farklarını değil, hangi hasta alt gruplarının sanal gerçeklikten en fazla yarar gördüğünü belirlemeye yönelik alt grup ve moderatör analizlerine de yer vermesi önemlidir. Örneğin, yüksek düzeyde başlangıç anksiyetesi olan hastaların, düşük anksiyeteli hastalara kıyasla sanal gerçeklikten daha fazla yararlanabileceği düşünülmektedir; bu tür kişiselleştirilmiş öngörü modellerinin geliştirilmesi, kaynakların en çok ihtiyaç duyan hasta gruplarına yönlendirilmesini sağlayarak klinik uygulamanın maliyet-etkinliğini artırabilir.

15. SONUÇ

Bu kitap bölümünde, PubMed, Scopus, Web of Science ve Cochrane Library gibi uluslararası veri tabanlarında taranan, ağırlıklı olarak 2019-2026 yılları arasında yayımlanmış randomize kontrollü çalışmalar, sistematik derlemeler, meta-analizler ve protokol makaleleri temel alınarak, sanal gerçeklik gözlüklerinin hemodiyaliz hastalarının yaşam kalitesi üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Derlenen kanıtlar, sanal gerçekliğin özellikle arteriyovenöz fistül kanülasyonuna bağlı akut ağrı ve işlem anksiyetesinin azaltılmasında tutarlı ve istatistiksel olarak anlamlı yararlar sağladığını göstermektedir. İntradiyalitik egzersizle birleştirildiğinde, sanal gerçeklik fiziksel performans, hemodinamik parametreler ve depresif belirtiler üzerinde de olumlu etkiler oluşturmaktadır.

Kang ve arkadaşları (2025) ile Chong ve arkadaşlarının (2025) meta-analitik sentezleri, bu bulguları en yüksek kanıt düzeyinde doğrulamakta; sanal gerçeklik eğitiminin motor yetenek, psikolojik belirtiler, sosyal işlevsellik ve öz-yeterlilik üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Türkiye'den yürütülen çalışmalar da (Güler ve ark., 2026; Coşar ve ark., 2026; Bulut, 2024; Gülpınar, 2025) bu uluslararası kanıt tabanını desteklemekte ve konunun ülkemiz hemşirelik ve nefroloji araştırma camiasında da aktif biçimde çalışıldığını göstermektedir.

Bununla birlikte, mevcut kanıt tabanının sınırlılıkları göz ardı edilmemelidir. Örneklem büyüklüklerinin küçük olması, izlem sürelerinin kısalığı, kullanılan sanal gerçeklik içeriği ve müdahale protokollerindeki heterojenlik, bulguların standart klinik rehberlere dönüştürülmesini şu an için sınırlamaktadır. Cybersickness riski, özellikle yaşlı ve komorbiditesi yüksek hemodiyaliz hastalarında dikkatle izlenmesi gereken bir güvenlik konusu olmaya devam etmektedir; bununla birlikte mevcut kanıtlar, uygun protokollerle bu riskin düşük düzeyde tutulabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, sanal gerçeklik gözlükleri; düşük maliyeti, ilaç dışı doğası, hastalar tarafından kolayca kabul edilebilirliği ve giderek genişleyen kanıt tabanıyla, hemodiyaliz hastalarının yaşam kalitesini artırmaya yönelik multidisipliner bakım paketlerinin umut verici bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir. Diyaliz hemşirelerinin, nefrologların ve multidisipliner ekibin bu teknolojiyi güvenli, kişiselleştirilmiş ve kanıta dayalı protokollerle klinik uygulamaya entegre etmesi; gelecekte daha büyük örneklemli, çok merkezli ve uzun izlemli çalışmalarla desteklenmesi durumunda, sanal gerçekliğin hemodiyaliz bakımının standart bir bileşeni hâline gelme potansiyeli taşıdığı söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Bello, A. K., Okpechi, I. G., Levin, A., ve ark. (2024). An update on the global disparities in kidney disease burden and care across world countries and regions. *Lancet Global Health*, 12(3), e382-e395.
- Benavent Caballer, V., Garcia-Testal, A., Martínez-Olmos, F. J., Valtueña-Gimeno, N., Toquero Correa, M., Garcia-Maset, R., Royo-Maicas, P., Rico-Salvador, I., Vercher Narbona, V., Gil-Gómez, J. A., & Segura, E. (2022). MO597: An intradialytic virtual reality exercise intervention to reduce frailty in a hemodialysis population: REVID study. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 37(Suppl. 3), gfac075.010. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfac075.010>
- Bulut, E. (2024). Evaluation of the effects of virtual reality glasses and respiratory exercise applications on symptoms and quality of life in patients receiving hemodialysis treatment (Doktora tezi). Trakya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Chong, H. J., Kim, M. J., Raszewski, R., & Jang, M. K. (2025). Metaverse technology use among patients undergoing hemodialysis: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Applied Nursing Research*, 84, 151983. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2025.151983>
- Coşar ve ark. (2026). Determination of the effects of virtual reality-based videos on symptoms, vital signs and comfort in hemodialysis patients. *Therapeutic Apheresis and Dialysis*. <https://doi.org/10.1111/1744-9987.70092>
- Drazich, B. F., ve ark. (2023). In too deep? A systematic literature review of fully-immersive virtual reality and cybersickness among older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 71(12), 3906-3915.
- Elzeky, M. E. H., Salameh, B., Reshia, F. A. A., Sabry, A. A., Shahine, N. F. M., & Mohamed, E. A. (2024). The effect of virtual reality distraction on haemodialysis patients' pain and anxiety during arteriovenous fistula puncture: A randomised controlled trial. *Journal of Renal Care*. <https://doi.org/10.1177/17449871241252005>
- Global Burden of Disease 2023 Chronic Kidney Disease Collaborators. (2025). Global, regional, and national burden of chronic kidney disease in adults, 1990-2023, and its attributable risk factors: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2023. *The Lancet*.
- Global Burden of Disease 2023 Kidney Failure Collaborators. (2025). Global, regional, and national prevalence of kidney failure with replacement therapy and associated aetiologies, 1990-2023: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2023. *The Lancet Global Health*.

- Güler, S., Öztürk, S., Şahan, S., ve ark. (2026). The effect of video streaming with virtual reality glasses during arteriovenous fistula needle insertion on pain and anxiety of individuals undergoing hemodialysis treatment. *Hemodialysis International*, 30(1), 37-45. <https://doi.org/10.1111/hdi.70010>
- Gülpınar, S. (2025). Investigation of the effects of foot massage and virtual reality applications on hemodialysis symptoms and comfort level (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Hernandez, R., Wilund, K., Solai, K., Tamayo, D., Fast, D., Venkatesan, P., Lash, J. P., Lora, C. M., Martinez, L., Martin Alemañy, G., Martinez, A., Kwon, S., Romero, D., Browning, M. H. E. M., & Moskowitz, J. T. (2023). Positive psychological intervention delivered using virtual reality in patients on hemodialysis with comorbid depression: Protocol and design for the Joviality randomized controlled trial. *JMIR Research Protocols*, 12, e45100. <https://doi.org/10.2196/45100>
- Kang, X., Zhang, Y., Sun, C., Zhang, J., Che, Z., Zang, J., & Zhang, R. (2025). Effectiveness of virtual reality training in improving outcomes for dialysis patients: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e58384. <https://doi.org/10.2196/58384>
- Nadort, E., Rijkers, N., Schouten, R. W., Hoogeveen, E. K., Bos, W. J. W., Vleming, L. J., Westerman, M., Schouten, M., Dekker, M. J. E., Smets, Y. F. C., Chandie Shaw, P., Farhat, K., Dekker, F. W., van Oppen, P., Siegert, C. E. H., & Broekman, B. F. P. (2022). Depression, anxiety and quality of life of hemodialysis patients before and during the COVID-19 pandemic. *Journal of Psychosomatic Research*, 158, 110917. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2022.110917>
- Nagy, E., Tharwat, S., Elsayed, A. M., Shabaka, S. A. E., & Nassar, M. K. (2023). Anxiety and depression in maintenance hemodialysis patients: Prevalence and their effects on health-related quality of life. *International Urology and Nephrology*, 55(11), 2905-2914. <https://doi.org/10.1007/s11255-023-03556-7>
- Namazinia, M., Mohajer, S., Abbaspour, S., Lopez, V., & Sarbooz-Hoseinabadi, T. (2025). Effects of virtual reality on pain induced by arteriovenous fistula needle insertion in patients undergoing hemodialysis: A randomized clinical trial. *Journal of Vascular Access*. <https://doi.org/10.1177/11297298231225755>
- Ortiz, A., Lees, J. S., Torra, R., Stel, V. S., Kramer, A., & Mark, P. B. (2026). The updated global burden of chronic kidney disease: One death every 20 seconds. *Nephrology Dialysis Transplantation*, gfrag040. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfrag040>
- Hosseini, T., Hooshmandja, M., Noaparast, M., Mojtahedzadeh, R., & Mohammadi, A. (2024). Virtual reality exposure therapy to decrease anxiety before surgical invasive procedures in hemodialysis patients: An interventional

study. *BMC Nephrology*, 25(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12882-024-03461-w>

Rodríguez de Galvis, S., Guerrero Rodríguez, E., Audije-Gil, J., Hernández, S. H., Argilés-Huguet, M., Botella, A., Burgos Villulas, M., Casaux-Huertas, A., González Sánchez, I., Marín López, M. T., Manso, P., Hernán, D., Dapena, F., & Arenas Jiménez, M. D. (2025). A pilot study of virtual reality in hemodialysis for mitigating pain and anxiety: User experiences and perceptions. *Patient Preference and Adherence*, 19, 2069-2079. <https://doi.org/10.2147/PPA.S517622>

Segura-Ortí, E., & García-Testal, A. (2019). Intradialytic virtual reality exercise: Increasing physical activity through technology. *Seminars in Dialysis*, 32(4), 331-335. <https://doi.org/10.1111/sdi.12788>

Tharwat, S., Nagy, E., Elsayed, A. M., Salem, K. M., Salah, A. M., Mohamed, S. Z., & Nassar, M. K. (2025). Prevalence of knee pain and its relation to depression, anxiety, and health-related quality of life among maintenance hemodialysis patients. *Journal of Clinical Medicine*, 14(2), 368. <https://doi.org/10.3390/jcm14020368>

Topaloğlu Us, S. (2026). The effect of video streaming with virtual reality glasses during arteriovenous fistula needle insertion on pain and anxiety of individuals undergoing hemodialysis treatment. *Hemodialysis International*, 30(1), 37-45. <https://doi.org/10.1111/hdi.70010>

