

EDİTÖR

Doç. Dr. Nihat LAÇIN

**AĞIZ, DİŞ
VE ÇENE
RADYOLOJİSİ**

Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler

**ARALIK
2024**

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı
Birinci Basım / Aralık 2024 - Ankara
ISBN / 978-625-388-135-1

© copyright

2024, Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir
yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
0312 384 80 40
www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro
Sertifika No: 42488

**AĞIZ, DİŞ VE ÇENE RADYOLOJİSİ
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE
DEĞERLENDİRMELER**

EDİTÖR

Doç. Dr. Nihat LAÇİN

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

DİŞ HEKİMLİĞİNDE FRAKTAL BOYUT ANALİZİ VE UYGULAMA ALANLARI

Emre SÖZEN 7

BÖLÜM 2

ZİKA VİRÜSÜ VE ORAL KAVİTEDEKİ ETKİLERİ

Celal BAYAR, Selma YALTKAYA,

Şebnem ERÇALIK YALÇINKAYA 21

BÖLÜM 3

RADYASYON ÇEŞİTLERİ VE GÜNCEL RADYASYON KAYNAKLARININ SAĞLIĞA OLASI ETKİLERİ

Emre SÖZEN 33



BÖLÜM 1

DİŞ HEKİMLİĞİNDE FRAKTAL BOYUT ANALİZİ VE UYGULAMA ALANLARI

Emre SÖZEN¹

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

Fraktal boyuta giriş

Matematikçi Benoît Mandelbrot, karmaşık geometrileri ve integral boyutlarla tanımlanamayan nesnelere ifade etmek için “fraktal” terimini ortaya atmıştır. Düzensiz ve parçalı yapıya sahip karmaşık nesnelere tanımlayabilme yeteneği, geleneksel Öklid geometrisinin analiz edemediği bir alanken fraktal geometri bu alanda temel oluşturur. Fraktallar, bir desenin farklı ölçeklerde tekrarlandığı matematiksel yapılardır. Bu tekrar, nesnenin her parçasının farklı boyutlarda bile benzer görünmesini sağlar ve bu özellik “öz-benzerlik” olarak adlandırılır. Matematiksel fraktallar, her gözlem ölçeğinde kesin bir öz-benzerlik sergileyen teorik ve sonsuz nesnelere dir. Elektronik, meteoroloji ve ekonomi gibi birçok alanda matematiksel modelleme aracı olarak kullanılan fraktal kavramı, matematiksel olmayan nesnelere de genişletilebilir. Doğal fraktallar, sonlu bir ölçek aralığında tekrarlayan öz-benzer veya istatistiksel olarak öz-benzer desenler olarak tanımlanır. Pek çok fiziksel sistem, farklı ölçeklerde incelendiğinde benzer davranışlar sergileme eğilimindedir. (Dohan Ehrenfest, 2011; B. Mandelbrot, 1983).

Fraktal kavramı, sadece basit bir geometrik açıklama sunmakla kalmaz, aynı zamanda akışkanlar mekaniği, biyoloji ve jeofizik gibi çeşitli disiplinlerde de geniş bir uygulama alanına sahiptir (Lopes & Betrouni, 2009).

Doğal fraktaller, tekrarlayan desenleriyle dikkat çeker ve çevremizdeki birçok yapıda karşımıza çıkar. Bunlara örnek olarak; kar taneleri, bulutlar, nehir ağları, sıra dağlar, ağaçlar, kıyı şeritleri, eğrelti otları ve deniz dalgalarının şekilleri verilebilir. (Benoit B Mandelbrot, 1975). Birçok organ ya da dokunun yapısı da fraktal ya da fraktale benzer özellik sergiler. Sitoplazmanın organizasyonu fraktal bir yapıya sahip olarak kabul edilir. Bunun yanı sıra, vasküler ağların ve pulmoner alveollerin organizasyonu da fraktallara örnek olarak gösterilebilir (Dohan Ehrenfest, 2011).

Sağlık alanında fraktallerin kullanımına dair bazı alanlar şunlardır: patoloji kapsamında (Cross, 1997); fizyoloji ve tıpta (Goldberger & West, 1987); insan fizyolojisinde (Goldberger, Rigney, & West, 1990); biyoloji ve tıp (Havlin et al., 1995); biyomedikal araştırmalarda (Heymans et al., 2000) fraktalların kullanılabilirliği üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kendine benzer yapılarda uzaysal parametreler (örneğin uzunluk, çap, alan) ölçekten etkilenir. Örneğin, bir karnabaharın çevresini ölçmeye çalıştığınızda, ölçüm sonucu kullandığınız ölçek boyutuna göre farklılık gösterilebilir. Benzer bir durum, trabekül çevresini ölçmeye çalışan araştırmacılar için de büyütme (magnifikasyon) faktörüne bağlı olarak ölçüm sonuçlarını etkilemiştir (Hahn, Vogel, Pompesius-Kempa, & Delling, 1992). Bir başka örnek olarak, bir adanın kuşbakışı görüntüsündeki kıyı uzunluğu, pergelle

yapılan ölçümlerde kullanılan ölçeğe göre değişebilir. Ancak bu yöntem, haritada adanın kıvrımlarını yeterince ayrıntılı bir şekilde ölçemez ve gerçek kıyı uzunluğundan daha düşük bir sonuç ortaya çıkar. Bu nedenle, fraktal boyut (FB) analiz yöntemi, bir çizgi üzerindeki kıvrımları daha doğru bir şekilde değerlendirmek için kullanılabilir (Benoit B Mandelbrot, 1967).

Fraktal geometri, karmaşık ve kendine benzer şekilleri sayısal olarak karakterize etme olanağı sunar. FB kavramı, karmaşıklığı ölçen nicel bir parametre olarak öne çıkar. Öklid geometrisinde tam sayı değerleri kullanılırken, FB genellikle kesirli sayılar alır; ancak tam sayı değerleri de alabilir. Matematiksel olarak FB kesin bir şekilde tanımlanmış olsa da, bu tanım pratikte her zaman yeterince kullanışlı değildir. Bu nedenle, araştırmacılar, farklı uygulamalarda FB'yi hesaplamak için çeşitli algoritmalar geliştirmişlerdir (Sánchez & Uzcátegui, 2011).

Uygulanan algoritmalar farklılık gösterse de hepsi üç temel aşamada birleşir:

1. Nesnenin ölçümleri, farklı adım boyutları kullanılarak gerçekleştirilir.
2. Ölçülen miktarların logaritması, adım boyutlarının logaritması ile karşılaştırılır ve bu verilere en küçük kareler yöntemi uygulanarak bir regresyon doğrusu elde edilir.
3. FB, elde edilen regresyon çizgisinin eğimi olarak hesaplanır (Lopes & Betrouni, 2009).

Fraktal boyut analizinde kullanılan metotlar

1. Piksel dilatasyon yöntemi
2. Tile counting yöntemi
3. Caliper yöntemi
4. Hurst metodu
5. İntensite varyans metodu
6. Kutu sayma metodu
7. Power spectrum metodu
8. Blanket metodu
9. Varyans metodu (Yaşar, 2002).

Biyolojik yapıların incelenmesinde en çok tercih edilen FB analizi yöntemi olarak dikkat çeken kutu sayma metodudur. Bu yöntemde, çeşitli boyutlardaki kutucuklardan oluşan gridler nesnenin kenarları üzerine yansıtılır. Kenarları içeren kutuların logaritmik değerleri, kutu boyutlarının

logaritmik değerlerine karşı grafiğe dökülür. Grafikte negatif eğime sahip düz bölge, FB analizinin değerini temsil eder. Gri tonlamalı (grayscale) görüntüler üzerinde analiz yapılacaksa, görüntülerin önce ikili (binary) formata dönüştürülmesi gerekir. Ardından, görüntü iskeletleştirilerek sadeleştirilir ve FB analizi bu şekil üzerinde gerçekleştirilir. FB analiz yöntemi için uygulanan formül şu şekildedir:

$$\log N(E) / \log S = D$$

Burada:

N(E): Belirli bir ölçeğe karşılık gelen kutu sayısını,

S: Ölçek faktörünü,

D: FB değerini ifade eder. (Haidekker, Andresen, Evertsz, Banzer, & Peitgen, 1997).

Diş hekimliğinde fraktal boyut analizinin uygulama alanları

İmplant uygulamaları

İmplant uygulamalarında FB analizi genellikle, implant operasyonları öncesi ile operasyonun belirli bir süre sonrası dönemde implant çevresindeki trabeküler kemikte oluşan değişimlerin FB değerleri üzerinden karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu analiz, kemiğin mikroyapısındaki değişiklikleri değerlendirmek ve implantın çevresel kemik üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılır.

Dental implant yerleştirilmesinden sonra alveol kemiğinin iyileşme sürecini değerlendirmek için yapılan bir çalışmada, FB analizi kullanılarak alveol kemiğinde implantın etkisiyle meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışma, bu değişimlerin özellikle implantın boyun bölgesinde daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, FB değerlerindeki değişimlerin zamanla artış eğilimi gösterdiği de vurgulanmıştır. Bu durum, kemiğin iyileşme sürecindeki yapısal yeniden düzenlenmesini yansıtmaktadır (Wilding et al., 1995).

İmplant yerleştirilmesi sonrası alveol kemiğinin yapısal değişimlerinin incelendiği bir diğer çalışmada implantların uygulamasının öncesi ve bu operasyonun 6 ay sonrası arasında karşılaştırmalı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan çıkan sonuçlarda, FB değerlerinin implant operasyonundan istatistiksel anlamlılık düzeyinde etkilenmediği anlaşılmıştır (Y. H. Jung, 2005).

FB analizi kullanılarak dental implantların çevresindeki stres yüklenmesi ile ilişkili kemik trabekülasyonundaki değişimlerin değerlendirildiği bir diğer çalışmada, implantın fonksiyonel kullanıma başlamadan önceki durumu ile bir yıllık fonksiyonel kullanım sonrası durumu periapikal rad-

yografler aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bulgularında, FB değerlerinde anlamlı bir artış olduğu bildirilmiştir (Mu, Lee, Park, & Moon, 2013). Bu sonuçlar, implant çevresindeki kemik trabekülasyonunda yapısal adaptasyon ve güçlendirme süreçlerinin FB ile ilişkisine işaret etmektedir

İmplant stabilitesi üzerine yapılan derleme makalesinde incelenen yedi çalışmanın, altısında FB değerlerinde artış bulunmuştur. Çalışmaların çoğunda, FB ile kullanılan diğer değerlendirme yöntemleri arasında istatistiksel bir korelasyon olduğu sonucuna varılmıştır. FB'nin, implant stabilitesinin tek başına bir göstergesi olamayabileceği; ancak, geleneksel yöntemlere ek olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir (Mishra et al., 2022).

Endodontik uygulamalar

Apikal periodontitis, pulpa hastalığının bir sonucu olarak periapikal dokularda lokal iltihaplanma meydana gelmesidir (Meirinhos et al., 2020). İstilacı mikroflora ile bağışıklık yanıtı arasındaki mücadele sonucu, dişin kökünü çevreleyen periapikal dokular, örneğin periodontal ligament ve alveolar kemik zarar görebilir. Bu zarar, klinik olarak farklı görünüm sergileyebilen periodontal lezyonlara yol açabilir (Nair, 2004). Apikal periodontitise bağlı olarak oluşan yıkım alanlarındaki değişiklikler, tedavi sürecinde radyografik görüntülerle FB analizi yöntemiyle incelenmiş ve tedaviye bağlı iyileşme ya da ilerleme süreçleri değerlendirilmiştir.

Kök kanal tedavisi sonrası periapikal lezyonların FB analizi ile incelendiği bir çalışmada, kök kanal tedavisinden üç, altı ve on iki ay sonra alınan periapikal radyografilerden elde edilen dijital görüntüler değerlendirilmiştir. Çalışmada, başarılı bir şekilde kök kanal tedavisi uygulanan hastalarda, tedavi bitiminden üç ay geçtikten sonra FB değerlerinin tedavi öncesine nazaran anlamlı bir artış gösterdiği bulunmuştur. Bu artış, tedavi sonrası periapikal dokulardaki iyileşme ve yapısal değişimlerin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır (Chen et al., 2005).

Yine başka bir çalışmada kök apeksinde başlangıçta radyolüensliğin izlendiği vakaların, başarılı kök kanal tedavisi uygulamasının ardından bir yıl geçtiğinde elde edilen röntgenler ilk haliyle FB analizi üzerinden karşılaştırılmış. FB değerlerinde anlamlı artış izlenmesiyle periapikal kemikteki iyileşmenin FB analizi üzerinden sayısal olarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Huang, Chen, Chang, Jeng, & Chen, 2013).

Cerrahi uygulamalar

Ortognatik cerrahi sonrası kemik iyileşmesi genellikle klinik bulgularla değerlendirilmekte ancak erken dönemde (1-2 ay) osteotomi bölgesindeki radyografik değişiklikler belirgin olmadığı için bu değerlendirme zorlaşmaktadır. Osteotomi alanlarında kemiğin iyileşmesini değerlendirmek için FB analizinin kullanımını inceleyen çalışmada sagittal splint os-

teotomisi vakaları ele alınmıştır. Bu cerrahi uygulama öncesi ile operasyonu takiben 1.,6. ve 12. ay görüntülerinde FB değerlerini elde etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, FB değerlerinin cerrahi operasyonu takiben 1. ve 6. aylarda cerrahi öncesine kıyasla azaldığı, ancak cerrahi sonrası 12. ayda artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu değişim, cerrahi müdahale sonrası kemik yapısındaki iyileşme ve adaptasyonu yansıttığı düşünülmektedir (Min-Suk & In-Seong, 2002).

Kist operasyonu sonrası alveolar kemikte meydana gelen değişimler, panoramik filmler üzerinde FB analizi kullanılarak incelendiği bir çalışmada, farklı tiplerde kistlere sahip 10 hasta değerlendirilmiştir. FB analiziyle cerrahi operasyon öncesi ve operasyondan sonra bir buçuk yıl geçtiğindeki değerler kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, ilk duruma göre cerrahi sonrası bir buçuk yıl geçtiğinde FB değerlerinde belirgin artış bulunmuştur. Bu artış, alveolar kemikteki iyileşme ve yapısal yeniden yapılanma sürecine işaret etmektedir (Koca, Ergün, Güneri, & Boyacıoğlu, 2010).

Dental dokular

Dentin tübüllerinin elektron mikroskobu incelemesiyle elde edilen görüntülerinin FB analizi ile yapılan değerlendirmesinde, dentin kanallarının dolmasıyla birlikte birikme süresiyle paralel olarak FB değerlerinde azalma olduğu belirtilmiştir (Levstik et al., 2001).

Diş çürükleri

Oklüzal diş yüzeylerinden alınan görüntülerde çukur ve çatlaklardaki renk bozulmalarının tespiti üzerine yapılan çalışmada, çürükler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, dijital görüntülerde, çukur ve çatlak renk bozulmalarının çevresindeki FB değerlerinin çürük derinliğiyle arttığı tespit edilmiştir (Umemori, Tonami, Nitta, Mataka, & Araki, 2010).

Osteoporoz

Osteoporozun değerlendirilmesinde oral radyograflar üzerinden FB analizinin kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Dental röntgenler üzerinde FB analizinin yardımıyla osteoporoz tespit edilebilirliğini inceleyen bir çalışmada, kadınların mandibularındaki FB değerlerinin, menapoz sonrasında menapoz öncesi döneme göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Doyle, Rabin, & Suri, 1991).

Bir başka çalışmada, in vivo verilerle in vitro verileri birleştirerek yapılan değerlendirmede, radyografiler üzerinden FB analizi kullanılarak alveolar yapının incelenmesi yapılmıştır. Çalışmanın in vitro kısmında mandibular kemik asitlenmiş haliyle normal hali kıyaslanmış ve asit uygulamasıyla artış gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmanın in vivo kısmındaysa, 6 postmenapozal kadının röntgen görüntülerindeki FB değerlerinin 6

premenapozal kadınla kıyaslanmış ve daha yüksek FB değeri bulunduğu bildirilmiştir (Ruttimann, Webber, & Hazelrig, 1992). Bu sonuçlar, asit uygulamaya bağlı kemik yıkımı ve menopoz sonrası osteoporoz gelişimi ile ilişkili kemik değişikliklerini FB analizinin yansıttığını belirtmektedir.

In vitro yapılan bir çalışmada, uyarılmış dekalsifikasyonlu insan maksillar alveolar çıkıntısı incelenmiştir. Çalışma sonucunda, FB değerlerinin artan kalsifikasyon ile azaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, kemik yapısının mineralizasyon düzeyinin FB analizine yansıyan bir etkisini göstermektedir, yani kalsifikasyon arttıkça kemik dokusunun daha düzenli ve daha az karmaşık hale geldiği anlaşılmaktadır (Southard, Southard, Jakobsen, Hillis, & Najim, 1996).

Ancak, 293 makaleyi inceleyip 12 tanesini temel alan bir meta analiz çalışmasında, elde edilen çalışmaların metodolojik kalitesinin genel olarak düşük olduğu ve bu çalışmaların %51'inde osteoporoz hastaları ile sağlıklı bireyler arasında anlamlı farklılıklar bulunduğu bildirilmiştir. Mevcut veriler ışığında, osteoporoz hastalarının tanımlanmasında FB kullanımının güvenilir olmayacağı ve çalışmaların heterojenliği nedeniyle kesin bir sonuca varılamayacağı ifade edilmiştir. Bu durum, osteoporoz tanısı koymada kullanılan FB analizlerinin daha standartlaştırılmış ve doğrulanmış metodolojilerle yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Franciotti et al., 2021).

Osteoporozla ilgili yıkım sürecinin, kemik yapısının karmaşıklığını doğrusal olmayan bir şekilde değiştirmesi ve çalışmaların standardize edilememesi, osteoporozda FB analizi uygulamalarının kullanımında şüphelere yol açmaktadır.

Periodontal uygulamalar

Periodontitis, dişin destekleyici dokularını etkileyen, diş eti iltihabı, cep oluşumu, klinik bağlanma ve alveolar kemik kaybının meydana geldiği, spesifik mikroorganizmaların neden olduğu kronik bir inflamatuvar hastalıktır (Garlet, 2010). Periodontitisin değerlendirilmesinde FB analizinin kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur (Updike & Nowzari, 2008; Yarkac, Tassoker, Atay, & Azman, 2023).

FB analizinin, periodontal hastalığın çevredeki kemik üzerindeki etkisini nicel olarak ölçmek için bir araç olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmada, sağlıklı, orta ve ağır periodontitisli olarak sınıflandırılan bireylerin periapikal filmleri üzerinde FB değerleri incelenmiştir. Sağlıklı ve orta periodontitisli hastalar ile sağlıklı ve ağır periodontitisli hastalar arasında elde edilen FB değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur (Updike & Nowzari, 2008).

Sağlıklı bireyler ile periodontitis hastaları arasındaki trabeküler kemik yapısının dijital panoramik radyografilerde FB ile değerlendirilmiştir. Trabeküler kemiğin FB sağlıklı bireylerde ve periodontitisin farklı evrelerinde olan bireylerde farklıdır. Periodontal veriler ile FB'nin ölçüldüğü bölgeler arasında negatif bir korelasyon olduğunu ve periodontitis evresi ilerledikçe FB'nin azaldığını göstermektedir. Ortalama FB değerlerinin sağlıklı grupta anlamlı şekilde daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Yarkac et al., 2023).

Periodontoloji alanındaki bu çalışmalar, periodontitisin kemik kaybı ve doku değişiklikleri gibi etkilerini daha iyi anlamak amacıyla FB analizini kullanarak, hastalığın şiddetini ve progresyonunu değerlendirmeye çalışmaktadır.

Materyaller

Dental seramikler, 3B baskı malzemeleri ve ortodontik teller gibi çeşitli dental malzemelerin yüzey ve mekanik özelliklerini değerlendirmek için FB analiziyle kullanılabilir (Drummond, Thompson, & Super, 2005; Oshida, Munoz, Winkler, Hashem, & Itoh, 1993; Paradowska-Stolarz, Wieckiewicz, Kozakiewicz, & Jurczynszyn, 2023; Sarul, Kozakiewicz, & Jurczynszyn, 2021).

Altı dental seramik yüzeyinin kırılma dayanımının FB analizi ile değerlendirilebilmesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, dental seramik yüzeyinin kırılma dayanımının FB analizi ile istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Drummond et al., 2005).

Sandblasted malzemelerin yüzey yapısının analizi için FB analizi kullanılmıştır. Çalışmada, yüzey yapısının alüminyum oksit parçacıklarından nasıl etkilendiği incelenmiştir. Yüzeyin FB değerlerindeki değişim dikkate alınarak, alüminyum oksit parçacıklarının optimal değişim zamanları belirlenmiştir (Oshida et al., 1993).

Diş hekimliğinde 3B baskı için kullanılan üç farklı malzemenin biyomekanik özellikleri, FB ve dokusu incelenmiştir. Biyomalzemelerin sıkışma öncesi ve sonrasındaki özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, FB analizi, malzemelerden birinin yapısında herhangi bir fark olmadığını göstermiştir (Paradowska-Stolarz et al., 2023).

Ortodontik tellerin mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla yapılan bir çalışmada ise, 24 farklı tel FB ve doku analiziyle incelenmiştir. Çalışmada, ortodontik tellerin hem kendi içinde hem de farklı markalar arasında FB değerleri ve dokuları açısından anlamlı farklar olduğu belirtilmiştir (Sarul et al., 2021).

Sonuç olarak, diş hekimliğinde kullanılan malzemelerin mekanik ve yüzey özelliklerini değerlendirmek için FB analizi etkili bir yöntem olarak kullanılabilir.

Damar yapısı

İmplantlar arası mesafenin kemik içi damarlanmaya etkisini inceleyen bir çalışmada, köpek mandibulaları kullanılarak elektron mikroskobu görüntüleri üzerinden FB analizi yapılmıştır. Çalışmada, 2 mm implant mesafesi olan grupla 3 mm implant mesafesi olan grupların kemik içi damarlanma yoğunlukları FB analizi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, FB değerlerinin anlamlı şekilde daha düşük olduğundan implantlar arasındaki mesafenin 2 mm olan grubun, 3 mm olanlara göre daha düşük damarlanma yoğunluğuna sahip olduğu belirtilmiştir (Traini, Novaes, Piattelli, Papalexou, & Muglia, 2010).

Kanser

Kanser riski taşıyan oral lökoplaki, premalign lezyonlar arasında yer almaktadır. FB analizi, bu premalign lezyonun kansere dönüşme riskinin erken teşhisinde kullanılabilirliği açısından incelenmiştir. Yapılan çalışmada, oral lökoplakinin malignite potansiyelini belirlemede FB analizinin etkinliği ortaya konmuş ve displastik değişiklikler gösteren lökoplaki vakalarında FB değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek olduğu bulunmuştur (Iqbal et al., 2020).

Başka bir çalışmada FB analizi ile granüler hücreli tümörü olan hastalar ile skuamöz hücreli karsinoması olan hastalar, incelenmiştir. Bu çalışmada, 9 skuamöz hücreli karsinom ve 12 pseudo-epitheliomatous hyperplasia (granüler hücreli tümör) vakasının, epitelyal bağ dokusu ara yüzündeki karmaşıklığı içeren 56 veri değerlendirilmiştir. Granüler hücreli tümör grubunun FB değerlerinin, skuamöz hücreli karsinomlu gruptan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Abu-Eid & Landini, 2006).

Osteosarkom tanısı oldukça zordur ve özgül semptomların eksikliği nedeniyle sıklıkla osteomyelit ile karıştırılabilir. Osteosarkom kaynaklı trabeküler kemik değişikliklerinin görüntülerde tespiti, FB ve anizotropi derecelerinin analizi yoluyla osteosarkom ile osteomyelitin ayırımını yapma olasılığı araştırılmıştır. Normal trabeküler kemikle karşılaştırıldığında, osteosarkom ve osteomyelitten etkilenen trabeküler kemiklerin izotropik bir yapıya büründüğü ve daha karmaşık hale geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada, hem osteosarkom hem de osteomyelit için FB değerleri ve diğer mikro mimari parametrelerde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Ancak, osteosarkom ve osteomyelit ayırımında FB analizinin istatistiksel olarak anlamlı bir fark sağlamadığı belirtilmiştir (J.-H. Jung et al., 2022).

Sonuç

FB analizi, diş hekimliğinin neredeyse her dalında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu analizle ilgili yapılan çalışmalarda hem anlamlı sonuçlar elde edilen hem de tutarsız sonuçlar sunan örnekler bulunmaktadır. Ancak FB analizi uygulanırken protokolün standardizasyonuna dikkat edilmesi, analizin diş hekimliğinin birçok alanında değerli bir yardımcı parametre olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abu-Eid, R., & Landini, G. (2006). Morphometrical differences between pseudo-epitheliomatous hyperplasia in granular cell tumours and squamous cell carcinomas. *Histopathology*, 48(4), 407-416.
- Chen, S.-K., Oviir, T., Lin, C.-H., Leu, L.-J., Cho, B.-H., & Hollender, L. (2005). Digital imaging analysis with mathematical morphology and fractal dimension for evaluation of periapical lesions following endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 100(4), 467-472.
- Cross, S. S. (1997). Fractals in pathology. *The Journal of pathology*, 182(1), 1-8.
- Dohan Ehrenfest, D. M. (2011). Fractal patterns applied to implant surface: definitions and perspectives. *Journal of Oral Implantology*, 37(5), 506-509.
- Doyle, M. D., Rabin, H., & Suri, J. S. (1991). *Fractal analysis as a means for the quantification of intramandibular trabecular bone loss from dental radiographs*. Paper presented at the Biostereometric Technology and Applications.
- Drummond, J. L., Thompson, M., & Super, B. J. (2005). Fracture surface examination of dental ceramics using fractal analysis. *Dental Materials*, 21(6), 586-589.
- Franciotti, R., Moharrami, M., Quaranta, A., Bizzoca, M., Piattelli, A., Aprile, G., & Perrotti, V. (2021). Use of fractal analysis in dental images for osteoporosis detection: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 32(6), 1041-1052.
- Garlet, G. P. (2010). Destructive and protective roles of cytokines in periodontitis: a re-appraisal from host defense and tissue destruction viewpoints. *Journal of dental research*, 89(12), 1349-1363.
- Goldberger, A. L., Rigney, D. R., & West, B. J. (1990). Chaos and fractals in human physiology. *Scientific American*, 262(2), 42-49.
- Goldberger, A. L., & West, B. J. (1987). Fractals in physiology and medicine. *The Yale journal of biology and medicine*, 60(5), 421.
- Hahn, M., Vogel, M., Pompesius-Kempa, M., & Delling, G. (1992). Trabecular bone pattern factor—a new parameter for simple quantification of bone microarchitecture. *Bone*, 13(4), 327-330.
- Haidekker, M., Andresen, R., Evertsz, C., Banzer, D., & Peitgen, H. (1997). Assessing the degree of osteoporosis in the axial skeleton using the dependence of the fractal dimension on the grey level threshold. *The British journal of radiology*, 70(834), 586-593.
- Havlin, S., Buldyrev, S., Goldberger, A., Mantegna, R., Ossadnik, S., Peng, C.-K., . . . Stanley, H. (1995). Fractals in biology and medicine. *Chaos, Solitons & Fractals*, 6, 171-201.

- Heymans, O., Fissette, J., Vico, P., Blacher, S., Masset, D., & Brouers, F. (2000). Is fractal geometry useful in medicine and biomedical sciences? *Medical hypotheses*, 54(3), 360-366.
- Huang, C., Chen, J., Chang, Y., Jeng, J., & Chen, C. (2013). A fractal dimensional approach to successful evaluation of apical healing. *International endodontic journal*, 46(6), 523-529.
- Iqbal, J., Patil, R., Khanna, V., Tripathi, A., Singh, V., Munshi, M., & Tiwari, R. (2020). Role of fractal analysis in detection of dysplasia in potentially malignant disorders. *Journal of family medicine and primary care*, 9(5), 2448-2453.
- Jung, J.-H., Huh, K.-H., Yong, T.-H., Kang, J.-H., Kim, J.-E., Yi, W.-J., . . . Lee, S.-S. (2022). Differentiation of osteosarcoma from osteomyelitis using microarchitectural analysis on panoramic radiographs. *Scientific reports*, 12(1), 12339.
- Jung, Y. H. (2005). Evaluation of peri-implant bone using fractal analysis. *Korean Journal of Oral and Maxillofacial Radiology*, 35(3), 121-125.
- Koca, H., Ergün, S., Güneri, P., & Boyacıoğlu, H. (2010). Evaluation of trabecular bone healing by fractal analysis and digital subtraction radiography on digitized panoramic radiographs: a preliminary study. *Oral Radiology*, 26(1), 1-8.
- Levstik, A., Leskovec, J., Filipic, C., Kutnjak, Z., Zeks, B., & Kordas, M. (2001). The deposition of AgCl into tubules of the human tooth dentine. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 34(6), 852.
- Lopes, R., & Betrouni, N. (2009). Fractal and multifractal analysis: a review. *Medical image analysis*, 13(4), 634-649.
- Mandelbrot, B. (1983). *The Irregular and Fragmented Nature in The Fractal Geometry of Nature*: New York: Macmillan Publishers.
- Mandelbrot, B. B. (1967). How long is the coast of Britain. *Science*, 156(3775), 636-638.
- Mandelbrot, B. B. (1975). Stochastic models for the Earth's relief, the shape and the fractal dimension of the coastlines, and the number-area rule for islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 72(10), 3825-3828.
- Meirinhos, J., Martins, J., Pereira, B., Baruwa, A., Gouveia, J., Quaresma, S., . . . Ginjeira, A. (2020). Prevalence of apical periodontitis and its association with previous root canal treatment, root canal filling length and type of coronal restoration—a cross-sectional study. *International endodontic journal*, 53(4), 573-584.
- Min-Suk, H., & In-Seong, J. (2002). Radiologic assessment of bone healing after orthognathic surgery using fractal analysis. *Imaging science in dentistry*, 32(4), 201-206.

- Mishra, S., Kumar, M., Mishra, L., Mohanty, R., Nayak, R., Das, A. C., . . . Lapinska, B. (2022). Fractal dimension as a tool for assessment of dental implant stability—a scoping review. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(14), 4051.
- Mu, T.-J., Lee, D.-W., Park, K.-H., & Moon, I.-S. (2013). Changes in the fractal dimension of peri-implant trabecular bone after loading: a retrospective study. *Journal of periodontal & implant science*, *43*(5), 209.
- Nair, P. R. (2004). Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, *15*(6), 348-381.
- Oshida, Y., Munoz, C. A., Winkler, M. M., Hashem, A., & Itoh, M. (1993). Fractal dimension analysis of aluminum oxide particle for sandblasting dental use. *Bio-medical materials and engineering*, *3*(3), 117-126.
- Paradowska-Stolarz, A., Wieckiewicz, M., Kozakiewicz, M., & Jurczyszyn, K. (2023). Mechanical properties, fractal dimension, and texture analysis of selected 3D-printed resins used in dentistry that underwent the compression test. *Polymers*, *15*(7), 1772.
- Ruttimann, U. E., Webber, R. L., & Hazelrig, J. B. (1992). Fractal dimension from radiographs of peridental alveolar bone: a possible diagnostic indicator of osteoporosis. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, *74*(1), 98-110.
- Sánchez, I., & Uzcátegui, G. (2011). Fractals in dentistry. *Journal of dentistry*, *39*(4), 273-292.
- Sarul, M., Kozakiewicz, M., & Jurczyszyn, K. (2021). Surface evaluation of orthodontic wires using texture and fractal dimension analysis. *Materials*, *14*(13), 3688.
- Southard, T. E., Southard, K. A., Jakobsen, J. R., Hillis, S. L., & Najim, C. A. (1996). Fractal dimension in radiographic analysis of alveolar process bone. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, *82*(5), 569-576.
- Traini, T., Novaes, A. B., Piattelli, A., Papalexiou, V., & Muglia, V. A. (2010). The relationship between interimplant distances and vascularization of the interimplant bone. *Clinical oral implants research*, *21*(8), 822-829.
- Umemori, S., Tonami, K.-i., Nitta, H., Mataka, S., & Araki, K. (2010). The possibility of digital imaging in the diagnosis of occlusal caries. *International journal of dentistry*, 2010.
- Updike, S. X., & Nowzari, H. (2008). Fractal analysis of dental radiographs to detect periodontitis-induced trabecular changes. *Journal of periodontal research*, *43*(6), 658-664.
- Wilding, R., Slabbert, J., Kathree, H., Owen, C., Crombie, K., & Delpont, P. (1995). The use of fractal analysis to reveal remodelling in human alveolar bone following the placement of dental implants. *Archives of Oral Biology*, *40*(1), 61-72.

- Yarkac, F.-U., Tassoker, M., Atay, U.-T., & Azman, D. (2023). Evaluation of trabecular bone in individuals with periodontitis using fractal analysis: An observational cross-sectional study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 15(12), e1022.
- Yaşar, F. (2002). *Osteoporotik kemik trabekül bulgularının radyografik dijital analiz ve kemik mineral densite yöntemleriyle karşılaştırılması*. (Doktora tezi), Selçuk Üniversitesi, Konya.



BÖLÜM 2

ZİKA VİRÜSÜ VE ORAL KAVİTEDEKİ ETKİLERİ

*Celal BAYAR¹, Selma YALTKAYA²,
Şebnem ERÇALIK YALÇINKAYA³*

1 Arş. Gör. Dt., Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı ORCID ID: 0009-0002-5065-9834

2 Arş. Gör. Dt., Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı ORCID ID: 0009-0008-3075-6796

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

Zika virüsü (ZIKV), *Flaviviridae* ailesine ait, tek iplikçikli, pozitif polariteli bir RNA virüsüdür. Bu virüs, yaklaşık 10.617 nükleotid uzunluğunda olup, lipit bir zarla kaplıdır (Baronti ve ark., 2014; Cook & Holmes, 2006; Dick ve ark., 1952). İlk kez 1947 yılında Uganda'daki Zika Ormanı'nda keşfedilen Zika virüsü, özellikle *Aedes aegypti* sivrisinekleri aracılığıyla insanlara bulaşabilmektedir (Dick ve ark., 1952; Mlakar ve ark., 2016; Zanluca ve ark., 2015).

Son yirmi yılda, insanlar için patojen olan viral etkenlerin, salgınlar şeklinde ortaya çıkışında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Zika virüsü, Arbovirüsler grubuna dahil bir patojendir. *Arbovirüsler*, özellikle sivrisinekler ve keneler gibi eklem bacaklı taşıyıcılar aracılığıyla insanlara ve diğer omurgalılara bulaşan RNA virüslerini kapsayan bir virüs grubudur (Musso, Rodriguez-Morales, ve ark., 2018). *Togaviridae*, *Flaviviridae* ve *Bunyaviridae*, insanlarda endemik/salgın hastalıklara neden olan arbovirüs grubuna ait başlıca virüs ailelerini oluşturmaktadır (Musso, Rodriguez-Morales, ve ark., 2018).

2015 ile 2017 yılları arasında Brezilya'nın kuzeydoğu bölgelerinde mikrosefali ile doğan bebeklerin sayısında büyük bir artış gözlemlenmiştir. Bu artışın, Zika virüsünün intrauterin bulaşı ile ilişkili olduğu belirlenmiş ve bu durumun, nörolojik, kas-iskelet sistemi ve duyuşsal anomalilerle karakterize edilen konjenital Zika sendromu (KZS) olarak tanımlanan bir klinik tabloya neden olduğu tespit edilmiştir (Siqueira ve ark., 2020). Dünya çapında zika virüsünün etkileri üzerine birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, enfeksiyonun ağız ve oral kavite üzerindeki potansiyel etkileri hakkında sınırlı sayıda bilgi bulunmaktadır.

Bu bölümde, Zika virüsünün epidemiyolojisi, bulaş yolları, patofizyolojisi, belirtileri ve özellikle oral kavite üzerindeki etkileri ele alınacaktır.

1. Epidemiyolojisi

2007'den önce ZIKV, Afrika ve Asya'da bildirilen yalnızca birkaç sporadik insan enfeksiyonu vakasıyla sınırlıdır. (Hamel ve ark., 2016; Posen ve ark., 2016). Ancak ZIKV, 2007 yılında Mikronezya Federal Devletleri'ndeki Yap Adası'nda nüfusun büyük bir kısmının enfekte olmasıyla dikkat çekmiştir (Duffy ve ark., 2009; Lanciotti ve ark., 2008). Mayıs 2015'te ise ZIKV enfeksiyonu ilk kez Brezilya'da saptanmıştır. Bu tarihten sonra virüs, Kuzey ve Güney Amerika ile Karayipler'e yayılmıştır (Kinchhauser ve ark., 2016; Posen ve ark., 2016). ZIKV'nin yeni coğrafyalara farklı taşıyıcı türleri aracılığıyla hızla yayıldığı göz önüne alındığında (Higgs, 2016), herhangi bir ülkede meydana gelen bir salgının küresel düzeyde bir risk teşkil etme potansiyeli taşıdığı kabul edilmektedir (Enfissi ve ark., 2016).

2. Bulaş Yolları

ZIKV, insanlara öncelikle enfekte sivrisineklerin ısırması yoluyla bulaşmaktadır. *Aedes aegypti* ve *Aede albopictus* gibi sivrisinek türleri, Zika virüsünün başlıca taşıyıcıları olarak kabul edilmektedir. Bu sivrisinekler, enfekte bir kişinin kanını emdikten sonra virüsü diğer insanlara taşıyabilmektedirler. Sivrisineklerin genellikle gündüz saatlerinde aktif oldukları belirtilmiştir (Çalman ve ark., 2017). Zika virüsünün diğer önemli bulaş yolları arasında cinsel temas yer almaktadır. Enfekte bireylerin, virüsü semen ve diğer genital sıvılar yoluyla partnerlerine aktarabildiği ve bu durumun hem semptomatik hem asemptomatik bireylerde görülebildiği bildirilmiştir (Mansuy ve ark., 2016). Hamilelik sırasında ise enfekte olan anneler, virüsü plasenta yoluyla fetüse bulaştırabilmektedir. Bu durum, doğum kusurlarına, özellikle mikrosefaliye yol açabilmektedir (Besnard ve ark., 2014). Zika virüsü kan nakilleri yoluyla da bulaşma potansiyeline sahiptir. Enfekte donörlerden elde edilen kan ürünleri aracılığıyla virüsün yayılabildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bazı ülkelerde kan bağıışı öncesi zika virüsü taraması yapılmaktadır (Barjas-Castro ve ark., 2016). Benzer şekilde, organ veya doku nakillerinde de bulaş riski bulunmaktadır. Bu bağlamda, organ nakillerinde taramaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca Enfekte kan veya vücut sıvılarıyla doğrudan teması olan laboratuvar çalışanlarında da Zika virüsü enfeksiyonu bildirilmiştir (Gregory ve ark., 2017). ZIKV'nin farklı yollarla bulaşması, patojenin kontrol altına alınmasını zorlaştırmaktadır (Song ve ark., 2017).

3. Patofizyoloji

Zika virüsünün *Aedes* türü sivrisineklerin ısırmasıyla insan vücuduna taşınmasından sonra enfeksiyon deri dentritik hücrelerinde başlamaktadır. Virüs, E (envelope) proteinleri aracılığıyla hücre yüzeyindeki reseptörlere bağlanır ve endositoz yoluyla hücre içine alınır. Burada virüs hücre içinde çoğalmaya başlar ve kan dolaşımına yayılır. Bu süreç viremiye neden olmaktadır (Lazear & Diamond, 2016). Kan-beyin bariyerini aşarak merkezi sinir sistemine ulaşabilen bu enfeksiyon, özellikle fetal sinir sistemi üzerinde ciddi etkiler yaratabilmektedir. Sinir progenitör hücrelerini hedef alarak mikrosefali gibi gelişimsel bozukluklara neden olabilmekte ve beyin dokusunda inflamasyon ve hücre ölümünü başlatabilmektedir (Tang ve ark., 2016).

Zika enfeksiyonlarının ardından Guillain-Barre sendromu gibi otoimmün rahatsızlıkların görülmesi, hastalığın bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerinin karmaşıklığını göstermektedir. Zika virüsünün bazı proteinlerinin, insan sinir sistemi proteinlerine yapısal olarak benzerlik göstermesi, bağışıklık sisteminin yanlışlıkla sinir hücrelerini hedef almasına yol açabilmektedir. Guillain-Barre sendromu, periferik sinir sisteminde yer alan

miyelin kılıflarının zarar görmesine ve paralize neden olan iletim bozukluklarına yol açabilir. Ayrıca bağışıklık sisteminin aşırı aktivasyonu periferik sinirlerde inflamasyon ve otoimmüniteyi uyurabilmektedir (Brasil ve ark., 2016; Willison ve ark., 2016).

Bununla birlikte, gebelik döneminde zika virüsü plasenta bariyerini aşabilmekte ve hamile kadınlarda enfeksiyonun etkileri fetüs üzerinde ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Plasenta hücrelerinde çoğalan patojen, fetüse geçerek beyin gelişimini olumsuz etkileyebilmekte ve trofoblast hücrelerini enfekte ederek plasental disfonksiyon ve fetal hipoksiye yol açabilmektedir (Quicke ve ark., 2016).

4. Belirtiler

ZIKV enfeksiyonuyla ilişkili tipik semptomlar hafif ve nispeten sınırlı olarak izlenmiştir. Genellikle ateş, makülopapüler döküntü, konjonktivit ve miyalji şeklinde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Musso & Gubler, 2016). Ancak 2015'ten bu yana Amerika'da yaşanan son salgınlar, ZIKV ile ilişkili daha ciddi klinik belirtileri ortaya çıkarmıştır. Yenidoğanlarda konjenital deformiteler ve erişkinlerde nörolojik komplikasyonlar bildirilmiştir (Mlakar ve ark., 2016). Konjenital Zika Sendromu (KZS), ZIKV ile enfekte kadınlarda hamilelik sırasında ortaya çıkabilecek en ciddi komplikasyon olarak kabul edilmektedir. Fetüslerde, annenin semptomatik olup olmadığına bakılmaksızın, KZS ve mikrosefali ortaya çıkma riski öngörülmektedir (Merfeld ve ark., 2017). KZS, doğumdan beri mevcut olan ve mikrosefali dışında da şiddeti değişen kalıcı hasarlarla birlikte ortaya çıkan bir dizi belirti ve semptomdan oluşmaktadır. ZIKV, dikey iletim yoluyla konjenital enfeksiyona yol açmaktadır (de Oliveira Melo ve ark., 2016; Eickmann ve ark., 2016).

5. Ağız, Yüz ve Diş Üzerine Etkileri

Tipik klinik belirtilere ek olarak, özellikle ağız boşluğunda baş ve boyun bölgesini etkileyen bulgular da olabilmektedir (Ribeiro ve ark., 2021). Embriyogenez sırasındaki ZIKV enfeksiyonunun kranyal nöral krest gelişimini engellediği ve bunun da anormal kraniyal osteogenez ve beyin malformasyonlarına neden olabileceği görülmüştür (Yan ve ark., 2019). Kraniyal nöral krest hücrelerinin uygunsuz göçü veya azalması, nörokristopati olarak adlandırılan çeşitli sendromlar ve konjenital rahatsızlıklarla ilişkilendirilmiştir. Bu durum sıklıkla ağız ve diş anomalilerini de içermektedir (Snider & Mishina, 2014). Bu nedenle, KZS hastalarında ağız ve dişlerde değişiklik görülmesi beklenilmektedir. ZIKV'nin çocukların ağız sağlığı üzerindeki etkilerine ilişkin bilimsel veriler, bu grup hastalara yönelik sağlık protokollerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Cavalcanti, 2017).

KZS'de ağız, yüz ve diş değişiklikleri yaygın olarak gözlenmektedir. Odontogenez intrauterin yaşamın yaklaşık altıncı haftasında başlayıp merkezi sinir sisteminin kaynaklandığı nöral krestten göç eden hücrelerin katılımıyla gerçekleşmektedir. Bu süreçte meydana gelen bozukluklar, diş dokularının fizyolojik ve morfolojik yapılarını etkileyerek değişikliklere yol açabilmektedir (Freitas ve ark., 2020).

Silva ve arkadaşlarının çalışmasında, hamilelik sırasında Zika virüsü ile enfekte olan annelerden doğan ve konjenital Zika sendromu tanısı alan bebeklerde, diş tomurcuğu gelişimi ve diş sürme süreçleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, süt ve daimi diş kuronlarının durumunu değerlendirmek amacıyla çocukların 36 aylık süreçteki gelişimleri radyografiler aracılığıyla takip edilmiştir. Araştırmada, sürnümerer, dişler, hipomatürasyon, hipodonti ve mine opasiteleri gibi çeşitli dental anomalilere rastlanmıştır. Sürme süreçleri incelendiğinde, bazı çocukların süt dişlerinin belirgin bir gecikmeyle sürdüğü, bazılarında ise 12. aya kadar hiçbir dişin sürmediği tespit edilmiştir. Ayrıca, erüpsiyon kistleri ve mine hipoplazisi gibi patolojik bulguların, belirli bireylerde yaygın olarak görüldüğü belirtilmiştir. Dental anomaliler arasında en sık rastlanan durumun diş opasitesi olduğu gözlenmiş olup, maksiller kesici dişler ve kanin dişlerin bukkal yüzeyleri ile mandibular molar dişlerin oklüzal yüzeylerinde daha yaygın olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular KZS tanılı bireylerde diş gelişiminin hem nitelik hem de zamanlama açısından ciddi şekilde etkilendiğini göstermektedir. (da Silva ve ark., 2020).

Konjenital ZIKV enfeksiyonuna bağlı ağız bulgularının değerlendirildiği mikrosefali tanısı almış çocukların ağız ve diş sağlığı durumlarını değerlendiren bir araştırmada altı ay aralıklarla onsekiz ay boyunca 34 çocuk incelenmiş ve bu çocuklar 12 ila 30 aylıkken takip edilmiştir. Araştırmaya dahil edilen çocukların büyük bir kısmında bruksizm gibi davranışsal sorunlar sıklıkla gözlemlenmiştir. Anatomik bulgular arasında en çok damak darlığı görülürken mikrodonti ve agenezis gibi diş gelişim bozukluklarının da sıklığı bildirilmiştir. Dental anomaliler arasında füzyon ve hipoplazi gibi durumlar daha az yaygın olarak kaydedilmiştir. Çocukların bir kısmında diş eti kanaması gözlemlenirken, hiç diş çürüğüne rastlanmamıştır. Ağız içinde erüpsiyon kistleri veya hematoma gibi sorunlar bazı çocuklarda tespit edilmiş, ancak bunlar diğer bulgulara oranla daha nadir olarak saptanmıştır. Bu araştırma bulguları, mikrosefali tanılı çocuklarda dental anomalilerin farklı şiddet ve sıklıkta gözlemlendiği bildirilmiştir (Medina ve ark., 2022).

Brezilya'da yapılmış ZIKV enfeksiyonunun neden olduğu KZS hastalarındaki oral değişikliklerin incelendiği bir araştırmada bazı çocuklarda diş eksiklikleri ile ilgili anomaliler tespit edilmiştir. Bu araştırma Brezilya'da KZS hastalarında oligodonti varlığını raporlayan ilk çalışmada ZIKV ile oligodonti arasındaki ilişkiye dikkat çekilmiştir (da Costa ve ark., 2022).

Zika virüsü ile ilişkili mikrosefali tanısı almış çocuklarda maloklüzyon sıklığını değerlendiren bir başka çalışmada, bir grup mikrosefali tanılı çocuğun bulguları kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. Mikrosefali hastası çocuklarda maloklüzyonun kontrol grubuna oranla çok daha sık görüldüğü ve ayrıca sürmede gecikme, maksilla ve mandibulada hipoplazi, overjet ve posterior çapraz kapanış gibi anomalilerin de daha sık görüldüğü bildirilmiştir (do Amaral ve ark., 2021).

Konjenital Zika sendromlu çocuklarda görülen oral değişiklikleri inceleyen bir başka çalışmada, belirli bir yaş aralığındaki 32 tane bireyde diş ve iskelet değişiklikleri gözlemlenmiş, ancak mukozal değişikliklere rastlanmamıştır. Diş sürme kronolojisinin çocukların yaklaşık yarısında normal seyrettiği, diğer yarısında ise değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Damak şekli açısından bireylerin bir kısmında normal, diğer kısmında ogival (dar ve yüksek kemerli) damak formu gözlemlenmiş olup mine hipoplazisi ve dişte sarı renklenmeler de görülmüştür. (Gusmão ve ark., 2020). Yakın dönemdeki çalışmalarda biçim ve sayı anomalilerin sıklığına dikkat çekilmiştir (Alencar ve ark., 2021, Ribeiro ve ark., 2021). Yapılan çalışmalarda, mikrosefalili çocukların büyük bir kısmında diş sürmesinde gecikmeler olduğu bildirilmiş olup süt dişlerinin sürme yaşının genellikle erken çocukluk dönemine denk geldiği gözlemlenmiştir (A. Carvalho ve ark., 2019; I. F. Carvalho ve ark., 2019; Cavalcanti ve ark., 2019; da Silva ve ark., 2020; de Oliveira ve ark., 2020; Gusmão ve ark., 2020; Ribeiro ve ark., 2021; Gomes ve ark., 2022). Bunlara ilaveten dudak-damak yarıkları, brüksizm ve buna bağlı diş eti yaralanmalarının da sıklıkla görüldüğü de ifade edilmiştir. Aynı şekilde, ZIKV ile ilişkili çocukların çoğunda tükürük salgısında artış, sinirlilik ve diş eti hassasiyeti gibi semptomlar dikkat çekmiştir (Cavalcanti ve ark., 2019). Table 1’de Zika sendromlu çocuklarda görülen anomaliler özetlenmiştir.

Tablo 1. Tablo zika virüsü ile enfekte çocuklarda ağız, diş ve çene anomalilerinin görülme sıklığını ve ilgili çalışmaları karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Anomaliler; diş sürme gecikmesi, mine defektleri, yutma güçlüğü gibi çeşitli klinik bulgulara dayalı olarak sınıflandırılmıştır.

Ağız, Diş ve Çene Anomalileri	Görülme Sıklığı (%)	Yapılan Çalışmalar
Diş Sürme Gecikmesi/Diş çıkış sırasında değişiklik	30.7	da Silva ve ark., 2020
	41.1	Medina ve ark., 2022
	87.5	do Amaral ve ark., 2021
	46.9	Gusmão ve ark., 2020
	60.7	Ribeiro ve ark., 2021
	17.8	de Oliveira ve ark., 2020
	93.9	Gomes ve ark., 2022
	60	I. F. Carvalho ve ark., 2019
Oligodonti	20	da Costa ve ark., 2022

Diş agenezisi	10	I. F. Carvalho ve ark., 2019
Süpernümerer Dişler	15.3	da Silva ve ark., 2020
Mikrodonti	17.6	Medina ve ark., 2022
	3.33	I. F. Carvalho ve ark., 2019
Mine Defektleri	35.6	de Oliveira ve ark., 2020
	76.1	Gomes ve ark., 2022
Mine Hipoplazisi	7.6	da Silva ve ark., 2020
	5.8	Medina ve ark., 2022
	28.1	Gusmão ve ark., 2020
	6	Gomes ve ark., 2022
Diş Opasiteleri	30.7	da Silva ve ark., 2020
	8.8	Medina ve ark., 2022
Dişte sarı renklemeler	9.4	Gusmão ve ark., 2020
Füzyon	5.8	Medina ve ark., 2022
Erüpsiyon Kistleri	53.8	da Silva ve ark., 2020
	23.5	Medina ve ark., 2022
Ogival Damak	43.7	Gusmão ve ark., 2020
	44.4	de Oliveira ve ark., 2020
Dar Damak	64.7	Medina ve ark., 2022
	68.9	Ribeiro ve ark., 2021
	33.3	I. F. Carvalho ve ark., 2019
Maloklüzyon	97.5	do Amaral ve ark., 2021
Overjet artmış/azalmış	64.1	do Amaral ve ark., 2021
Overbite artmış/azalmış	75.3	do Amaral ve ark., 2021
Anterior Açık Kapanış	38.2	Medina ve ark., 2022
	62.5	do Amaral ve ark., 2021
Anterior Çapraz Kapanış	5	do Amaral ve ark., 2021
Posterior Çapraz Kapanış	8.8	Medina ve ark., 2022
	24.3	do Amaral ve ark., 2021
Bruksizm	64.7	Medina ve ark., 2022
Alveolar sırt hiperplazisi	3.3	I. F. Carvalho ve ark., 2019
Kısa labial veya lingual frenulum	60	I. F. Carvalho ve ark., 2019
Kısa lingual frenulum	64	Ribeiro ve ark., 2021
	2.2	de Oliveira ve ark., 2020
Üst dudak frenulumunun anormal yerleşimi	59	Ribeiro ve ark., 2021
	42.2	de Oliveira ve ark., 2020
Dilin önde konumlanması	39.2	Ribeiro ve ark., 2021
Parmak emme	4.44	de Oliveira ve ark., 2020
Ağız solunumu	62.2	de Oliveira ve ark., 2020
Yutma güçlüğü	60	de Oliveira ve ark., 2020
Mikrognati	6.7	I. F. Carvalho ve ark., 2019
Artan tükürük salgısı	91.1	Cavalcanti ve ark., 2019
	57.8	de Oliveira ve ark., 2020
Aftöz ülserler	5.8	Medina ve ark., 2022
Diş eti kanaması	55.8	Medina ve ark., 2022
Diş eti hassasiyeti	83.5	Cavalcanti ve ark., 2019
Diş eti irritasyonu	86.1	Cavalcanti ve ark., 2019

Tabloda izlendiği gibi diş sürme gecikmesi/ sürme sırasında değişiklikler ile oligodonti gibi diş gelişim anomaliler Zika virüsü ile ilişkili hastalarda sıklıkla gözlenmektedir. Bu durum Zika virüsüne maruz kalan bireylerde diş gelişim sürecinin yavaşladığını ve eksikliklere yol açtığını göstermektedir. Özellikle mine hipoplazisi, dişlerin mineralize dokusunda eksiklik ve yapısal bozukluklara neden olarak klinik açıdan önem arz etmektedir. Damak darlığı, maloklüzyonlar, çapraz kapanışlar ile overjet/ overbite çene büyümesindeki dengesizliklerin bir yansıması olarak izlenmektedir. Damak darlığı sıklığı ve maloklüzyonlar, zika virüsüne bağlı olarak kraniyofasiyal gelişim bozukluklarının diş ve çene yapısına olan etkilerini açıkça göstermektedir. Araştırmalarda dikkat çeken yumuşak doku anomalileri (artan tükürük salgısı, diş eti hassasiyeti ve irritasyonu, aftöz ülserler ve diş eti kanamaları) zika virüsünün oral mukozada ve tükürük bezlerinde patofizyolojik değişimlere yol açtığını düşündürmektedir. Ağız solunumu ve yutma güçlüğünün, çene-yüz kaslarının ve solunum yollarının anatomik veya nörolojik etkilenmesine bağlı olarak ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

6. Sonuçlar

Zika virüsü ile ilişkili konjenital Zika sendromu tanısı almış çocuklarda, diş gelişimi ve ağız yapılarında önemli anomaliler tespit edilmiştir. Çalışmalarda diş sürme süreçlerinde gecikmeler, süpernümerer dişler, mine opasiteleri, hipoplazi, erüpsiyon kistleri ve diş eksiklikleri gibi bulgular saptanmıştır. Ayrıca mikrosefali tanılı bireylerde damak darlığı, maloklüzyon, bruksizm ve periodontal problemler gibi çeşitli bozukluklar bildirilmiştir.

Bu bulgular, ZIKV'nin diş ve orofasiyal gelişim üzerindeki etkilerinin hem morfolojik hem de fizyolojik düzeyde önemli olduğunu göstermektedir. Erken tanı ve multidisipliner tedavi protokollerinin geliştirilmesi, bu çocukların ağız ve diş sağlığını iyileştirmek için kritik bir öneme sahip olup ZIKV erken çocukluk dönemindeki diş gelişimi ve orofasiyal yapı üzerindeki dramatik etkilere yol açabileceği ön görülmelidir.

KAYNAKÇA

- Alencar, P. N. B., Lima, M. C. d. F., Carvalho, I. F., Araújo, L. S., Silva, P. G. d. B., Lopes, L. L. d. A., Lemos, J. V. M., & Sousa, F. B. (2021). Radiographic evaluation of dental anomalies in patients with congenital Zika virus syndrome. *Brazilian Oral Research*, 35, e043.
- Barjas-Castro, M. L., Angerami, R. N., Cunha, M. S., Suzuki, A., Nogueira, J. S., Rocco, I. M., Maeda, A. Y., Vasami, F. G., Katz, G., & Boin, I. F. (2016). Probable transfusion-transmitted Zika virus in Brazil. *Transfusion*, 56(7), 1684-1688.
- Baronti, C., Piorkowski, G., Charrel, R. N., Boubis, L., Leparç-Goffart, I., & de Lamballerie, X. (2014). Complete coding sequence of zika virus from a French polynesia outbreak in 2013. *Genome announcements*, 2(3), 10.1128/genomea.00500-00514.
- Besnard, M., Lastere, S., Teissier, A., Cao-Lormeau, V., & Musso, D. (2014). Evidence of perinatal transmission of Zika virus, French Polynesia, December 2013 and February 2014. *Eurosurveillance*, 19(13).
- Brasil, P., Sequeira, P. C., Freitas, A. D. A., Zogbi, H. E., Calvet, G. A., De Souza, R. V., Siqueira, A. M., de Mendonca, M. C. L., Nogueira, R. M. R., & Filippis, A. M. B. (2016). Guillain-Barré syndrome associated with Zika virus infection. *The Lancet*, 387(10026), 1482.
- Carvalho, A., Brites, C., Mochida, G., Ventura, P., Fernandes, A., Lage, M. L., Taguchi, T., Brandi, I., Silva, A., & Franceschi, G. (2019). Clinical and neurodevelopmental features in children with cerebral palsy and probable congenital Zika. *Brain and Development*, 41(7), 587-594.
- Carvalho, I. F., Alencar, P. N. B., Carvalho de Andrade, M. D., Silva, P. G. d. B., Carvalho, E. D. F., Araújo, L. S., Cavalcante, M. P. M., & Sousa, F. B. (2019). Clinical and x-ray oral evaluation in patients with congenital Zika Virus. *Journal of Applied Oral Science*, 27, e20180276.
- Cavalcanti, A. F. C., Aguiar, Y. P. C., de Oliveira Melo, A. S., de Freitas Leal, J. I. B., Cavalcanti, A. L., & Cavalcanti, S. d. Á. L. B. (2019). Teething symptoms in children with congenital Zika syndrome: A 2-year follow-up. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 29(1), 74-78.
- Cavalcanti, A. L. (2017). Challenges of dental care for children with microcephaly carrying Zika congenital syndrome. *Contemporary Clinical Dentistry*, 8(3), 345-346.
- Cook, S., & Holmes, E. C. (2006). A multigene analysis of the phylogenetic relationships among the flaviviruses (Family: Flaviviridae) and the evolution of vector transmission. *Archives of virology*, 151, 309-325.
- Çalman, F., Öztürkcan, S. A., & Karahan, M. (2017). İnsanlarda zika virüsü enfeksiyonları ve korunma.

- da Costa, C. C. G., Dias, V. O., Martelli, D. R. B., Marques, N. C. T., Coletta, R. D., & Júnior, H. M. (2022). First cases of oligodontia as a manifestation of the Zika virus congenital syndrome. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 134(4), e261-e266.
- da Silva, M. C. P. M., de Andrade Arnaud, M., Lyra, M. C. A., de Alencar Filho, A. V., Rocha, M. Â. W., Ramos, R. C. F., Van Der Linden, V., Junior, A. d. F. C., Heimer, M. V., & Rosenblatt, A. (2020). Dental development in children born to Zikv-infected mothers: a case-based study. *Archives of Oral Biology*, 110, 104598.
- de Oliveira, A. M. M., de Melo, E. G. M., Mendes, M. L. T., dos Santos Oliveira, S. J. G., Tavares, C. S. S., Vaez, A. C., de Vasconcelos, S. J. A., Santos Jr, H. P., Santos, V. S., & Martins-Filho, P. R. S. (2020). Oral and maxillofacial conditions, dietary aspects, and nutritional status of children with congenital Zika syndrome. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 130(1), 71-77.
- de Oliveira Melo, A. S., Aguiar, R. S., Amorim, M. M. R., Arruda, M. B., de Oliveira Melo, F., Ribeiro, S. T. C., Batista, A. G. M., Ferreira, T., Dos Santos, M. P., & Sampaio, V. V. (2016). Congenital Zika virus infection: beyond neonatal microcephaly. *JAMA neurology*, 73(12), 1407-1416.
- Dick, G. W., Kitchen, S. F., & Haddow, A. J. (1952). Zika virus (I). Isolations and serological specificity. *Transactions of the royal society of tropical medicine and hygiene*, 46(5), 509-520.
- do Amaral, B. A., Gomes, P. N., Azevedo, I. D., Galvao, H. C., da Costa Oliveira, A. G. R., & Rabelo, S. G. F. (2021). Prevalence of malocclusions in children with microcephaly associated with the Zika virus. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 159(6), 816-823.
- Duffy, M. R., Chen, T.-H., Hancock, W. T., Powers, A. M., Kool, J. L., Lanciotti, R. S., Pretrick, M., Marfel, M., Holzbauer, S., & Dubray, C. (2009). Zika virus outbreak on Yap Island, federated states of Micronesia. *New England journal of medicine*, 360(24), 2536-2543.
- Eickmann, S. H., Carvalho, M. D. C. G., Ramos, R. C. F., Rocha, M. Â. W., Linden, V. v. d., & Silva, P. F. S. d. (2016). Síndrome da infecção congênita pelo vírus Zika. *Cadernos de Saúde Pública*, 32, e00047716.
- Enfissi, A., Codrington, J., Roosblad, J., Kazanji, M., & Rousset, D. (2016). Zika virus genome from the Americas. *The Lancet*, 387(10015), 227-228.
- Freitas, D. A., Souza-Santos, R., Carvalho, L. M., Barros, W. B., Neves, L. M., Brasil, P., & Wakimoto, M. D. (2020). Congenital Zika syndrome: A systematic review. *Plos one*, 15(12), e0242367.
- Gomes, P. N., do Amaral, B. A., Azevedo, I. D., de Medeiros Maia, H. C., Arrais, N. M. R., & de Lima, K. C. (2022). Association of congenital Zika syndrome with dental alterations in children with microcephaly. *Plos one*, 17(11), e0276931.

- Gregory, C. J., Oduyebo, T., Brault, A. C., Brooks, J. T., Chung, K.-W., Hills, S., Kuehnert, M. J., Mead, P., Meaney-Delman, D., & Rabe, I. (2017). Modes of transmission of Zika virus. *The Journal of infectious diseases*, 216(suppl_10), S875-S883.
- Gusmão, T. P. d. L., Faria, A. B. S. d., Leão Filho, J. C., Carvalho, A. d. A. T., Gueiros, L. A. M., & Leão, J. C. (2020). Dental changes in children with congenital Zika syndrome. *Oral Diseases*, 26(2), 457-464.
- Hamel, R., Liegeois, F., Wichit, S., Pompon, J., Diop, F., Talignani, L., Thomas, F., Desprès, P., Yssel, H., & Missé, D. (2016). Zika virus: epidemiology, clinical features and host-virus interactions. *Microbes and Infection*, 18(7-8), 441-449.
- Higgs, S. (2016). Zika virus: emergence and emergency. *Vector Borne Zoonotic Dis*, 16(2), 75-76.
- Kindhauser, M. K., Allen, T., Frank, V., Santhana, R. S., & Dye, C. (2016). Zika: the origin and spread of a mosquito-borne virus. *Bulletin of the World Health Organization*, 94(9), 675.
- Lanciotti, R. S., Kosoy, O. L., Laven, J. J., Velez, J. O., Lambert, A. J., Johnson, A. J., Stanfield, S. M., & Duffy, M. R. (2008). Genetic and serologic properties of Zika virus associated with an epidemic, Yap State, Micronesia, 2007. *Emerging infectious diseases*, 14(8), 1232.
- Lazear, H. M., & Diamond, M. S. (2016). Zika virus: new clinical syndromes and its emergence in the western hemisphere. *Journal of virology*, 90(10), 4864-4875.
- Mansuy, J. M., Dutertre, M., Mengelle, C., Fourcade, C., Marchou, B., Delobel, P., Izopet, J., & Martin-Blondel, G. (2016). Zika virus: high infectious viral load in semen, a new sexually transmitted pathogen? *The Lancet Infectious Diseases*, 16(4), 405.
- Medina, D. T., Santos, A. P. P. d., Rodrigues, F. M. D. F., & Oliveira, B. H. d. (2022). Oral manifestations of congenital Zika virus infection in children with microcephaly: 18-month follow-up case series. *Special Care in Dentistry*, 42(4), 343-351.
- Merfeld, E., Ben-Avi, L., Kennon, M., & Cerveny, K. L. (2017). Potential mechanisms of Zika-linked microcephaly. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*, 6(4), e273.
- Mlakar, J., Korva, M., Tul, N., Popović, M., Poljšak-Prijatelj, M., Mraz, J., Kolenc, M., Resman Rus, K., Vesnaver Vipotnik, T., & Fabjan Vodusek, V. (2016). Zika virus associated with microcephaly. *New England journal of medicine*, 374(10), 951-958.
- Musso, D., & Gubler, D. J. (2016). Zika virus. *Clinical microbiology reviews*, 29(3), 487-524.

- Musso, D., Rodriguez-Morales, A. J., Levi, J. E., Cao-Lormeau, V.-M., & Gubler, D. J. (2018). Unexpected outbreaks of arbovirus infections: lessons learned from the Pacific and tropical America. *The Lancet Infectious Diseases*, 18(11), e355-e361.
- Posen, H. J., Keystone, J. S., Gubbay, J. B., & Morris, S. K. (2016). Epidemiology of Zika virus, 1947–2007. *BMJ global health*, 1(2), e000087.
- Quicke, K. M., Bowen, J. R., Johnson, E. L., McDonald, C. E., Ma, H., O’Neal, J. T., Rajakumar, A., Wrammert, J., Rimawi, B. H., & Pulendran, B. (2016). Zika virus infects human placental macrophages. *Cell host & microbe*, 20(1), 83-90.
- Ribeiro, R. A., Mattos, A., Meneghim, M. d. C., Vedovello, S. A., Borges, T. M. D., & Santamaria Jr, M. (2021). Oral and maxillofacial outcomes in children with microcephaly associated with the congenital Zika syndrome. *European Journal of Orthodontics*, 43(3), 346-352.
- Siqueira, R. M. P. d., Marinho, A. B. A. d. S., Santos, M. T. B. R. d., & Cabral, G. M. P. (2020). Dental care for children with Congenital Zika Syndrome. *RGO-Revista Gaúcha de Odontologia*, 68, e20200014.
- Snider, T. N., & Mishina, Y. (2014). Cranial neural crest cell contribution to craniofacial formation, pathology, and future directions in tissue engineering. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, 102(3), 324-332.
- Song, B.-H., Yun, S.-I., Woolley, M., & Lee, Y.-M. (2017). Zika virus: History, epidemiology, transmission, and clinical presentation. *Journal of neuroimmunology*, 308, 50-64.
- Tang, H., Hammack, C., Ogden, S. C., Wen, Z., Qian, X., Li, Y., Yao, B., Shin, J., Zhang, F., & Lee, E. M. (2016). Zika virus infects human cortical neural progenitors and attenuates their growth. *Cell stem cell*, 18(5), 587-590.
- Willison, H. J., Jacobs, B. C., & van Doorn, P. A. (2016). Guillain-barre syndrome. *The Lancet*, 388(10045), 717-727.
- Yan, Y., Zhang, X.-t., Wang, G., Cheng, X., Yan, Y., Fu, Y.-j., Yang, X., & Jiang, Z. (2019). Zika virus induces abnormal cranial osteogenesis by negatively affecting cranial neural crest development. *Infection, Genetics and Evolution*, 69, 176-189.
- Zanluca, C., Melo, V. C. A. d., Mosimann, A. L. P., Santos, G. I. V. d., Santos, C. N. D. d., & Luz, K. (2015). First report of autochthonous transmission of Zika virus in Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(4), 569-572.



BÖLÜM 3

RADYASYON ÇEŞİTLERİ VE GÜNCEL RADYASYON KAYNAKLARININ SAĞLIĞA OLASI ETKİLERİ

Emre SÖZEN¹

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

Radyasyon

Çekirdeğinde dengeli sayıda proton ve nötron içermeyen atomlara radyoaktif atomlar denir. Bu atomlar fazla enerjilerinden kurtulup kararlı hale geçme eğilimindedirler ve ortama yaydıkları bu enerjiye radyasyon denir (Yaren & Karayılanoğlu, 2005). Radyasyon kaynakları doğal ve yapay kaynaklar olarak ikiye ayrılabilir. Doğal radyasyon doğada kendiliğinden olan radyasyondur ve tüm canlılar bu radyasyona mazur kalmaktadır. Radon gazı, kozmik ışınlar ve gama ışınları doğal radyasyon kaynakları arasında sayılabilir. Yapay radyasyon kaynakları ise insanların etkisiyle oluşan kaynaklardır. Bunlar arasında bilgisayar radyo tıbbi cihazlar ve nükleer santraller sayılabilir (Gökoğlan, Ekinci, Özgenç, İlem-özdemir, & Aşıkoğlu, 2020). Halen doğal radyasyon kaynakları alınan radyasyonun büyük kısmını oluştururken, yapay radyasyon kaynaklarının payı gün geçtikçe artmaktadır. Radyasyon türleri temelde iyonize ve non-iyonize olmak üzere iki sınıftır (Wall, 2009).

İyonize radyasyon

Atom veya molekülden elektron kopararak iyonlaşmaya neden olan radyasyondur. Parçacık veya dalga tipi olmak üzere iki gruptur. Alfa, beta, gama ve x-ışınları bu grupta sayılabilirler. İyonize radyasyonun en önemli zararlı etkilerinden biri olarak kansere neden olma sayılabilir (Erdoğan, 2017).

Non-iyonize radyasyon

Atom veya molekülden iyonlaşmaya neden olmayan radyasyondur. Enerjisi daha düşük ve zararlı etkileri de daha azdır. Ultraviyole ışınlar (mor ötesi), kızıl ötesi, görünür ışık, mikro-dalgalar ve radyo dalgaları bu grupta sayılabilirler. (Dönmez, 2017).

Hava yolculuklarında kozmik iyonize radyasyon

Kozmik radyasyon iyonize radyasyon grubunda olup enerjisi ve zarar riski daha yüksek kabul edilir. Normalde de maruz kalınan bu radyasyon enlem ve yüksekliğe bağlı değişmektedir (Aw, 2003). Dünya'nın manyetik alanı ve atmosferi kozmik iyonize radyasyonu (KİR) zayıflatır, ancak bu durum daha yüksek irtifalarda ve daha kutupsal enlemlerde daha az bir ölçüde gerçekleşir (Goldhagen, 2000). Dolayısıyla hava yolculuklarında irtifaya bağlı bu radyasyona daha çok maruz kalınmaktadır.

Pilotlar ve uçuş görevlileri meslekleri gereği kozmik iyonize radyasyona daha sık maruz kalmaktadırlar. Amerika'nın Ulusal Radyasyon Kurumu ve Ölçümleri Konseyi, pilotlar ve uçuş görevlilerini içeren uçuş ekiplerini resmen radyasyon çalışanları olarak sınıflandırmıştır (Linton & Mettler Jr, 2003). Pilotlar ve uçuş görevlileri ortalama yıllık etkili doz ola-

rak 3,07 mSv almaktadırlar (Toprani, Scheibler, Mordukhovich, McNeely, & Nagel, 2024). Bu doz yaklaşık 30 göğüs röntgenine eşdeğerdir (Lin, 2010). Bu maruz kalma değeri önemli olmakla birlikte, Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'nin düşük doz iyonlaştırıcı radyasyon (<100 mSv) içerisinde (Radiation & Annex, 2021).

Uçuş personelinin radyasyona uçuşlara bağlı maruz kaldıkları KİR ve kanser ilişkisi incelenmiştir. Bazı epidemiyolojik çalışmadan elde edilen kanıtlar, uçuş peroneline KİR'ye kümülatif maruziyetin melanom, cilt kanseri, melanom dışı cilt kanseri, beyin/merkezi sinir sistemi kanseri ve meme kanseri oranlarının artmasıyla ilişkili olduğunu gösterirken. Bazı çalışmalarda kümülatif mazuriyetle kanser riski arasında ilişki olmadığını bildirmişlerdir (Scheibler et al., 2022).

Hava yolculuklarında DNA hasarı irtifanın artmasına bağlı olarak KİR dozunun artması ve birleşenin değişmesi ile artmaktadır (Charles, 2008; Sridharan et al., 2016). İçsel kaynaklı DNA hasarlarının ise KİR kaynaklı DNA hasarından çok daha fazla olduğu bilinmektedir. Ancak KİR kaynaklı hasarın daha kompleks ve onarımının da daha güç olduğu göz ardı edilmemelidir (Toprani et al., 2024).

Hava yolculuklarında non-iyonize ultraviyole radyasyon

Ultraviyole radyasyon, güneşten gelen ve farklı dalga boylarında ve frekanslarda dalgalar veya parçacıklar halinde iletilen bir tür elektromanyetik radyasyondur. Yolcu uçaklarının seyir yüksekliği olan 30.000 feet (10.000 metre) yükseklikte toplam ultraviyole (UV) radyasyon, yer seviyesine göre iki kat daha yoğundur (Knezevic, 2019).

Ultraviyole radyasyonu etkileyen faktörler

UV radyasyonu; bulutlar, ozon tabakası, güneş ışınlarının geliş açısı, aerosoller, yükseklik ve dünya yüzeyinden yansıma gibi çeşitli faktörler etkilemektedir (Herman & Celarier, 1997; Knezevic, 2019). Gökyüzü tamamıyla bulutla kaplıysa UV radyasyonun tamamına yakınının geçmesine engel olabilmekte ve UV radyasyondan koruma sağlayabilmektedir. Stratosferdeki ozon kalınlığı UV ışınların yeryüzüne geçmesine karşı koruyucu tabaka oluşturur (Knezevic, 2019).

Güneş ışığı Dünya'ya çoğunlukla eğik bir açıyla çarpar. Bu durum UV ışınlarının daha geniş bir alana dağılmasını sağlar. Bu eğiklikle ayrıca ışınlar daha geniş ozon tabakasından geçerek gelen UV radyasyonu azalmış olur. Dolayısıyla UV ışınları ekvatorda kutuplardan, öğlen vakti akşamdan, yazın kıştan daha güçlüdür (Knezevic, 2019).

UV radyasyonu, coğrafi ve mevsimsel değişikliklerden büyük ölçüde etkilenir. Tropik bölgeler, UV yoğunluğunun en yüksek olduğu yerlerdir;

ancak güney yarımkürede, aynı enlemlerde kuzey yarımküreye kıyasla daha yüksek UV yoğunlukları gözlemlenir. UV'nin sağlık üzerindeki etkileri, ozon tabakasının incelmeyeine bağlı değişimlerden çok, bu coğrafi ve mevsimsel farklılıklarla ilgilidir (McKenzie, Liley, & Björn, 2009).

Yoğun duman veya toz bölgelerinde, aerosol parçacıkları radyasyonun %50'sinden fazlasını emebilir. Atmosferin herhangi bir yerinde aerosollerin varlığı her zaman bir miktar UV radyasyonunu uzaya geri dağıtır. Yüksek rakımlardaki canlı organizmalar genellikle daha fazla UV radyasyonuna maruz kalırlar. Bunun nedeni, yüksek rakımlarda UV radyasyonunun yere ulaşmadan önce daha az atmosferden geçmesi ve bu nedenle radyasyon emici aerosoller veya ozon tabakasıyla karşılaşma olasılığının düşük rakımlarda olduğundan daha az olmasıdır (Knezevic, 2019).

Son derece yansıtıcı bir madde olarak kar, radyasyonun çoğunu atmosfere geri yansıttığı ve ardından aerosoller ve hava molekülleri tarafından yüzeye geri saçıldığı için Dünya yüzeyinin yakınındaki UV maruziyetini önemli ölçüde artırır. Taze kar, gelen UV radyasyonunun %94'üne kadarını yansıtabilir. Buna karşılık, karla kaplı olmayan topraklar genellikle UV radyasyonun yalnızca %2-4'ünü yansıtır ve okyanus yüzeyleri ise yaklaşık %5-8'ini yansıtır (Knezevic, 2019).

Ultraviyole radyasyonun sağlığa etkileri

İnsanların UV radyasyonuna maruz kalması, alınan doza göre faydalı veya zararlı olabilir. Kısa süreli maruziyet (enlem, güneş zenit açısı, atmosferin emici bileşenleri ve maruz kalınan cilt yüzeyi gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak), kalsiyum metabolizmasının düzenlenmesi, kemik sentezi, bağışıklık düzenlemesi ve hücre farklılaşması ve çoğalmasının kontrolü için gerekli bir hormon olan D vitamininin depo formunun ciltte sentezlenmesi için gereklidir (McKenzie et al., 2009).

Öte yandan, UV radyasyonuna aşırı maruz kalma çok sayıda oftalmolojik (katarakt, keratit, makula dejenerasyonları) veya dermatolojik (güneş yanıkları, fotoyaşlanma, melanom dahil kutanöz fotokarsinogenez, immünosupresyon) rahatsızlığa yol açmaktadır (Jégou et al., 2011).

Cep telefonları

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon, düşük enerjisi nedeniyle iyonizasyon üretmeyen elektromanyetik radyasyonun bir parçasıdır. Bununla birlikte, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon hücreleri elektriksel, kimyasal ve termal olarak etkileyerek çok çeşitli faydalı veya zararlı etkilere neden olur. Hem doğal hem de yapay kaynaklar tarafından üretilen elektromanyetik radyasyonun radyofrekans (RF) elektromanyetik radyasyon bileşeni, elektromanyetik dalgaların yaklaşık 3 kHz ila 300 GHz aralığında frekanslara sahip olduğu spektrumun bu kısmı olarak tanımlanabilir (D'Andrea,

Ziriak, & Adair, 2007).

W/kg birimiyle ifade edilen özgül emilim oranı (SAR), vücutta emilen RF radyasyon miktarını ölçmek için sıklıkla kullanılır (Protection, 1998). RF radyasyonun hem telekomünikasyon (cep telefonları, kablosuz telefonlar, kablosuz bilgisayar ağları, radyo ve televizyon yayıncılığı, uydu iletişimi) hem de iletişim dışı (mikrodalga fırınlar, endüstriyel RF ısıtma ve sızdırmazlık) alanlarda birçok uygulaması vardır (S. A. R. Mortazavi, Tavakkoli-Golpayegani, Haghani, & Mortazavi, 2014).

Cep telefonlarının yaygınlaşmasıyla insanlar düzenli olarak yeni RFR maruz kalmaktadır. Bu durum sağlık üzerinde RF radyasyonun etkileri ve gerekli güvenlik sınırlarının belirlenmesini gerekli kılmıştır. RF radyasyonun sağlık üzerindeki etkilerini inceleyen güvenlik sınırları ise akut ısınma etkilerinden korumayı amaçlamakta, ancak RF radyasyonun canlı dokularla yaptığı termal olmayan etkileşimleri göz ardı ediliyor olabilir. RF radyasyonun zararsız olduğu savunulsa da, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun molekülleri iyonlaştıramaması, zararsız olduğunu göstermez. RF radyasyon, hücresel enerji üretimi ve metabolizmayı etkileyebilir, oksidatif fosforilasyon sürecini bozarak reaktif oksijen türleri üretir. Ayrıca, RF radyasyonun etkisi sadece ısıya dayalı değil, doğrudan elektron ve protonlarla etkileşim yoluyla da olabilir (Héroux et al., 2023). Cep telefonu kullanımının tümör oluşumunda daha yüksek risk faktörü olabileceğini ima eden çalışmalar mevcuttur (Moon, Kim, Kim, Lee, & Lee, 2014; Sadetzki et al., 2008; Sato, Akiba, Kubo, & Yamaguchi, 2011). Gençlerde yapılan kendilerini nasıl hissettikleri ile cep telefonu kullanımının ilişkilendirildiği çalışmalarda, cep telefon kullanımının yorgunluk, stres, baş ağrısı, anksiyete, konsantrasyon güçlüğü ve uyku bozukluğu gibi sağlık semptomlarına neden olabileceğine yönelik raporlar bulunmaktadır (Punamäki, Wallenius, Nygård, Saarni, & Rimpelä, 2007; Söderqvist, Carlberg, & Hardell, 2008).

Yukarıda açıklandığı gibi RF radyasyonun özellikle de cep telefonu kullanımının olası negatif etkilerinin olabileceğine yönelik görüşler belirtilirken, negatif etkisinin olmadığını belirten görüşler de bulunmaktadır. Yakın zamanlı çalışmada kanserle cep telefonu kullanımının ilişkisi olmadığı bildirilmiştir (Benson et al., 2013). Bir sokağın sakinleri, yakındaki bir cep telefonu baz istasyonunun kurulmasının ardından meydana gelen kanser vakalarının sayısına ilişkin endişelerini dile getirmişlerdir. Sonrasında baz istasyonunun kanserlerden sorumlu olup olamayacağı araştırıldı ve baz istasyonuna yakın yaşamayla kanser arasında ilişki bulunmadığını bildirilmiştir (Stewart, Rao, Middleton, Pearmain, & Evans, 2012). Erken çocukluk dönemi kanser riski ile annenin hamilelik sırasında cep telefonu baz istasyonlarına maruz kalması arasında da bir ilişki bulunmamıştır (Elliott et al., 2010).

Hatta yakın zamanda yapılan bir çalışma, zayıf mikrodalga radyasyona kısa süreli maruz kalmanın belirli humoral veya hücreyel bağışıklık tepkilerini geçici olarak uyarabileceğini, uzun süreli maruz kalmanın ise aynı işlevleri engelleyebileceğini göstermiştir (Szmigielski, 2013). Üniversite öğrencilerinin görsel reaksiyon vermesinin, yaygın bir cep telefonundan yayılan radyofrekans aralığındaki elektromanyetik radyasyona on dakika maruz kaldıktan sonra önemli ölçüde hızlandığı belirtilmiştir (S. Mortazavi et al., 2012).

Ancak cep telefonları hala yeni bir teknolojidir ve uzun vadeli yan etkiler hakkında çok az kanıt mevcuttur. Sonuç olarak ihtiyatlı olmak en iyi yaklaşımdır (Keykhosravi, Neamatshahi, Mahmoodi, & Navipour, 2018).

RF radyasyonun sağlık üzerindeki etkileri konusunda mevcut araştırmalar çelişkili sonuçlar sunmaktadır. Bazı çalışmalar, tümör oluşumu, oksidatif stres ve çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkili riskleri vurgularken, diğerleri bu etkilerin anlamlı olmadığını hatta bazıları faydalı etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Cep telefonları ve benzeri teknolojilerin uzun vadeli etkileri hakkında sınırlı veri bulunması, bu konuda ihtiyatlı olmayı gerektirmektedir. Güvenlik sınırlarına uyulması, aşırı maruziyetten kaçınılması ve daha fazla uzun vadeli çalışmanın yapılması, hem bireylerin hem de toplumun sağlığını koruma açısından önemlidir.

Radyasyonla ilgili genel sorular:

Hangi tip radyasyon kanserde etkilidir?

İyonize tip radyasyon yüksek enerjili olup kanserlerle esas ilişkili olan radyasyon tipidir.

Tıbbi taramalarda x-ışınına maruz kalma ve tomografi çekirme gibi uygulamalar kanser riskini artırır mı?

İyonize radyasyon kullanıldığından kanser riskini artırabilmektedir.

Tıbbi taramalarda x-ışınına maruz kalma ve tomografi çekirme gibi uygulamalar kanser riskini artırıyorsa bu taramalar yaptırılmalı mıdır?

Bu taramaların gerekli durumlarda yapılması teşhis ve tedavideki yararları düşünüldüğünde olası zararlı etkilerinden daha ağır basmaktadır.

Tip ile diş hekimliğinde alınan radyasyon aynı oranda mıdır?

Cihaza göre alınan radyasyon oranı değişmekle birlikte genellikle diş hekimliğinde alınan radyasyon daha düşük dozdadır.

Çocuklarla yetişkinlerin radyasyona duyarlılıkları aynı mıdır?

Çocuklar radyasyona daha duyarlıdır.

Hamilelerde tıbbi tarama için iyonize radyasyon alınmalı mıdır?

Gebelikte iyonize radyasyon alınması önerilmez.

Hamilelerde tıbbi tarama için iyonize radyasyon kullanmayan cihazlar var mıdır?

Ultrason ve MR gibi iyonize radyasyon kullanmayan ve fetüse zararlı etkileri bildirilmemiş görüntüleme yöntemleri de bulunmaktadır.

İyonize radyasyona tıbbi cihazların dışında doğal olarak ta maruz kalır mıyız?

Yeryüzünde bulunan radon gazının etkisiyle günlük doğal olarak da iyonize radyasyona maruz kalırız.

Tıbbi taramalardan alınan radyasyon mu yoksa doğadan alınan radyasyon mu daha fazladır?

Genellikle alınan radyasyonun büyük kısmını doğadan alınan radyasyon oluşturur.

Uçuşlarda radyasyona maruz kalır mıyız?

Uçuşlarda iyonize ve non-iyonize radyasyona maruz kalınır. Dozu diş hekimliği röntgenlerindeki gibi düşüktür. Uçuş personelinin bazı ülkelerde radyasyon çalışanı sınıfında değerlendirilebildiği ve düşük doz iyonlaştırıcı radyasyon alımı grubu sınırlarında radyasyona maruz kalabildikleri bilinmektedir.

Ultraviyole ışınlar iyonize radyasyon grubunda mıdır ve kansere neden olurlar mı?

Non-iyonize (düşük enerjili) radyasyon grubundadır. Güneş ışınları kaynaklı bir radyasyondur. İyonize radyasyonlar kadar zararlı olmasalar da özellikle cilt kanseri açısından risk taşırlar.

AVM girişlerindeki metal dedektörleri iyonize radyasyon yayar mı?

İyonize radyasyon yaymayan bu cihazlar manyetik alan oluşturarak inceleme yaparlar.

Hava alanlarında kullanılan tüm vücut tarayıcıları iyonize radyasyon yayar mı?

Milimetre-dalga tarayıcıları ve geri-saçılma x-ışını tarayıcıları olmak üzere iki sınıftır. Geri-saçılma x-ışını tarayıcıları iyonize radyasyonla çalışmaktadır. Milimetre-dalga tarayıcıları ise non-iyonize radyasyon kullanmakta ve dolayısıyla sağlık yönünden daha güvenilirdir.

Telefonlar, mikrodalgalar ve radyoların radyasyonları iyonize radyasyon mudur?

Non-iyonize (düşük enerjili) radyasyon grubundadır. İyonize radyasyonlar gibi kansere neden olmazlar. Daha farklı zararlı etkileri olabileceği düşünülse de netlik kazanmamıştır.

Sonuç

Günümüzde teknolojik gelişmeler, farkında olmadan çeşitli radyasyon türlerine maruz kalmamıza yol açmaktadır. Bu radyasyonlar, yüksek ve düşük enerjili temel türlere ayrılmakta ve bunların alt türleri de bulunmaktadır. Sağlık üzerindeki olası etkiler ise bu türlere göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle, hangi teknolojinin hangi radyasyon türüne yol açtığını ve bu türlerin olası etkilerini bilmek, gereksiz maruziyetlerin yanı sıra yersiz korkuların da önüne geçilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aw, J. J. (2003). Cosmic radiation and commercial air travel.
- Benson, V. S., Pirie, K., Schüz, J., Reeves, G. K., Beral, V., Green, J., & Collaborators, M. W. S. (2013). Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *International journal of epidemiology*, 42(3), 792-802.
- Charles, M. W. (2008). ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP: Oxford University Press.
- D'Andrea, J. A., Ziriak, J. M., & Adair, E. R. (2007). Radio frequency electromagnetic fields: mild hyperthermia and safety standards. *Progress in brain research*, 162, 107-135.
- Dönmez, S. (2017). Radyasyon Tespiti ve Ölçümü. *Nucl Med Semin*, 3, 172-177.
- Elliott, P., Toledano, M. B., Bennett, J., Beale, L., De Hoogh, K., Best, N., & Briggs, D. (2010). Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. *Bmj*, 340.
- Erdoğan, M. (2017). İyonlaştırıcı radyasyon ve korunma yöntemleri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 43(2), 139-147.
- Goldhagen, P. (2000). Overview of aircraft radiation exposure and recent ER-2 measurements. *Health Physics*, 79(5), 526-544.
- Gökoğlan, E., Ekinci, M., Özgenç, E., İlem-özdemir, D., & Aşıkoğlu, M. (2020). Radyasyon ve insan sağlığı üzerindeki etkileri. *Anatolian Clinic the Journal of Medical Sciences*, 25(3), 289-294.
- Herman, J., & Celarier, E. (1997). Earth surface reflectivity climatology at 340–380 nm from TOMS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D23), 28003-28011.
- Héroux, P., Belyaev, I., Chamberlin, K., Dasdag, S., De Salles, A. A. A., Rodriguez, C. E. F., . . . Mallery-Blythe, E. (2023). Cell phone radiation exposure limits and engineering solutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(7), 5398.
- Jégou, F., Godin-Beekman, S., Corrêa, M., Brogniez, C., Auriol, F., Peuch, V., . . . Goutail, F. (2011). Validity of satellite measurements used for the monitoring of UV radiation risk on health. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(24), 13377-13394.
- Keykhosravi, A., Neamatshahi, M., Mahmoodi, R., & Navipour, E. (2018). Radiation effects of mobile phones and tablets on the skin: a systematic review. *Advances in medicine*, 2018(1), 9242718.
- Knezevic, J. (2019). Impact of high-altitude ultraviolet radiation on functionality of flight crews. *Arch Biomed Eng & Biotechnol*, 2(2).

- Lin, E. C. (2010). *Radiation risk from medical imaging*. Paper presented at the Mayo Clinic Proceedings.
- Linton, O. W., & Mettler Jr, F. A. (2003). *National council on radiation protection and measurements*. Paper presented at the National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol*.
- McKenzie, R. L., Liley, J. B., & Björn, L. O. (2009). UV radiation: balancing risks and benefits. *Photochemistry and photobiology*, 85(1), 88-98.
- Moon, I. S., Kim, B. G., Kim, J., Lee, J. D., & Lee, W.-S. (2014). Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumor Biology*, 35, 581-587.
- Mortazavi, S., Rouintan, M., Taeb, S., Dehghan, N., Ghaffarpanah, A., Sadeghi, Z., & Ghafouri, F. (2012). Human short-term exposure to electromagnetic fields emitted by mobile phones decreases computer-assisted visual reaction time. *Acta neurologica belgica*, 112, 171-175.
- Mortazavi, S. A. R., Tavakkoli-Golpayegani, A., Haghani, M., & Mortazavi, S. M. J. (2014). Looking at the other side of the coin: the search for possible biopositive cognitive effects of the exposure to 900 MHz GSM mobile phone radiofrequency radiation. *Journal of environmental health science and engineering*, 12, 1-5.
- Protection, I. C. o. N.-I. R. (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, 74(4), 494-522.
- Punamäki, R.-L., Wallenius, M., Nygård, C.-H., Saarni, L., & Rimpelä, A. (2007). Use of information and communication technology (ICT) and perceived health in adolescence: the role of sleeping habits and waking-time tiredness. *Journal of adolescence*, 30(4), 569-585.
- Radiation, U. N. S. C. o. t. E. o. A., & Annex, C. (2021). Biological mechanisms relevant for the inference of cancer risks from low-dose and low-dose-rate radiation. *Vienna: UNSCEAR*.
- Sadetzki, S., Chetrit, A., Jarus-Hakak, A., Cardis, E., Deutch, Y., Duvdevani, S., . . . Wolf, M. (2008). Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors—a nationwide case-control study. *American journal of epidemiology*, 167(4), 457-467.
- Sato, Y., Akiba, S., Kubo, O., & Yamaguchi, N. (2011). A case–case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics*, 32(2), 85-93.
- Scheibler, C., Toprani, S. M., Mordukhovich, I., Schaefer, M., Staffa, S., Nagel, Z. D., & McNeely, E. (2022). Cancer risks from cosmic radiation exposure in flight: a review. *Frontiers in Public Health*, 10, 947068.

- Söderqvist, F., Carlberg, M., & Hardell, L. (2008). Use of wireless telephones and self-reported health symptoms: a population-based study among Swedish adolescents aged 15–19 years. *Environmental Health*, 7, 1-10.
- Sridharan, D. M., Asaithamby, A., Blattnig, S. R., Costes, S. V., Doetsch, P. W., Dynan, W. S., . . . Kronenberg, A. (2016). Evaluating biomarkers to model cancer risk post cosmic ray exposure. *Life sciences in space research*, 9, 19-47.
- Stewart, A., Rao, J. N., Middleton, J. D., Pearmain, P., & Evans, T. (2012). Mobile telecommunications and health: report of an investigation into an alleged cancer cluster in Sandwell, West Midlands. *Perspectives in public health*, 132(6), 299-304.
- Szmigielski, S. (2013). Reaction of the immune system to low-level RF/MW exposures. *Science of the total environment*, 454, 393-400.
- Toprani, S. M., Scheibler, C., Mordukhovich, I., McNeely, E., & Nagel, Z. D. (2024). Cosmic ionizing radiation: a DNA damaging agent that may underly excess cancer in flight crews. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(14), 7670.
- Wall, B. F. (2009). Ionising radiation exposure of the population of the United States: NCRP Report No. 160: Oxford University Press.
- Yaren, H., & Karayılanoğlu, T. (2005). Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 4(4), 199-208.