

Tıbbi Görüntüleme Uygulamalarında Radyasyondan Korunma: Bilgi, Risk Algısı ve Uygulamalı Yaklaşımlar

Tayfun Tayfun



 **ÖZGÜR**
YAYINLARI

Tıbbi Görüntüleme
Uygulamalarında
Radyasyondan Korunma:
Bilgi, Risk Algısı ve
Uygulamalı Yaklaşımlar

Tayfun Tayfun



Published by

Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

☎ +90.532 289 82 15

🌐 www.ozguryayinlari.com

✉ info@ozguryayinlari.com

Tıbbi Görüntüleme Uygulamalarında Radyasyondan Korunma: Bilgi, Risk Algısı ve Uygulamalı Yaklaşımlar

Tayfun Tayfun

Language: Turkish

Publication Date: 2026

Cover paint by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

ISBN (PDF): 978-625-8562-72-9

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1177>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

Suggested citation:

Tayfun, T. (2026). *Tıbbi Görüntüleme Uygulamalarında Radyasyondan Korunma: Bilgi, Risk Algısı ve Uygulamalı Yaklaşımlar*. Özgür Publications. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1177>. License: CC-BY-NC 4.0

The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozguryayinlari.com/>



Bu çalışma Prof. Dr. Berkay CAMGÖZ danışmanlığında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalında tamamlanmış, yazara ait yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

İçindekiler

1. Giriş	1
2. Genel Bilgiler	3
Radyasyonun Tanımı ve Sınıflandırılması	4
Radyasyonun Sağlık Alanındaki Kullanımı	12
Radyasyonun Biyolojik Etkileri	17
Radyasyondan Korunma Prensipleri	22
Radyasyon Risk Algısı	28
Türkiye’de Radyasyon Eğitimi, Kaygı Düzeyi ve Genel Durum	32
Literatürdeki Benzer Araştırmalar ve Kavramsal İlişkiler	38
Kaynakça	43

1.Giriş

Radyasyon, fiziksel bir enerji biçimi olmasının ötesinde, sağlık alanında tanı ve tedavi süreçlerinin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir. Özellikle iyonlaştırıcı radyasyon, tıbbi görüntüleme ve radyoterapi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta; bu durum, sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırırken aynı zamanda biyolojik etkiler ve potansiyel sağlık riskleri açısından dikkatli bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Literatürde, radyasyonun biyolojik sistemler üzerindeki etkilerinin maruz kalınan doz, süre ve bireysel duyarlılığa bağlı olarak değiştiği; bu etkilerin deterministik ve stokastik mekanizmalar üzerinden ortaya çıktığı geniş biçimde kabul edilmektedir.

Radyasyonun sağlık alanındaki kullanımının artması, radyasyondan korunma kavramını merkezi bir konuma taşımıştır. Radyasyondan korunma; maruziyetin gerekçelendirilmesi, optimizasyonu ve doz sınırlaması ilkeleri çerçevesinde ele alınmakta ve bu ilkeler uluslararası kuruluşlar tarafından standartlaştırılmaktadır. Ancak literatür, teknik

düzenlemelerin ve yasal sınırların tek başına yeterli olmadığını; korunma uygulamalarının etkinliğinin büyük ölçüde bireylerin bilgi düzeyi, farkındalığı ve tutumlarıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda radyasyondan korunma bilgisi, yalnızca teknik bir yeterlilik değil, aynı zamanda güvenli davranışların belirleyicisi olarak değerlendirilmektedir.

Radyasyonla ilişkili bir diğer önemli kavram ise risk algısıdır. Risk algısı, bireylerin radyasyona ilişkin olası zararları nasıl değerlendirdiklerini, bu zararları ne ölçüde tehdit edici bulduklarını ve bu doğrultuda nasıl davranışlar geliştirdiklerini ifade eden çok boyutlu bir yapıdır. Literatürde radyasyon risk algısının, radyasyonun görünmez ve soyut bir tehdit olması, etkilerinin gecikmeli ortaya çıkabilmesi ve geçmişte yaşanan nükleer olayların toplumsal bellekte bıraktığı izler nedeniyle diğer çevresel risklerden farklılaştığı vurgulanmaktadır. Bu nedenle algılanan risk ile bilimsel olarak tanımlanan risk düzeyi arasında çoğu zaman belirgin bir uyumsuzluk oluşabilmektedir.

Araştırmalar, radyasyon risk algısının yalnızca bireysel bilgi düzeyiyle açıklanamayacağını; psikolojik faktörler, eğitim düzeyi, mesleki deneyim ve iletişim süreçleri gibi değişkenlerle birlikte şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, radyasyondan korunma bilgisi ile risk algısı arasında çift yönlü bir ilişki bulunduğu bildirilmektedir. Yetersiz bilgi, riskin olduğundan yüksek algılanmasına ve kaygının artmasına yol açabilirken; aşırı veya hatalı güven duygusu ise riskin hafife alınmasına ve korunma davranışlarının ihmal edilmesine neden olabilmektedir. Buna karşılık, doğru ve yeterli bilgiye dayalı bir eğitim sürecinin, risk algısını daha dengeli ve gerçekçi bir düzeye çekebildiği literatürde sıkça vurgulanmaktadır.

2. Genel Bilgiler

Radyasyon, hem doğal hem de yapay kaynaklardan ortaya çıkan ve modern sağlık hizmetlerinde tanı ve tedavi süreçlerinde kritik bir rol üstlenen bir olgudur. Ancak radyasyonun biyolojik dokular üzerindeki deterministik ve stokastik etkileri maruziyetin kontrol altına alınması ve olası olumsuz senaryolar için birtakım tedbirler alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle radyasyonun tanımı ve sınıflandırılması sağlık alanındaki kullanım biçimleri ve biyolojik etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Radyasyondan korunma prensipleri ile bu bağlamda geliştirilen uluslararası standartlar hem sağlık çalışanlarının hem de toplumun güvenliği açısından vazgeçilmezdir. Buna ek olarak radyasyon risk algısı bireylerin bilgi düzeyi, deneyimleri ve çevresel faktörlerle şekillenirken Türkiye'deki eğitim uygulamaları ve sağlık sektörü açısından yaşanan farklılıklar bu algının boyutlarını etkilemektedir. Literatürde yer alan benzer araştırmalar da radyasyon konusunda bilgi, kaygı ve risk algısı arasındaki ilişkileri ortaya koyarak mevcut çalışmanın hipotezlerinin geliştirilmesine temel sağlamaktadır.

Bu bölümde öncelikle radyasyonun tanımı ve farklı kriterlere göre sınıflandırılması ele alınmakta ardından sağlık alanındaki tanı ve tedavi amaçlı kullanımlarına değinilmektedir. Sonrasında radyasyonun biyolojik etkileri incelenerek hücresel ve sistem düzeyindeki sonuçları açıklanmaktadır. Ayrıca radyasyondan korunma prensipleri ve bu kapsamda uygulanan uluslararası güvenlik standartları üzerinde durulmaktadır. Bununla beraber bireylerin radyasyona yönelik risk algılarının oluşum süreci Türkiye’deki radyasyon eğitimi ve kaygı düzeyi ile sağlık sektöründeki uygulamalar bağlamında tartışılmaktadır. Tüm bunların ardından ise literatürde yer alan benzer çalışmalar ışığında araştırmanın hipotezleri geliştirilerek kavramsal çerçeve ortaya konulmaktadır.

2.1. Radyasyonun Tanımı ve Sınıflandırılması

Radyasyon, enerji taşıyan dalga veya parçacıkların bir ortam ya da boşluk aracılığıyla yayılımı olarak tanımlanmaktadır. Bu enerji elektromanyetik dalgalar (örneğin ışık, radyo dalgaları, X-ışınları, gama ışınları) veya parçacık akımları (örneğin alfa, beta parçacıkları, nötronlar) biçiminde ortaya çıkabilmektedir (Karmaker vd., 2021). Radyasyonun bu özelliği hem doğada var olan süreçlerin anlaşılmasında hem de modern teknolojilerin geliştirilmesinde temel bir rol oynamaktadır.

Radyasyonun bilimsel açıdan keşfi modern fizik ve tıbbın gelişiminde dönüm noktaları oluşturmuştur. 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen’in X-ışınlarını keşfetmesi radyasyonun tıp alanında kullanımının başlangıcını temsil ederken kısa süre sonra Marie ve Pierre Curie’nin radyoaktif elementleri (örneğin radyum ve polonyum) izole etmeleri radyasyonun doğal kaynaklarının anlaşılmasına katkı sağlamıştır. Bu gelişmeler radyasyonun hem tanısal görüntüleme hem de tedavi amaçlı kullanılmasının önünü

açmıştır. Ancak aynı zamanda kontrolsüz maruziyetin potansiyel zararları da bu süreçte ortaya çıkmış ve radyasyon güvenliği kavramının doğmasına yol açmıştır.

Radyasyon kaynakları bakımından genel olarak doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal radyasyon kaynakları; kozmik ışınlar, güneşten gelen elektromanyetik dalgalar, yerkabuğunda bulunan uranyum, toryum ve potasyum-40 gibi radyoaktif minerallerden oluşmaktadır. İnsanlar günlük yaşamda bu doğal radyasyon kaynaklarına sürekli maruz kalmaktadır. Yapay radyasyon kaynakları ise teknolojik gelişmelerin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Nükleer reaktörlerde enerji üretimi tıbbi görüntüleme ve tedavi cihazları, endüstriyel kontrol ve sterilizasyon uygulamaları yapay radyasyon kaynaklarının en yaygın örneklerindendir (Rajput, 2025).

Radyasyonun canlılar üzerindeki etkisi sahip olduğu enerji düzeyi ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda radyasyon “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” olmak üzere iki temel grupta sınıflandırılmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon, atomlardan elektron koparabilecek kadar yüksek enerjiye sahiptir ve biyolojik dokular üzerinde hasara yol açabilmektedir. X-ışınları, gama ışınları, alfa ve beta parçacıkları bu gruba örnektir. Bu radyasyon türü DNA yapısında kırılmalara neden olarak hücresel fonksiyonlarda bozulma ve uzun vadede genetik mutasyonlara yol açabilmektedir (Comstock, Weatherman, & Kowalsky, 2020). Bunun yanı sıra iyonlaştırıcı olmayan radyasyon, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ve görünür ışık gibi daha düşük enerjiye sahip dalgalardır. Bu tür radyasyon atomları iyonlaştıramasa da uzun süreli ve yoğun maruziyetlerde biyolojik sistemler üzerinde belirli etkiler yaratabilmektedir (Hamouda, Ibrahim & Mohamed, 2021).

Bu bağlamda radyasyon yalnızca fiziksel bir enerji biçimi olmanın ötesinde hem tarihsel keşifleri hem de günümüzdeki teknolojik kullanımlarıyla insan yaşamı açısından stratejik öneme sahiptir. Doğal ve yapay kaynaklardan gelen radyasyonun etkilerinin anlaşılması ve doğru sınıflandırılması hem bilimsel araştırmalar hem de sağlık ve güvenlik uygulamaları için temel oluşturmaktadır.

2.1.1.Enerjisine Göre Radyasyon Sınıflandırması

Radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması farklı radyasyon türlerinin canlı dokular üzerindeki etkilerini ve kullanım alanlarını anlamak açısından büyük öneme sahiptir. Enerji düzeyi radyasyonun hem etkileşim biçimini hem de biyolojik sonuçlarını belirleyen en temel faktördür. Literatürde yer alan yaklaşımlar genel olarak değerlendirildiğinde enerjisine göre radyasyonun, yüksek enerjili ve düşük enerjili olmak üzere iki grupta ele alındığı görülmektedir.

Düşük enerjili radyasyon grubu genellikle iyonlaştırıcı olmayan spektruma giren radyo dalgaları, mikrodalgalar ve kızılötesi ışınları vb. radyasyon türlerini kapsamaktadır.

Bu radyasyon türleri atom ve moleküllerde iyonizasyon yaratacak güce sahip değildir. Ancak uzun süreli ve yoğun maruziyetlerde, özellikle termal etkiler yoluyla biyolojik sistemlerde doku ısınması, hücresel stres ve fonksiyonel değişikliklere neden olabilmektedir. Mikrodalga fırınların çalışma prensibi bu tür termal etkilere dayanmaktadır. Sağlık alanında ise düşük enerjili radyasyon, fizyoterapide kullanılan kızılötesi lambalarda veya cerrahi lazer uygulamaları gibi çeşitli alanlarda kontrollü olarak kullanılmaktadır (Hamouda vd., 2021)

Yüksek enerjili radyasyon ise iyonlaştırıcı özellik göstermekte ve alfa, beta, gama ışınları ile X-ışınlarını kapsamaktadır. Bu radyasyon türleri atomlardan elektron kopararak iyonizasyon oluşturmakta ve böylece hücre düzeyinde DNA hasarı, genetik mutasyonlar ve hücre ölümü gibi ciddi biyolojik sonuçlara yol açabilmektedir. Enerji düzeyi yükseldikçe radyasyonun nüfuz etme kapasitesi de artmaktadır. Örneğin alfa parçacıkları yüksek enerjili olmalarına rağmen kısa menzillidir ve dış ortamda kolayca engellenebilirken, gama ışınları çok yüksek penetrasyon gücüne sahiptir ve kurşun veya beton gibi yoğun materyallerle zırhlama gerektirmektedir. Bu özellikler radyasyonun hangi koşullarda risk oluşturacağını ve nasıl korunma önlemleri alınması gerektiğini doğrudan belirlemektedir (Comstock, Weatherman, & Kowalsky, 2020).

Enerjiye göre yapılan bu sınıflandırma aynı zamanda radyasyonun uygulama alanlarını da şekillendirmektedir. Düşük enerjili iyonlaştırıcı olmayan radyasyon iletişim teknolojilerinde (radyo, televizyon, cep telefonları) ve tıbbi destek uygulamalarında yaygın kullanılırken yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyon, tıbbi görüntüleme (BT, radyografi, nükleer tıp) ve kanser tedavisinde kullanılan radyoterapi uygulamalarında kritik rol oynamaktadır. Ancak bu yararlar doğru doz yönetimi ve güvenlik önlemleri ile desteklenmediğinde ciddi sağlık riskleriyle birlikte gelmektedir.

2.1.2. Fiziksel Formlarına Göre Radyasyon Sınıflandırması

Radyasyonun insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini anlamak için yalnızca enerji düzeyi değil, taşıdığı fiziksel form da önemli bir ayırım ölçütüdür. Bu bağlamda radyasyon sahip olduğu fiziksel form bağlamında ele alındığında temel olarak “parçacık radyasyonu” ve “elektromanyetik radyasyon” olmak

üzere iki ana grupta ele alınmaktadır. Bahse konu fiziksel formlarına göre radyasyon türleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Parçacık Radyasyonu: Parçacık radyasyonu kütleye ve elektrik yüküne sahip atom altı parçacıklardan oluşmaktadır. Alfa parçacıkları iki proton ve iki nötron içeren helyum çekirdeğinden meydana gelmektedir. Yüksek enerjili olmalarına karşın kısa menzillidirler. İnsan derisine dahi nüfuz edemezler. Ancak bulunduğu veya yutulduğunda ciddi biyolojik hasara yol açabilirler. Beta parçacıkları elektron veya pozitronlardan oluşup ve alfa parçacıklarına göre daha uzun menzile sahiptir. Nötronun toplam elektriksel yükü sıfırdır. Nötron özellikle nükleer reaktörlerde ortaya çıkmakta ve oldukça yüksek biyolojik etkilere yol açabilmektedir. Parçacık radyasyonunun ortak özelliği canlı dokularda iyonlaşma yaratarak DNA hasarı ve hücrel tahribata neden olabilmesidir.

Elektromanyetik Radyasyon: Elektromanyetik radyasyon, foton adı verilen enerji paketlerinin dalga formunda yayılımıyla oluşmaktadır. Farklı dalga boyları ve frekans aralıklarına sahip geniş bir spektrum içermektedir. X-ışınları ve gama ışınları iyonlaştırıcı özellik gösterirken radyo dalgaları, mikrodalgalar ve kızılötesi ışınlar iyonlaştırıcı olmayan grupta yer almaktadır. Elektromanyetik radyasyonun biyolojik etkileri, dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, X-ışınları tıpta görüntüleme amacıyla yaygın kullanılırken, gama ışınları hem nükleer tıp uygulamalarında hem de radyoterapide kritik bir role sahiptir. Buna karşın düşük enerjili elektromanyetik dalgalar iletişim ve endüstriyel teknolojilerde kullanılmakta olup biyolojik etkileri ise daha çok uzun süreli maruziyetlerde araştırılmaktadır (Katsumura & Kudo, 2018).

Bu çerçeveden değerlendirildiğinde radyasyonun parçacık ve elektromanyetik formda ikiye ayrılması hem fiziksel form

ve özelliklerin hem de bunlara yönelik uygulanacak korunma yöntemlerinin farklılaşmasını beraberinde getirmektedir. Parçacık radyasyonu daha çok kütle ve yük özellikleriyle tanımlanırken elektromanyetik radyasyon dalga boyu ve frekans parametreleri üzerinden anlaşılmaktadır. Bu ayrım özellikle radyasyon güvenliği uygulamalarında hangi koruma yöntemlerinin tercih edilmesi gerektiğini belirlemede kritik bir öneme sahiptir.

Parçacık ve Elektromanyetik Radyasyonun söz konusu farklılıklarını gösterir Tablo 2.1, aşağıda yer almaktadır.

Tablo 2.1. Parçacık ve Elektromanyetik Radyasyon Karşılaştırılması

Özellikler	Parçacık Radyasyonu	Elektromanyetik Radyasyon
Yapısı	Kütle ve genellikle yüke sahip atom altı parçacıklar (alfa, beta, nötron)	Fotonlardan oluşan, dalga boyu ve frekansla tanımlanan enerji paketleri
Nüfuz Etme Gücü	Alfa: çok düşük, beta: orta, nötron: çok yüksek	Düşük enerjili (radyo, mikro, IR): düşük X-ışınları ve gama: çok yüksek
İyonlaştırma Kapasitesi	Yüksek (özellikle alfa ve nötron)	Yüksek (X ve gama), düşük (radyo, mikro, IR)
Biyolojik Etkiler	DNA hasarı, hücresel tahribat, mutasyonlar	İyonlaştırıcı türlerde DNA kırıkları, kanser riski İyonlaştırıcı olmayanlarda termal etkiler, uzun vadeli biyolojik değişimler
Başlıca Kaynaklar	Doğal: radyoaktif elementler, kozmik ışınlar Yapay: nükleer reaktörler	Doğal: güneş ışınları Yapay: X-ışını cihazları, nükleer tıp, iletişim teknolojileri
Kullanım Alanları	Nükleer enerji üretimi, araştırmalar	Tıbbi görüntüleme (BT, radyografi), radyoterapi, iletişim, endüstri

Özellikler	Parçacık Radyasyonu	Elektromanyetik Radyasyon
Korunma Yöntemleri	Fiziksel zırhlama (kurşun, beton), mesafe ve zaman kısıtlaması	Zırhlama (kurşun, beton), uygun doz yönetimi, ALARA prensibi

2.1.3. Kaynağına Göre Sınıflandırma

Radyasyonun sınıflandırılmasında dikkate alınan bir diğer ölçüt, kaynağıdır. Bu bağlamda radyasyon, “doğal kaynaklı” ve “yapay kaynaklı” olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Kaynağına göre yapılan bu ayrım, bireylerin günlük yaşamda karşılaştığı maruziyetin türünü ve düzeyini anlamada önemli bir yere sahiptir.

Doğal Radyasyon Kaynakları: İnsanlar, tarih boyunca doğal radyasyona sürekli maruz kalmışlardır. En bilinen doğal kaynak, kozmik ışınlardır. Atmosfere giren yüksek enerjili parçacıklar, özellikle yüksek rakımlarda yaşayan ya da sık hava yolculuğu yapan bireyler için ek maruziyet yaratmaktadır. Yerkabuğunda bulunan uranyum, toryum ve potasyum-40 gibi radyoaktif elementler de doğal radyasyonun önemli bileşenlerini oluşturur. Bu elementler toprak, kayalar, yer altı suları ve hatta yapı malzemeleri aracılığıyla çevremizde bulunabilmektedir (Rajput, 2025). Ayrıca, doğada yaygın bir şekilde karşılaşılan radon gazı, özellikle kapalı alanlarda birikerek solunum yoluyla ciddi sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, akciğer kanserinin sigaradan sonra en önemli ikinci nedeni radon maruziyetidir (WHO, 2021).

Yapay Radyasyon Kaynakları: Günümüzde radyasyon maruziyetinin önemli bir kısmı, insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan yapay kaynaklardan kaynaklanmaktadır.

Tıbbi uygulamalar bu bağlamda öne çıkmaktadır. X-ışını radyografileri, bilgisayarlı tomografi (BT), nükleer tıp ve radyoterapi, iyonlaştırıcı radyasyonun en yaygın kullanıldığı sağlık uygulamalarıdır (Katsumura & Kudo, 2018). Dünya genelinde yapılan araştırmalar, bireylerin aldığı yıllık ortalama radyasyon dozunun yarısından fazlasının tıbbi tanı ve tedavi amaçlı görüntüleme yöntemlerinden kaynaklandığını göstermektedir (Fazel vd., 2009). Bunun dışında, nükleer enerji santralleri, endüstriyel radyografi, tarımda zararlıların yok edilmesi için radyasyon kullanımı ve gıda sterilizasyonu da yapay radyasyon kaynaklarının başlıca örnekleridir. Ayrıca, nükleer kazalar veya radyolojik olaylar da kontrolsüz ve yüksek düzeyde maruziyet riskini beraberinde getirmektedir.

Kaynak farklılığı bağlamında çizilmeye çalışılan bu çerçeveden hareketle özetlemek gerekirse; doğal ve yapay kaynaklardan gelen radyasyonun etkileri benzer biyolojik mekanizmalar üzerinden işlese de, maruziyetin sıklığı, dozu ve kontrol edilebilirliği bakımından önemli farklılıklar söz konusudur. Doğal radyasyon maruziyeti kaçınılmazdır ve çoğunlukla düşük dozlarda gerçekleşirken, yapay radyasyon büyük ölçüde insan kontrolüne tabidir. Bu nedenle yapay radyasyonun güvenli kullanımına yönelik düzenlemeler, teknolojik önlemler ve eğitim programları kritik bir önem taşımaktadır. Aşağıda yer alan Tablo 2.2’de kaynağa bağlı farklılıkların etkisel karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 2.2. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarının Karşılaştırılması

Özellikler	Doğal Radyasyon Kaynakları	Yapay Radyasyon Kaynakları
Başlıca Kaynaklar	Kozmik ışınlar, güneş, radon gazı, uranyum, toryum, potasyum-40, toprak ve kayalar	Tıbbi görüntüleme (X-ışını, BT, nükleer tıp), radyoterapi, nükleer santraller, endüstriyel radyografi, gıda sterilizasyonu
Maruziyet Biçimi	Sürekli ve kaçınılmaz maruziyet (çevresel, solunum, besin zinciri)	Kontrollü veya kazara maruziyet (tanı-tedavi uygulamaları, enerji üretimi, endüstriyel süreçler)
Doz Düzeyi	Genellikle düşük doz, doğal arka plan radyasyonu	Düşükten yüksek doza kadar değişken, uygulama türüne bağlı
Sağlık Etkileri	Radon kaynaklı akciğer kanseri riski, uzun vadeli düşük doz etkileri	Doğru doz yönetimiyle faydalı (tanı/tedavi), yanlış veya yüksek dozda DNA hasarı, kanser riski
Kontrol Edilebilirlik	Kısmen kontrol edilebilir (örn. binalarda radon önlemleri)	İnsan kontrolüne tabi (teknolojik, idari ve yasal düzenlemelerle sınırlanır)

2.2. Radyasyonun Sağlık Alanındaki Kullanımı

Radyasyon, modern tıp uygulamalarında hem tanı hem de tedavi süreçlerinde vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Günümüzde sağlık alanında kullanılan radyasyonun büyük kısmı iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklı olup, tıbbi görüntüleme ve radyoterapi uygulamalarıyla doğrudan ilişkilidir. Bunun yanında, bazı iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türleri de destekleyici tedavi ve teşhis yöntemlerinde sınırlı ölçüde kullanılmaktadır (Bushberg vd., 2012). Radyasyonun

sağlık alanındaki kullanımları literatürde genel olarak “tanı amaçlı kullanım”, “tedavi amaçlı kullanım” ve “araştırma ve destekleyici uygulama amaçlı kullanım” olarak üç grupta ele alınmaktadır. Buna göre;

Tanı Amaçlı Kullanımlar: Radyasyonun sağlık alanındaki en yaygın kullanımı tanı amaçlı görüntüleme yöntemleridir. X-ışını radyografileri, bilgisayarlı tomografi (BT), mamografi ve nükleer tıp uygulamaları (PET ve SPECT gibi) hastalıkların erken teşhisinde kritik bir rol üstlenmektedir. Bu yöntemler sayesinde iç organların yapısal ve fonksiyonel özellikleri ayrıntılı şekilde incelenebilmekte olup böylece doğru ve hızlı tanı imkânı sağlanmaktadır. Ancak bu süreçlerde uygulanan dozların, özellikle tekrar eden görüntülemelerde, kümülatif maruziyet riskini artırabileceği de bilinmektedir (Buchberger, Haymerle, & Stadlbauer, 2022).

Tedavi Amaçlı Kullanımlar: Radyasyonun bir diğer önemli kullanım alanı ise tedavidir. Radyoterapi, kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılmakta olup yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyon aracılığıyla tümör hücrelerinin DNA yapısında hasar oluşturarak çoğalmalarını engellemeyi hedeflemektedir. Günümüzde üç boyutlu konformal radyoterapi, yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) ve proton tedavisi gibi gelişmiş yöntemler sağlıklı dokulara verilen zararı en aza indirerek tedavi etkinliğini artırmaktadır (Averbeck & Rodriguez-Lafrasse, 2021). Ayrıca bazı benign hastalıkların tedavisinde de düşük doz radyoterapi uygulamaları yapılmaktadır.

Araştırma ve Destekleyici Uygulamalar: Radyasyon, sağlık alanında sadece tanı ve tedaviye yönelik değil, aynı zamanda araştırma ve eğitim süreçlerinde de önemli rol oynamaktadır. Radyobiyoloji araştırmaları, iyonlaştırıcı radyasyonun hücresel ve moleküler düzeydeki etkilerini

inceleyerek radyoprotektif ilaçların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Sağlık alanında radyasyonun kullanımı doğru teşhis ve etkin tedavi açısından büyük avantajlar sağlasa da beraberinde taşıdığı maruziyet riskleri nedeniyle titiz bir doz yönetimini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle “mümkün olan en düşük doz” yaklaşımını benimseyen ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensibi, tüm sağlık uygulamalarında uluslararası standart olarak kabul edilmektedir (ICRP, 2007).

2.2.1. Başlıca Radyasyonlu Tanı Yöntemleri

Bu bölümde tıpta en sık kullanılan başlıca radyasyonlu tanı yöntemleri özetlenmektedir. Her bir yöntemin çalışma prensibi, kullanım alanları kısaca verilmiştir.

Radyografi (X-ışını): Radyografi tıpta en çok kullanılan ve temelde X ışınına dayanan görüntüleme tekniğidir. Temelde hem ekonomik hem hızlı ve kolay ulaşılabilir olmasından dolayı sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem düşük dozda iyonizan radyasyon kullanır ve böylece görüntüleme sırasında hastanın maruziyet düzeyi minimumda tutulur. X-ışınları dokuların farklı yoğunluklarını algılayarak net görüntüler elde edilmesini mümkün kılar. Bu nedenle radyografi hem acil servislerde hem de rutin klinik uygulamalarda tanı koymada kritik bir rol oynamaktadır (Raja, Othman, & Roslan, 2023).

Bilgisayarlı Tomografi (BT): İleri görüntüleme tekniklerinden olan Bilgisayarlı tomografi cihazı vücudun kesitsel görüntülerini elde eden bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle acil durumlarda, iç organ yaralanmalarında ve kanser, kalp hastalıkları gibi karmaşık klinik vakaların değerlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilir. BT çok sayıda X-ışını görüntüsünü birleştirerek üç boyutlu ayrıntılı

görüntüler oluşturur. Konvansiyonel radyografi yöntemlerine nazaran tanısal açıdan daha detaylı olması yöntemi üstün kılmaktadır. Ancak maruz kalınan radyasyon miktarı ve dozu konvansiyonel radyografi yöntemlerine göre daha yüksektir ve bu nedenle uygun endikasyonla dikkatli şekilde kullanılmalıdır (Buchberger vd., 2022).

Nükleer Tıp (Sintigrafi, PET/CT): Nükleer tıp organ ve dokuların fonksiyonel durumunu değerlendirmek için radyoaktif maddelerin kullanıldığı özel bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknik anatomik görüntülemenin ötesine geçerek fizyolojik süreçler hakkında önemli bilgiler sağlar. Radyoaktif izotoplar hedef organa ulaştıktan sonra gama kameralar veya PET/BT gibi cihazlarla görüntülenir ve bu sayede organın çalışma şekli ayrıntılı olarak analiz edilir. Nükleer tıp uygulamaları özellikle kanserin erken tanısında kardiyovasküler hastalıkların değerlendirilmesinde ve bazı nörolojik bozuklukların teşhisinde kritik bir rol üstlenir. Böylece hem tanı hem de tedavi planlamasında önemli katkılar sağlar (Banerjee vd., 2022).

Floroskopi: Floroskopi gerçek zamanlı hareketli görüntüler elde etmeye olanak sağlayan bir görüntüleme yöntemi olup özellikle sindirim sistemi incelemelerinde, yutma fonksiyonunun değerlendirilmesinde ve damar yapılarının görüntülenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Floroskopinin en önemli avantajı dinamik süreçlerin anlık olarak izlenebilmesine imkân tanınmasıdır. Ancak floroskopi sırasında kullanılan iyonizan radyasyon dozu uygulamanın süresine bağlı olarak maruziyet miktarı da değişmektedir. Bu sebeptendin dolayı işlem süresi olabildiğince kısa tutulmalı ve ALARA prensibi gözetilmelidir

2.2.2.Tedavi Amaçlı Radyasyon Kullanımı (Radyoterapi)

Radyoterapi, iyonize radyasyon kullanarak tümör hücrelerinde DNA hasarı oluşturur ve hücre ölümüne yol açmaktadır. X-ışınları, proton ve karbon iyonları gibi farklı radyasyon türleri kullanılabilir. Yüksek doğruluğa sahip teknikler (IMRT, stereotaktik radyoterapi, proton tedavisi) ile tümör hedeflenirken sağlıklı dokular daha iyi korunur

FLASH radyoterapi gibi yeni tarz yaklaşımlar, çok kısa sürede yüksek doz radyasyon vererek sağlıklı dokularda toksisiteyi azaltmayı ve tedavi etkinliğini artırmayı hedeflemektedir (Vozenin, Bourhis, & Durante, 2022).

UYGULANIŞ ŞEKİLLERİ;

Eksternal (Dıştan) Radyoterapi: Lineer akseleratör (LINAC) cihazları ile tümöre dışardan hedeflenmiş yüksek doz radyasyon verilir. Prostat kanseri, meme kanseri, serviks kanseri, tiroid kanseri, göz melanomu ve çocukluk çağı nöroblastom gibi birçok kanserde eksternal radyoterapi önemli bir tedavi seçeneğidir (Hoskin vd., 2020).

Brakiterapi: Radyoaktif kaynaklar doğrudan tümör içine ya da yakınına yerleştirilerek uygulanır Serviks (rahim ağzı) ve endometrium (rahim içi) kanserlerinde brakiterapi, hastaların yaşam süresini ve lokal tümör kontrolünü artırmada etkilidir. Tümör boyutu, evresi ve patolojisi, tedavi başarısını etkileyen önemli faktörlerdir (Akbar, Jeniyanti, & Ganapati, 2023).

Sistemik Radyonüklid Tedavisi: SRT, radyoaktif izotopların doğrudan kan dolaşımına verilerek tümör hücrelerine veya metastazlara ulaşmasını sağlar. Bu izotoplar ya doğrudan tümör hücrelerine bağlanır ya da tümör

mikroçevresini hedefler ve çevre dokulara minimum zarar verir (Gudkov, Shilyagina, Vodenev, & Zvyagin, 2015).

2.2.3. Radyasyonun Sağlıkta Diğer Kullanım Alanları

Radyasyon, sağlık alanında yalnızca tanı ve tedavide değil aynı zamanda araştırma ve eğitim süreçlerinde, sterilizasyon işlemlerinde, medikal endüstride de yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle gama ışınları cerrahi aletler, enjektörler gibi malzemelerin mikroorganizmalardan arındırılmasında etkilidir. Bu yöntemde yüksek sıcaklık gerektirmediği için ısıya duyarlı malzemelerin sterilizasyonunda da önemli avantaj sağlar. Böylece enfeksiyon riskinin azaltılması ve hasta güvenliğinin sağlanması hedeflenmektedir (IAEA, 2018).

2.3. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Radyasyonun biyolojik etkileri, maruziyetin enerji düzeyi, dozu, süresi, maruz kalınan dokunun hassasiyeti ve bireysel duyarlılık gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu etkiler yalnızca hücresel düzeyde değil doku, organ ve organizma bütününde de ortaya çıkmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik sistemler üzerindeki sonuçları, temel olarak deterministik (eşik dozlu) etkiler ve stokastik (olasılıksal) etkiler başlıkları altında incelenmektedir (ICRP, 2007).

2.3.1. Deterministik (erken) Etkiler

Deterministik etkiler, belirli bir eşik doz aşıldığında ortaya çıkan ve şiddeti doğrudan alınan doz ile artan etkilerdir. Bu tür etkiler genellikle kısa vadede gözlemlenmekte olup, radyoterapi uygulamaları sırasında ya da yüksek dozlu kaza maruziyetlerinde görülebilmektedir. Deri eritemi, saç

dökülmesi, katarakt, kısırlık, hematopoetik sistem baskılanması ve akut radyasyon sendromu bu gruba örnektir (Fry, 2001). Akut radyasyon sendromu, maruz kalınan doza bağlı olarak üç ana klinik formda kendini göstermektedir: hematopoetik form (2–10 Gy), gastrointestinal form (10–30 Gy) ve santral sinir sistemi formu (>30 Gy). Bu sendromlar maruziyetin şiddetine göre saatler ile günler arasında değişen sürelerde ölümcül sonuçlara yol açabilmektedir (Anello & Esposito, 2024).

2.3.2. Stokastik (geç) Etkiler

Stokastik etkiler, herhangi bir eşik doz olmaksızın ortaya çıkabilen ve maruz kalınan doz arttıkça görülme olasılığı yükselen biyolojik sonuçlardır. En belirgin stokastik etki, kanser oluşumudur. Radyasyon, DNA üzerinde tek ve çift zincir kırıkları oluşturarak genetik mutasyonlara ve kromozomal anormalliklere yol açabilmektedir (UNSCEAR, 2008). Bu hasarlar tamir edilemediğinde hücresel malign transformasyon ortaya çıkabilmekte ve bu da lösemi, tiroid, akciğer, meme ve deri kanserleri gibi malignitelerin riskini artırmaktadır (Wang, Wang, & Qian, 2018). Stokastik etkiler yalnızca bireysel düzeyde değil germ hattı hücrelerinde meydana geldiğinde kalıtsal geçiş yoluyla gelecek nesilleri de etkileyebilmektedir.

2.3.3. Hücresel ve Moleküler Mekanizmalar

Radyasyonun biyolojik etkilerinin altında yatan temel mekanizma DNA ve hücresel bileşenlerde meydana gelen hasarlardır. Radyasyon, doğrudan DNA zinciriyle etkileşime girerek kırılmalara neden olabileceği gibi dolaylı yoldan da etki edebilir. Dolaylı etki hücre içi su moleküllerinin iyonizasyonu sonucu ortaya çıkan serbest radikaller aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu reaktif oksijen türleri, hücre membranlarını, proteinleri ve nükleik asitleri tahrip ederek

oksidatif stres yaratır (Balasubramanian vd., 2025). Hücre bu hasarlara karşı DNA onarım mekanizmalarını devreye soksa da başarısız onarım süreçleri mutasyon, apoptoz veya malign dönüşümle sonuçlanabilmektedir.

DNA Hasarı: İyonlaştırıcı radyasyon biyolojik sistemlerde en kritik etkilerini DNA üzerinde gösterir. Radyasyon DNA'ya doğrudan etki ederek tek zincir ve çift zincir kırıkları oluşturabilirler. Bunun yanı sıra baz yapılarında değişiklikler ve çapraz bağlar meydana gelebilir. Bu ikincil etkiler oksidatif stres ve moleküler düzeyde dengesizlik yaratarak genetik bütünlüğü bozar ve hücre fonksiyonlarını olumsuz etkiler (Saini & Gurung, 2024).

Hücre Ölümü: Radyasyon apoptoz (programlanmış hücre ölümü), nekroz, otofajiye bağlı ölüm, piroptoz, ferroptoz ve immünojenik hücre ölümü gibi farklı işlemlerdeki ölüm yöntemleri tetikler. Yüksek dozlarda fiziksel olarak parçalanabilir (Jiao, Cao, & Liu, 2022).

Epigenetik ve İmmün Yanıt: Radyasyona maruziyet yalnızca DNA hasarı ile sınırlı kalmayıp hücresel düzeyde epigenetik değişiklikler ve bağışıklık sistemi yanıtlarını da tetiklemektedir. Radyasyon etkisiyle DNA metilasyonu histon modifikasyonları ve mikroRNA ekspresyonunda değişiklikler meydana gelir ve bu değişiklikler gen ekspresyonunu düzenleyerek hücrelerin hasara karşı verdiği tepkiyi şekillendirir. Aynı zamanda radyasyonun neden olduğu doku hasarı, inflamatuvar yanıtların başlamasına yol açar. Bu süreçte sitokinler, kemokinler ve diğer immün faktörler devreye girerek hem hasarın onarılmasına hem de doku iyileşmesine katkı sağlar. Bu mekanizmalar radyobiyolojide kritik adaptif yanıtlar olarak değerlendirilmektedir (Averbeck & Rodriguez-Lafrasse, 2021).

2.3.4. Doku ve Organ Düzeyindeki Etkiler

Radyasyonun biyolojik etkileri yalnızca hücreyle sınırlı olmayıp dokuların proliferasyon hızına göre farklılık göstermektedir. Hızlı bölünen hücreler (kemik iliği, mide-bağırsak epiteli, gonadlar) radyasyona karşı en duyarlı dokular arasında yer almaktadır. Bu nedenle hematopoetik sistem baskılanması, infertilite ve gastrointestinal sendromlar yüksek doz maruziyetlerde sık gözlenmektedir. Buna rağmen sinir ve kas hücreleri gibi düşük proliferatif kapasiteye sahip dokular, radyasyona karşı daha dirençlidir (ICRP, 2007; Wang vd., 2018).

2.3.5. Klinik ve Toplumsal Yansımalar

Radyasyonun biyolojik etkileri, bireysel sağlık sonuçlarının ötesinde toplumsal düzeyde de önemli yansımalar doğurmaktadır. Hiroşima ve Nagazaki nükleer patlamaları Çernobil ve Fukuşima nükleer kazaları bu etkilerin dramatik örneklerini oluşturmuştur. Bu olaylarda yüksek doz maruziyetler kısa vadede ölümcül etkiler ortaya çıkarmıştır. Uzun vadede kanser insidansında anlamlı artış gözlemlenmiştir (WHO, 2021). Tıbbi uygulamalarda sık tekrarlanan düşük doz maruziyetler bireyler açısından kümülatif risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle uluslararası otoriteler özellikle sağlık çalışanları ve hastaların korunması için doz limitlerini belirlemiş ve ALARA prensibini (As Low As Reasonably Achievable) standart hale getirmiştir (ICRP, 2007).

2.3.6. Radyasyonun Gelişim Üzerindeki Etkileri

Radyasyonun gelişim üzerindeki etkileri, maruz kalınan doz ve gelişim evresine göre büyük farklılıklar gösterir. Yüksek dozda iyonize radyasyon, özellikle embriyonik ve fetal

dönemde ciddi gelişim bozukluklarına malformasyonlara ve nörolojik hasara yol açabilir. Düşük dozlarda ise etkiler genellikle daha hafif veya gözlemlenmesi zordur.

Preimplantasyon Dönemi: Preimplantasyon dönemi döllenmeden sonraki ilk günleri kapsayan kritik bir süreçtir ve bu dönemde maruz kalınan radyasyonun etkileri doz düzeyine bağlı olarak değişiklik gösterir. Yüksek dozda radyasyon embriyonun hayatta kalma olasılığını ciddi şekilde azaltabilir ve genellikle ölümlle sonuçlanabilir. Düşük doz maruziyetlerinde ise embriyoda genetik hasar meydana gelebilir ancak bu hasar hücresel tamir mekanizmaları sayesinde çoğunlukla onarılır. Bu nedenle gebeliğin bu erken evresinde radyasyon maruziyetinden mümkün olduğunca kaçınılması embriyonun gelişimin sağlıklı şekilde devam etmesi açısından çok önemlidir (Santis vd., 2007).

Organogenez (2-7. hafta): Gebeliğin 2-7. haftaları arasında organ ve sistemlerin gelişiminin başladığı son derece önemli bir dönemdir. Bu dönemde radyasyona maruz kalınması özellikle gelişmekte olan organlarda malformasyon riskini önemli ölçüde artırabilir. Ayrıca hücre bölünmesinin yoğun şekilde devam etmesi nedeniyle büyüme geriliği ve yapısal anomaliler meydana gelebilir. Organogenez döneminde radyasyon maruziyetinin önlenmesi fetüsün sağlıklı gelişimi açısından kritik öneme sahiptir (Sreetharan vd., 2017).

Fetogenez (7. hafta sonrası): Gebeliğin 7. haftasından itibaren başlayan fetogenez dönemi organların olgunlaşmaya devam ettiği bir süreçtir. Bu dönemde radyasyona maruziyeti özellikle merkezi sinir sistemi üzerinde ciddi etkiler yaratabilir. Yüksek doz radyasyon maruziyeti beyinde yapısal hasarlara yol açarak mikrosefali, bilişsel fonksiyon kayıpları ve IQ düşüşü gibi kalıcı nörolojik sorunlara neden olabilir. Radyasyon

duyarlılığı bu dönemde azalmaya başlasa da beyin dokusu ve gelişen organlar hâlâ risk altındadır. Bu nedenle fetogenez döneminde radyasyon maruziyetinin minimum düzeyde tutulması büyük önem taşır (Loeliger vd., 2020).

2.4. Radyasyondan Korunma Prensipleri

Radyasyonun biyolojik etkilerinin ciddi sağlık sonuçlarına yol açabileceği gerçeği korunma prensiplerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Radyasyondan korunma hem hastaların ve toplumun güvenliğini hem de sağlık çalışanlarının mesleki güvenliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Bu amaçla geliştirilen yaklaşımlar temel olarak dozun azaltılması, maruziyetin kontrol altına alınması ve uzun vadeli risklerin en aza indirilmesi üzerine kuruludur.

2.4.1. Temel İlkeler

Radyasyondan korunma stratejilerinin bilimsel ve etik temeli, Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafından tanımlanan üç ana prensip üzerine kurulmuştur. Bu ilkeler yalnızca teorik çerçeveler değil, aynı zamanda günlük tıbbi uygulamaları yönlendiren evrensel standartlardır. Aşağıda bahse konu ilkeler ile ilgili kapsamlı içerik sunulmuştur.

- 1. Gerekçelendirme (Justification):** Herhangi bir radyasyon uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için, sağlayacağı yararın potansiyel zarardan daha fazla olması gerekmektedir. Bu ilke, özellikle tıbbi görüntüleme ve tedavi uygulamalarında kritik öneme sahiptir. Örneğin, gereksiz tekrarlanan BT çekimleri hastaya ilave radyasyon yükü getirdiği için, klinik yararı sınırlı ise bu işlemden kaçınılmalıdır. Aynı zamanda gerekçelendirme, etik bir sorumluluk da taşır, çünkü

hasta güvenliği, tanı ve tedavi sürecinde ilk sırada gelmektedir.

2. Optimizasyon (Optimization): Radyasyona maruziyet kaçınılmaz olduğunda, bu maruziyet mümkün olan en düşük seviyeye indirgenmelidir. Bu yaklaşım ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensibi ile ifade edilir. Optimizasyon yalnızca dozun azaltılması anlamına gelmeyip, aynı zamanda görüntüleme kalitesinin korunarak, minimum radyasyonla tanısal açıdan yeterli bilgi elde edilmesini de kapsamaktadır. Bu bağlamda düşük doz protokolleri, otomatik doz ayarlayıcı yazılımlar, filtreleme teknikleri ve dijital görüntü işleme sistemleri modern radyoloji pratiğinde optimizasyonun en somut örnekleridir. Radyoterapide ise yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) veya proton tedavisi gibi yöntemler, tümör dokusunu hedeflerken sağlıklı dokulara verilen dozu minimize ederek optimizasyon ilkesini uygulamaktadır.

3. Doz Sınırlaması (Dose Limitation): Doz sınırlaması ilkesi, özellikle mesleki maruziyet ve toplumsal maruziyet açısından önem taşımaktadır. ICRP'nin belirlediği uluslararası standartlara göre, mesleki çalışanlar için ortalama yıllık doz limiti 20 mSv (beş yılın toplamında 100 mSv'i aşmamak kaydıyla) iken, toplum bireyleri için bu sınır yıllık 1 mSv'dir (ICRP, 2007). Bu limitler, bireylerin yaşam boyu biriktirebileceği radyasyon dozunun güvenli aralıklarda kalmasını sağlamayı hedeflemektedir. Tıbbi hastalar için ise doz sınırlaması doğrudan uygulanmaz çünkü tanı ve tedavi amacıyla alınan radyasyon klinik yarar-zarar dengesi çerçevesinde gerekçelendirilmiş kabul edilir. Bununla birlikte pediatrik hastalar ve gebeler gibi hassas

gruplarda mümkün olan en düşük doz politikası katı biçimde uygulanmaktadır (Mattsson, 2022).

Bu üç temel ilke birbirinden bağımsız değil birbirini tamamlayıcı niteliktedir. Gerekçelendirme hangi işlemin yapılacağına karar verirken filtre görevi görür. Optimizasyon, bu işlemin nasıl yapılacağını belirlerken doz sınırlaması ise toplumsal ve mesleki güvenliğin korunmasını sağlamaktadır.

2.4.2. Korunma Yöntemleri

Radyasyondan korunmada temel prensipler bireylerin maruziyetini en düşük düzeye indirmeyi hedefleyen zaman, mesafe ve zırhlama stratejileri üzerine kuruludur. Bu yöntemler tıbbi uygulamalardan endüstriyel süreçlere kadar farklı alanlarda pratik çözümler sunmaktadır (Saha, 2019).

1. **Zaman (Time):** Radyasyonun etkisi, maruziyet süresiyle doğru orantılıdır. Bu nedenle, radyasyon kaynağı ile temas süresinin mümkün olduğunca kısa tutulması korunmada ilk adımdır. Özellikle radyolojik tetkiklerde hastaların işlem sırasında en kısa sürede görüntülenmesi, sağlık çalışanlarının ise cihaz odasında geçirdiği sürenin azaltılması önemlidir. Radyoterapi ünitelerinde otomatik kontrol sistemleri, sürenin optimize edilmesine yardımcı olmaktadır.
2. **Mesafe (Distance):** Radyasyon şiddeti ters kare yasasına (inverse square law) göre kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalır. Yani mesafenin iki katına çıkarılması maruziyeti dörtte birine indirir. Bu nedenle sağlık çalışanlarının radyasyon kaynağı ile aralarındaki mesafeyi artırmaları korunmanın en etkili yollarından biridir (Hughes, 2018). Örneğin, portatif röntgen cihazlarının kullanımında

teknisyenin uzaklaşması veya koruyucu bariyer arkasına geçmesi bu prensibin doğrudan uygulamasıdır.

3. Zırhlama (Shielding): Zırhlama, radyasyonun yayılımını engellemek için yoğun materyallerin kullanılması esasına dayanır. Kullanılan materyal, radyasyonun türüne göre farklılık gösterir. Alfa parçacıkları, basit bir kâğıt tabakası veya insan derisi tarafından engellenebilir. Beta parçacıklar, alüminyum gibi hafif metallerle durdurulabilir. X-ışınları ve gama ışınları, yüksek yoğunluklu kurşun veya kalın beton bariyerlerle zırhlama gerekir. Nötronlar, özellikle hidrojen açısından zengin materyaller (örneğin su veya parafin) tarafından soğurulabilir. Sağlık alanında kurşun önlük, tiroit koruyucu, kurşun camlı bariyerler ve kalın duvarlı radyoterapi odaları bu prensibin uygulamalarıdır.

4. Teknolojik ve İdari Önlemler: Klasik yöntemlerin yanı sıra modern teknolojiler de korunma yöntemlerini desteklemektedir. Dijital görüntüleme sistemlerinde kullanılan düşük doz protokolleri, otomatik doz ayarlayıcı yazılımlar ve filtreleme sistemleri, maruziyeti optimize etmektedir. Ayrıca kişisel dozimetreler çalışanların kümülatif maruziyetini izleyerek güvenlik sınırlarının aşılmasını önler. İdari düzeyde periyodik eğitim programları, çalışma sürelerinin düzenlenmesi ve riskli alanların radyasyon uyarı işaretleriyle belirlenmesi korunma kültürünü güçlendirmektedir (Cooper, 2012).

2.4.3. Sağlık Alanındaki Uygulamalar

Radyasyon, sağlık alanında tanı ve tedavi süreçlerinde yoğun olarak kullanılmakta ve bu durum sağlık çalışanlarının maruziyet riskini artırmaktadır. Bu nedenle korunma

prensiplerinin günlük klinik pratiğe entegre edilmesi hayati önem taşımaktadır. Özellikle radyoloji, nükleer tıp ve radyoterapi birimleri, radyasyona en yüksek düzeyde maruziyetin yaşandığı alanlardır. Bu noktada sağlık alanında radyasyondan korunmaya yönelik uygulamalar genel anlamda koruyucu ekipman ve bireysel önlemler, çalışma alanı düzenleme teknolojik uygulama ve yaklaşımlar ile eğitim ve farkındalık oluşturma başlıkları altında şekillenmektedir. Aşağıda bu başlıklara ilişkin kapsamlı açıklamalar yapılmaya çalışılmıştır.

- 1. Koruyucu Donanım ve Bireysel Önlemler:** Sağlık çalışanlarının kurşun önlük, tiroit koruyucu, kurşun cam gözlük ve mobil kurşun bariyer kullanımı standart uygulamalardır. Ayrıca kişisel dozimetreler, çalışanların aldığı yıllık maruziyet dozunu izlemeye imkân tanımakta, böylece doz limitlerinin aşılması önlenmektedir. Gebe çalışanlar için özel düzenlemeler yapılmakta, fetüsün maruziyetinin minimum düzeyde tutulması sağlanmaktadır.
- 2. Çalışma Alanı Düzenlemeleri:** Tıbbi görüntüleme odaları ve radyoterapi merkezleri, uluslararası standartlara uygun olarak kurşun veya beton duvarlarla zırhlanmıştır. Bu alanlarda radyasyon sızıntısının izlenmesi için düzenli ölçümler yapılmakta, gerekli durumlarda ek koruyucu önlemler alınmaktadır. Ayrıca uyarı levhaları ve sinyalizasyon sistemleri, çalışanların güvenliği açısından zorunlu hale getirilmiştir.
- 3. Eğitim ve Farkındalık:** Sağlık çalışanlarının radyasyon güvenliği konusundaki farkındalığı, korunma uygulamalarının başarısı için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle hizmet içi eğitimler, periyodik

seminerler ve uygulamalı tatbikatlar, hem çalışanların bilgilerini güncel tutmakta hem de güvenlik kültürünü kurumsallaştırmaktadır.

2.4.4. Uluslararası Düzenlemeler ve Standartlar

Radyasyon güvenliği yalnızca ulusal değil, aynı zamanda uluslararası düzeyde de düzenlenen bir konudur. Bu alanda başlıca otoriteler, Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP), Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR)'dır.

1. **ICRP'nin Katkısı:** ICRP, radyasyon korunmasına yönelik temel prensipleri ve doz limitlerini belirleyen en yetkin kuruluştur. 2007 yılında yayımlanan ICRP 103 raporu, günümüzde tüm ülkeler tarafından referans alınmaktadır. Bu raporda gerekçelendirme optimizasyon ve doz sınırlaması ilkeleri detaylandırılmış ve farklı maruziyet senaryoları için spesifik öneriler geliştirilmiştir (ICRP, 2007).
2. **IAEA ve WHO'nun Rolü:** IAEA, nükleer güvenlik ve radyasyon koruma standartlarını küresel ölçekte yaygınlaştırmakta ve üye ülkelere teknik destek sağlamaktadır. WHO ise özellikle sağlık çalışanları ve hastaların korunmasına yönelik rehberler yayınlamakta tıbbi görüntüleme protokollerinde düşük doz politikalarını desteklemektedir.
3. **UNSCEAR Raporları:** UNSCEAR, dünya genelinde radyasyon maruziyetine ilişkin bilimsel verileri toplayarak analiz eder ve raporlar. Bu raporlar hem doğal hem de yapay radyasyon kaynaklarının küresel düzeyde insan sağlığına etkilerini ortaya

koymaktadır. UNSCEAR verileri ICRP ve IAEA tarafından yayımlanan düzenlemeler için bilimsel temel oluşturmaktadır.

4. Ulusal Düzenlemeler: Uluslararası standartların yanı sıra ülkeler kendi ulusal düzenlemelerini de geliştirmektedir. Türkiye’de bu alandaki yasal düzenlemeler geçmişte Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından yürütülmüş günümüzde ise Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) tarafından sürdürülmektedir. Bu kurum radyasyon güvenliği mevzuatını uluslararası standartlarla uyumlu hale getirerek hem sağlık alanındaki hem de endüstriyel uygulamalardaki güvenliği denetlemektedir.

Uluslararası ve ulusal düzeyde oluşturulan bu düzenlemeler yalnızca teknik standartları belirlemekle kalmamakta, aynı zamanda etik, yasal ve toplumsal bir çerçeve sunmaktadır. Bu sayede radyasyonun faydalarından güvenle yararlanılırken birey ve toplum sağlığı üzerindeki riskler minimum düzeyde tutulmaktadır.

2.5. Radyasyon Risk Algısı

Radyasyon risk algısı, hem uzmanlar hem de genel toplum için oldukça değişken ve karmaşık bir konudur. Toplumun radyasyon riskine yönelik algısı, genellikle gerçek tehlikeden ziyade bilgi eksikliği, medya etkisi, güven düzeyi ve kişisel deneyimlere bağlı olarak şekillenir. Bu nedenle, uzmanlarla halk arasında önemli algı farklılıkları görülmektedir (Perko, 2014). Örneğin, nükleer kazalar sonrasında Japonya’da yapılan araştırma radyasyon kaygısının sona ermesini ancak demografik özellikler güvenilen bilgi kaynakları ve yaşanan stresin algılamayı belirgin şekilde devam edeceğini göstermiştir. (Takebayashi, Lyamzina, Suzuki, & Murakami,

2017). Radyasyon tedavi talimatlarının kullanımı söz konusu olduğunda, hastalarda yanlış veya eksik etkilere sahip olunması tanı ve tedavilere karşı rahatsızlık yaratabilmektedir bu nedenle sağlık çalışanlarının doğru ve açık bilgilendirme yapması büyük önem taşıyor (Freudenberg & Beyer, 2011).

Risk algısı, bireylerin olası bir tehlikeyi ne derece ciddiye aldıkları bu tehlikeden ne kadar etkileneceklerine inandıkları ve alınması gereken önlemleri nasıl değerlendirdikleri ile şekillenir. Radyasyon söz konusu olduğunda algı genellikle görünmezlik, gecikmiş etkiler ve bilimsel bilginin karmaşıklığı nedeniyle diğer risk türlerinden farklıdır.

Bu noktada radyasyon risk algısı genel olarak ele alındığında psikolojik, toplumsal, mesleki, eğitim düzeyi ve iletişim gibi boyutlarla açıklanabilir (Slovic, 1987). Bu başlıklara ilişkin çerçeve aşağıdaki gibidir.

2.5.1. Psikolojik Boyut

Radyasyonun risk algısında psikolojik faktörler büyük rol oynamaktadır. İnsan zihni, doğrudan hissedilemeyen tehlikelere karşı daha yüksek bir kaygı geliştirme eğilimindedir. Radyasyonun kokusuz, renksiz ve gözle görülemez olması, bireylerin bu tehdidi diğer risk türlerine kıyasla daha belirsiz ve kontrol edilemez algılamasına yol açmaktadır (Lindberg, 2021). Psikolojik açıdan bu durum, özellikle “görünmez tehdit sendromu” olarak tanımlanabilecek bir kaygı biçimini doğurmaktadır. Ayrıca bireylerin risk algısı, kişilik özellikleri, travmatik deneyimleri ve bilişsel önyargılarıyla da şekillenmektedir. Nitekim radyasyona dair olumsuz haberlerle sıkça karşılaşan kişilerin, bilimsel gerçeklerden bağımsız biçimde, çok düşük doz maruziyetleri bile ölümcül tehlike gibi algılayabildikleri bilinmektedir. Bu durum, radyasyon fobisi (radiophobia) olarak literatüre geçmiştir (Lindberg ve Archer,

2022). Diğer yandan, aşırı iyimser bireylerde risk algısı tam tersi yönde gelişebilir ve bu kişiler gerekli korunma önlemlerini hafife alabilir. Bu iki uç yaklaşım, psikolojik boyutun risk algısındaki belirleyici rolünü açıkça göstermektedir.

2.5.2. Toplumsal Boyut

Toplumsal düzeyde radyasyon risk algısı, kültürel değerler, kolektif bellek ve medyanın sunduğu çerçeveler tarafından biçimlendirilmektedir. Nükleer kazalar (Çernobil, Fukushima) yalnızca bireylerin değil, tüm toplumların risk algısını dönüştürmüş, bu olaylar radyasyonu toplumsal hafızada katastrofik ve kontrol edilemez bir tehlike olarak kodlamıştır (Phillips, 2004). Bu bağlamda, toplumların radyasyona ilişkin tutumları genellikle bilimsel verilere değil, geçmiş deneyimlere ve sembolik olaylara dayanmaktadır. Medya ise bu algının şekillenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. Özellikle dramatik haberler ve sansasyonel anlatımlar, toplumda riskin abartılı biçimde algılanmasına neden olmaktadır (Laughlin, 2023). Buna karşın, radyasyonun sağlık alanındaki faydaları yeterince vurgulanmadığında, toplumda gereksiz tetkik korkusu gelişebilir. Böylece, toplumun risk algısı ile bilimsel risk düzeyi arasında ciddi bir uçurum oluşmaktadır.

2.5.3. Mesleki Boyut

Sağlık çalışanlarının radyasyonla ilgili bilgi ve farkındalık düzeyleri, bulundukları birim, mesleki deneyimleri ve aldıkları eğitimlere göre değişebilmektedir. Radyoloji, girişimsel işlemler ve diğer klinik alanlarda çalışan kişiler arasında bu konuda farklı yaklaşımların ve uygulanma düzeylerinin görüldüğü bilinmektedir. Bu durum pek çok çalışmada, birim/ deneyim/ eğitim değişkenleriyle ilişkili olarak gösterilmiştir. Ancak farkındalığın yüksek olması, her zaman doğru bir algıya karşılık gelmeyebilir. Deneyimli çalışanlar, doz sınırlarının

ve korunma yöntemlerinin etkinliğini bildikleri için risk algılarını rasyonel bir temele oturtabilirken, genç sağlık çalışanlarında, özellikle öğrencilerde, yeterli deneyim ve bilgi eksikliği nedeniyle kaygı düzeyi daha yüksek olabilmektedir (Miura vd., 2008). Ayrıca iş ortamında güvenlik kültürünün zayıf olması, dozimetre kullanımındaki yetersizlikler ve yasal düzenlemelere uyum eksiklikleri mesleki risk algısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum yalnızca bireysel kaygıyı artırmakla kalmayıp, aynı zamanda mesleki motivasyonu, iş verimliliğini ve hasta güvenliğini de doğrudan etkileyebilmektedir (Perko, 2014).

2.5.4. Eğitim ve İletişim Boyutu

Radyasyon risk algısının şekillenmesinde eğitim ve iletişim stratejileri kritik öneme sahiptir. Bilgi eksikliği, bireylerin riski olduğundan yüksek algılamalarına, yanlış veya yetersiz bilgilendirme ise riskin hafife alınmasına yol açabilmektedir (Covello, 2011). Eğitim programları, hem toplum hem de sağlık çalışanları açısından risk algısını gerçekçi bir düzeye çekmenin en etkili ve görece en kolay yoludur. Özellikle hizmet içi eğitimlerle güncel bilimsel verilerin aktarılması, çalışanların risk algısını bilimsel gerçeklerle uyumlu hale getirilebilir (Perko, 2014). Hastalar açısından ise bilgilendirme süreçlerinin şeffaf yürütülmesi, bilinçli onam mekanizmasını güçlendirmektedir. Bu noktada, risk iletişimi yalnızca teknik verilerin aktarılmasından ibaret değil, aynı zamanda empati, şeffaflık ve güven inşası unsurlarını da içermelidir (Davies vd., 2021). Başarılı bir risk iletişimi, bireylerin kaygılarını azaltırken, radyasyonun sağlık alanındaki faydalarının da daha net anlaşılmasını sağlamaktadır.

2.6. Türkiye’de Radyasyon Eğitimi, Kaygı Düzeyi ve Genel Durum

Radyasyonun sağlık alanındaki yaygın kullanımı, bu alanda görev yapan personelin hem bilgi düzeyi hem de risk algısı açısından donanımlı olmasını zorunlu kılmaktadır. Dünya genelinde, radyasyon güvenliği eğitimleri sağlık çalışanlarının mesleki yeterliliklerinin ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilmekte, uluslararası standartlarda (ICRP, IAEA, WHO) belirlenen ilkelere uyum sağlanması teşvik edilmektedir (Soyal vd., 2024). Türkiye’de de benzer şekilde, gerek lisans düzeyinde mesleki eğitimlerde gerekse hizmet içi eğitimlerde radyasyon güvenliğine dair dersler ve programlar yer almaktadır. Ancak mevcut araştırmalar, bu eğitimlerin çoğu zaman teorik düzeyde kaldığını, uygulamaya dönük pratik içeriklerin sınırlı olduğunu göstermektedir (Yıldırım & Kurt, 2018). Ayrıca Büyükşehirlerdeki eğitim ve araştırma hastanelerinde radyasyon güvenliği eğitimlerinin daha kapsamlı olduğu, ancak kırsal bölgelerde aynı standartta eğitimlerin verilmediği rapor edilmiştir. Bu durum, radyasyona yönelik kaygının bölgesel farklılıklar gösterebileceğini ve eğitimin standartlaştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır (Erdem vd., 2024).

2.6.1. Türkiye’de Radyasyon Eğitiminin Yapısı

Türkiye’de radyasyon eğitiminin temel amacı, sağlık alanında görev yapan profesyonellerin ve öğrencilerin, radyasyonun biyolojik etkilerini, korunma prensiplerini ve güvenlik uygulamalarını kavramalarını sağlamaktır. Bu eğitim yapısı, hem yükseköğretim düzeyindeki müfredatlarda hem de sağlık kurumlarının hizmet içi eğitimlerinde yer almakta, ayrıca ulusal düzenleyici kurumların denetim mekanizmalarıyla desteklenmektedir (Yıldırım, 2018). Üniversitelerin tıp, diş

hekimliği, hemşirelik, radyoloji ve nükleer tıp teknikerliği programlarında radyasyon güvenliği dersleri temel bileşenlerden biri olarak öğretilmektedir. Bu derslerde öğrencilere radyasyonun tanımı, biyolojik etkileri, doz limitleri, korunma ilkeleri ve koruyucu ekipman kullanımı gibi konular aktarılmaktadır (Karpuz, 2023). Ancak mevcut uygulamalarda derslerin çoğu zaman teorik bilgi aktarımıyla sınırlı kaldığı, uygulamalı eğitimlerin, simülasyonların ve laboratuvar çalışmalarının yetersiz olduğu sıkça dile getirilmektedir (Palacı vd., 2014). Bu durum, öğrenilen bilgilerin günlük pratikte davranışa dönüşmesini zorlaştırmakta ve güvenlik kültürünün erken dönemde yerleşmesini engellemektedir.

Bunun yanı sıra Sağlık Bakanlığı ve üniversite hastaneleri, radyasyonla çalışan personele yönelik periyodik hizmet içi eğitimler düzenlemektedir. Bu eğitimlerde dozimetre kullanımı, maruziyet kayıtlarının tutulması, ALARA prensibinin uygulanması, koruyucu ekipmanların doğru kullanımı ve yasal doz sınırlarının takibi gibi konular öne çıkmaktadır. Ancak hizmet içi eğitimlerin kurumsal farklılıklar gösterdiği; bazı kurumlarda düzenli ve zorunlu tutulurken, bazılarında yalnızca formalite düzeyinde gerçekleştirildiği bilinmektedir. Bu farklılık, eğitimin etkinliğini sınırlandıran en önemli faktörlerden biridir (Parlak vd., 2020).

Ulusal düzeyde ise Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK), radyasyon güvenliği eğitime yönelik politikaları belirleyen, standartları denetleyen ve kurumların eğitim süreçlerini yönlendiren temel otoritedir. NDK, uluslararası standartlarla uyumlu bir şekilde radyasyon güvenliği mevzuatını düzenlemekte ve sağlık kuruluşlarının çalışanlarına yönelik eğitim programlarını raporlamalarını zorunlu hale getirmektedir (NDK, 2022). Böylece eğitim yalnızca bireysel

bir sorumluluk olmaktan çıkmakta, kurumsal ve ulusal düzeyde takip edilen bir süreç haline gelmektedir.

Ancak tüm bu düzenlemelere rağmen Türkiye’de radyasyon eğitiminde bazı sorunlar devam etmektedir. Eğitimlerin çoğunlukla teorik ağırlıklı olması, kurumlar arası standart farklılıkları, uygulamalı içeriklerin sınırlılığı ve sürekliliğin tam olarak sağlanamaması başlıca eksikliklerdir (Erdem vd., 2024). Ayrıca bazı çalışanların eğitimleri yalnızca yasal bir zorunluluk olarak görmesi, bilgi–tutum–davranış uyumunu zayıflatmaktadır. Bu nedenle eğitimlerin daha etkin hale gelebilmesi için içeriklerin uygulamalı yöntemlerle zenginleştirilmesi, simülasyon ve vaka temelli öğrenme tekniklerinin yaygınlaştırılması, düzenli denetimlerle sürekliliğin sağlanması ve eğitimlerin motivasyon artırıcı bir çerçevede kurgulanması gerekmektedir.

Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, Türkiye’de radyasyon eğitiminin yapısı çok katmanlı bir sistemden oluştuğu görülmektedir. Yükseköğretim kurumlarının verdiği temel teorik eğitimler, sağlık kurumlarının hizmet içi programları ve NDK’nın denetim ve yönlendirmeleri bu yapının üç ana ayağını oluşturmaktadır. Ancak bu sistemin etkinliği, eğitimlerin kalitesi, sürekliliği ve uygulamaya dönük içeriklerin güçlendirilmesiyle doğru orantılıdır. Bu bağlamda, uluslararası standartlarla uyumlu, kurumsal düzeyde desteklenen ve davranış değişikliğine odaklanan kapsamlı eğitim programlarının geliştirilmesi, Türkiye’de radyasyon güvenliği kültürünün güçlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

2.6.2. Sağlık Çalışanlarında Bilgi ve Farkındalık Düzeyi

Türkiye’de sağlık çalışanlarının radyasyon güvenliği konusundaki bilgi ve farkındalık düzeyleri, çalışılan birim, eğitim geçmişi, mesleki deneyim ve kurumsal güvenlik kültürü gibi faktörlere göre farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmalar radyoloji, nükleer tıp ve radyoterapi gibi doğrudan radyasyonla temas edilen alanlarda görev yapan çalışanların bilgi düzeylerinin görece yüksek olduğunu, buna karşın dolaylı maruziyet yaşayan hemşireler, anestezi teknikerleri veya diğer klinik personelde farkındalık düzeyinin daha sınırlı kaldığını göstermektedir (Özkan vd., 2016).

Türkiye’de özellikle radyoloji teknisyenleri arasında yapılan çalışmalarda çalışanların büyük bölümünün radyasyonun biyolojik etkileri doz sınırları ve korunma prensipleri konusunda temel bilgiye sahip olduğu ancak günlük pratikte bu bilgilerin davranışa dönüşmesinde eksiklikler bulunduğu rapor edilmiştir (Akyurt, 2021). Özkan, Aba ve Tekinsoy (2016) tarafından radyoloji teknisyenleri üzerinde yapılan araştırmada, katılımcıların önemli bir kısmının dozimetre kullanımı, kurşun önlük takibi ve maruziyet kayıtlarının tutulması gibi koruyucu uygulamalara düzenli şekilde uymadıkları tespit edilmiştir. Bu durum, teorik bilgi ile davranış arasında bir uyumsuzluk olduğunu ve farkındalığın çoğu zaman yeterli düzeye ulaşmadığını göstermektedir.

Sağlık çalışanlarının farkındalık düzeyi, aynı zamanda görev yaptıkları kurumun güvenlik kültürü ile de doğrudan ilişkilidir. Eğitim ve denetim mekanizmalarının güçlü olduğu kurumlarda çalışanların, korunma uygulamalarına daha sıkı şekilde uyduğu; buna karşılık eğitim ve denetim süreçlerinin yetersiz olduğu kurumlarda, çalışanların riskleri hafife alma ya da tam tersine abartılı kaygı geliştirme eğiliminde oldukları

gözlemlenmektedir (Ayan & Kırac, 2025; Öğüt & Akın, 2022). Bu durum, yalnızca bireysel düzeyde değil, kurumsal politikalar açısından da iyileştirme gereksinimini ortaya koymaktadır.

Bir diğer önemli husus ise mesleki deneyimdir. Türkiye’de genç sağlık çalışanları ve öğrenciler arasında radyasyonla ilgili bilgi eksikliğine dayalı yüksek kaygı düzeyleri rapor edilmiştir. Buna karşın uzun süreli deneyime sahip çalışanlarda, bilginin yerleşmiş olmasına rağmen alışkanlık ve rahatlığa bağlı ihmallerin arttığı belirlenmiştir. Buna karşılık Tunçer, Kuyucu, Sayar, Polat, Erdil ve Tuncay’ın (2017) tarafından yapılan çalışma bu çelişkinin altını çizmekte, radyasyon güvenliği eğitimlerinin yalnızca başlangıçta değil, tüm meslek yaşamı boyunca sürekli hale getirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu bağlamda, Türkiye’de sağlık çalışanlarında radyasyon güvenliği konusunda temel bir farkındalık mevcut olmakla birlikte, bu farkındalığın davranışa dönüşmesinde ciddi eksiklikler bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle ulusal düzeyde radyasyon güvenliği eğitiminin yalnızca teorik değil, uygulamalı ve sürekli hale getirilmesi; dozimetre takibinin etkin şekilde yapılması ve kurumsal denetimlerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Böylece sağlık çalışanlarının bilgi ve farkındalık düzeyi artırılarak, hem çalışan güvenliği hem de hasta güvenliği açısından daha güçlü bir radyasyon güvenliği kültürü oluşturulabilecektir.

2.6.3. Türkiye’de Sağlık Eğitimi Alan Öğrenciler Düzeyinde Radyasyon Eğitimi ve Kaygı

Türkiye’de sağlık alanında öğrenim gören öğrenciler, radyasyonla genellikle üniversite yıllarında tanışmakta ve bu süreçte verilen eğitim, onların hem bilgi düzeylerini hem de risk algılarını doğrudan etkilemektedir (Erdem vd.,

2024). Radyoloji, nükleer tıp teknikerliği, tıp, diş hekimliği ve hemşirelik programlarında radyasyon güvenliği dersleri müfredata dâhil edilmiştir. Ancak yapılan araştırmalar, bu derslerin çoğunlukla teorik ağırlıklı olduğunu, pratik uygulamaların ve simülasyonların sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, öğrencilerin bilgilerini günlük klinik pratiğe aktarmalarını zorlaştırmakta ve güvenlik kültürünün gelişimini yavaşlatmaktadır (Yıldırım & Kurt, 2018).

Türkiye’de sağlık bilimleri öğrencileri üzerinde yapılan çeşitli araştırmalar, öğrencilerin radyasyon konusunda genel bir farkındalığa sahip olduklarını, ancak bu farkındalığın düzeyinin çoğu zaman yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle radyasyonun biyolojik etkileri, doz limitleri ve korunma yöntemleri konularında bilgi eksiklikleri tespit edilmiştir. Erdem ve ark. (2024), sağlık eğitimi alan önlisans öğrencileri üzerinde yaptıkları çalışmada, öğrencilerin büyük kısmının radyasyon güvenliği konusunda sınırlı bilgiye sahip olduğunu, ancak eğitim düzeyleri arttıkça kaygı düzeylerinin dengelenme eğilimi gösterdiğini belirtmiştir. Bu bulgu, eğitim–kaygı ilişkisinin önemini vurgulamakta, yeterli ve doğru bilgilendirmenin öğrencilerin risk algısını daha gerçekçi hale getirdiğini göstermektedir.

Kaygı düzeyi açısından değerlendirildiğinde, öğrencilerin önemli bir bölümünün radyasyona yönelik yüksek kaygı sergilediği görülmektedir. Bunun temel nedeni, radyasyonun görünmeyen, soyut bir tehdit olması ve olası etkilerinin uzun vadede ortaya çıkabilmesidir (İncedere, 2023). Öğrencilerdeki kaygı, çoğu zaman bilgi eksikliğinden veya yanlış bilgilendirmeden kaynaklanmaktadır. Özellikle klinik uygulamalara yeni başlayan öğrenciler, radyasyon kaynaklı

riskleri olduğundan fazla algılamakta ve bu durum mesleki özgüvenlerini olumsuz etkileyebilmektedir.

Türkiye’de öğrencilerin radyasyon eğitimi ve kaygı düzeyine ilişkin mevcut tablo, eğitim programlarının niteliğinin geliştirilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir. Sadece teorik derslerin ötesine geçilerek, simülasyon destekli eğitimler, laboratuvar uygulamaları ve klinik pratiğe entegre edilen koruma protokolleri öğrencilerin hem bilgi düzeylerini artıracak hem de kaygılarını dengeleyecektir. Ayrıca, öğrencilerin kaygılarını azaltmaya yönelik psikososyal destek mekanizmalarının ve risk iletişimi stratejilerinin eğitim sürecine dâhil edilmesi önem taşımaktadır.

2.7. Literatürdeki Benzer Araştırmalar ve Kavramsal İlişkiler

Bu bölümde, çalışmada ele alınan temel kavramlar çerçevesinde yapılmış önceki araştırmalar incelenmiş ve bilgi düzeyi, radyasyon kaygısı ile risk algısı gibi değişkenler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmaların bulgularından yola çıkılarak araştırmanın hipotezleri geliştirilmiştir.

2.7.1. Radyasyondan Korunma Eğitimleri ile Bilgi Düzeyi ve Radyasyona Yönelik Kaygı Arasındaki İlişki

Radyasyon, modern tıbbın vazgeçilmez bir bileşeni olmasına rağmen, iyonlaştırıcı radyasyonun potansiyel sağlık riskleri nedeniyle sağlık çalışanlarının bu konuda bilinçli olmaları gerekmektedir. Radyasyondan korunma eğitimleri sağlık personelinin radyasyon maruziyetini en aza indirerek hem mesleki güvenliği sağlamayı hem de hastaları gereksiz radyasyon dozlarından korumayı amaçlamaktadır. Ancak,

bireylerin radyasyon hakkındaki bilgi seviyeleri ile radyasyona yönelik kaygıları arasındaki ilişki eğitimlerin etkinliği açısından oldukça önemlidir.

Radyasyondan korunma eğitimi, özellikle radyoloji teknikerleri, girişimsel radyoloji uzmanları, nükleer tıp teknologları ve radyoterapi çalışanları için kritik öneme sahiptir. Bu eğitimler genellikle radyasyon fiziki, biyolojik etkiler, doz limitleri, kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve güvenlik protokolleri gibi konuları içermektedir (Kaplan ve Avcı, 2023). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA), radyasyon güvenliğinin sağlanabilmesi için sağlık çalışanlarının belirli periyotlarla eğitim almasını önermektedir. Özellikle ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensibi doğrultusunda, radyasyon maruziyetinin en düşük seviyede tutulması için eğitimlerin düzenli olarak güncellenmesi gerekmektedir (Lee vd., 2021).

Yapılan araştırmalar, radyasyondan korunma eğitimine katılan bireylerin bilgi seviyelerinin, eğitimin içeriği ve süresiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Nitekim Filistin’de yapılan bir çalışmada, tıp öğrencilerinin radyasyon ve korunma yöntemleri hakkındaki bilgi düzeyleri ölçülmüş ve eğitim düzeyi arttıkça radyasyon dozları konusunda bilgi düzeyinde arttığı gözlenmiştir. Fakat bilgi düzeyi artsa da bunun örgüt içerisinde uygulamalar bakımından gözlenir bir etki yaratmadığı tespit edilmiş ve örgütsel kültüre dönüşmeyen eğitimlerin beklenen etkiyi yaratma noktasında eksik kaldığı ortaya konulmuştur. Yani yapılan bu araştırma radyasyondan korunma noktasında verilen eğitimler, örgütsel uygulama ve yaklaşımlarla da desteklenmesi gerekliliğini vurgulamaktadır (Awadghanem vd., 2020). Benzer şekilde, Türkiye’de sağlık meslek yüksekokulu öğrencileri üzerinde yapılan bir araştırmada, öğrencilerin radyasyon güvenliği konusundaki

farkındalığı incelenmiş ve ikinci sınıf öğrencilerinin birinci sınıflara kıyasla daha yüksek bilgi düzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak, mezun olduktan sonra düzenli hizmet içi eğitimlerin az ya da hiç olmaması nedeniyle bu bilginin zamanla kaybolabildiği ve radyasyondan korunma noktasında alınması gereken tedbirlerin büyük oranda esnetilebildiği ileri sürülmektedir (Nişancı ve Çakına, 2024).

Eğitim, bireylerin radyasyon hakkındaki kaygı seviyelerini değiştirebilir. Yapılan çalışmalar, radyasyon hakkında yeterli bilgiye sahip bireylerin, bilinçsiz bireylere göre daha düşük kaygı seviyesine sahip olduğunu göstermektedir (Yıldız vd., 2024). Ancak, radyasyon eğitiminin yanlış yönlendirilmesi durumunda, bireylerde gereksiz bir korku oluşabileceği belirtilmektedir. Endonezya ve Japonya'daki dış hekimliği öğrencileri üzerinde yapılan bir çalışmada, eğitim sonrası Japon öğrencilerde radyasyon kaygısının düştüğü, ancak Endonezyalı öğrencilerde kaygının arttığı gözlemlenmiştir (Yoshida vd., 2019). Bu durum, eğitimin sadece bilgi kazandırmakla kalmayıp, kaygıyı yönetmeye yönelik bir içerik sunması gerektiğini göstermektedir.

2.7.2. Sağlık Sektöründe Radyasyondan Korunma Bilgi Düzeyi ile Radyasyon Kaynaklı Risk Algısı Arasındaki İlişki

Alan yazın incelendiğinde sağlık sektöründe radyasyona ilişkin bilgi düzeyi ile radyasyondan kaynaklanabilecek risklere yönelik algı arasındaki anlamlı bir ilişki olduğu, çalışanlarının radyasyonla ilgili bilgi düzeyinin, risk algılarını ve korunma davranışlarını doğrudan etkilediği göstermektedir.

Sağlık çalışanlarının radyasyon hakkında bilgi düzeyi, genellikle eğitim düzeyi, mesleki deneyim ve aldıkları radyasyon güvenliği eğitimi ile ilişkilidir. Örneğin, radyasyon acil tıp

personeli üzerine yapılan bir çalışmada, düşük doz radyasyon maruziyetinin genellikle ciddi sağlık riskleri oluşturmadığı bilgisine sahip olan sağlık çalışanlarının, risk algılarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Lee vd., 2021). Bu durum, radyasyon güvenliği eğitiminin, sağlık personelinin daha bilinçli risk değerlendirmesi yapmalarına ve gereksiz endişelerden kaçınmalarına yardımcı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, radyolojik incelemelere giren hastalar ve hasta yakınları da radyasyon risklerini genellikle olduğundan daha yüksek algılamaktadır. Yapılan bir araştırmada, tıbbi görüntüleme sırasında kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon hakkında yetersiz bilgiye sahip hastaların, radyasyonun sağlık üzerindeki etkilerini abartma eğiliminde olduğu belirlenmiş, ancak, tıbbi personel tarafından doğru bilgilendirilen hastaların, radyasyonun potansiyel riskleri konusundaki kaygılarının azaldığı da rapor edilmiştir (Bastiani vd., 2021).

Sağlık çalışanları arasında yapılan diğer araştırmalarda ise radyasyon risk algısının sadece bilgi düzeyinden değil, aynı zamanda mesleki tecrübeden de etkilendiği bulunmuştur. Nitekim nükleer tıp uzmanları ve radyoloji teknisyenleri gibi radyasyona düzenli maruz kalan sağlık çalışanları, radyasyon güvenliği konusunda daha bilinçli olduklarından dolayı, risk algıları genel sağlık çalışanlarına kıyasla daha düşük bulunmuştur (Sjöberg ve Drott-Sjöberg, 1991). Bununla birlikte, aynı çalışmada radyasyon konusunda sınırlı eğitime sahip olan pratisyen hekimler veya hemşireler gibi sağlık çalışanlarının risk algısının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, radyasyonun tıbbi kullanımına yönelik halkın risk algısının yüksek olması, hastaların gereksiz radyasyon kaygısı yaşamasına ve tıbbi görüntüleme gibi önemli tanı yöntemlerinden kaçınmalarına neden olabilmektedir (Gupta vd., 2024). Bu nedenle, hem sağlık çalışanlarının hem de hastaların radyasyon güvenliği konusunda doğru

bilgilendirilmesi, gereksiz korkuların önüne geçerek tıbbi görüntüleme süreçlerinin daha etkin bir şekilde yürütülmesine katkı sağlayabilecektir.

Kaynakça

- Akbar, D., Jeniyanti, N., & Ganapati, D. (2023). Brakiterapi radyasyonunun servikal kanser hastalarının yaşam süresi üzerindeki etkisinin literatür incelemesi. *DIAGNOSA: Sağlık ve Hemşirelik Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.59581/diagnosa-widyakarya.v1i4.1445>
- Akyurt, N. (2021). Health-related quality of life among radiology technicians in Turkish hospitals: a cross sectional study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 94(6), 1415-1425.
- Averbeck, D., & Rodriguez-Lafrasse, C. (2021). Role of mitochondria in radiation responses: epigenetic, metabolic, and signaling impacts. *International journal of molecular sciences*, 22(20), 11047.
- Ayan, A., & Kırac, F. S. (2025). Radiation Safety Culture. *Nukleer Tıp Seminerleri*, 11(1), 66.
- Banerjee, S., Basu, S., Baheti, A. D., Kulkarni, S., Rangarajan, V., Nayak, P., ... & Badwe, R. A. (2022). Radiation and radioisotopes for human healthcare applications. *Curr. Sci*, 123, 1-10.
- Bastiani, L., Paolicchi, F., Faggioni, L., Martinelli, M., Gerasia, R., Martini, C., ... & Caramella, D. (2021). Patient perceptions and knowledge of ionizing radiation from medical imaging. *JAMA Network Open*, 4(10), e2128561.

- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). The essential physics of medical imaging. Lippincott Williams & Wilkins.
- Comstock, J., Weatherman, K., & Kowalsky, R. (2020). Chapter 5: Interactions of radiation with matter. <https://doi.org/10.21019/9781582122830.ch5>
- Covello, V. T. (2011). Risk communication, radiation, and radiological emergencies: strategies, tools, and techniques. *Health physics*, 101(5), 511-530.
- Davies, E. M., Bridges, A. J., & Chung, E. M. (2021). Does radiology require informed consent for radiation risk?. *The British Journal of Radiology*, 94(1127), 20210620.
- Erdem, H., Dadak, A., & Göde, A. (2024). Tibbi Görüntüleme Öğrencilerinin Radyasyondan Korunma Bilgisi ile Radyasyon Tutumu Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Journal of Academic Value Studies (JAVStudies)*, 10(3), 154-162.
- Fazel, R., Krumholz, H. M., Wang, Y., Ross, J. S., Chen, J., Ting, H. H., ... & Nallamotheu, B. K. (2009). Exposure to low-dose ionizing radiation from medical imaging procedures. *New England Journal of Medicine*, 361(9), 849-857.
- Freudenberg, L. S., & Beyer, T. (2011). Subjective perception of radiation risk. *Journal of Nuclear Medicine*, 52(Supplement 2), 29S-35S.
- Gudkov, S. V., Shilyagina, N. Y., Vodeneev, V. A., & Zvyagin, A. V. (2015). Targeted radionuclide therapy of human tumors. *International journal of molecular sciences*, 17(1), 33.
- Gupta, K., Ripberger, J., Fox, A., Maiello, M., Peach, K., & Jenkins-Smith, H. (2025). Risk communication and public response to potential radiation emergencies in New York City. *Risk Analysis*, 45(6), 1237-1253.

- Hamouda, S. A., Ibrahim, M. K., & Mohamed, M. B. (2021). The Electromagnetic Spectrum: Knowledge and Experimental Techniques. *Engineering and Scientific International Journal*, 8(4).
- Hoskin, P. J., Rojas, A. M., Ostler, P. J., Bryant, L., & Lowe, G. J. (2021). Randomised trial of external-beam radiotherapy alone or with high-dose-rate brachytherapy for prostate cancer: Mature 12-year results. *Radiotherapy and Oncology*, 154, 214-219.
- ICRP. (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP.
- İncedere, L. (2023). Radyolojide görevli sağlık çalışanlarının radyasyondan korunma ile ilgili bilgi düzeyi (özel hastane örneği). *Journal of Awareness (JoA)*, 8(4), 513-523.
- Kaplan, B., & Avcı, S. (2023). The preventative knowledge and experience of anesthesiology students with C-arm fluoroscopy.
- Karmaker, N., Maraz, K. M., Islam, F., Haque, M. M., Razzak, M., Mollah, M., ... & Khan, R. A. (2021). Fundamental characteristics and application of radiation. *GSC Advanced Research and Reviews*, 7(1), 064-072.
- Karpuz, N. (2023). Radiation attitudes in associate degree students. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 9(3), 238-247.
- Katsumura, Y., & Kudo, H. (2018). Radiation: types and sources. In *Radiation Applications* (pp. 1-6). Singapore: Springer Singapore.
- Laughlin, J. M. (2023). Some observations on perceptions of radiation risks in the context of nuclear power plant accidents. *Radiation Protection Dosimetry*, 199(18), 2169-2173.
- Lee, Y., Choi, Y. Y., Yang, M., Jin, Y. W., & Seong, K. M. (2021). Risk perception of radiation emergency medical staff on low-dose radiation exposure: Knowledge is a critical

- factor. *Journal of Environmental Radioactivity*, 227, 106502.
- Lindberg, J. C. (2021). 'I'accuse!': the continuous failure to address radiophobia and placing radiation in perspective. *Journal of Radiological protection*, 41(2), 459.
- Lindberg, J. C., & Archer, D. (2022). Radiophobia: Useful concept, or ostracising term?. *Progress in Nuclear Energy*, 149, 104280.
- Miura, M., Yoshida, M., Takao, H., & Matsuda, N. (2008). Perception of risks from radiation by faculty and students of Nagasaki University. *Radiation Safety Management*, 7(1), 1-5.
- Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK). (2022). *Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği*. Resmî Gazete, Sayı: 31941, 14 Eylül 2022.
- Öğüt, S., & Akın, G. C. (2022). Hastanelerin Radyasyon Alanlarını İçeren Birimlerde Görev Alan Sağlık Çalışanlarında İş Sağlığı ve Güvenliği İkliminin Değerlendirilmesi. *Journal of Science, Technology and Engineering Research*, 3(2), 68-79.
- Özkan, Ş., Aba, G., & Tekinsoy, B. (2016). The Importance of Radiation Safety in Terms of Hospital Administration and Research on the Awareness Stage of Radiology Technicians. *Journal of Academic Research in Medicine*, 6(3).
- Palacı, H., Günay, O., & Yazar, O. (2014). Türkiye'deki radyasyon güvenliği ve koruma eğitiminin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 249-254.
- Parlak, Y., Uysal, B., Kırac, F. S., Kovan, B., Demir, M., Ayan, A., ... & Güvenliği, T. R. (2020, August). Radyasyon güvenliği kılavuzu: genel tanımlar ve nükleer tıp uygulamalarında radyasyondan korunma kuralları. In *Nuclear Medicine Seminars*. Nuclear Medicine Seminars.

- Perko, T. (2014). Radiation risk perception: a discrepancy between the experts and the general population. *Journal of environmental radioactivity*, 133, 86-91.
- Phillips, S. D. (2004). Chernobyl's Sixth Sense: The Symbolism of an Ever-Present Awareness. *Anthropology and humanism*, 29(2), 159-185.
- Raja, S. M. N., Othman, S. A., & Roslan, R. M. (2023). A short review on the imaging technology in radiation therapy. *e-Jurnal Penyelidikan dan Inovasi*, 108-122.
- Rajput, S. (2025). Effects of Low-Level Ionizing Radiation on Human health and Environment: A Brief Note. *Research Journal of Science and Technology*, 17(1), 86-88.
- Sjöberg, L., & Drottz-Sjöberg, B. M. (1991). Knowledge and risk perception among nuclear power plant employees. *Risk analysis*, 11(4), 607-618.
- Slovic, P. (1987). *Perception of risk*. Science, 236(4799), 280–285. <https://doi.org/10.1126/science.3563507>
- Soyal, H., Ortabağ, T., & Hasde, M. (2024). *Ionizing radiation safety perception of hospital radiation-exposed workers*. International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering (IJCESEN), 10(4), 1111–1119. <https://doi.org/10.22399/ijcesen.452>
- Takebayashi, Y., Lyamzina, Y., Suzuki, Y., & Murakami, M. (2017). Risk perception and anxiety regarding radiation after the 2011 Fukushima nuclear power plant accident: A systematic qualitative review. *International journal of environmental research and public health*, 14(11), 1306.
- Tunçer, N., Kuyucu, E., Sayar, Ş., Polat, G., Erdil, İ., & Tuncay, İ. (2017). Orthopedic surgeons' knowledge regarding risk of radiation exposition: a survey analysis. *Sicot-j*, 3, 29.
- Vozenin, M. C., Bourhis, J., & Durante, M. (2022). Towards clinical translation of FLASH radiotherapy. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 19(12), 791-803.

- World Health Organization (WHO). (2021). *Radon and health*.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
- Yıldırım, S. A., & Kurt, B. (2018). Lise ve üniversite radyoloji öğrencilerinin radyasyon güvenliği hakkında bilgi düzeyleri ve tutumları. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 5(4), 311-317.

Tıbbi Görüntüleme Uygulamalarında Radyasyondan Korunma: Bilgi, Risk Algısı ve Uygulamalı Yaklaşımlar

Tayfun Tayfun