

T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
MERAM TIP FAKÜLTESİ
HALK SAĞLIĞI ANABİLİM DALI

**KONYA'DA BİR ÜNİVERSİTE HASTANESİ ÇALIŞANLARINDA MESLEKİ OLARAK
İYONİZE RADYASYON MARUZİYETİNİN OKSİDATİF STRES VE İNFLAMASYON
MARKIRLARI ÜZERİNE ETKİLERİ**

DR. ZEHRA ARDIÇ

UZMANLIK TEZİ

KONYA, 2021

T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
MERAM TIP FAKÜLTESİ
HALK SAĞLIĞI ANABİLİM DALI

**KONYA'DA BİR ÜNİVERSİTE HASTANESİ ÇALIŞANLARINDA MESLEKİ OLARAK
İYONİZE RADYASYON MARUZİYETİNİN OKSİDATİF STRES VE İNFLAMASYON
MARKIRLARI ÜZERİNE ETKİLERİ**

DR. ZEHRA ARDIÇ

UZMANLIK TEZİ

Danışman: PROF. DR. TAHİR KEMAL ŞAHİN

KONYA, 2021

ÖNSÖZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalında almış olduğum 4 yıllık uzmanlık eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, her konuda destekleyen, tez çalışmamın her aşamasında yardımcı olan danışmanım anabilim dalı başkanı sayın Prof. Dr. Tahir Kemal ŞAHİN hocama;

Eğitimime katkı sunan değerli hocalarım sayın Doç. Dr. Lütfi Saltuk DEMİR'e, Doç. Dr. Yasemin DURDURAN'a, Doç. Dr. Mehmet UYAR'a ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan KÜÇÜKKENDİRCİ'ye;

Biyokimyasal analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KILINÇ hocama;

Bu çalışmanın yürütülmesinde maddi destek aldığım Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne;

Eğitim süreci boyunca tanıma fırsatı bulduğum çalışma arkadaşlarıma;

Araştırmama katılmayı kabul eden sağlık çalışanlarına;

Sevgi ve ilgiyle yetiştirip büyüten, her konuda maddi manevi desteklerini esirgemeyen, hayatımın her aşamasında yanımda olan sevgili annem, babam ve abime;

Hayatımı paylaştığım, her zaman sevgisi ve ilgisiyle yanımda olan, her konuda olduğu gibi araştırma sürecinde de yardım eden canım eşime;

Saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

ŞUBAT/2021

ZEHRA ARDIÇ

ÖZET
KONYA'DA BİR ÜNİVERSİTE HASTANESİ ÇALIŞANLARINDA MESLEKİ OLARAK
İYONİZE RADYASYON MARUZİYETİNİN OKSİDATİF STRES VE İNFLAMASYON
MARKIRLARI ÜZERİNE ETKİLERİ

DR. ZEHRA ARDIÇ

UZMANLIK TEZİ

KONYA, 2021

Amaç: Geniş kullanım alanı olan iyonize radyasyonun insan sağlığı üzerine etkileri, iyonize radyasyonun keşfinden bu yana görülmektedir. Bu çalışmada; Meram Tıp Fakültesi çalışanlarında radyasyondan korunma durumlarının belirlenmesi, radyasyon maruziyetine bağlı mevcut hastalık ve sağlık şikayetlerinin ortaya konulması, oksidatif stresin ve inflamasyonun biyogöstergeler ile gösterilmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Kesitsel türde tasarlanmış olan bu çalışma 4 Ağustos - 30 Kasım 2020 tarihleri arasında Meram Tıp Fakültesi'nde çalışma ortamında iyonize radyasyon maruziyeti olan (radyoloji, nükleer tıp, radyasyon onkolojisi, kardiyoloji, gastroenteroloji, ortopedi, üroloji) ve olmayan bölümlerde çalışan 172 kişiyle yapılmıştır. Çalışmada, katılımcılara veri toplama formu uygulanmış ve katılımcılardan 5 ml kan alınmıştır. Katılımcılardan alınan kan örneklerinden tümör nekrozis faktör (TNF)-alfa, interlökin (IL)-10, toplam antioksidan durumu (TAS) ve toplam oksidan durumu (TOS) ölçülmüş, oksidatif stress indikatörü (OSİ) hesaplanmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılıp analiz edilmiştir. İstatistiksel anlamlılık için p'nin 0,05'ten küçük olduğu durumlar kabul edilmiştir.

Bulgular: Radyasyonlu alanda çalışanların %50,0'si erkek, yaş ortalamaları $35,91 \pm 7,07$ çalışma sürelerinin ortalaması $9,80 \pm 7,1$ yıldır. Katılımcıların %40,7'sinin radyoloji bölümünde çalıştığı tespit edilmiştir. Radyasyonlu alanda çalışanlarda kişisel dozimetre kullanım sıklığı %80,2, kurşun önlük kullanım sıklığı %69,8, kurşun boyunluk kullanım sıklığı %59,3 olarak ortaya konmuştur. Radyasyonlu alanda çalışanlarda daha fazla gebe kalmada zorluk yaşandığı bulunmuştur. Halsizlik, sinirlilik, yorgunluk, baş ağrısı yakınmaları radyasyonlu alanda çalışanlarda daha fazla görülmüştür. İyonize radyasyon maruziyeti olan grupta iyonize radyasyon maruziyeti olmayan gruptan TOS, OSİ, TNF- α ve IL-10 daha yüksek, TAS daha düşük tespit edilmiştir. TOS, TAS, OSİ, TNF- α ve IL-10 biyogöstergelerinin kesme noktaları belirlenmiştir.

Sonuç: Kişisel koruyucu donanım kullanımı yeterli düzeyde olmadığı ve iyonize radyasyon maruziyetinin sağlık yakınmalarını arttırdığı saptanmıştır. Mesleki iyonize radyasyon maruziyetinin oksidatif stresi ve inflamasyonu arttırdığı bulunmuştur. Radyasyon güvenliği hakkında eğitimler verilerek; kişisel koruyucu donanım ve dozimetre kullanımı artırılmalıdır.

Periyodik izlemlere daha çok önem verilerek, iyonize radyasyon maruziyetinin oluşturduğu zararlı etkiler önlenmeye çalışılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: İyonize Radyasyon, Oksidatif Stres, TNF- α , İnterlökin 10, Mesleksel Maruziyet



ABSTRACT
**THE EFFECTS OF OCCUPATIONAL IONIZING RADIATION EXPOSURE ON OXIDATIVE
STRESS AND INFLAMMATION MARKERS IN A UNIVERSITY HOSPITAL EMPLOYEES
IN KONYA**

DR. ZEHRA ARDIÇ

SPECIALIZATION THESIS

KONYA, 2021

Objective: The effects of ionizing radiation, which has a wide usage area, on human health have been seen since the discovery of ionizing radiation. In this study, it was aimed to present the current disease and health complaints related to radiation exposure in Meram Medical Faculty employees, to examine the radiation protection conditions and to show oxidative stress and inflammation with bioindicators.

Method: This cross-sectional study was conducted between 4 August - 30 November 2020 in Meram Medical Faculty with 172 people working in departments exposed (radiology, nuclear medicine, radiation oncology, cardiology, gastroenterology, orthopedics, urology) and not exposed to ionized radiation in the working environment. In the study, a data collection form was applied to the participants and 5 ml of blood was drawn from the participants. Tumor necrosis factor (TNF)- α , interleukin (IL)-10, total antioxidant status (TAS) and total oxidant status (TOS) were measured from the blood samples taken from the participants, and the oxidative stress indicator (OSI) was calculated. The data were analyzed and the statistical significance level was accepted as $p < 0,05$ for all tests.

Results: The average age of the people working in the area with radiation was 35.91 ± 7.07 , 50.0% of them were male, the average working time was 9.80 ± 7.1 years. It has been determined that 40.7% of the participants work in the radiology department. The frequency of using personal dosimeters for those working in the field of radiation was 80.2%, the frequency of using lead aprons 69.8%, and the use of lead collar 59.3%. It has been found that those who work in the radiation field have more difficulty in conceiving. Complaints of weakness, nervousness, fatigue, headache were more common in those working in the area with radiation. It was detected in the group with ionizing radiation exposure higher TOS, OSI, TNF- α , IL-10 and lower TAS than the group without ionizing radiation exposure. The cut-off points of TOS, TAS, OSI, TNF- α and IL-10 biomarkers were determined.

Conclusion: It was found that the use of personal protective equipment was not sufficient and ionizing radiation exposure increased health complaints. Occupational ionizing radiation exposure has been found to increase oxidative stress and inflammation. By giving training on

radiation safety, the use of personal protective equipment and dosimeters should be increased. By paying more attention to periodic monitoring, the harmful effects of ionizing radiation exposure should be prevented.

Keywords: Ionizing Radiation, Oxidative Stress, TNF Alpha, Interleukin 10, Occupational Exposure



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TABLolar.....	ix
ŞEKİLLER.....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Amaç	2
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Radyasyon.....	3
2.1.1 Radyasyonun Kısa Bir Hikayesi	3
2.1.2 Radyasyonun Tanımı	3
2.1.3 Radyasyonun Doz Ve Birimleri.....	4
2.1.3.1 Aktivite Birimi.....	5
2.1.3.2 Işınlama Birimi.....	5
2.1.3.3 Soğurulma Dozu	5
2.1.3.4 Eşdeğer Doz	6
2.1.3.5 Efektif (Etkin) Doz	6
2.1.3.5 Kolektif Efektif (Etkin) Doz.....	7
2.1.4 Radyasyonun Sınıflandırılması ve Türleri.....	7
2.1.4.1 Radyasyon Enerjisi	7
2.1.4.2 Radyasyonun Türü.....	8
2.1.4.3 Radyasyon Kaynağı.....	9
2.1.5. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	19
2.1.5.1. Radyasyonun Hücrelere Etkisi	19
2.1.5.2. Radyasyonun Somatik (Deterministik- Sitokastik) ve Genetik Etkileri ...	21
2.1.5.3 Radyasyonun Erken ve Gecikmiş Etkileri.....	23
2.1.6. Radyasyon Maruziyet İzlemi.....	28
2.1.6.1. Radyasyon Doz Limitleri	29
2.1.7 Radyasyondan Korunma	30
2.1.7.1 Radyasyon Alanları	31
2.1.7.2 Çalışma Koşulları	32
2.1.7.3. Toplum Üyelerinin Radyasyondan Korunması	32
2.1.7.4. Çalışanların Radyasyondan Korunması.....	32
2.2. Radyasyona Bağlı Oksidatif Stres	34
2.2.1 Serbest Radikallerin Oluşumu	34
2.2.1.1 Reaktif Oksijen Türleri.....	34
2.2.1.2 Reaktif Nitrojen Türleri	36
2.2.2 Radikal Hasarına Karşı Savunma Sistemleri.....	36

2.3 Radyasyona Bağlı İnflamasyon	37
2.3.1. Tümör Nekrozis Faktör Alfa.....	39
2.3.2 İnterlökin-10.....	40
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	41
3.1 Araştırmanın Tipi	41
3.2 Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zaman.....	41
3.3. Araştırmanın Evreni.....	41
3.4. Araştırmanın Örneklemi	41
3.5. Veri Toplama Araçları.....	41
3.5.1. Veri Toplama Formu 1 (Ek-1).....	41
3.5.1. Veri Toplama Formu 2 (Ek-2).....	42
3.6. Verilerin Toplanması ve Araştırmanın Yürütülmesi.....	42
3.7 Etik Durum.....	42
3.8 Araştırma Bütçesi	43
3.9 Araştırmanın Bağımlı ve Bağımsız Değişkenleri.....	43
3.10 Değişkenlerin Ölçümü ve Hesaplanması	43
3.10.1 Toplam Antioksidan Durum Ölçümü	43
3.10.2 Toplam Oksidan Durum Ölçümü	44
3.10.3 Oksidatif Stres İndeksi Hesaplaması.....	45
3.10.4 Tümör Nekrozis Faktör-Alfa Seviyesi Ölçümü	45
3.10.5 İnterlökin-10 Seviyesi Ölçümü	45
3.11 Verilerin Analizi.....	47
4. BULGULAR	49
4.1 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Sosyo-Demografik Özellikleri	49
4.2 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Benzer Alınan Sosyo-Demografik, Sigara-Alkol Kullanma Durumları ve Sağlık Durumu Özellikleri.....	50
4.3 Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Meslekleri ve Çalıştıkları Birimler.....	53
4.4 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çalışma Koşulları ..	54
4.5 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Özellikleri	55
4.5.1 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılarda İyonize Radyasyon Maruziyeti Oluşturan Radyasyon Kaynakları	55
4.5.2 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonize Radyasyon Maruziyet Şekli	56
4.5.3 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Çalıştıkları Radyasyon Alanları	56
4.5.4 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Şua İzni Kullanma Durumları ve Şua İzni Kullanmama Nedenleri	57
4.5.5 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Yolları Hakkındaki Bilgi Kaynakları ve İyonlaştırıcı Radyasyonla Çalışanların Haklarını Bilme Durumları	57
4.5.6 İyonlaştırıcı Radyasyona Yönelik Alınan Önlemlerin Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi	58
4.6 Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Çocuk Sahibi Olma Durumu ve Çocuklarının Sağlığı.....	61
4.7 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcılarda Üreme Sağlığı	62

4.8 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda Sağlık Yakınmaları	64
4.9 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda Oksidatif Stres Markırlarının Değerlendirilmesi.....	66
4.10 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda İnflamasyon Biyogöstergelerinin Değerlendirilmesi.....	68
5. TARTIŞMA	69
5.1 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Koruyucu Donanım ve Dozimetre Kullanma Durumları.....	69
5.2 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Özellikleri, Çalışma Koşulları ve Bilgi Kaynakları.....	70
5.3 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Çocuklarının Sağlığının ve Üreme Sağlığı Durumlarının İncelenmesi.....	72
5.4 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Sağlık Durumları ve Yakınmaları	73
5.5 İyonize Radyasyon Maruziyeti ve Oksidatif Stres	74
5.6 İyonize Radyasyon Maruziyeti ve İnflamasyon	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	76
7. KAYNAKLAR	78
8. EKLER.....	86
EK-1 ANKET FORMU 1	
EK-2 ANKET FORMU 2	
EK-3 ETİK KURUL KARARI	
EK-4 ARAŞTIRMA İZİN BELGESİ	
EK-5 GÖNÜLLÜ ONAM FORMU	

TABLÖLAR

Tablo 2.1: Radyasyon Doz Hesaplamalarında Kullanılan Özel ve Uluslararası Birimler Sistemi Radyasyon Birimleri Ve Birimler Arasındaki İlişkiler (TAEK 2020d)	4
Tablo 2.1 (Devamı): Radyasyon Doz Hesaplamalarında Kullanılan Özel ve Uluslararası Birimler Sistemi Radyasyon Birimleri ve Birimler Arasındaki İlişkiler (TAEK 2020d).....	5
Tablo 2.2: İyonize Radyasyon Türlerinin Ağırlık Faktörleri (ICRP 2007).....	6
Tablo 2.3: Organ ve Doku Türlerine Göre Doku Ağırlık Faktörleri (ICRP 2007).....	7
Tablo 2.4: Dünya Geneline Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri (TAEK 2020b)	10
Tablo 2.5: Yiyeceklerdeki Potasyum-40 ve Radyum-226 Radyonüklitinin Aktivite Konsantrasyonu (Taşkın 2018).....	13
Tablo 2.6: Tıbbi Radyolojik Görüntüleme Tekniklerinin Ortalama Etkin Dozları (Türk Radyasyon Onkolojisi Derneği 2020, RadiologyInfo 2020)	15
Tablo 2.7: Dünya Geneline Ciddi Radyasyon Kaza Tahminleri* (UNEP 2016)	24
Tablo 2.8: Akut Radyasyon Sendromunda Akut Doza Bağlı Lenfosit Değişimi (TAEK 2020e).....	25
Tablo 2.8 (Devamı): Akut Radyasyon Sendromunda Akut Doza Bağlı Lenfosit Değişimi (TAEK 2020e).....	26
Tablo 2.9: Doku ve Organların İyonlaştırıcı Radyasyon Duyarlılığı (Lee 2020)	27
Tablo 2.10: Radyasyon Görevlileri ve Toplum İçin Radyasyon Doz Limitleri (5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000, 16332 sayılı Sağlık Hizmetlerinde İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları İle Çalışan Personelin Radyasyon Doz Limitleri Ve Çalışma Esasları Hakkında Yönetmelik 2012).....	30
Tablo 2.11: Enzimatik Antioksidanlar ve Etki Mekanizmaları (Tekin 2020).....	37
Tablo 4.1: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Sosyo-Demografik Özellikleri (Konya, 2021)	50
Tablo 4.2: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Benzer Alınan Sosyo-Demografik Özellikleri, Sigara-Alkol Kullanma Durumları ve Sağlık Durumu Özellikleri Dağılımı (Konya, 2021)	51
Tablo 4.3: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Kronik Hastalıkları (Konya, 2021).....	52
Tablo 4.4: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Kullandıkları Antioksidan Ürünler (Konya, 2021)	53
Tablo 4.5: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Meslek Gruplarına Göre Dağılımı (Konya, 2021).....	53
Tablo 4.6: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Görev Yaptıkları Birimlere Göre Dağılımı (Konya, 2021)	54
Tablo 4.7: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların İstihdam Biçimi (Konya, 2021).....	54
Tablo 4.8: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çalışma Süreleri (Konya, 2021).....	55
Tablo 4.9: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çalışma Sitilleri (Konya, 2021)	55
Tablo 4.10: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılarda İyonize Radyasyon Maruziyeti Oluşturan Radyasyon Kaynakları (Konya, 2021)	56

Tablo 4.11: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışanların İyonize Radyasyon Kaynakları İle Ağırlıklı Maruziyet Şekli (Konya, 2021)	56
Tablo 4.12: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Görev Yaptıkları Radyasyon Alanları (Konya, 2021)	56
Tablo 4.13: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Şua İzni Kullanma Durumları ve Şua İzni Kullanmama Nedenleri (Konya, 2021)	57
Tablo 4.14: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Yolları Hakkındaki Bilgi Kaynakları ve İyonlaştırıcı Radyasyonla Çalışanların Haklarını Bilme Durumları (Konya, 2021)	57
Tablo 4.14 (Devamı): NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Yolları Hakkındaki Bilgi Kaynakları ve İyonlaştırıcı Radyasyonla Çalışanların Haklarını Bilme Durumları (Konya, 2021)	58
Tablo 4.15: İyonlaştırıcı Radyasyonun Risklerini Azaltmaya Yönelik Alınan Önlemlerin NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi (Konya, 2021)	58
Tablo 4.16: Çalıştıkları Alanda İyonize Radyasyona Yönelik Özel Havalandırma Sistemi Varlığının NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi (Konya, 2021)	58
Tablo 4.17: İyonlaştırıcı Radyasyon Yayan Cihazların Kalibrasyon ve Kontrol Düzeninin NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi (Konya, 2021)	59
Tablo 4.18: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Çalıştıkları Birimlerde Bulunan Kişisel Koruyucu Ekipmanlar (Konya, 2021) ...	59
Tablo 4.19: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Kişisel Koruyucu Ekipmanları Temin Etme Durumu (Konya, 2021)	60
Tablo 4.20: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Kişisel Koruyucu Ekipmanları ve Kişisel Dozimetrelerini Kullanma Sıklıkları (Konya, 2021)	60
Tablo 4.21: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Kişisel Koruyucu Ekipmanları Çalışma Arkadaşlarına Göre kullanma Durumları (Konya, 2021)	61
Tablo 4.22: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Radyasyon Maruziyetine Bağlı Olduğunu düşündükleri Rahatsızlıkları (Konya, 2021)	61
Tablo 4.23: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çocuk Sahibi Olma Durumu ve Çocuklarının Sağlığı (Konya, 2021)	62
Tablo 4.24: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcılarda Menstruasyon Düzensizliği (Konya, 2021)	63
Tablo 4.25: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcılarda Gebelik Durumu ve Gebe Kalmada Zorluk Yaşama Dağılımları (Konya, 2021)	63
Tablo 4.26: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcıların Ölü Doğum ve Düşük Yapma Durumları (Konya, 2021)	64
Tablo 4.27: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Sağlık Yakınmaları ve Dağılımları (Konya, 2021)	65

Tablo 4.27 (Devamı): NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Sağlık Yakınmaları ve Dağılımları (Konya, 2021)	66
Tablo 4.28: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda Oksidatif Stres Göstergeleri (Konya, 2021).....	67
Tablo 4.29: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda İnflamasyon Göstergeleri (Konya, 2021)	68



ŞEKİLLER

Şekil 2.1: İyonize Radyasyonun Elektromanyetik Dalgalar ve Atom Parçacıkları Şeklinde Meydana Gelmesi (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi 2014).....	4
Şekil 2.2: Radyasyon Türleri (Ersever 2018).....	8
Şekil 2.3: Elektromanyetik Spektrum (UNEP 2016).....	9
Şekil 2.4: Dünya Çapında Radyasyon Maruziyet Kaynakları (UNEP 2016).....	9
Şekil 2.5: Doğal Radyasyon Kaynakları (TAEK 2020a).....	10
Şekil 2.6: Kozmik Işınlardan Alınan Radyasyon Dozunun Yüksekliğe Göre Değişimi (Bir yıl boyunca bu yerlerde maruz kalma varsayımına dayanmaktadır, UNEP 2016).....	11
Şekil 2.7: Yapay Radyasyon Kaynakları (TAEK 2020a).....	14
Şekil 2.8: Radyasyon Kullanarak Kalınlık Ölçümü (UNEP 2016).....	18
Şekil 2.9: Radyasyonun Direkt ve İndirekt Etkisi (Akyolcu 2010).....	20
Şekil 2.10: Deterministik ve Stokastik Etkiler (Ministry of the Environment Government of Japan 2019).....	22
Şekil 2.11: İyonlaştırıcı Radyasyonun Makromoleküller Üzerindeki Doğrudan ve Dolaylı Hücresel Etkileri (Chen 2019).....	34
Şekil 2.12: İyonize Radyasyona Bağlı İnflamatuar ve Anti-İnflamatuar Cevaplar (Azzam 2012).....	39
Şekil 3.1: IL-10 ve TNF- α Standart Kalibrasyon Eğrisi	47
Şekil 4.1: TOS, TAS ve OSİ ROC Eğrisi (Konya, 2021)	67
Şekil 4.2: TNF- α ve IL-10 ROC Eğrisi (Konya, 2021)	68

SİMGE VE KISALTMALAR

₺	Türk Lirası
\$	Amerikan Doları
°C	Santigrat Derece
ABTS	2,2'-Azino-Bis-3-Etilbenz-Thiazoline-6-Sulfonik Asid
ALARA	Olabildiğince Düşük Doz (As Low As Achievable Possible)
AUC	Eğri Altında Kalan Alan (Area Under the Curve)
BEIR	İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri (Biological Effects of Ionizing Radiation)
BKİ	Beden Kitle İndeksi
Bq	Becquerel
BT	Bilgisayarlı Tomografi
C / Kg	Coulomb / Kilogramdır
Ci	Curie
COVID-19	Koronavirüs Hastalığı 2019
Cu	Bakır
DAMP	Hasarla İlişkili Moleküller (Damage Associated Molecular Patterns)
dk	Dakika
DNA	Deoksiribonükleik Asit
ELISA	Enzyme-Linked İmmuno-Sorbent Assay
FAD	Flavin Adenin Dinükleotit
Fe	Demir
Fe ⁺²	Serbest Demir
g	Gravite
GA	Güven Aralığı
GSH	Glutatyon
GSSG	Okside Glutasyonu
Gy	Gray
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksid
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
HCO ₄ -	Peroksimonokarbonat
HMGB1	High-Mobility Group Box 1
HO ₂	Hidroperoksil
HO ₂	Perhidroksil Radikali

HOB _r	Hipobromöz Asit
HOCI	Hipokloröz Asit
HOCI	Hipokloröz Asit
HRP	Avidin-Horseradish Peroksidaz
HSP	Isı Şok Proteinleri (Heat-Shock Protein)
ICRP	Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (International commission on radiological protection)
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi
IL-10	İnterlökin-10
IMRT	Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (Intensity-Modulated Radiotherapy)
keV/ μ m	kiloelectron volt / micrometer
LET	Lineer Enerji Transferi
LNT	Lineer Eşiksiz Modeli (Lineer Non-Threshold)
M.K.S.	Metre Kilogram Saniye
ml	mililitre
mM	Milimolar
mmol Trolox Ekvivalen/L	Milimol Trolox Ekvivalen/Litre
Mn	Manganez
mtDNA	Mitokondriyal Dna
N ₂ O ₃	Dinitrojen Trioksit
NADP	Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat
nDNA	Nükleer Dna
NEÜ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
nm	Nanometre
nM	Nanomolar
NO	Nitrik Oksit
NO ₂ ⁻	Nitrojen Dioksit
NRCP	Radyasyondan Korunma Ve Ölçümler Ulusal Konseyi (National Research Council Of The Philippines)
O ₂	Oksijen
O ₂ ⁻	Süperoksid Anyon Radikali
O ₃	Ozon
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
OH ⁻	Hidroksil
ONOO ⁻	Peroksinitrit

ONOO ⁻	Peroksinitrit
ONOOH	Peroksinitrik Asit
OSİ	Oksidatif Stress İndikatörü
PET/CT	Pozitron Emisyon Tomografisi/Bilgisayarlı Tomografi
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitlerinden
R	Röntgen
Rad	Radiation Absorbed Dose
RBE	Rölatif Biyolojik Etkinlik
Rem	Radiation Equivalent Man
RNS	Reaktif Nitrojen Türleri
RO ⁻	Alkoksil Radikali
RO ₂	Peroksil
ROOH	Organik Hidroperoksitler
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
S	Sülfür
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
Se	Selenyum
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
SPECT	Tomografik Tek Foton Görüntüleme (Single Photon Emission Computed Tomography)
Sv	Sievert
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TAS	Toplam Antioksidan Durumu
Th	Toryum
TLR	Toll Benzeri Reseptör (Toll Like Receptors)
TNF-α	Tümör Nekrozis Faktör-Alfa
TOS	Toplam Oksidan Durumu
U	Uranyum
U.S.NRC	United States Nuclear Regulatory Commission
UNEP	United Nations Environment Programme
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
W _R	Radyasyon Ağırlık Faktörü
W _T	Doku Ağırlık Katsayısı
Zn	Çinko

μl

mikrolitre

μmol H₂O₂ Equivalent /L

Mikromol H₂O₂ Equivalent /Litre



1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 Giriş

Radyasyon, doğada daima var olan ve canlı sistemleri etkileyen fiziksel bir faktördür. 1895 te Alman fizikçi Wilhelm Conrad Roentgen X-ray adını verdiği, insan vücudunun içini göstermek için kullanılabilen radyasyonu keşfetti. Bir yıl sonra Fransız bilim adamı Henri Becquerel, kısa bir süre sonrada genç bir kimyager Marie Skłodowska-Curie radyoaktif ışınları buldu. Bu keşifler, giderek yaygınlaşan tıpta radyasyon kullanımının ilk habercileridir. Günümüzde radyasyonun tıp alanında kullanımı o kadar yaygınlaşmıştır ki, şu anda dünyada en başta gelen yapay radyasyon kaynağıdır. Radyasyonun tıpta kullanımı yapay kaynakların %98'ini oluşturur ve doğal kaynaklardan sonra dünya nüfusunun maruz kaldığı en büyük ikinci kaynağı oluşturur; tüm kaynakların yaklaşık yüzde 20'sini temsil eder. Dünya çapında radyasyon kaynaklarıyla çalışan sayısı yaklaşık 23 milyondur. Onların yaklaşık 10 milyonu yapay kaynaklara maruz kalmaktadır. Yapay kaynaklara maruz kalan her dört işçiden üçü tıp sektöründe çalışmakta olup; çalışan başına yıllık efektif doz 0,5 mSv'dir.

Oksidatif stres, biyolojik sistemlerde hücresel metabolizma sırasında oluşan oksidan serbest radikallerdeki artışa karşılık, onları detoksifiye eden antioksidanların yetersiz kalması sonucu redoks sinyalinin ve kontrolünün bozulması veya moleküler hasara neden olacak şekilde oksidatif dengenin bozulmasıdır. Yüksek reaktiviteye sahip reaktif oksijen türleri başta mitokondri olmak üzere hücre organellerinde gerçekleşen normal metabolizmanın veya iskemi-reperfüzyon, yaşlanma, radyasyon, yüksek oksijen basıncı, inflamasyon ve kimyasal ajanlara maruz kalma gibi etkenlerin sonucu olarak üretilebilirler. Oksidatif stres başta kanser olmak üzere; diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, nörolojik hastalıklar, ateroskleroz ve inflamatuvar bozukluklar gibi birçok hastalığın patogenezinin sorumludur.

Radyasyonun zararlı etkisi, serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretiminden kaynaklanır. Reaktif oksijen türleri özellikle hidroksil radikalleri, membran lipid peroksidasyonuna, hücre proteinlerinin ve deoksiribonükleik asitin (DNA) oksidasyonuna neden olur. Ayrıca ROS inflamatuvar yanıt kaskatı oluşturur. Sonuçta hücre ölümüne neden olabilir. Daha sonra ölü hücrelerden salınan maddeler endotel ve makrofaj benzeri hücreleri uyatarak inflamasyonu artırır. Artan inflamatuvar yanıt uzun süreli ve geri dönüşümsüz doku hasarına neden olabilir.

İyonize radyasyon doğrudan DNA ve proteinler ile etkileşime girer. Zarar gören hücre, savunma sistemini (antiinflamatuvar sitokinler, antioksidan aktivite) aktive ederek bu zararlı etki ile mücadele etmeye çalışır. İyonize radyasyon maruziyeti devam ederse DNA'da oluşan hasar onarılamaz ve kanser riskini artırır. Bu etkiler sonucunda; saç dökülmesi, solunum

sistemi hastalıkları, mide ve bağırsak sistemi kanamaları, kemik iliği süpresyonuna bağlı kanamalar ve kansızlık görülebilir. Bu etkiler radyasyonun dozuna ve doz alım hızına bağlı olarak kısa veya uzun vadede ortaya çıkabilir. Radyasyon, önlem alınmadığı takdirde yaşam kalitesini ve yaşam süresini ciddi olarak düşürebilir.

1.2 Amaç

Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi çalışanlarında yürüttüğümüz araştırmamızın amaçları;

- İyonize radyasyon kaynaklarının bulunduğu hastane ortamında çalışan sağlık çalışanlarının kişisel koruyucu donanım kullanım sıklıklarının ortaya konulması,
- Sağlık çalışanlarında iyonize radyasyon maruziyetine bağlı olduğu düşünülen mevcut hastalıklarının, üreme sağlığı durumlarının ve sağlık yakınmalarının gösterilmesi,
- Sağlık çalışanlarında mesleki iyonize radyasyon maruziyetinin etkilerinin oksidatif stres ve inflamasyon biyogöstergeleriyle açıklanması olarak belirlenmiştir.

1.3 Araştırmanın Hipotezleri

- 1) Düşük doz uzun süreli mesleki iyonize radyasyon maruziyeti üreme sağlığını etkiler.
- 2) Düşük doz uzun süreli mesleki iyonize radyasyon maruziyeti sağlık yakınmalarını artırır.
- 3) Düşük doz uzun süreli mesleki iyonize radyasyon maruziyeti oksidatif stres ve inflamasyon göstergelerini artırır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Radyasyon

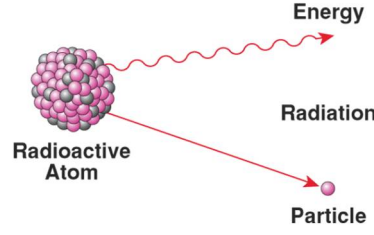
Evrenin başlangıcından bu yana uzayda var olan, dünyanın yapısında bulunan radyasyon ve radyoaktivite yaşamın başlangıcından bu yana insanoğlunu etkileyen evrensel bir olgudur. On dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru bu evrensel olguyu keşfeden insanoğlu hala radyasyonu kullanmanın yeni yollarını öğrenmektedir (United Nations Environment Programme (UNEP) 2016).

2.1.1 Radyasyonun Kısa Bir Hikayesi

Alman fizikçi Wilhelm Conrad Roentgen 1895 yılında X-ışınını keşfetmiştir. Bu keşif radyasyonun tıp alanında kullanılabileceğinin ilk habercisidir. Modern fizik çağını müjdeleyen ve teşhis tıbbında devrim yaratan Roentgen 1901'de Nobel Fizik Ödülü'ne laik görülmüştür. Roentgen'in keşfinden sonra 1896 yılında Fransız bilgini Antoine Henri Becquerel uranyum tuzlarının bir takım girici ışınlar yaydığını bulmuş ve olaya radyoaktiflik adını vermiştir. İki yıl sonra Pierre ve Marie Curie bir Uranyum minerali olan pitchblende'den uranyumdan çok daha radyoaktif olan iki yeni elementi ayırmayı başarmışlar ve polonyum ve radyum adlarını vermişlerdir. Polonya'da doğup daha sonra Fransız vatandaşı olan Marie Skłodowska Curie 1898 yılında radyoaktif ışınların varlığını kanıtlamıştır. Henri Becquerel, Pierre ve Marie Curie 1903 Nobel Fizik Ödülü'nü almışlardır. Ayrıca Marie Skłodowska Curie 1911 Nobel Kimya Ödülü'nü alarak, Nobel Ödülü kazanan ilk kadın ve ödülü iki farklı alanda kazanan ilk bilim insanı olmuştur. Bayan Curie aynı zamanda radyoaktivitenin öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu keşiflerden sonra radyasyon çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle onkoloji ve radyoloji alanlarında muazzam gelişmeler yaşanmış ve yaşanmaya da devam etmektedir (Daşdağ 2010, Encyclopaedia Britannica 2020a, Encyclopaedia Britannica 2020b, Encyclopaedia Britannica 2020c).

2.1.2 Radyasyonun Tanımı

Radyasyon, uzayda farklı spektrumlarda bulunabilen elektromanyetik dalgalar veya atom parçacıkları biçimindeki enerji salınımı ya da aktarımıdır (Şekil 2.1) (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi 2014, Tulchinsky 2019). Sözü edilen elektromanyetik dalgalar; foton olarak adlandırılan, ışık hızında hareket eden, kütlesi olmayan enerji paketçikleridir. Parçacık radyasyon ise belli bir kütle ve enerjiye sahip, çok hızlı hareket eden atomun temel yapısını oluşturan minik parçacıklardır (Bilir 2014). Radyasyon, atom ve moleküllerle etkileşir ve geçtiği ortama enerji aktarır (Güler 2015).



Şekil 2.1: İyonize Radyasyonun Elektromanyetik Dalgalar ve Atom Parçacıkları Şeklinde Meydana Gelmesi (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi 2014)

2.1.3 Radyasyonun Doz Ve Birimleri

Doz herhangi bir maddenin ölçüm birimi cinsinden belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen belirli bir miktardır. Radyasyon dozu ise belli bir sürede, hedef kütle tarafından soğurulan veya alınan radyasyon enerjisi miktarıdır. Radyasyon enerjisi, vücutta biyolojik hasarlara neden olur. Bu hasarların büyüklüğü ise o radyasyonun cinsine, vücuda giriş şekline, süresine ve miktarına bağlı olarak değişir. Bu nedenle, radyasyon dozunun ölçüm sistemleri ile ifade edilebilmesi için radyasyon birimleri tanımlanmıştır (Kunt 2011).

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi'nin (ICRU) aktivite (radioactivity), ışınlama dozu (exposure), soğurulma dozu (absorbed) ve doz eşdeğeri (dose equivalent or effective dose) için tanımladığı radyasyon birimleri sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), rad ve rem'dir. Bu birimler 1986 yılından itibaren terk edilmeye başlanmış ve yerine M.K.S. (Metre Kilogram Saniye) sistemini esas alan "Uluslararası Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg, Gray (Gy), ve Sievert (Sv) olarak belirlenmiştir. Tablo 2.1' de radyasyon terimleri ve doz hesaplamalarında kullanılan özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki verilmiştir (TAEK 2020d).

Tablo 2.1: Radyasyon Doz Hesaplamalarında Kullanılan Özel ve Uluslararası Birimler Sistemi Radyasyon Birimleri ve Birimler Arasındaki İlişkiler (TAEK 2020d)

Terim	Birimi		Dönüşüm
	Eski	Yeni	
Aktivite	Curie (Ci) ; $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma / 1 saniye	Becquerel (Bq); 1 parçalanma/1 saniye	$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$
İşinlanma Dozu	Röntgen (R) ; normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyon miktarıdır.	Coulomb / kilogram (C/kg); normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyon miktarıdır.	$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$ $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$

Tablo 2.2 (Devamı): Radyasyon Doz Hesaplamalarında Kullanılan Özel ve Uluslararası Birimler Sistemi Radyasyon Birimleri ve Birimler Arasındaki İlişkiler (TAEK 2020d)

Soğurulmuş Doz	Radiation absorbed doz (rad); ışınlanan maddenin 1 kg'ında 10 ⁻² Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Gray (Gy) ; ışınlanan maddenin 1 kg'ında 1 Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	1 Gy = 100 rad 1 rad = 0,01 Gy
Doz Eşdeğeri	Röntgen eguevalent man (rem); 1 Röntgen'lik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. Rem = (rad)x(W _R)*	Sievert (Sv); 1 Gy'lik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Sv = (Gy)x(W _R)*	1 Sv = 100 rem 1 rem = 0,01 Sv

*W_R, "Radyasyon ağırlık faktörü" olarak adlandırılır.

2.1.3.1 Aktivite Birimi

Radyoaktivite, bir madde tarafından salınan iyonlaştırıcı radyasyon miktarını belirtir. Maddenin alfa veya beta parçacıkları, gama ışınları, x-ışınları veya nötronlar yayması, yani radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarı radyoaktivite (veya sadece aktivite) olarak ifade edilir. Radyoaktivite için ölçü birimleri curie (Ci) ve becquerel'dir (Bq) (EPA 2020a).

2.1.3.2 Işınlama Birimi

Işınlama birimi, havadaki iyonizasyonun ölçütüdür. Radyasyonun enerjisini, miktarını veya yoğunluğunu açıklamak için kullanılan ışınlama birimi, havanın birim kütlesinde radyasyonun oluşturduğu elektronların toplamıdır. Işınlama dozu, kaynak ve hedef arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır. Birçok radyasyon cihazı ışınlama birimini ölçer. Işınlama birimleri röntgen (R) ve Coulomb / kilogramdır (C / kg) (Altunsoy 2018, U.S.NRC 2020a).

2.1.3.3 Soğurulma Dozu

Soğurulma dozu, bir nesne veya kişi tarafından emilen radyasyon miktarını tanımlar. Soğurulma doz birimleri, radiation absorbed dose (rad) ve gray (Gy)'dir. Gray, joule / kilogram olarak ifade edilmektedir. (U.S.NRC 2020a).

Aşağıdaki formülde gösterilen soğurulan doz, radyasyon enerjisi, soğuran maddenin yoğunluğu ve atom numarası gibi özelliklere bağlıdır.

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

Burada dε; soğurulan enerjiyi, dm; maddenin kütesini ve D; absorbe doz miktarını göstermektedir (Altunsoy 2018, Ay 2020).

2.1.3.4 Eşdeğer Doz

Eşdeğer doz, insanın maruz kaldığı radyasyonun vücutta meydana getireceği zararlı biyolojik etkilerin göstergesidir. Bu biyolojik etkiler; kişinin kilosu, yaşı, cinsiyeti, vücut yapısı, radyasyonun türü ve enerjisi, ayrıca doku ve organların radyasyona hassasiyet durumlarına göre farklılık gösterir. Eşdeğer doz birimleri, rem (radiation equivalent man) ve Sievert (Sv)'dir. Birimi Sievert (Sv)= 1 joule/kg'dır. Radyasyondan korunmada kullanılan bir birimdir (Kunt 2011, Ekinci 2019).

Eşdeğer doz (H), soğurulan doz ve ağırlık faktörünün çarpılması ile hesaplanır. Eşdeğer doz formülü aşağına verilmiştir.

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

Denklemden H_T eşdeğer dozu, R radyasyonun türünü, T ifadesi ise doku veya organı temsil etmektedir. W_R ifadesi R türündeki radyasyonun ağırlık faktörüdür. $D_{T,R}$ ise, T dokusundaki R ağırlık faktörlü absorbe edilen dozu göstermektedir. H_T ifadesi tüm bu değerler çarpılarak bulunur ve T dokusundaki eşdeğer doz belirtir. Eğer soğurulan doz, farklı türdeki radyasyonların birleşiminden oluşuyorsa formülde her bir radyasyon türü için ayrı ağırlık faktörü ile hesaplama yapılır ve bütün sonuçlar toplanarak eşdeğer doz bulunur. Tablo 2.2'de radyasyon türlerinin ağırlık faktörleri verilmiştir (ICRP 2007, Altunsoy 2018).

Tablo 2.3: İyonize Radyasyon Türlerinin Ağırlık Faktörleri (ICRP 2007)

Radyasyon tipi	Radyasyon ağırlık faktörü, W_R
Fotonlar	1
Elektronlar ve müonlar	1
Protonlar ve yüklü pilyonlar	2
Alfa parçacıkları, fisyon ürünleri ve ağır iyonlar	20
Nötronlar	Nötronun enerjisine bağlı

*Tüm değerler vücutta meydana gelen ışınlama veya iç ışınlamayla ilişkilidir.

2.1.3.5 Etkin (Etkin) Doz

Etkin doz, doku veya organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riskin hesaplanarak, toplam etkinin tahmin edilmesini kapsayan bir kavramdır. Vücuttaki her organ ve dokunun radyasyona duyarlılıkları farklı olduğu için, her organ ve dokuya özgü organ doz ağırlık katsayısı (tissue weighting factor, W_T) vardır (Tablo 2.3). Etkin dozun SI birim sistemindeki birimi Sievert (Sv)'tir (ICRP 2007, Gökharman 2016).

Her bir organın eşdeğer doz değerleri ile organların kendilerine özgü ağırlık faktörleri çarpılır ve elde edilen değerler toplanarak etkin doz hesaplanır. Etkin doz formülü aşağıda verilmiştir.

$$H_E = \sum_T W_T H_T = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R}$$

H_E etkin dozu, T doku ya da organı, H_T dokunun eşdeğer dozunu, W_T ise doku ağırlık faktörüdür (Ay 2020).

Tablo 2.4: Organ ve Doku Türlerine Göre Doku Ağırlık Faktörleri (ICRP 2007)

Doku	W_T	ΣW_T
Kırmızı kemik iliği, kolon, akciğer, mide, meme, diğer dokular*	0,12	0,72
Yumurtalıklar	0,08	0,08
Mesane, yemek borusu, karaciğer, tiroit	0,04	0,16
Kemik yüzeyi, beyin, tükürük bezleri, deri	0,01	0,04
Toplam		1,00

* Diğer dokular: Adrenaller, ekstratorasik bölge, safra kesesi, kalp, böbrekler, lenf nodları, kas, oral mukoza, pankreas, prostat (erkek), ince bağırsak, dalak, timus, uterus/serviks (kadın)

2.1.3.5 Kolektif Etkin (Etkin) Doz

Kolektif etkin doz veya kolektif doz, radyasyona maruz kalan belirli bir gruptaki kişilerin aldığı ortalama etkin doz ile kişi sayısının çarpılmasıyla elde edilir. Birimi man-sievert olarak ifade edilir. Örneğin, kişi başı ortalama 3 mSv dozdan dünya nüfusu için yıllık kolektif doz 19 milyon man Sv'nin üzerindedir. Kolektif doz kaza durumlarında alınacak önlemlere temel oluşturan, toplum dozlarının belirlenmesinde kullanılan önemli bir kavramdır (TAEK 2000, UNEP 2016).

Radyasyon birimleri sistemine radyasyondan korunma uzmanlarının bireylerin maruz kaldığı radyasyon dozlarını tutarlı ve karşılaştırmalı kaydetmelerine olanak sağlayan bir yapıya dönüştürdüğü için gerek duyulmaktadır. Bu sistem, radyasyonla çalışan ve mesleki olarak maruz kalan insanlar için büyük önem taşır (UNEP 2016).

2.1.4 Radyasyonun Sınıflandırılması ve Türleri

Radyasyon tanımlanırken üç ana parametreye göre sınıflandırılır (Ersever 2018, Çimen 2018);

- 1) Enerjisi (Düşük ve Yüksek enerjili radyasyon)
- 2) Türü (İyonlaştıran ve İyonlaştırmayan radyasyon)
- 3) Kaynağı (Doğal ve Yapay radyasyon kaynakları)

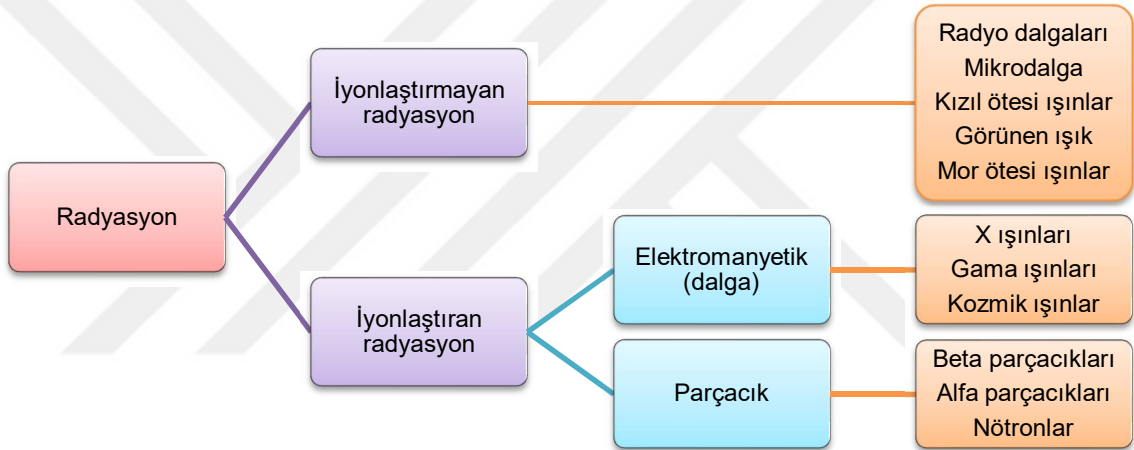
2.1.4.1 Radyasyon Enerjisi

Radyasyon enerjisi düşük enerjili radyasyon ve yüksek enerjili radyasyon olarak sınıflandırılır. Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon, düşük enerjili radyasyon ise iyonize olmayan radyasyon olarak tanımlanabilir (Ersever 2018).

2.1.4.2 Radyasyonun Türü

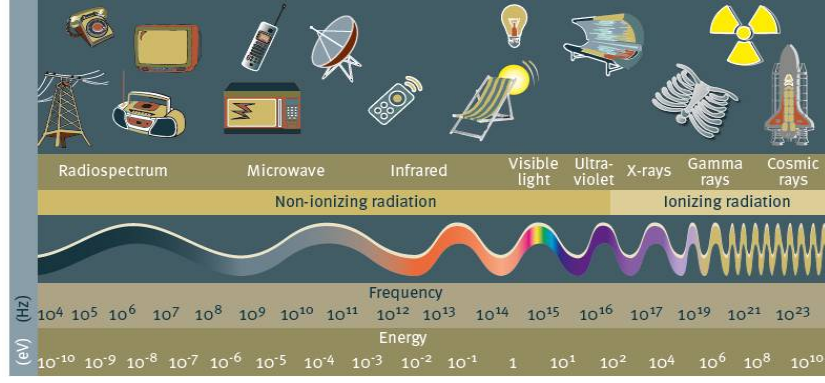
İyonlaştıran ve iyonlaştırmayan radyasyon olarak iki ana gruba ayrılır. İyonizan radyasyon atomdan elektron koparabilen, çarptığı madde de yüklü parçacıklar yani iyonlar oluşturabilen radyasyon türüdür. Elektromanyetik dalga ve parçacık tipi radyasyonlardan oluşur. X ve gama ışınları iyonizan elektromanyetik dalga tipi; alfa ve beta parçacıkları, nötronlar, protonlar ve elektronlar ise parçacık tipi iyonizan radyasyonlara örnek olarak verilebilir (Şekil 2.2) (Ersever 2018, Tulchinsky 2019).

İyonlaştırmayan radyasyon moleküldeki atomları uyarabilen; ancak elektronları koparmaya yetecek enerjisi olmayan, yani atomları iyonize edemeyen radyasyon türüdür. Global pozisyonlama sistemlerinde, hücresel telefonlarda, televizyon istasyonlarında, radyo dalgalarında, kablosuz telefonlarda ve mikrodalgada iyonlaştırmayan radyasyon kullanılır (Şekil 2.2) (Ersever 2018, Tulchinsky 2019).



Şekil 2.2: Radyasyon Türleri (Ersever 2018)

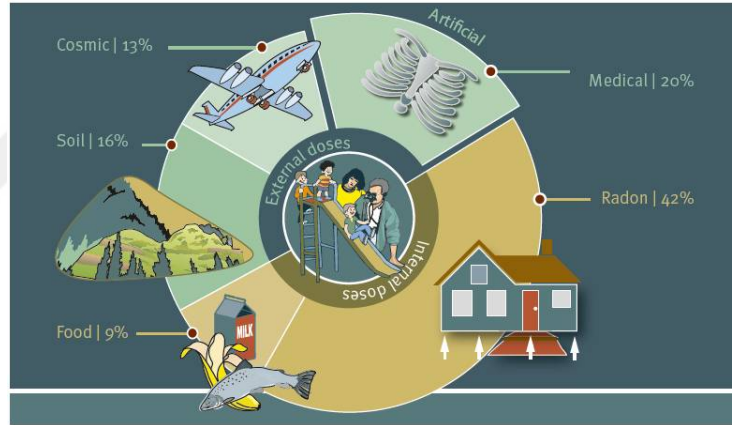
Radyasyon bir de dalga tipi ve parçacık tipi radyasyon olarak sınıflandırılabilir. Belli bir kütle ve enerjiye sahip parçacık tipi radyasyonun tamamı iyonlaştırmayan radyasyondur. Belli bir enerjiye sahip, kütsüz radyasyon türü olan elektromanyetik radyasyon iyonlaştıran ve iyonlaştırmayan radyasyon dalgalarını içerir. Radyo dalgaları, mikrodalga, kızıl ötesi ışınlar, görünen ışık, mor ötesi ışınlar iyonlaştırmayan elektromanyetik radyasyon; x ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlar iyonlaştıran elektromanyetik radyasyon örnekleridir (Sakaoğlu Manavgat 2011). Şekil 2.3' de radyasyonun enerji spektrumu görülmektedir. Enerji frekansla birlikte soldan sağa doğru, yani iyonlaştırmayandan iyonlaştıran doğru artmaktadır (UNEP 2016).



Şekil 2.3: Elektromanyetik Spektrum (UNEP 2016)

2.1.4.3 Radyasyon Kaynağı

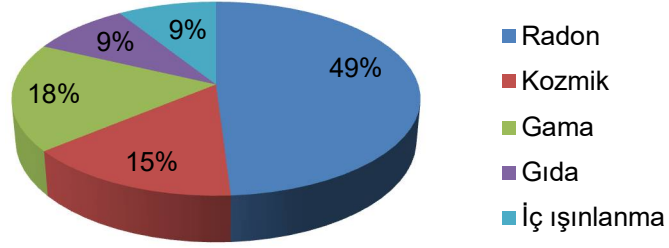
Radyasyon kaynaklarını, doğal ve yapay radyasyon kaynakları olarak sınıflandırabiliriz (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) 2020a). Maruziyetin %80'i doğal kaynaklar, %20 si yapay kaynaklardır. Yapay kaynakların büyük çoğunluğunu tanı ve tedavi amacıyla tıpta kullanılan radyasyon kaynakları oluşturur (Şekil 2.4) (UNEP 2016).



Şekil 2.4: Dünya Çapında Radyasyon Maruziyet Kaynakları (UNEP 2016)

2.1.4.3.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

Solunum ve sindirim sistemi yoluyla havada, suda, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde bulunan radyoaktif maddelerin alınmasıyla ve kozmik ışınlardan, yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilenecek insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon maruziyeti en fazla radon gazından (%49), daha az oranlarda gama ışınlarından (%18), kozmik (%15) ve vücut içi ışınlanmadan (%9), gıdalardan (%9) kaynaklanmaktadır (Şekil 2.5) (TAEK 2020a). Günlük yaşantımızda, doğal kaynaklar nedeniyle radyasyon maruziyetinin ortalama yıllık etkin dozu 2,4 mSv'dir. Yaşadığımız yere göre yaklaşık 1 ila 10 mSv arasında değişir (Tablo 2.4) (TAEK 2020b).



Şekil 2.5: Doğal Radyasyon Kaynakları (TAEK 2020a)

Tablo 2.5: Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri (TAEK 2020b)

Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)		
İşinlanma Kaynağı	Ortalama	Değişim Aralığı
KOZMİK RADYASYON		
• Foton bileşeni	0,28	0,3 – 1,0 ^(a)
• Nötron bileşeni	0,10	
KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR	0,01	
Toplam	0,39	
YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ İŞINLANMA		
• Bina dışı	0,07	0,3 – 0,6 ^(b)
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	
SOLUNUM YOLU İLE İŞINLANMA		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	0,2 – 10 ^(c)
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	
BESLENME YOLU İLE İŞINLANMA		
• K-40	0,17	0,2 – 0,8 ^(d)
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

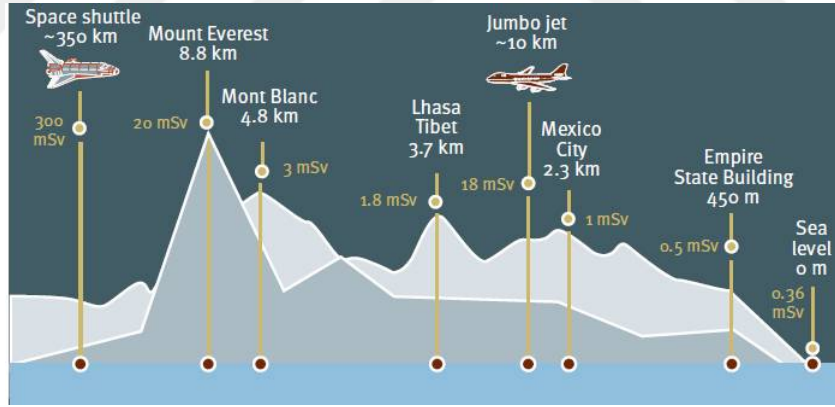
(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı

2.1.4.3.1.1 Kozmik Işınlr

Dünyamıza uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Güneşin aktif durumuna (güneş patlamalarına), yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğine (irtifa) bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişmektedir. Protonlar atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerek kutuplara doğru yönelir. Bu sebeple, İnsanların aldığı radyasyon ekvatordan uzaklaştıkça artar. Işınlrın büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu dolayısıyla doz miktarı da azalır. UNSCEAR tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ışınlardan kaynaklanan yıllık etkin doz enlem ve yükseklikle değişse de 0,4 mSv civarındadır (Tablo 2.4) (TAEK 2020b).

Kozmik ışınlara maruziyet rakım yükseldikçe artmaktadır. Bu nedenle, deniz seviyesinde yaşayan insanlar kozmik radyasyon kaynaklarından bir yılda ortalama 0,3 mSv etkin doz alırlar. Dünyada önemli sayılabilecek yoğunlukta nüfus barındıran yüksek rakımlı yerleşim bölgelerinde yaşayan insanların bir yılda aldığı doz (Örneğin And Dağlarındaki Quito ve La Paz, Himalayalardaki Lhasa), deniz seviyesinde yaşayan insanlara oranla birkaç kat daha fazla olabilir. Örneğin La Paz'da bu rakam küresel ortalamanın 5 katıdır (Şekil 2.6) (TAEK 2020b).



Şekil 2.6: Kozmik Işınlardan Alınan Radyasyon Dozunun Yüksekliğe Göre Değişimi (Bir yıl boyunca bu yerlerde maruz kalma varsayımına dayanmaktadır, UNEP 2016)

Uçuş yüksekliğindeki kozmik ışın yoğunluğu yer seviyesine oranla daha fazla olduğundan, uçakla yapılan seyahatlerde yer seviyelerine göre daha fazla kozmik ışına maruz kalınır. Uçak yolculuğunda alınan radyasyon dozu uçuş sürelerine, uçuş rotasına ve irtifaya bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, seyir irtifalarında 10 saatlik bir uçuş için ortalama etkin doz 0,03-0,08 mSv'dir. New York-Paris gidiş-dönüş uçak yolculuğunda bir kişi yaklaşık 0,05 mSv'ye maruz kalır ve alınan bu doz bir göğüs röntgeni çekiminde alınacak etkin doza

eşittir. Bir uçak yolculuğu sırasında alınan tahmini etkin dozlar düşük olsada, uzun süreli çok sayıda yapılan uçak yolculuğu bireysel maruziyeti arttırabilir (UNEP 2016) (TAEK 2020b).

Yüksek enerjili kozmik ışınlar ait nötronlar ve protonlar atmosferin alt tabakalarına kadar uzanabilir ve atmosferde bulunan elementlerle etkileşerek çeşitli radyoizotoplar (trityum, karbon-14, berilyum-7, sodyum-22) oluşturur. Yeryüzüne kadar inebilen bu radyoizotoplar solunum ve besinler yoluyla insan vücuduna alınır. Alınan radyoizotoplar iç ışınlanmaya neden olurlar. Bu radyoizotoplardan kaynaklanan yıllık tahmini ortalama etkin doz değerleri trityum için 0,01 μSv , berilyum-7 için 0,03 μSv , karbon-14 için 12 μSv ve sodyum-22 için 0,15 μSv ' dir (TAEK 2020b).

Kozmik ışınlar mesleksi maruziyet özellikle pilotlar ve kabin ekibi gibi sık uçak yolculuğu yapan kişiler için önemlidir. Uzay istasyonu çalışanlarında kısa görevlerde yapılan ölçümlerde rapor edilen dozlar güneş aktivitesine bağlı olarak 2-27 mSv aralığındadır. Ancak Uluslararası Uzay İstasyonu'nda dört aylık görevde Dünya'nın yörüngesinde 350 km yol alan bir astronot yaklaşık 100 mSv'lik etkin doz alır (UNEP 2016).

2.1.4.3.1.2 Yeryüzü Kaynaklı Doğal Radyasyon

Dünyanın oluşumundan itibaren yer kabuğunda doğal olarak bulunan radyoizotoplar dış ve iç ışınlanmaya neden olarak insan vücudunu etkiler (TAEK 2020b).

2.1.4.3.1.2.1 Dış ışınlanma:

Dış kaynaklı ışınlamaya maruz kalınmasının temel nedeni doğal olarak bulunan uranyum (U)-238 ve toryum (Th)-232 serilerinden ve potasyum (K)-40 radyoizotoplarından kaynaklanan gama ışınlarıdır. Uranyum düşük konsantrasyonlarda kaya ve toprak tabakalarında dağılmıştır. Radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olan U-238 kararlı element olan kurşun-206'ya kadar bozunur. Radon radyoizotopu (Rn-222) bu bozunma esnasında oluşan ilk ürünler arasında yer alır ve atmosfere radyoaktif gaz olarak dağılarak bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılır (TAEK 2020b).

Taş ve topraktan üretilen yapı malzemeleri düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar yaşam alanları dışında olduğu gibi bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Alınan radyasyon dozu yaşanan bölgenin jeolojik özelliklerine, binada kullanılan yapı malzemelerine bağlı olarak değişmektedir (TAEK 2020b).

Dış kaynaklı ışınlamadan alınan yıllık etkin doz yaklaşık 0,48 mSv'dir. İnsanların etkilenimleri farklılık gösterebilir. Çünkü doğal toprak yapısının radyoizotop konsantrasyonları yaşadıkları yerlere göre değişim gösterir. Örneğin, radyoizotop konsantrasyonu yüksek olan Hindistan'ın Kerala bölgesinde, Fransa ve Brezilya'nın bazı bölgelerinde alınan doz dünya ortalamasının 20 katına kadar ulaşabilmektedir (TAEK 2020b).

2.1.4.3.1.2.2 İç Işınlanma:

İç ışınlama, yeryüzü kaynaklı doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan U-238 ve Th -232 bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile iç ışınlanmanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturmaktadır. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl'dır. Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi görülmez (TAEK 2020b).

Yiyecek ve içeceklerde bulunan K-40, U-238 ve Th -232 serileri sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır. Uranyum ve toryum serilerinin diğer radyonüklitleri, özellikle Kurşun-210 ve Polonyum-210 hava, su ve gıdalarda bulunur ve iç ışınlanmaya sebep olur. Bu iç ışınlanma kaynaklarından alınan yıllık ortalama etkin doz miktarının 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının Potasyum-40'dan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (TAEK 2020b). Tablo 2.5'de bazı yiyeceklerdeki Potasyum-40 ve Radyum-226 konsantrasyonları gösterilmiştir (Taşkın 2018).

Tablo 2.6: Yiyeceklerdeki Potasyum-40 ve Radyum-226 Radyonüklitin Aktivite Konsantrasyonu (Taşkın 2018)

Yiyeceklerdeki Doğal Radyasyon		
Yiyecek	Potasyum-40 (Bq/kg)	Radyum-226 (Bq/kg)
Muz	130	0 - 0,037
Fındık	207	37 - 259
Havuç	126	0,200 - 0,074
Patates	126	0,037 - 0,092
Bira	14	-
Kırmızı et	111	0 - 0,019
Kuru fasulye	172	0,074 - 0,185
İçme suyu	-	0 - 0,006

İçme suyunda bulunan radyoizotoplar da iç ışınlamaya neden olabilir. Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik'te içme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve limit değerleri, trityum 100 Bq/l ve toplam gösterge dozu 0,10 mSv/yıl'dır. Radyoaktiviteye ilişkin içme suyu kalite göstergelerinden olan toplam gösterge dozu için öngörülen 0,1 mSv/yıl limit değeri, doğal kaynaklardan alınan dünya genelindeki ortalama radyasyon dozunun en düşük değerlerinin %10'unu temsil etmektedir (TAEK 2020b).

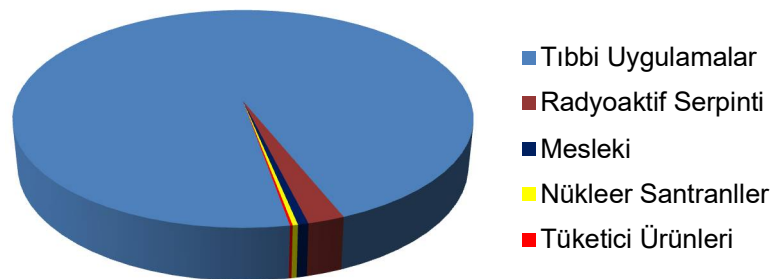
Toplam gösterge dozunun doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığından alfa ve beta radyoaktivitesine dayalı izleme sınır değerleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Dünya Sağlık

Örgütü (WHO) tarafından 2017 yılında yayımlanan içme suyu kalitesi ile ilgili kılavuzunda tarama sınır değerleri toplam alfa aktivitesi için 0,5 Bq/L, toplam beta aktivitesi için 1,0 Bq/L olarak verilmiştir. Buna göre, toplam alfa aktivitesi 0,5 Bq/L ve toplam beta aktivitesi 1,0 Bq/L değerlerini aşmayan içme sularına ait toplam gösterge dozunun 0,1 mSv/yıl limit değerini aşmayacağı kabul edilir. Belirlenen aktivite değerleri üzerindeki sular için ileri inceleme yapılarak toplam dozun hesaplanması tavsiye edilmektedir (WHO 2017).

2.1.4.3.2 Yapay Radyasyon Kaynakları

Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının gereği olarak radyasyon kaynakları yapay yollarla üretilmişlerdir. Bu kaynaklar insanların işini kolaylaştırıp birçok işin daha kısa sürede, daha iyi, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Geçmişten günümüze yapay radyasyon kaynaklarının kullanımı, bilim adamlarının atom enerjisini askeri uygulamalardan tıbbi uygulamalara (örn. kanser tedavisi) ve elektrik üretiminden evsel uygulamalara (örn. duman dedektörleri) kadar çok çeşitli kullanım alanlarını keşfetmesiyle giderek artmaktadır. Yapay radyasyon maruziyeti değişmekle birlikte doğal radyasyon maruziyeti kadar yüksek değildir ve radyasyondan korunma önlemleri ile kontrol altına alınabilir (Çimen 2018, UNEP 2016, TAEK 2020a).

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyonun; %97'si tıbbi uygulamalardan, %2,25'i radyoaktif serpintiden, %0,64'ü mesleki maruziyetten, %0,32'si nükleer santrallerden, %0,16'sı tüketici ürünlerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 2.7) (TAEK 2020a).



Şekil 2.7: Yapay Radyasyon Kaynakları (TAEK 2020a)

2.1.4.3.2.1 Tıbbi Uygulamalar

Hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli bir rol oynayan tıp alanındaki radyasyon uygulamaları, şu anda dünyadaki başlıca yapay radyasyon kaynağıdır. Tıbbi uygulamalar, yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyonun ortalama yüzde 97'sine neden olur ve toplam radyasyon maruziyetinin yaklaşık %20'sine neden olarak, doğal kaynaklardan sonra ikinci sırada yer alır (UNEP 2016, TAEK 2020a).

Tıpta iyonize radyasyonun kullanıldığı alanlar; radyoloji (girişimsel işlemler dahil), nükleer tıp ve radyoterapidir (EPA 2020b). Tıbbi radyoloji cihazları, X-ışınlarının hastada farklı doku yoğunluklarına göre farklı şekilde soğurulması sonucu hastadan geçen ışınların radyografik film üzerine düşürülerek (grafi) veya görüntü şiddetlendirici vasıtasıyla bir monitöre aktararak (skopi) görüntü elde edilmesi prensibiyle çalışır. Bu cihazlar: düz radyografi, skopi, bilgisayarlı tomografi, mamografi, kemik yoğunluğu ölçümü, anjiyografi ve mikrofildir (TAEK 2018, TAEK 2020c). Ön-arka akciğer grafisinin ortalama etkin dozu 0,02 mSv iken, tüm vücut bilgisayarlı tomografinin (BT) ortalama etkin dozu ise 12 mSv'dir (Tablo 2.6) (Türk Radyasyon Onkolojisi Derneği 2020, RadiologyInfo 2020). Sağlık hizmetlerine ulaşımın daha iyi olduğu gelişmiş ülkelerde tıbbi radyolojik görüntüleme tekniklerinden kaynaklanan radyasyon maruziyeti daha fazla olmasıyla birlikte dünya çapında da artış göstermektedir. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) 2019 raporu 2017 verilerine göre kişi başına düşen BT tetkik sayısı en fazla Amerika Birleşik Devletleri, ardından Japonya ve İzlanda gelmektedir. Türkiye ise 1000 kişiye düşen 207 tetkik ile OECD ülkeleri arasında beşinci sıradadır (OECD ülkeleri ortalaması 148 tetkik) (OECD 2019).

Tablo 2.7: Tıbbi Radyolojik Görüntüleme Tekniklerinin Ortalama Etkin Dozları (Türk Radyasyon Onkolojisi Derneği 2020, RadiologyInfo 2020)

Görüntüleme teknikleri	Ortalama Etkin Doz (mSv)
DEXA	0,001
Ön-Arka Akciğer Grafisi	0,02
Ön-Arka ve Yan Akciğer Grafisi	0,1
Mamografi	0,4
Akciğer BT	8
Pelvik BT	6
Abdomen BT	14
Tüm vücut BT	12
PET/BT	25

Nükleer tıpta vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere radyofarmasötik adı verilen radyoaktif maddeler kullanılır. Tanısal çalışmalarda en çok kullanılan radyoizotoplar başlıca, Tc-99m ve F- 18 olmak üzere I-131, I-125, Tl-201, Ga-67 ve In-111'dir. Radyoaktif madde, vücutta fiziksel ve kimyasal özelliklere göre incelenecek

dokuda dağılarak ve geçici bir süre buraya yerleşerek taramayı mümkün kılar. Böylece, vücuttaki radyonüklitten yayılan gama ışınlarını algılayan cihazlarla tanısal görüntüler elde edilir veya hastalıkları tedavi etmek için kullanılır. Genel olarak, nükleer tıp görüntüleme sistemleri; tomografik tek foton görüntüleme (SPECT) ve pozitron emisyon tomografisi (PET) olarak ayrılır (UNEP 2016, TAEK 2018, TAEK 2020c).

Aynı sistem içinde aynı hasta yatağını kullanarak hem nükleer tıp alanında kullanılan SPECT, PET ile hem de BT, MR ile görüntüleme yapılmasına olanak tanıyan sistem Hibrid görüntüleme yöntemleridir. Radyofarmasötiklere ek olarak BT'nin kullanılması maruz kalan radyasyon dozunu önemli ölçüde arttırmaktadır. Oysaki MR'ın kullanılması hastanın maruz kaldığı radyasyon dozunu azaltırken, diğer taraftan lezyonların MR görüntülemenin üstün yumuşak doku kontrastı ile belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Tüm vücut PET/BT görüntüleme ile hastaların maruz kaldıkları radyasyon dozu PET/MR'a göre yaklaşık %80 oranında daha fazla olduğu bildirilmiştir (Akdemir 2017, Salvatori 2019).

Nükleer tıp uygulamaları dünya çapında 1988 yılında 24 milyondan, 2007 yılında 33 milyona yükselmiştir. Bu durum yıllık kolektif etkin dozda 74 000'den 202 000 insan Sv'ye önemli bir artışla sonuçlanmıştır. Modern nükleer tıptaki terapötik uygulamalar da artmakta ve dünya çapında her yıl yaklaşık 0,9 milyon hastaya ulaşmaktadır. Nükleer tıp uygulamalarının yüzde 90'ı gelişmiş ülkelerde yapılmak üzere Dünya üzerindeki dağılımı oldukça düzensizdir (UNEP 2016).

Radyasyon onkolojisinde (Radyoterapi) radyasyon kaynakları tümör tedavilerinde kullanılır. Hastadan yaklaşık bir metre mesafeden radyasyon demetleri yayan bir kaynak kullanılarak yapılan tedaviye teleterapi (uzaktan tedavi) denir. Radyoaktif kaynağı (genellikle kobalt-60) içeren cihazlar ile radyasyon üreten yüksek enerjili elektron hızlandırıcılar (örn. lineer hızlandırıcılar) en çok kullanılan teleterapi cihazlarıdır. Son nesil lineer hızlandırıcılarla yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) ve stereotaktik cerrahi yapılabilir. Radyasyonun yoğunluğu ayarlanarak istenilen doz dağılımının yapılabildiği IMRT ile tedavi alanlarında tümöre tedavi edici doz uygulanırken, sağlıklı dokular büyük oranda korunur. Stereotaktik cerrahi teknolojisi ile milimetrik düzeydeki çok küçük tümörlere noktasal ışınlama yapılabilir. Bu yöntem için ilk olarak kobalt-60 kaynağı içeren gama bıçağı (gama-knife) geliştirilmiştir ve günümüzde robot kollu lineer hızlandırıcı siber bıçaklar (cyber-knife) ön plana çıkmıştır (TAEK 2018).

Radyasyonun doğrudan kanser dokusunun içine veya çevresine özel aplikatörlerle veya doğrudan iğne, tel, çekirdek şeklinde doku içerisine verilmesi ile yapılan tedaviye brakiterapi (yakın mesafeden tedavi) denir. Brakiterapi uygulamaları sonradan kaynak yükleyen cihazlar ile yapılabildiği gibi herhangi bir cihaza gereksinim duymadan radyoaktif maddelerin doğrudan hastaya yerleştirilmesi (manuel brakiterapi) şeklinde de yapılabilir (National Cancer Institute 2020).

Dünya çapında, 1997–2007 yılları arasında tahminen yıllık 5 milyon hastaya radyoterapi uygulanmıştır. Yaklaşık 4,7 milyon insan teleterapi, 0,4 milyon insan ise brakiterapi ile tedavi edilmiştir. Dünya nüfusunun %25'i sanayileşmiş ülkelerde yaşamaktadır ve bunların %70'i radyoterapi, %40'ı brakiterapi almıştır.

Tıbbi radyolojik prosedürlerin son yıllarda önemli ölçüde artmasıyla, bu alanda görev alan sağlık çalışanlarının sayısı 7 milyonu geçmiştir ve kişi başı yıllık ortalama etkin doz 0,5 mSv'dir. Girişimsel radyoloji ve nükleer tıpta etkilendirme daha yüksek olabilir (UNEP 2016).

2.1.4.3.2.2 Endüstriyel Uygulamalar

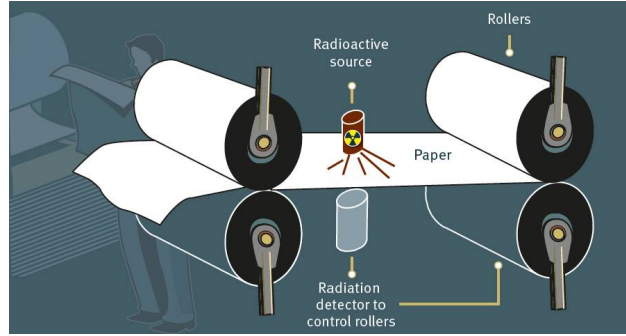
Radyasyon kaynaklarının endüstriyel uygulamalarda çok geniş kullanım alanları vardır. Örneğin; gıdalar, tıbbi ekipmanlar ve diğer maddeler belirli radyasyon türlerine maruz bırakılır ve dezenfekte edilir. Böylece, gıdaların erken bozulması önlenir ve tıbbi ekipmanlar (bandajlar, hipodermik şırıngalar ve cerrahi aletler gibi) toksik kimyasallara veya aşırı ısıya maruz kalmadan sterilize edilir. Ayrıca içme suyunun dezenfeksiyonu için de kullanılabilir.

İyonize radyasyon, kömür yakan elektrik santrallerinden ve fabrikalardan çıkan gazlar gibi toksik kirleticilerin giderilmesinde kullanılabilir. Örneğin, elektron ışını kükürt dioksitleri ve azot oksitleri çevremizden uzaklaştırabilir. Kıyafet yapımında kullanılan kumaşların birçoğu, leke tutmaması veya kırışmaması için kimyasal maddeye maruz bırakılmadan önce ışınlanır (radyasyonla işlenir). Bu işlem kimyasalları kumaşa bağlayarak, kıyafetlerimizin gün boyu temiz ve ütülü kalmasını sağlar. Yapışmaz pişirme kapları yiyeceklerin metal yüzeye yapışmasını önlemek için gama ışınları ile işlenir.

Tarım endüstrisi gıda üretimini ve paketlemesini geliştirmek için radyasyon kullanır. Örneğin bitki tohumları, yeni ve daha iyi bitki türleri elde etmek için radyasyona maruz bırakılır. Bitkileri daha güçlü hale getirmenin yanı sıra, radyasyon böcek popülasyonlarını kontrol etmek için de kullanılabilir, böylece pestisitlerin kullanımı azaltılabilir. Radyoaktivite ince kabuklu, daha kolay kırılabilen yumurtaları ayırmak için, yumurta kabuklarının kalınlığını ölçmede de kullanılır. Buna ek olarak, gıdaların çoğu hava geçirmez koruyucu kaplama sağlamak için ışınlanan polietilen ambalajlarda paketlenir.

Kağıt ürünlerinin kalınlığını, petrol ve kimyasal tanklardaki sıvı seviyelerini ve şantiyelerde toprak ve malzemenin nem ve yoğunluğunu ölçmek için radyoaktif maddeler içeren göstergeler kullanılır (Şekil 2.8). Metalik dökümlerde ve kaynaklarda fark edilemeyen kusurları bulmak için radyografi adı verilen röntgen çekimi kullanılır. Radyografi ayrıca kapalı motorlardaki yağ akışını ve yolunu, çeşitli malzemelerin aşınma hızını kontrol etmek için kullanılır. Jeofizik kuyu cihazları petrol, gaz, mineral, yeraltı suyu veya jeolojik araştırmalar için açılan sondaj kuyusu içinde bulunan oluşumları tanımlamak ve kaydetmek için radyoaktif bir kaynak ve tespit ekipmanı kullanır. Radyoaktif ürünler uzay araçlarına ve uydulara güç sağlamaktadırlar (U.S.NRC 2020b).

Endüstriyel radyasyon kullanımına katılan işçi sayısı 2000'li yılların başında yaklaşık bir milyon idi ve işçi başına yıllık ortalama etkin doz 0,3 mSv'dir (UNEP 2016).



Şekil 2.8: Radyasyon Kullanarak Kalınlık Ölçümü (UNEP 2016)

2.1.4.3.2.3. Radyoaktif Serpinti

Atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler, radyoaktif çevre kirliliğine neden olan en büyük yapay radyasyon kaynağıdır. Ancak 1960'lı yılların başlarında bu yolla maruz kalınan radyasyon dozu günümüzde nispeten azalmıştır. Bununla birlikte, yer üstü ve hatta yer altında yapılan bu tür denemeler bölgesel kirliliğe neden olmaktadır (TAEK 2020c).

2.1.4.3.2.4. Nükleer Güç Santralleri

Ağır radyoaktif (Uranyum gibi) atomların bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon) sonucu çok büyük bir miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer reaktörlerde filyon reaksiyonu ile edilen enerji elektriğe çevrilir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyon reaksiyonudur. Bu reaksiyonun yarattığı sıcaklık filyon reaksiyonundakinden çok daha fazladır (birkaç milyon derece santigrad). Bu yüzden bu sıcaklığı kontrol edebilecek bir füzyon reaktörü henüz kurulamamıştır (TAEK 2020c).

2.1.4.3.2.5. Tüketici Ürünleri

Televizyonlar, duman dedektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi bazı tüketici ürünleri az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içerirler. Kömür ve fosfat kayaları uranyum, radyum, potasyum-40 ve toryum içerirler. Fosfatın gübre ve kömürün yakıt olarak kullanılması esnasında çevreye az da olsa belli bir radyasyon dozu verilir (TAEK 2020c).

2.1.5. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Günümüzde tıp başta olmak üzere birçok alanda insan hayatını kolaylaştıran teknolojilerde kullanılan radyasyonun, insan sağlığı üzerine etkileri radyasyonun keşfinden bu yana fark edilmeye ve önemle üzerinde durulmaya başlanmıştır. 1895 yılında Röntgen'in X-ışınını bulduğunu açıklamasının ilk ayında radyasyon yanığı durumlarıyla karşılaşmıştır. Henri Becquerel keşfinden kısa süre sonra radyasyonun canlı dokular üzerindeki etkisini cebine koyduğu bir radyum numunesinin cildine zarar vermesiyle yaşamıştır. Aşırı dozda radyasyonun canlıda kansere neden olduğu 1905 yıllarında anlaşılmıştır. Wilhelm Conrad Roentgen 1923'te bağırsak kanserinden ve çalışma hayatı boyunca radyasyona da maruz kalan Marie Curie 1934'te lösemi hastalığından ölmüştür (UNEP 2016, Ekinci 2019).

Saat fabrikalarında kullanılan radyum boyaları çalışanlar üzerinde iç radyasyon etkisi yaratmış, kemik kanserinden 1920'lerde birçok kişi ölmüştür. Radyasyonun çeşitli zararlı etkileri yanında, genlerde değişiklik yaptığı ve mutasyona neden olduğu Amerikalı genetikçi Herman Joseph Müller tarafından ortaya konmuş, 1946 yılında Nobel Tıp Ödülü verilmiştir. 1950'lerin sonunda, radyasyonla ilk çalışmaya başlayan kişilerden özellikle doktorlar ve bilim adamlarından, radyasyondan korunma gereksinimini bilmedikleri için, en az 359 kişinin öldüğü bildirilmiştir (UNEP 2016, Ekinci 2019).

Yirminci yüzyılda radyasyonun insanlar ve çevre üzerindeki etkileri konusunda yoğun araştırmalar yapılmıştır. Radyasyona maruz kalan nüfus gruplarının en önemli değerlendirmesi, 1945'te İkinci Dünya Savaşı'nın sonunda Hiroşima ve Nagazaki'nin atom bombardımanlarından sağ kalan yaklaşık 86.500 kişinin üzerinde yapılan çalışmalardır. Ayrıca radyoterapi alan hastalardan, kazara maruz kalan çalışanlardan (örn. Çernobil nükleer santral kazası), laboratuvarlardaki hayvan ve hücre deneylerinden elde edilen verilerle radyasyonun etkileri hakkında güvenilir bilgiler elde edilmektedir (UNEP 2016, Ekinci 2019).

Radyasyon; fiziksel (atom düzeyindeki) etkiler, kimyasal etkiler, hücresel etkileşimler ile doku ve organlarda hasarlar ortaya çıkarır. Doğrudan ya da zaman içerisinde DNA'nın yapısını bozar. Dolayısı ile radyasyonun canlı organizmaların hücrelerine hasar vermesi hayati fonksiyonları etkileyebilir (Çapuk 2016).

İyonlaştırıcı radyasyonun insan sağlığı üzerine etkileri, akut (erken) dönem ve kronik (geç) dönem olarak iki grupta incelenir (Çapuk 2016).

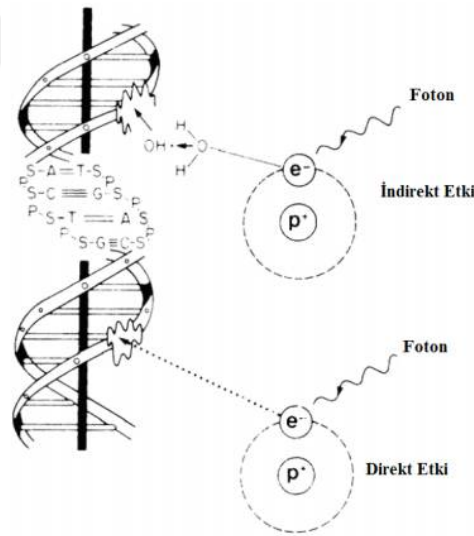
2.1.5.1. Radyasyonun Hücrelere Etkisi

İyonlaştırıcı radyasyon, 10^{-3} ile 10^{-13} sn gibi çok kısa bir zaman süreci içinde enerjisini hücreye aktarır, hücreyi uyarır ve uyardığı atomları iyonlaştırır. Fiziksel olay ile ortaya çıkan iyonlar kararsız yapıda olduklarından, hücre içerisinde moleküler parçalanmaya neden olan reaktif radikallerin oluşumuna yol açar. Hücre içerisinde meydana gelen aktif radikaller saniyeler veya saatler içerisinde hem kendi aralarında, hem de önceden etkileşime girmemiş

moleküller ile kimyasal reaksiyonlara girerek biyomoleküler bozukluklara yol açarlar (Erdem 2014).

Düşük dozlarda radyasyona maruz kalan hücrelerde, mitozda rol alan kimyasal maddelerde değişiklik olur, mitoz için gerekli proteinler sentezlenemez; dolayısıyla DNA sentezi ve mitoz yavaşlar. Yüksek radyasyon dozlarında ise hücre ölümü olur. Genel olarak hızla bölünen indifferansiye hücreler, bölünmeyen diferansiye hücrelere oranla radyasyona daha duyarlıdır. Özellikle küçük matür lenfositlerde olduğu gibi hücre radyasyona maruz kaldığında; sitoplazmik organellerin bütünlüğü korunur; ama değişen elektrolit dengesi nedeniyle hücre membranının yapısı bozulur. Sonuçta, “interfaz ölümü” denilen hücre ölümü gerçekleşir (Erdem 2014, Arslan 2017a, Arslan 2017b, Taşkın 2018).

İyonizan radyasyon, hücreleri direkt ve indirekt olarak etkiler (Şekil 2.9). Direkt etkide radyasyon ışınım yolu üzerinde doğrudan hücrelerin DNA zincirinde kırılmalara yol açar. Bu etki hücreye nispeten yüksek doz veren, binlerce iyonizasyona neden olan yüksek lineer enerji transferine (LET) sahip; nötron, alfa ve beta ışınım tiplerinde daha çok gözlenir. Örneğin, 4 MeV'lik enerjiye sahip bir alfa parçacığı ortalama büyüklükteki bir hücre çekirdeğinde yaklaşık olarak 23.000 iyonizasyon oluşturur (Erdem 2014, Arslan 2017a, Arslan 2017b, Taşkın 2018).



Şekil 2.9: Radyasyonun Direkt ve İndirekt Etkisi (Akyolcu 2010)

Lineer enerji transferi yüklü partikülün ışınım yolu üzerinde etkileştiği maddenin birim mesafesinin absorbe ettiği enerji miktarını ($\text{keV}/\mu\text{m}$) ifade eder ve partikül yüklerinin karesi ile doğru, partiküllerin kinetik enerjileri ile ters orantılı olarak değişir. Nötron, proton, alfa partikülleri ve ağır iyonlar yüksek-LET'e sahiptir ($3\text{-}200 \text{ keV}/\mu\text{m}$). Fotonlar (gama ışınları dahil), elektronlar ve pozitronlar düşük-LET'e sahip radyasyondur ($0,2\text{-}3,0 \text{ keV}/\mu\text{m}$). X ve gama ışınımı gibi düşük LET'li radyasyon enerjilerini etkileştikleri dokuya hızlıca aktarmadan göreceli olarak uzun bir yol kat ederek daha az hasara neden olurken, yüksek LET'li

radyasyon kısa mesafede daha hızlı enerji aktararak daha çok hasara yol açar. Düşük LET’de tamir edilmesi daha mümkün olan tek zincir kırığı ve nokta mutasyonlara sık rastlanırken, yüksek LET’de tamir edilmesi daha güç olan çift zincir kırığı ve çerçeve kayması mutasyonları gözlenir (Erdem 2014, Arslan 2017a, Arslan 2017b, Taşkın 2018).

Radyasyon ve hücre etkileşiminde rölatif biyolojik etkinlikte (RBE) önemlidir. Rölatif biyolojik etkinlikte 250 keV enerjili X ışınının hücrede yaptığı etki standart olarak alınır. Farklı türdeki radyasyonların biyolojik hasar oluşturma etkisini karşılaştırmada kullanılan RBE; radyasyonun etkilediği hücre veya dokunun tipinden, dokunun fizyolojik durumundan ve doz hızından etkilenir. Genel olarak LET arttıkça RBE’de artar. Alfa ve beta ışınımı gibi yüksek LET’ li radyasyon için RBE’ de yüksek, X ve gama ışınımı gibi düşük LET için RBE’ de düşüktür. Sonuç olarak; alfa ve beta ışınimleri yüksek penetrasyon göstermediğinden, rölatif olarak daha az zararlıdır. Alfa ve beta ışınımalarının düşük penetrasyon göstermesi sayesinde derimiz özellikle alfa ve beta emisyonu gibi çevresel zararlı ışınımara karşı vücudumuzu koruyabilmektedir (Erdem 2014, Arslan 2017a, Arslan 2017b, Taşkın 2018).

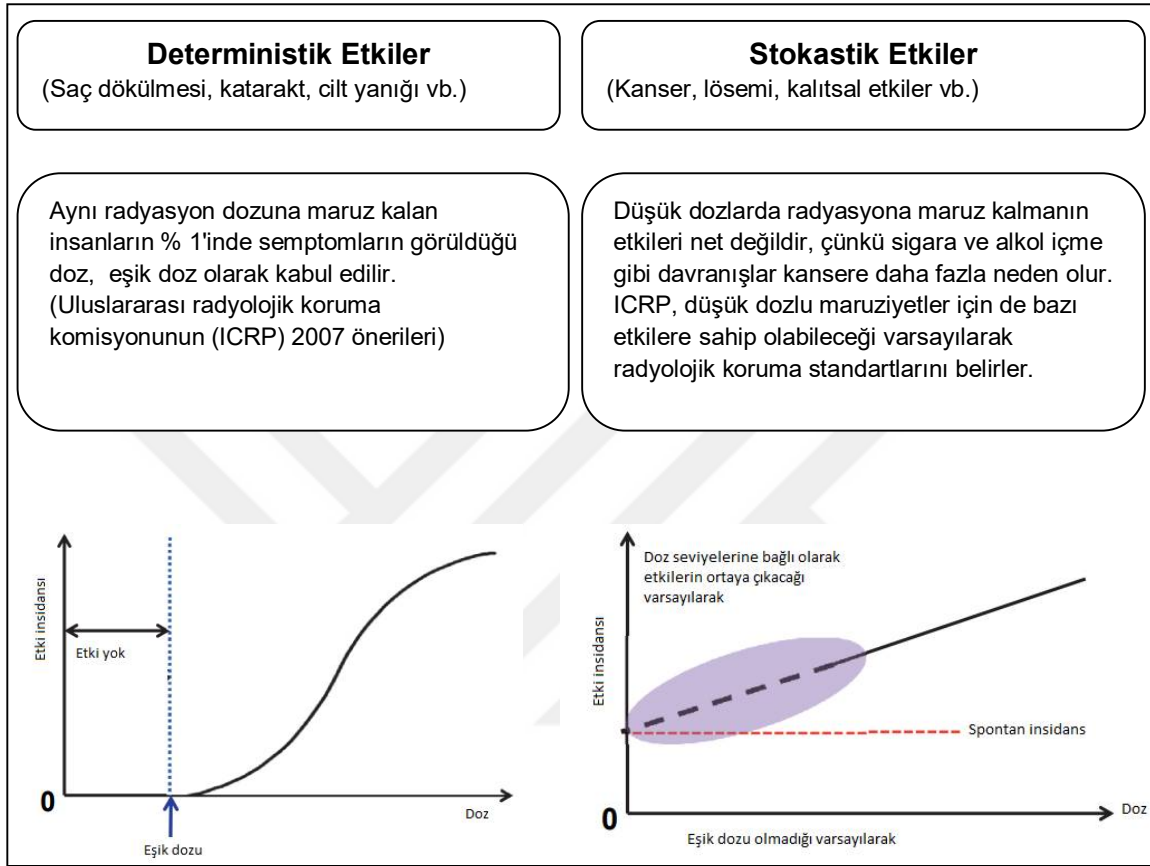
İndirekt etkide ise iyonizan radyasyon doğrudan DNA ile etkileşime girmeden hücre içindeki moleküllerle etkileşerek oluşturduğu serbest oksijen radikalleriyle DNA’ya hasar verirler. İndirekt etkide primer mekanizma hücre içerisindeki suyun radyolizi ile başta hidrojen peroksit olmak üzere serbest oksijen radikallerinin meydana gelmesidir. Bu oksijen radikalleri DNA bileşenleri ile etkileşerek tek ve çift zincir kırılmaları veya hücresel makro moleküllerle etkileşerek baz hasarı oluşturur. Zincir kırığı küçük ise hücre ölümüne neden olmaz; ancak büyük kromozom kırıkları genellikle tamir edilse bile sonraki kuşaklarda ölümcül sonuçlara yol açabilir. Radyasyon etkisi ile yapısı değişen pek çok molekülün işlevini benzer moleküller yerine getirir. Bu nedenle hücrede radyasyona bağlı önemli bir hasar görülmezken, DNA gibi “anahtar molekül” olarak tanımlanan makro moleküllerde oluşan değişiklikler doğrudan hücrenin yapısını etkiler. Eğer DNA hasarı onarılamaz ise hasarın derecesine göre genetik mutasyona ve buna bağlı kanser gelişimine veya hücre ölümüne yol açar. Genel olarak maruz kalınan radyasyonun miktarı, süresi ve türü iyonize radyasyonun sağlık etkilerini belirlemektedir (Erdem 2014, Arslan 2017a, Arslan 2017b, Taşkın 2018).

2.1.5.2. Radyasyonun Somatik (Deterministik- Sitokastik) ve Genetik Etkileri

Radyasyon maruziyetine bağlı olumsuz sağlık etkileri etkilenen dokuya göre somatik ve genetik, ayrıca radyasyona maruz kalma süresine ve etkilenme periyoduna bakarak non-sitokastik (deterministik) ve sitokastik olarak gruplandırılabilir (Arslan 2017a).

2.1.5.2.1. Radyasyonun Somatik Etkileri

Radyasyonun somatik etkisi yaşam süreci içerisinde gözlenir. Somatik etkiler; deterministik etkiler ve stokastik etkiler olarak iki bölümde incelenebilir (Şekil 2.13) (Fidan 2014, Ministry of the Environment Government of Japan 2019).



Şekil 2.10: Deterministik ve Stokastik Etkiler (Ministry of the Environment Government of Japan 2019)

2.1.5.2.1.1. Deterministik Etkiler

Deterministik etkiler daha çok geniş bir vücut alanını etkileyen akut yüksek doz maruziyeti sonucu hedef dokuda büyük oranda hücre kaybı ya da hücre hasarlanmasıyla meydana gelir. Dokuların radyasyon maruziyeti sonrası işlevlerini yerine getiremedikleri en düşük doz olan eşik dozu, klinik açıdan oldukça önemlidir. Eşik dozun üzerindeki maruziyet dozlarının şiddeti arttıkça dokunun kendini koruması güçleşir ve hasar miktarı artar (Taşkın 2018)

Eşik doz aşıldığında erken doku reaksiyonları (günler, haftalar), hücrel sitokinlerin salınmasına bağlı enflamatuvar tipte veya hücre ölümüne bağlı reaksiyonlar olabilir. Geç doku reaksiyonları (aylar ila yıllar), o dokuya verilen hasarın doğrudan bir sonucu olarak veya erken hücrel hasarın bir sonucu olarak ortaya çıkarlar. Soğurulan doz 100 mGy (düşük

LET veya yüksek LET) aşmadığı sürece hiçbir dokuda klinik olarak anlamlı fonksiyonel bozukluk görülmez (ICRP 2007).

Deterministik etkilerin erken ya da akut döneminde radyasyon hastalığı eritem, pulmoner pnömoni, epilasyon; geç ya da kronik döneminde katarakt, akciğer fibrozisi, keratozis, infertilite, fibroartropati gibi klinik sonuçlar görülebilir (Akyolcu 2010, Arslan 2017a).

2.1.5.2.1.2 Stokastik Etkiler

Stokastik etkiler genellikle maruziyetten yıllar sonra tesadüfen ortaya çıkarlar. Stokastik etkinin şiddeti alınan dozdan bağımsızdır ve eşik değeri olmadığı varsayılır. Ancak maruz kalınan doz arttıkça stokastik etkinin ortaya çıkma olasılığı artar. Örneğin, stokastik etki sonucu gelişen kanser ve genetik mutasyonlar gibi etkilerin yüksek dozlarda bile ortaya çıkacağı kesin değildir; ancak alınan doz arttıkça ortaya çıkma olasılıkları artar (SCENIHR 2012, Choudhary 2018).

Stokastik etki sonucu görülen lösemi, kanser, ve genetik mutasyonlar, farklı bir etken maruziyeti ile oluşanlarla aynı mekanizmalarla ortaya çıkar. Asıl sorun hasarlı DNA'nın tamir mekanizmalarıyla onarılırken hatalı onarılacak yeni mutasyonların meydana gelmesidir. Bu genetik değişiklikler yavru döle aktararak teratojeniteye ve kalıtsal anomalilere neden olabilir (Arslan 2017a, Taşkın 2018).

2.1.5.2.2 Radyasyonun Genetik Etkileri

Radyasyona maruz kalan kişinin germ hücrelerinde bulunan kromozomların radyasyona bağlı hasarlanması ile gelecek nesillerde anomaliler görülmesi veya somatik hücrelerdeki mutasyonlara bağlı tümörlerin görülmesi radyasyonun genetik etkileridir. Bu etkiler stokastik etkilerin içinde değerlendirilir (Akyolcu 2010, Arslan 2017a).

2.1.5.3 Radyasyonun Erken ve Gecikmiş Etkileri

İyonize radyasyon maruziyeti sonrasında meydana gelen kromozom hasarı sonucunda görülen biyolojik etkiler (bedensel ve kalıtsal) erken ve gecikmiş etkiler olarak iki farklı kategoride incelenir. Erken etkiler (akut ışınlanma etkileri), kısa bir süre içinde ve bir defada yüksek dozlara maruz kalınması sonucunda kısa bir zaman aralığı içerisinde ortaya çıkabilecek hasarlardır. Gecikmiş etkiler (kronik ışınlanma etkileri) ise uzunca bir süre aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalınması sonucu ortaya çıkarlar (TAEK 2020e).

2.1.5.3.1 Radyasyonun Erken Etkileri

Vücudun belli bir bölgesi, tamamı veya büyük bir kısmı kısa bir zaman dilimi içerisinde büyük miktarlarda radyasyon dozuna maruz kaldığında ortaya çıkabilir. Özetle, geniş hücre ölümleri/hasarı akut ışınlanma etkilerini oluşturur. Oluşan etkiler kişiden kişiye değişmekle birlikte genel olarak birkaç gün veya birkaç hafta içerisinde şiddetli hasarlar, hastalıklar ve hatta ölüm meydana gelebilir. Bu etkilerin ortaya çıkması için aşılması gereken nispeten

yüksek bir eşik vardır. Eşik aşıldığında artan doz ile etkinin şiddeti artar (UNEP 2016, Özgülen 2018).

Radyasyonun erken etkileri genellikle istem dışı gelişen durumlarda ya da kaza sonucu görülmektedir. Tablo 2.7' de Dünya genelinde 1945 ve 2007 yılları arasında görülen ciddi radyasyon kaza sayıları verilmiştir. Nükleer tesislerdeki otuz beş ciddi radyasyon kazası, 1986 Çernobil ve 2011 Fukushima-Daiichi kazaları hariç, 32 kişinin ölümüyle ve tıbbi bakım gerektiren 61 vakayla sonuçlanmıştır. Çernobil kazasında travmadan 2 kişi ve akut radyasyon sendromu görülen 134 kişiden 28 kişi ölmüştür. 2011 Fukushima-Daiichi kazasında radyasyona maruz kalan işçiler arasında radyasyona bağlı ölüm veya akut hastalık gözlenmemiştir. Endüstriyel tesislerde rapor edilen yaklaşık 80 kazada 9 ölüm bildirilmiş ve 120 işçi yaralanmıştır. Yaralı işçilerin bazılarında akut radyasyon sendromu gelişmiştir. Radyasyon kaynaklarının kontrol dışı kalması (Orphan source) sonucu gerçekleşen 31 kazada, aralarında çocuklarında bulunduğu 42 kişi ölmüştür ve yüzlerce kişide gelişen akut radyasyon sendromu, ciddi lokal yaralanmalar, iç kontaminasyon veya psikolojik sorunlar için tıbbi bakım gerekmiştir. Radyasyon güvenliği uygulamalarındaki önemli gelişmelere rağmen insanlara zarar veren bu tür kazalar ne yazık ki halen olmaktadır (UNEP 2016, Özgülen 2018).

Tablo 2.8: Dünya Genelindeki Ciddi Radyasyon Kaza Tahminleri* (UNEP 2016)

Kaza tipi	1945-1965	1966-1986	1987-2007
Nükleer tesislerdeki kazalar	19	12	4
Endüstriyel kazalar	2	50	28
Orphan kaynak kazaları	3	15	16
Akademik/araştırma kazaları	2	16	4
Tıbbi kazalar	-	18	14

* Resmi olarak bildirilmiş veya yayınlanmış kazalara dayanmaktadır. Özellikle tıpta bildirilmeyen kaza sayısının çok daha fazla olması beklenmektedir.

Akut ışınlanmalar sonucu meydana gelebilecek etkileri, akut radyasyon sendromları ve bölgesel radyasyon hasarları olarak sınıflandırılabilir (TAEK 2020e).

2.1.5.3.1.1. Akut Radyasyon Sendromu

Akut radyasyon sendromu, maruziyetten hemen sonra ortaya çıkan tıbbi problemleri ifade eder ve iyonlaştırıcı radyasyon maruziyetinin en önemli deterministik etkisidir. Tıbbi sorunlar doza bağlı olarak ortaya çıkar. Yüksek dozda radyasyona maruz kalındığında, vücuttaki çoğu hücre etkilense de ilk olarak yüksek bölünme hızına sahip kemik iliğindeki prekürsör hücreler, testislerdeki spermatositler ve intestinal sistemde yer alan kript hücreleri etkilenir (UNEP2016, Alagöz 2017, Allen 2020, TAEK 2020e).

Akut radyasyon sendromunda genel olarak hematopoetik, gastrointestinal, nörovasküler ve kutanöz organ sistemlerinden biri veya birçoğu etkilenebilir. Semptomlar prodromal, latent, belirgin hastalık ve iyileşme ya da ölüm olmak üzere dört klinik aşamada gözlenir. Prodromal semptomlar maruziyetten sonraki ilk birkaç saatlik süreyi kapsar ve doz arttıkça semptomlar (iştahsızlık, mide bulantısı ve kusma vb.) daha erken başlar. Doza bağlı olarak 1-3 hafta arasında değişen latent dönem süresince hasta nispeten klinik açıdan normaldir veya semptomlarında gerileme gözlenir. Belirgin hastalık döneminde, hematopoetik bulgular ve özellikle de nötropeni, pansitopeni kliniği ile ortaya çıkar. Bu fazlar kazazedenin maruz kaldığı radyasyon dozuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Sonuç olarak radyasyon kazalarının ortak etkileri doz ilişkili olarak çoklu organ tutulumu ve çoklu organ yetmezliği gelişimi şeklinde görülebilir (UNEP2016, Alagöz 2017, Allen 2020, TAEK 2020e).

Genellikle 50 Gy'den yüksek akut dozlar merkezi sinir sistemine o kadar çok zarar verir ki, birkaç gün içinde ölüm gerçekleşir. Tüm vücut 4,5 Gy'lık doza maruz kalan kişilerin yüzde 50'si için öldürücüdür ve 10 Gy üzerindeki dozlar tipik olarak %100 mortalite ile ilişkilidir. Akut radyasyon sendromunun ilk birkaç saat içinde klinik belirtileri; bulantı, kusma, ishal, bağırsak krampları, tükürük salgılama, dehidratasyon, yorgunluk, ilgisizlik, kayıtsızlık, terleme, ateş, baş ağrısı, tansiyon düşüklüğü, bilinç kaybı ve kan hücresi sayısında azalma 8 Gy'den düşük dozlarda bile görülebilir (UNEP2016, Alagöz 2017, Allen 2020, TAEK 2020e).

Kan hücrelerinden en duyarlısı lenfositlerdir. Mutlak lenfosit sayısındaki en küçük bir düşme, erken teşhiste, maruziyet dozunun şiddetini gösterebilecek en iyi ve en yararlı laboratuvar testidir (Tablo 2.8). İlk 48 saat içinde immün sistem fonksiyon bozuklukları ortaya çıkar. Etkilenen kişiler başta hayatta kalsalar bile 1-2 hafta sonra gastrointestinal hasardan dolayı ölebilirler. Daha düşük dozlar gastrointestinal hasara yol açmayabilir; ancak birkaç ay sonra özellikle kemik iliğinin etkilenmesinden dolayı ölümle sonuçlanabilir. Doz düştükçe klinik belirtilerin başlaması gecikir ve semptomların şiddeti azalır. İyonize radyasyon maruziyetinde 2 Gy'lık doz alanların yaklaşık yarısında üç saat sonra kusma görülürken; 1 Gy veya daha az miktarlardaki radyasyon dozu fark edilebilir ciddi bir hastalık belirtisi oluşturmaz (UNEP2016, Alagöz 2017, Allen 2020, TAEK 2020e).

Tablo 2.9: Akut Radyasyon Sendromunda Akut Doza Bağlı Lenfosit Değişimi (TAEK 2020e)

Akut radyasyon sendromu derecesi	Doz (Gy)	Lenfosit sayısı (G/L)* (İlk ışınlamadan 6 gün sonra)
Klinik öncesi safha	0,1-1,0	1,5-2,5
Hafif	1,0-2,0	0,7-1,5

Tablo 2.10 (Devamı): Akut Radyasyon Sendromunda Akut Doza Bağlı Lenfosit Değişimi (TAEK 2020e)

Akut radyasyon sendromu derecesi	Doz (Gy)	Lenfosit sayısı (G/L)* (İlk ışınlamadan 6 gün sonra)
Orta	2,0-4,0	0,5-0,8
Şiddetli	4,0-6,0	0,3-0,5
Çok şiddetli	6,0-8,0	0,1-0,3
Öldürücü	>8,0	0,0-0,05

*G/L: 10⁹ hücre/Litre

Akut radyasyon sendromuna yol açan olayların, iyonize edici radyasyon maruziyetini takiben reaktif oksijen radikallerinin aşırı üretimi ve hücrede apoptozis, nekroza yol açması sonucu hücre debrislerinin (özellikle lipid peroksidazların) oluşumu olduğu bilinmektedir. Reaktif oksijen radikallerinin aşırı üretimi genellikle 4 Gy üzerindeki doz alımı sonrası olur (Alagöz 2017).

2.1.5.3.1.2. Bölgesel Radyasyon Hasarları

Bölgesel radyasyon hasarları, vücudun belli bir bölgesinin, genellikle bir kaza sonucu, kısa bir sürede ve bir defada yüksek dozlara maruz kalması sonucu görülen etkiler olarak adlandırılır. Kısmi maruziyette özellikle cilt, gonadlar ve gözler radyasyon hasarı için yüksek risk altındadır. Diğer vücut bölgelerine göre genellikle eller ve parmaklar etkilenir. Akut radyasyon sendromuna göre, bölgesel radyasyon hasarları daha sık gözlenmektedir. Bölgesel radyasyon hasarının ciddiyeti radyasyonun nüfuz etme kabiliyetine, dozun şiddetine, maruz kalınan bölgeye ve bu bölgenin büyüklüğüne göre değişir.

Cilt üzerine yüksek miktarda alınan radyasyon dozunun ilk belirtisi olan eritem (deride oluşan kızarıklık), 3 Gy üzerindeki doz alımlarında oluşur ve daha ciddi hasarların habercisi olabilir. Kafa derisine alınan 3 Gy ve üzerindeki dozlarda saç dökülmesi meydana gelir ve 7 Gy ve üzerindeki dozlarda muhtemelen kalıcı kellik oluşur. Maruz kalınan doz 10 Gy üzerinde ise 25-30 gün sonra kuru deskuamasyon gözlenirken, 15 Gy üzerinde radyasyona maruz kalındığında sulu deskuamasyon oluşur. Maruz kalınan doz 20 Gy'in üzerinde derinin derin tabakaları etkilendiğinden 14-21 gün sonra ülser oluşurken; 25 Gy üzerinde doku nekroza gider. Çok yüksek kutanöz dozlar yağ ve ter bezlerine zarar verebilir; atrofi, fibrozis ve keloid oluşumuna, ciltte pigmentasyonuna, vasküler yapıların ilerleyici fibrozisine neden olabilir.

Gonadlar radyasyona son derecede duyarlıdır. Erkeklerde radyasyon dozu arttıkça spermatogonyumda doza bağlı azalma olur ve 0,015 Gy kadar düşük dozlarda bile spermatogenez hafif deprese olabilir. Kadınlarda düşük dozlarda geçici ovulasyon duraklaması görülebilir. Erkeklerde 0,3 Sv, kadınlarda ise 3 Sv tek bir radyasyon dozu

alınması geçici infertiliteye neden olabilirken; 6 Gy üzerinde alınan radyasyon erkeklerde kalıcı infertiliteye neden olması muhtemeldir.

Hamilelikte alınan radyasyon fetüsün gelişim evresine göre, fetüste farklı hasarlara yol açar. Hamilelikte radyasyon maruziyeti 0-8 gün arasında düşüğe, 8-56 gün arasında büyüme gelişme geriliğine, 14-105 gün arasında nörolojik gelişimi etkileyerek bebekte mikrosefali, mental retardasyon gibi semptomlara yol açar.

Gözler iyonize radyasyona maruz kaldığında korneaya nüfuz eden 0,2 Gy kadar düşük dozlar bile 5 yıl sonrasında katarakt oluşumunu indükleyebilir (Allen 2020, TAEK 2020e).

2.1.5.3.2. Radyasyonun Gecikmiş Etkileri

Radyasyonun gecikmiş etkileri, iyonize radyasyona düşük dozlarda aralıklı olarak uzun süre maruziyeti yani kronik ışınlama sonucu görülür. Yıllar sonra ortaya çıkan bu etkiler genel olarak stokastik etkilerdir. İyonlaştırıcı radyasyonun kronik etkilerinin görülmesi toplam maruz kalınan radyasyon dozunun yanında çevresel, genetik gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Kanseri tetiklemesi büyük endişe uyandırır da, yaşam süresini kısaltması ve katarakt oluşturmaya diğer potansiyel etkileridir. Radyasyona bağlı oluşan kanserler arasında miyelom, lösemi, akciğer kanseri, tiroid kanseri, meme kanseri, kemik kanseri ve cilt kanseri bulunur (UNEP 2016, Lee 2020, TAEK 2020e).

Tablo 2.11: Doku ve Organların İyonlaştırıcı Radyasyon Duyarlılığı (Lee 2020)

Radyosensitivite	Organ/doku
Çok yüksek	Embriyonik doku, lenfoid organlar, kemik iliği, kan, testis ve yumurtalıklar, ince bağırsaklar
Yüksek	Deri, lens ve kornea, çoğu gastrointestinal organ (ağız boşluğu, özofagus, mide, rektum), mesane, uterus
Orta	Büyüyen kıkırdak, büyüyen kemikler, kan damarları
Düşük	Olgun kıkırdak veya kemik, hipofiz bezi, akciğerler, tiroid, pankreas, böbrekler, adrenal bezler
Çok düşük	Beyin, omurilik, kaslar

Atom bombası mağdurları veya radyoterapi alan hastalar gibi radyasyona maruz kalan popülasyonlar üzerindeki epidemiyolojik çalışmalar, 100 mSv'nin üzerindeki dozlarda kanser riskinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir ve kanserden ölüm riski %3-5 /Sv dir. Daha yakın zamanlarda, çocukluk döneminde tıbbi maruziyete (BT) maruz kalan bireylerde yapılan bazı epidemiyolojik çalışmalar, kanser riskinin düşük dozlarda bile (50-100 mSv arasında) artabileceğini düşündürmektedir (UNEP 2016, DSÖ 2020).

Radyasyon maruziyetine bağlı kanser gelişme riskini inceleyen teorik doz-tepki modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin kanser riskini tahmin etmede güvenilirlikleri tartışmalıdır ve birbirlerine göre üstünlükleri ve eksiklikleri bulunmaktadır. Bunlardan, Lineer eşiksiz modeli (lineer non-threshold) (LNT) en yaygın kullanılan modeldir. LNT modeli,

iyonlaştırıcı radyasyon maruziyet dozu ne kadar küçük olsa da kanseri indükleyebileceği varsayımına dayanarak konservatif bir risk tahmini sağlar. Bütün faktörlerin değerlendirilerek mümkün olan en düşük dozun alınmasının sağlanması için tasarlanmış ALARA (as low as reasonably achievable) radyasyon güvenliği prensibine uygundur. LNT modeli Hiroşima atom bombasından sağ kurtulanlardan elde edilen verilere dayanmaktadır. Bu veriler, çok küçük radyasyon dozlarının kanser riski tahminlerini (örneğin, tek bir göğüs grafisine eşdeğer) yansıtmak için kullanılır. Diğer çalışmalar, çok düşük dozlu iyonize radyasyonun anlamlı bir eşik değere ulaşmadığını veya çok düşük dozların DNA onarımını ve immün sistem stimülasyonunu uyardığı gibi yararlı bir etkiye sahip olabileceğini düşündürmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Radyasyondan Korunma ve Ölçümler Ulusal Konseyi (NRC) ve Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Bilimler Akademisi İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri (BEIR) komiteleri, LNT'nin radyasyonun risklerini tahmin etmek için en iyi model olduğunu kabul etmektedir (Lee 2020, Arslan 2017a).

2.1.6. Radyasyon Maruziyet İzlemi

İyonize radyasyonlu alanlarda çalışan tüm kişilerin radyasyon maruziyetini belirlemek için izlem yapılmalıdır. Kişisel radyasyon dozunu belirlemede en uygun yöntem kişisel dozimetrelerdir. Dozimetreler, tüm radyasyon uygulama işlemlerinde doz ve doz hızının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

- Birinci derece standard dozimetreler: İyon odaları, kalorimetreler ile $\pm$ %1 hata ile ölçüm yapılabilmektedir.
- Referans –transfer-standard dozimetreler: Fricke, Alanin (EPR), dikromat vs. ile $\pm$ %2-3 hata ile ölçüm yapılabilmektedir.
- Rutin dozimetreler: Polimetilmetaakrilat (PMMA), Termoluminesans (TLD) vs. ile $\pm$ %2-3 hata ile ölçüm yapılabilmektedir.

Sağlık çalışanlarının maruz kaldığı radyasyon dozları, belirli bir organ veya dokudaki dozu yansıtan eşdeğer doz olarak veya tüm vücut dozunu yansıtan etkin doz olarak rapor edilir. Bu miktarların her ikisi de Sieverts birimi olarak ifade edilir. Bu miktarlar doğrudan ölçülemez ve kişisel dozimetrelerin verilerine dayanarak tahmin edilir.

Uluslararası Radyasyondan Korunma Konseyi (ICRP), radyasyonlu alanlarda çalışanların iki tane kişisel dozimetre kullanılmasını önerir: biri kurşun önlük içine gövdeye, diğeri de yaka veya sol omuz seviyesinde önlük dışına takılmalıdır. Kurşun önlük içine takılan kişisel dozimetre ile tüm vücut dozunun ölçülmesi sağlanırken kurşun önlük dışına takılan kişisel dozimetre ile kurşun önlük dışında kalan vücut kısımlarının (troid, göz merceği, eller

vb) aldığı dozların ölçülmesi için kullanılır. Her iki dozimetreden elde edilen veriler kullanılarak etkin doz hesaplanabilir. Etkin doz formülü aşağıda verilmiştir:

$$\text{Etkin doz} = 0,5 H_w + 0,025 H_n$$

(H_w : Kurşun önlük içine takılan dozimetre değerlerini ve H_n : Kurşun önlük dışına takılan dozimetre değerlerini temsil eder)

Etkin doz hesaplamada yaygın olarak kullanılan bu ve diğer formüller etkin dozu gerçek değerine göre daha yüksek hesaplar. Böylece radyasyon dozunun yüzde yüzü veya alınan dozdan daha fazla tahmin edilerek etkin dozun hafife alınması önlenir. El dozları bilek dozimetre veya yüzük dozimetre kullanılarak da izlenebilir.

Gebelikte alınan radyasyon dozunun sınırlandırılması için, bel seviyesinde kurşun önlük altında dozimetre kullanarak radyasyon maruziyetinin aylık olarak izlenmesi önerilir (Fazel 2020, TAEK 2020f).

2.1.6.1. Radyasyon Doz Limitleri

Mesleki doz limitleri ICRP ve Ulusal Radyasyondan Korunma ve Ölçümler Konseyi (NCRP) tarafından tanımlanmıştır. Avrupa Birliği'nde, etkin doz sınırı ardışık beş yıl toplamında 100 mSv'dir ve herhangi bir yılda 50 mSv'den fazla olmamalıdır. Bu sınır, Amerika Birleşik Devletleri'nde, etkin doz sınırı herhangi bir yılda 50 mSv'dir ve yaşam boyunca alabileceği limit bireyin yaşının 10 mSv ile çarpımı şeklinde farklı tarif edilmektedir. Gebe çalışanlar için doz limitlerini, NCRP fetüsün radyasyon maruziyetinin mümkün olduğunca düşük olmasını ve tüm gebelik boyunca 5 mSv, ayda 0,5 mSv'dan daha düşük dozlarla sınırlandırmasını önermektedir. ICRP ise 1 mSv' dan daha düşük bir sınırını önermektedir (Fazel 2020).

Ülkemizde 05.07.2012 tarihinde yayınlanan "Sağlık hizmetlerinde iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları ile çalışan personelin radyasyon doz limitleri ve çalışma esasları hakkında yönetmelik" göre radyasyon doz limitleri: etkin doz, göz merceği ve tüm vücut için ardışık beş yıl toplamında 100 mSv ve herhangi bir tek yılda 50 mSv'dir. Bu limitleri geçmeyecek şekilde ayrıca; etkin doz sınırı ayda 2 mSv, el ve ayaklar için eş değer doz sınırı aylık 50 mSv, en yoğun radyasyona maruz kalan 1 cm²'lik alan referans olmak üzere cilt için eş değer doz sınırı aylık 50 mSv'dir.

Hamile personelin yıllık doz limitleri 5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde belirlenmiş toplum için doz limitlerini aşmamalıdır. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği (5272 sayılı-24.03.2000 tarihinde yayınlanan)'ne göre, radyasyon görevlileri için doz limitleri; etkin doz ardışık beş yılın ortalaması 20 mSv, herhangi bir yılda ise 50 mSv'dir. El ve ayak veya cilt için yıllık eşdeğer doz sınırı 500 mSv, göz merceği için 150 mSv'dir. Cilt için en yüksek radyasyon dozuna maruz kalan 1 cm²'lik alanın eşdeğer dozu, diğer alanların aldığı doza

bakılmaksızın ortalama cilt eşdeğer dozu olarak kabul edilir. Toplum üyesi kişiler için doz limiti etkin doz yılda 1 mSv'dir. Özel durumlarda; ardışık beş yılın ortalaması 1 mSv olmak üzere yılda 5 mSv'e kadar izin verilir. Cilt için yıllık eşdeğer doz sınırı 50 mSv, göz merceği için 15 mSv'dir (Tablo 2.10) (5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000, 16332 sayılı Sağlık Hizmetlerinde İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları İle Çalışan Personelin Radyasyon Doz Limitleri ve Çalışma Esasları Hakkında Yönetmelik 2012).

Tablo 2.12: Radyasyon Görevlileri ve Toplum İçin Radyasyon Doz Limitleri (5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000, 16332 sayılı Sağlık Hizmetlerinde İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları İle Çalışan Personelin Radyasyon Doz Limitleri ve Çalışma Esasları Hakkında Yönetmelik 2012).

		Radyasyon görevlileri	Toplum üyeleri
Etkin doz sınırı	Ardışık 5 yılın ortalaması	20 mSv	1 mSv
	Yıllık	50 mSv	5 mSv
Yıllık Organ Eşdeğer Doz Sınırı	Göz merceği	150 mSv	15 mSv
	Deri (cm ²)	500 mSv	50 mSv
	Eller ve ayaklar	500 mSv	50 mSv
Gebe eşdeğer doz sınırı		1 mSv	-

İyi teknik ve uygun koruyucu ekipman kullanan yoğun bir girişimsel operatör tipik olarak yılda 2-4 mSv alır. Yılda 1000 anjiyografi yapan nispeten yüksek iş yükü olan çalışanlar bile, yıllık 20 mSv'lik etkin dozu nadiren aşarlar. Dünya Sağlık Örgütü aylık etkin doz 0,5 mSv'ye veya göz merceğine alınan doz 5 mSv'ye ulaştığında inceleme yapılmasını önermektedir. Radyasyon güvenliği uzmanı veya kalifiye bir tıbbi fizikçi, yüksek dozun nedenini belirlemeli ve çalışanın aldığı dozu makul düzeyde tutmak için doğrudan çalışanla iletişim kurarak önerilerde bulunmalıdır (Fazel 2020).

Kişisel dozimetre ölçümlerinde doz limitlerinin aşılması durumunda araştırmaya, dozimetrenin doğru yerleştirilmesi (örneğin, dozimetrenin koruyucu önlüğün altına yerleştirilmesi) ve başka personel tarafından kullanılmasının dışlanması da dahil olmak üzere dozimetre okumasının geçerliliğinin doğrulanması ile başlar. Okumanın geçerli olduğu düşünülürse bir sonraki adım, yeni bir prosedür türü veya prosedür tekniği veya ekipman ayarlarındaki değişiklikler gibi artan dozu açıklayabilecek çalışma alışkanlıklarındaki değişiklikleri araştırmaktır. Doz aşımının nedeni belirlenir. Çalışana uygun geri bildirim ve eğitim sağlanır. Önerilen değişikliklerin uygulanması izlenir (Fazel 2020).

2.1.7 Radyasyondan Korunma

Radyasyondan korunma ulusal ve uluslararası yasalarla sağlanır. Her ülkenin, radyasyon çalışanları ve toplum üyelerinin radyasyon güvenliğini yasa, tüzük ve

yönetmeliklerle güvenceye almıştır. Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) dünya genelinde radyasyon ve biyolojik etkileri üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarına dayanarak, radyasyon korunmasının daha etkin yapılması amacı ile ulusal yasa, tüzük ve yönetmelikleri güncellenmektedir.

Ülkemizde uygulanan Radyasyon Güvenliği Tüzük ve Yönetmelikleri, ICRP'nin radyasyondan korunma konusunda bildirdiği 3 temel ilkeye dayanmaktadır. Bu ilkeler (Gökharman 2016, TAEK 2020h):

- a) Uygulamanın gerekliliği: Net bir fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilmemelidir.
- b) Optimizasyon: Ekonomik ve sosyal faktörler göz önüne alınarak, bütün radyasyon uygulamalarında maruz kalınacak dozun mümkün olduğu kadar düşük tutulması için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu ALARA prensibi olarak bilinir.
- c) Doz sınırları: Mesleği gereği radyasyonlarla çalışanlar ve halk için bir yılda alınmasına müsaade edilen doz sınırları aşılmamalıdır.

2.1.7.1 Radyasyon Alanları

İyonize radyasyon maruziyetinin yıllık 1 mSv dozunu geçme olasılığı bulunan alanlar radyasyon alanı olarak kabul edilir ve radyasyon kaynaklarının özelliklerine, riskin büyüklüğüne uygun olarak; denetimli ve gözetimli alanlar olarak sınıflandırılır (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi 2014, TAEK 2020g).

2.1.7.1.1 Denetimli Alanlar

Denetimli alanlar radyasyondan korunmayı sağlamak veya radyoaktif bulaşmanın yayılmasını önlemek amacı ile özel kuralların uygulandığı, giriş çıkışların denetime tabii olduğu ve görevi gereği radyasyon ile çalışan kişilerin ardışık beş yılın ortalama yıllık doz sınırlarının 3/10'undan fazla radyasyon dozuna maruz kalabilecekleri alanlardır.

Denetimli alanların girişlerinde ve bu alanlarda; radyasyon alanı olduğunu gösteren temel uyarı işaretleri, maruziyetin risklerini belirten uyarılar, bu alanlarda geçirilecek sürenin kısıtlanması, koruyucu giysi ve araçların kullanılması gerekliliğini gösteren uyarı levhaları bulunmalıdır (5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000, Gökharman 2016).

2.1.7.1.2 Gözetimli Alanlar

Radyasyon görevlileri için yıllık doz sınırlarının 1/20'sinin aşılma olasılığı olup, 3/10'unun aşılması beklenmeyen alanlardır. Kişisel doz ölçümüne gerek yoktur fakat çevresel radyasyon izlenmelidir (Çelik 2013).

2.1.7.2 Çalışma Koşulları

Görevi gereği radyasyona maruz kalan kişilerin çalışma koşulları A ve B olarak sınıflandırılmıştır (5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000, Çelik 2013):

2.1.7.2.1. Çalışma Koşulu A: Yılda 6 mSv'den daha fazla etkin doza veya göz merceği, cilt, el ve ayaklar için yıllık eşdeğer doz sınırlarının 3/10'undan daha fazla doza maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur. Kişisel dozimetre kullanmaları zorunludur. Çalışanların sağlık durumlarının yapacakları göreve uygunluğunu belirlemek amacıyla işe başlamadan önce ve çalıştığı süre boyunca yılda en az bir kez tıbbi muayeneleri yaptırılmalıdır (5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000, Çelik 2013).

2.1.7.2.2. Çalışma Koşulu B: Çalışma Koşulu A'da verilen değerleri aşmayacak şekilde radyasyon dozuna maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur (5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000, Çelik 2013).

2.1.7.3. Toplum Üyelerinin Radyasyondan Korunması

Doğal radyasyonlardan alınan dozlar ile tıbbi uygulamalardan (teşhis ve tedavi) alınan dozlar hariç, normal şartlar altında sızıntılardan dolayı toplum üyeleri için öngörülen doz sınırı yıllık 1 mSv olarak kabul edilmiştir. Nükleer tesislerden, radyoaktif serpintilerden ve diğer yapay radyasyon kaynaklarından alınabilecek toplam doz bu sınırın çok altındadır. Çevreye radyasyon ve radyoaktif madde sızıntılarını önleyen yönetmeliklerle kontrol edilmektedir (TAEK 2020h).

2.1.7.4. Çalışanların Radyasyondan Korunması

Tıbbi ve endüstriyel alanlarda görevi gereği radyasyona maruz kalan kişilerin mesleki iş güvenliğinin sağlanması amacıyla prosedürü engellemeden veya hastanın güvenliğinden ödün vermeden çalışan maruziyetini en aza indirmektir. Solunum, sindirim sistemi ve derideki çizik veya yaralar vasıtasıyla vücuda alınarak bir iç radyasyon tehlikesi oluşturabilecek radyoizotoplara karşı ortamın tehlike durumuna göre, solunum cihazlı özel giysiler veya maskeler ile çalışan güvenliği korunmalıdır. Mesleki radyasyondan (dış ışınlama) korunmanın temel prensipleri zaman, mesafe ve zırhlamadır (Fazel 2020, TAEK 2020h).

- a) **Zaman:** İyonize radyasyon kaynağından yayılan ışımaya ne kadar az süre maruz kalınırsa alınan doz o kadar azalacaktır.
- b) **Mesafe:** İyonize radyasyon kaynağından uzaklaştıkça ışıma çevreye yayılarak şiddetini kaybedeceğinden, maruz kalınacak doz miktarı azalacaktır. Radyasyon dozu uzaklığın karesi ile ters orantılıdır (ters kare yasası). Kaynaktan uzaklık iki katına çıkarıldığında, alınan doz dörtte birine düşer.

- c) **Zırhlama (Koruyucu Engel):** Radyasyon kaynağı ile kişi arasına engel konularak alınan radyasyon şiddeti azaltılabilir. Zırhlama çalışanların korunması ve mimariye yönelik olarak hazırlanabilir.

X ve gama ışınları için uranyum en etkili, tungsten çok iyi, kurşun iyi, çelik kabul edilebilir zırh malzemeleridir. Maliyetinin ucuzluğu yapımının kolay olmasından dolayı yaygın olarak kullanılan yeterince kalın yapılmış beton duvar, ince bir uranyum veya kurşun duvar kadar etkili olabilir.

Kişisel koruyucular arasında kurşun önlükler, tiroid koruyucu, gözlük ve eldiven bulunur. Önlükler tek parçalı ve iki parçalı yelek / etek seçeneklerinin yanı sıra, genişleyen karnı sarabilen gebelik önlükleri de mevcuttur. Önlükler tipik olarak 0,25 ila 0,5 mm arasında değişen kalınlıklardaki kurşun eşdeğerinde yapılırlar. Kurşun eşdeğeri 0,25 mm olanlar radyografilerden gelen radyasyonun yaklaşık %10'unun geçmesine izin verirken, 0,5 mm kurşun eşdeğeri olanlar sadece yaklaşık yüzde 2'sinin geçmesine izin verir. Kişisel koruyucuların ergonomik olması da dikkate alınmalıdır. Önlüklerin doğru şekilde takılması ergonomik riskleri azaltabilir. Bizmut oksit ve baryum sülfat, nadir toprak metalleri ve kurşun, kalay, tungsten ve baryum içeren alaşımlar gibi radyasyon etkisini azaltıcı malzemeler, kişisel koruyucuların ağırlıklarını azaltmak için kurşuna alternatif olarak giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Önlüklerin ağırlıklarını azaltmak için arkasında ya bir açıklık olacak ya da daha az bir kurşun eşdeğeri (0.25 mm) sağlanacak biçimde tasarlanır. İki parçalı (etek / yelek) önlükler önlüğün ağırlığını dağıtarak sırt yaralanması riskini azaltabilir (Lök 2015, Çimen 2017, Fazel 2020, TAEK 2020h).

Önlük içindeki kurşun tabakalarının kırılmasını önlemek için önlükler askılara düzgün bir şekilde yerleştirilmeli ve katlanmamalıdır. Koruyucu malzemeye verilen zararı tespit etmek için kullanılmadan önce ve daha sonra periyodik olarak görsel ve floroskopik olarak kontrol edilmelidir (Lök 2015, Çimen 2017, Fazel 2020, TAEK 2020h).

Boyun bölgesine alınan radyasyonda özellikle tiroid bezi duyarlıdır. İyonize radyasyon maruziyeti tiroid papiller kanseri için bilinen risk faktörüdür. Bu nedenle tiroid ve boyun koruyucular kullanılmalıdır (Lök 2015, Çimen 2017, Fazel 2020, TAEK 2020h).

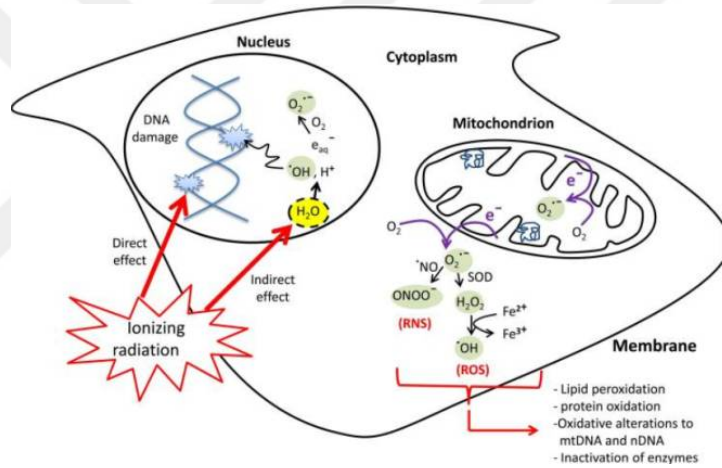
Gözler de iyonize radyasyona duyarlı olduğu için koruma esastır. Tavana asılı koruyucu kalkanlar doğru kullanıldığında tüm başın korunmasında etkilidir. Kurşunlu gözlük de radyasyon dozunu önemli ölçüde azaltır. Koruyucu gözlükler uygun şekilde oturmalı ve yan siper veya sarımlı bir tasarım kullanılarak yanlardan da gelebilecek radyasyona karşı koruyucu olmalıdır (Lök 2015, Çimen 2017, Fazel 2020, TAEK 2020h).

Elleri de ışımadan korumak için kurşunlu eldiven ve radyo-koruyucu bizmut oksit içeren losyon kullanımı yararlı olabilir. En etkili yaklaşım elleri direkt ışımadan uzak tutmaktır (Lök 2015, Çimen 2017, Fazel 2020, TAEK 2020h).

2.2. Radyasyona Bağlı Oksidatif Stres

İyonize radyasyon maruziyeti canlı hücreleri doğrudan ve dolaylı olarak etkileyerek hasar meydana getirir. Doğrudan etkilerini direkt atomik yapıları bozup biyolojik ve kimyasal ürünler oluşturarak; dolaylı etkilerini ise su molekülünün radyolizi yoluyla DNA, proteinler veya lipidler gibi makromoleküllere zarar veren reaktif oksijen ve nitrojen türleri oluşturarak gösterir (Şekil 2.11). Serbest radikallerin aşırı ve kontrolsüz üretimi; nörodejeneratif bozukluklar, kanser, kardiyovasküler anormallikler, diabetes mellitus ve karaciğer hasarı dahil olmak üzere çeşitli hastalıkların patogenezinde katkıda bulunan oksidatif strese yol açar.

Oksidatif stres, reaktif oksijen ve nitrojen türleri (ROS/RNS) olarak adlandırılan serbest radikallerin ve reaktif metabolitlerin oluşum hızı ile antioksidanlar olarak adlandırılan koruyucu mekanizmaların kapasitesi arasındaki dengenin oksidanlar lehine bozulmasıyla oluşur. İyonlaştırıcı radyasyon, nükleer DNA (nDNA) ve mitokondriyal DNA'da (mtDNA) kalıcı değişiklikler yaparak mitokondriyal fonksiyonları da bozabilir (Azzam 2012, Tokaç 2018, Chen 2019, Sebastia 2020).



Şekil 2.11: İyonlaştırıcı Radyasyonun Makromoleküller Üzerindeki Doğrudan ve Dolaylı Hücresel Etkileri (Chen 2019)

2.2.1 Serbest Radikallerin Oluşumu

Serbest radikaller negatif yüklü elektron sayısının, çekirdekteki pozitif yüklü proton sayısı ile eşit olmadığı oldukça reaktif moleküler türlerdir. Serbest radikallerin temel kimyasal özellikleri dış yörüngelerinde bir veya daha fazla eşleşmemiş elektron içermeleridir. Kararsız yapıda olan bu moleküller çok kısa sürede (10^{-9} ile 10^{-12} saniye arasında) başka bir molekülle çarpışarak bir elektron alarak veya vererek zincirleme bir reaksiyon başlatırlar (Uçal 2019).

2.2.1.1 Reaktif Oksijen Türleri

Biyolojik sistemlerdeki en zararlı radikaller olan reaktif oksijen türleri endojen ve ekzojen olarak üretilir (Uçal 2019, Tekin 2020). İnsan hücrelerinde hidrojen peroksit (H_2O_2) ve / veya süperoksit anyon radikali (O_2^-) üreten 41 enzim tanımlanmıştır. Bu liste lipid

hidroperoksitler, nitrik oksit (NO) ve hipokloröz asit gibi başka ROS üreten enzimlerin dahil edilmesiyle 50'nin üzerine çıkar. Oksijen (O_2) ve H_2O_2 'nin başlıca endojen enzimatik kaynakları transmembran NADPH oksidazları ve mitokondriyal elektron taşıma zinciridir. Hücre içi kaynaklara ek olarak oksidanlar; besinler, ilaçlar, toksik maddeler ve kirleticiler gibi moleküler faktörlerin yanı sıra fiziksel stres faktörleri (UV, X-ışını ve diğer iyonlaştırıcı radyasyon) ve psikolojik stres faktörleri (yaşam tarzı) gibi kümülatif çevresel maruziyetin bir sonucu olarak da üretilir (Sies 2020). Başlıca ROS'lar; süperoksit (O_2^-), hidroksil ($OH^\cdot$), peroksil (RO_2) ve hidroperoksil (HO_2) radikalleri ve radikal olmayan oksitleyici ajanlar; hidrojen peroksit (H_2O_2), hipokloröz asit (HOCl) ve ozondur (O_3) (Onat 2006, Yılmaz 2020).

Radikal olmayan reaktif oksijen türleri:

Hidrojen peroksit (H_2O_2): Oksijenden mitokondriyal elektron taşıma zincirinde birçok enzim tarafından üretilir; esas olarak süperoksit dismutazlar ile birlikte NADPH oksidazlar tarafından üretilir. Güçlü, iki elektronlu oksidandır. Yüksek aktivasyon enerjisi reaktivitesini birkaç biyolojik hedefle sınırladığı için nispeten kararlı kabul edilir. Glutasyon, sistein, metiyonin ile çok yavaş reaksiyona girer; ama sisteine karşı reaktivitesi protein yapısına ve ortama bağlı olarak yükselebilir. Bu redoks tepkimelerinde H_2O_2 'nin seçiciliği ve özgülüğü için bir temel sağlar. Demir (Fe)-sülfür (S) kümeleri ve gevşek bağlı metallerle orta derecede reaksiyona girer (Fenton reaksiyonu). Karbondioksit ve bikarbonat ile reaksiyona girerek, biyolojik hedeflerle üç kat daha hızlı reaksiyona giren peroksimonokarbonat (HCO_4^-) oluşturur. Süperoksit radikaliyle tepkimeye girerek (Haber-Weiss reaksiyonu) hidroksil radikalini meydana getirir (Çakmak 2020, Sies 2020)

Organik hidroperoksitler (ROOH): Çoklu doymamış yağ asitlerinden (PUFA'lar) ve sterollerden (örneğin, kolesterol) enzimatik olarak ve enzimatik olmayan şekilde (lipid peroksidasyonu) oluşturulan hidroperoksitleri içerir. Hücre sinyallemede, özellikle bağışıklık sisteminde işlev görürler ve ferroptoz yoluyla hücre ölümünde rol oynarlar.

Ozon (O_3): Akciğerlerde ve diğer maruz kalan dokularda oksidatif strese neden olduğu için bazı coğrafi bölgelerde, özellikle hava kirliliği ve belirli atmosfer koşullarında sağlık sorunu oluşturan çok reaktif bir oksidandır.

Hipokloröz asit ve hipobromöz asit (HOCl ve HOBr): Patojenleri öldürmek için nötrofillerdeki fagositik vakuolde miyeloperoksidaz tarafından H_2O_2 'den üretilir (Sies 2020).

Radikal reaktif oksijen türleri:

Süperoksit anyon radikali (O_2^-): Süperoksit anyon radikali zayıf ROS olmasına rağmen, daha reaktif serbest radikal oluşumunu tetikleyebilir. Spontan olarak veya süperoksit dismutazlarla katalize edilerek H_2O_2 ve O_2 'ye dönüşür ve temel H_2O_2 kaynağıdır. Süperoksit anyon radikali yüksek elektrostatik çekim nedeniyle Fe-S kümeleriyle yüksek oranda tepkimeye girerken; negatif yüklü olduğu için tiyoller ile daha az redoks tepkimesine girer. Perhidroksil radikali (HO_2) O_2^- 'nin protonlanmış formudur; yüksüzdür ve lipitlerle tepkimeye

girerek karbon merkezli çoklu doymamış lipid radikali üretebilir. Süperoksit radikali diğer radikallerle, özellikle nitrik oksit (NO) ile etkili bir şekilde reaksiyona girerek, bir tirozin nitratlama ajanı olan peroksinitrit (ONOO^-) oluşturur (Annagür 2011, Sies 2020).

Hidroksil radikali ($\text{HO}^\cdot$): En reaktif ROS'tur. Reaksiyonlarını difüzyon kontrollü (spesifik olmayan) olarak gerçekleştirir. Hidrojen peroksitin Fe^{+2} ve Cu^+ veya diğer geçiş elementleri (Zn, Mn, Cr, Co, Ni, Mo) varlığında indirgenmesiyle oluşur (Fenton reaksiyonu). Hidroksil radikali üretildiği yerde en yakın komşusu ile doğrudan reaksiyona girdiğinden, Fe^{+2} konumu $\text{HO}^\cdot$ toksisitesinin yerini belirler. Lipid peroksidasyonunun bir başlatıcısıdır (Aydoğdu 2020, Sies 2020).

Peroksil radikali ($\text{ROO}^\cdot$): Çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA) lipid peroksidasyonunda serbest radikal zincir reaksiyonunun başlamasını takiben oluşur. Peroksil radikallerinin kendisinde PUFA'dan bir proton çıkararak serbest radikal zincir reaksiyonlarını devam ettirir, böylece bir lipid hidroperoksit ve başka bir karbon radikali oluşturur (Aydoğdu 2020, Sies 2020).

Alkoksil radikali ($\text{RO}^\cdot$): Lipid hidroperoksitlerin metal katalizli ayrışmasıyla lipid peroksidasyonunda ara madde olarak oluşur. Lipid peroksidasyon zincir reaksiyonlarını artırır (Aydoğdu 2020, Sies 2020).

2.2.1.2 Reaktif Nitrojen Türleri

Reaktif nitrojen türlerinden (RNS) en önemlisi olan nitrik oksit ($\text{NO}^\cdot$), nitrik oksit sentaz enzimi aracılığıyla sentezlenir ve ROT'lar ile reaksiyona girerek güçlü oksidanlar oluşturur. Süperoksit anyon radikaliyle reaksiyona girerek oluşturduğu peroksinitrit (ONOO^-) molekülü; hidroksil radikali oluşumu, tiyollerin ve aromatik grupların oksidasyonu, ksantin dehidrojenazın ksantin oksidaza dönüşümü, biyomoleküllerin oksidasyonu gibi reaksiyonlara neden olur; nitrojen dioksit ($\text{NO}_2^\cdot$) ve dinitrojen trioksit (N_2O_3) moleküllerini oluşturur. Peroksinitritin protonlanmış formu olan peroksinitrik asit (ONOOH) güçlü bir oksidan ajandır ve hidroksil radikaline benzer etki oluşturur. $\text{NO}^\cdot$ ve $\text{NO}_2^\cdot$ radikal reaktif nitrojen türleridir. Oluşan RNS'ler DNA, lipid ve proteinlere zarar verir, tiyol rezidüleri ile reaksiyona girer, antioksidan enzimleri inhibe eder ve hücre ölümüne neden olur (Büyükcuslu 2015, Aydoğdu 2020, Düz 2020, Yılmaz 2020).

2.2.2 Radikal Hasarına Karşı Savunma Sistemleri

Reaktif radikallerin oluşturduğu oksidatif hasarı önlemek veya azaltmak için oluşturulan savunma sistemlerine antioksidan sistemler adı verilmektedir. Antioksidanlar; moleküler oksijeni tüketerek veya lokal konsantrasyonunu azaltarak, prooksidatif metal iyonlarını uzaklaştırarak, süperoksit anyon radikali veya hidrojen peroksit gibi agresif reaktif oksijen türlerini hapsederek, hidroksil ($\text{OH}^\cdot$), alkoksil ($\text{RO}^\cdot$) veya peroksil ($\text{ROO}^\cdot$) gibi zincir

başlatan radikalleri süpürerek, radikal sekans zincirini kırarak veya singlet oksijeni söndürerek reaksiyona girebilirler ve oksidatif stresi azaltırlar (Pisoschi 2015).

Oksidanlara karşı savunma sistemleri endojen ve eksojen antioksidanlar olarak gruplandırılıp, endojen antioksidanlar enzimatik ve enzimatik olmayan olmak üzere iki grup altında; eksojen antioksidanlar ise vitamin olarak alınan ve ilaç olarak kullanılanlar olarak sınıflandırılabilir (Tokaç 2018, Kuloğlu 2020).

Enzimatik antioksidanlara; süperoksit dismutaz, katalaz, glutatyon peroksidaz, glutatyon redüktaz, sitokrom oksidaz, enzimatik olmayan antioksidanlara; bilirubin, albumin, ürik asit, α-tokoferol, seruloplazmin, transferin, ferritin, glutatyon, melatonin, koenzim Q10, selenyum, α-lipoik asit örnek verilebilir. Eksojen antioksidanlar; α-Tokoferol (Vitamin E), β-karoten (Vitamin A), askorbik asit (Vitamin C) ve folik asit (Vitamin B9), N-asetilsistein, mannitol, adenosin, demir şelatorleri, kalsiyum kanal blokerleri, non-steroid antiinflatuar ilaçlar sayılabilir (Annagür 2011, Pisoschi 2015, Tokaç 2018).

Antioksidan sistemleri reaktivite açısından sınıflandırıldığında enzimatik antioksidanlar (Tablo 2.11) ilk savunma hattını oluştururken; ikinci savunma hattını esas olarak tioller ve düşük moleküler ağırlıklı antioksidanlar temsil eder. Ayrıca diyetle alınan moleküllerden (tokoferoller, askorbat, retinoller, polifenoller) ve metabolik bileşiklerden (ürat, askorbat ve indirgenmiş glutatyon) oluşan geniş bir molekül yelpazesi ikinci savunma hattına dahil edilir. Bu bileşikler temelde biyolojik ortama antioksidan kapasite kazandırır (Onat 2006, Pisoschi 2015, Tekin 2020).

Tablo 2.13: Enzimatik Antioksidanlar ve Etki Mekanizmaları (Tekin 2020)

Enzim	Etki mekanizması
Süperoksit dismutaz (Cu, Zn, Mn)*	Süperoksit radikalini katalizleyerek uzaklaştırır. $O_2^- + O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$
Katalaz (Fe)*	Ortamda yüksek düzeyde H_2O_2 'yi ortamdan uzaklaştırır. $2 H_2O_2 \rightarrow 2 H_2O + O_2$
Glutatyon peroksidaz (Se)*	H_2O_2 düzeyi düşük miktarlarda ise ortamdan uzaklaştırır. Eletron kaynağı olarak glutatyon (GSH) kullanılır. $H_2O_2 + 2 GSH \rightarrow 2 H_2O + GSSG$
Glutatyon redüktaz (FAD)*	Okside glutatyonu (GSSG) NADPH varlığında redükte hale çevirir. $GSSG + NADPH + H^+ \rightarrow 2 GSH + NADP^+$
Sitokrom oksidaz (Cu, Fe)*	Oksijen, elektron taşıma zinciri içinde suya indirgenirken elektron kaçaklarını önleyerek süperoksit, hidrojen peroksit ve hidroksil oluşumuna engel olur.

* Enzimlerin aktif merkezinde yer alan kofaktörlerdir.

- Bakır (Cu), çinko (Zn), manganez (Mn), demir (Fe), selenyum (Se), flavin adenin dinükleotit (FAD), nikotinamid adenin dinükleotit fosfat (NADP)

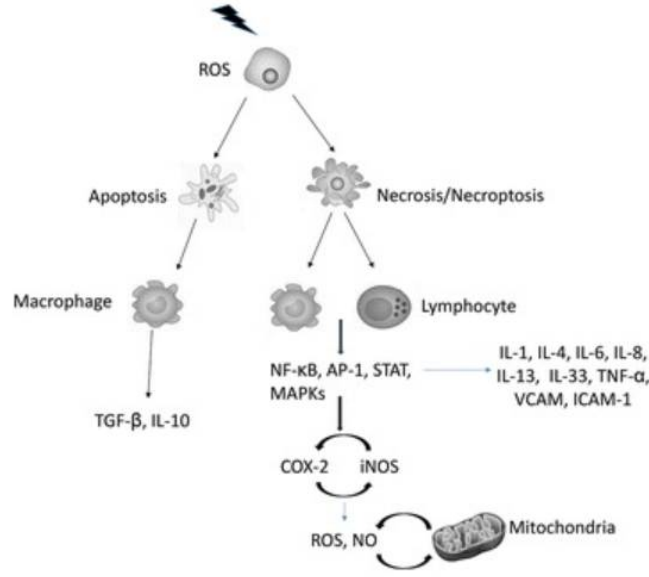
2.3 Radyasyona Bağlı İnflamasyon

İyonize radyasyon dokularda bir immün cevap oluşturarak inflamasyona neden olur. Oluşan inflamasyon yıllarca çeşitli organlara hasar verebilir. Tetiklenen inflamasyon vasküler

hasarı, lökositlerin ışınlanmış alana göçünü ve immün sistem mediatörlerinin salınmasını kapsayan karmaşık bir süreçtir. Normal dokuların IR'ye tepkileri büyük ölçüde radyasyon dozuna bağlıdır ve maruz kalınan radyasyon dozu arttıkça vasküler hasar, hipoksi ve hücre nekrozu insidansı artar. Oluşan etki immün sistem cevabına ve sitokin profiline bağlıdır. Vücut hücrelerinin düşük dozlarda IR'ye (1 Gy'den düşük) maruz kalması nekroz yerine apoptozu daha çok tetikleyerek anti-inflamatuar etki oluşturabilirken, daha yüksek IR dozlarına (1 Gy'den fazla) maruz kalmak apoptozdan ziyade nekroza yol açarak inflamasyona neden olur (Yahyapour 2018).

İnflamasyonun başlamasından vasküler hasar ve nekroz sorumlu olsa da, yüksek dozda IR'ye maruz kalma gibi stres oluşturan koşullarda, apoptoz, otofaji ve yaşlanma gibi diğer hücre ölümü biçimleri de inflamatuvar yanıtı uyarabilir. Yüksek doz IR (1 Gy'den fazla) maruziyeti sonrasında meydana gelen DNA hasarı ve hücre ölümü, hasarla ilişkili moleküller (damage associated molecular patterns-DAMP) gibi hücre sel içeriklerin salınmasına neden olur. IR'ye maruz kaldıktan sonra salınan en önemli DAMP'ler arasında HMGB1 (high-mobility group box 1), ürik asit ve ısı şok proteinleri (heat-shock protein-HSP) bulunur. Salınan DAMP'leri tanıyan toll benzeri reseptör (toll like receptors-TLR) 2, TLR4, TLR5 ve TLR9 inflamasyon yollarının aktivasyonunda merkezi bir rol oynar (Najafi 2018, Roh 2018, Yahyapour 2018).

TLR uyarısı hücre içi mitogen-activated protein kinazları (MAPK), nükleer faktör- κ B (NF- κ B) ve siklooksijenaz-2 (COX-2) gibi hücre içi sinyal yollarını aktive ederek IL-1, IL-6, IL-8, tümör nekrozis faktör (TNF), IL-33 ve interferon gama (IFN- γ) olmak üzere inflamatuvar sitokinlerin salınmasını tetikler. Salınan sitokinler pozitif geri besleme ile inflamasyonu artırır. Ayrıca sürekli ROS ve nitrik oksit üretimi, radyasyona bağlı inflamasyonun sağlam dokular üzerindeki toksik etkilerini artırır. Bu yanıt anti-inflamatuar mekanizmalar tarafından engellenemediğinde gelişen kronik inflamasyonun neden olduğu inflamatuvar sitokinler ve serbest radikaller organların işlevlerini bozar (Şekil 2.12) (Azzam 2012, Yahyapour 2018).



Şekil 2.12: İyonize Radyasyona Bağlı İnflamatuar ve Anti-İnflamatuar Cevaplar (Azzam 2012)

2.3.1. Tümör Nekrozis Faktör Alfa

Tümör nekrozis faktör akut inflammatuar yanıtın mediatörüdür. İsmi tümörü besleyen kan damarlarının intihaplanması ve trombozu sonucu nekrozuna neden olan sitokin olarak tanımlanmasından alır. Esas olarak makrofajlar ve dentritik hücreler tarafından üretilir; ancak belirli koşullarda diğer immün sistem hücreleri tarafından da üretilebilir. Makrofajlarda TNF reseptörüne bağlanabilen, glikolize olmayan tip II membran homotrimerik bir protein olarak sentezlenir. Tümör nekrozis faktörün zar biçimi zara bağlı bir metaloproteinaz tarafından yarılır, bir polipeptit fragmanı serbest bırakılır ve bu polipeptit zincirlerinden üçü üçgen piramit şeklinde dolaşan bir TNF proteini oluşturmak üzere polimerize olur. Reseptör bağlanma yerleri piramidin tabanıdadır.

Tip I (TNF-RI) ve tip II (TNF-RII) olarak adlandırılan iki farklı TNF reseptörü vardır. Her iki TNF reseptörü de çoğu hücrede bulunur. TNF reseptörleri çoğu immün ve inflammatuar yanıtlarda yer alan TNF reseptörü süper ailesi olarak adlandırılan geniş bir protein ailesinin üyeleridir ve plazma zarında trimerler olarak bulunur. TNF-RI, TNF-RII ve CD40 gibi bazı TNF reseptör ailesi üyelerine ligand bağlanması TNF reseptörü ile ilişkili faktörler (TNF receptor-associated factor-TRAF) olarak adlandırılan proteinlerin, reseptörlerin sitoplazmik domainlerine bağlanmasına yol açar. TRAF'lar transkripsiyon faktörlerini, özellikle NF-κB ve aktivatör protein-1 (AP-1)' i aktive eder. TNF-RI gibi bazı aile üyelerine sitokin bağlanması, kaspazları aktive eden ve apoptozu tetikleyen bir adaptör proteinin alınmasına yol açabilir. Bu nedenle TNF reseptör ailesinin farklı üyeleri gen ekspresyonunu veya hücre ölümünü indükleyebilir, bazıları her ikisini de yapabilir.

TNF- α proinflatuar sitokindir. Akut ve kronik iltihabın her basamağını uyarır. Endojen pirojendir ve katabolizmayı (lipoprotein lipaz inhibisyonu) uyararak keşeksiye yol açabilir. IL-1 ve IL-6 ile inflamasyonun sistemik etkisinden sorumludur (Çayakar 2018, Onat 2006, Abbas 2018).

2.3.2 İnterlökin-10

Temelde immünsüpresif etkili olan IL-10, aktive edilmiş makrofajları ve dendritik hücreleri inhibe ederek doğal ve hücrel bağışıklığın kontrolünde rol alır. Heterodimerik sitokin ailesinin bir üyesidir. IL-10 reseptörü, tip II sitokin reseptör ailesine aittir (interferon reseptörüne benzer). IL-10 aktive makrofajlar ve dendritik hücreler, Tregs ve Th1 ve Th2 hücreleri dahil olmak üzere birçok immün sistem hücresi tarafından üretilir. IL-10 ayrıca, bağışıklık bastırıcı işlevlere sahip olduğu gösterilen ve düzenleyici B hücreleri olarak adlandırılan bazı B lenfositleri tarafından üretilir.

IL-10'un biyolojik etkileri, aktive edilmiş makrofajların ve dendritik hücrelerin birçok fonksiyonunu inhibe etmesine dayanır. İnterlökin-10 aktive edilmiş dendritik hücreler ve makrofajlar tarafından IL-12 üretimini inhibe eder. İnterlökin-12, hücre içi mikroplara karşı doğuştan gelen ve uyarlanabilir hücre aracılı bağışıklık reaksiyonlarında önemli bir rol oynayan IFN- γ salgılanmasını uyarır. Aslında IL-10 ilk olarak IFN- γ üretimini inhibe eden bir sitokin olarak tanımlanmıştır. İnterlökin-10, dendritik hücreler ve makrofajlar üzerinde kostimülatörlerin ve sınıf II MHC moleküllerinin ekspresyonunu inhibe eder. Böylece IL-10 T hücre aktivasyonunu inhibe eder; hücre aracılı immün reaksiyonları sonlandırır (Onat 2006, Abbas 2018).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Araştırmanın Tipi

Bu araştırma hastane tabanlı kesitsel tipte bir çalışmadır.

3.2 Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zaman

Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde, 4 Ağustos - 30 Kasım 2020 tarihleri arasında Konya ilinde yapılmıştır.

3.3. Araştırmanın Evreni

Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi'nde çalışma ortamında iyonize radyasyon maruziyeti olan (radyoloji, nükleer tıp, radyasyon onkolojisi, kardiyoloji, ortopedi, üroloji, gastroenteroloji) ve olmayan bölümlerde (acil tıp, adli tıp, ailehekimliği, anatomi, biyokimya, iç hastalıkları, enfeksiyon, fizyoloji, göğüs hastalıkları, halk sağlığı, kadın doğum, mikrobiyoloji, patoloji, pediatri, ruh sağlığı ve hastalıkları, spor hekimliği, tıbbi biyoloji) görev yapan çalışanlar oluşturmuştur.

3.4. Araştırmanın Örneklemi

Örneklem büyüklüğü, G-power programıyla bağımsız gruplarda t testi için orta etki büyüklüğü (0,5), %90 güç, %5 tip 1 hata ve grupların birbirine oranı 1 olacak şekilde en az 172 çalışan olarak hesaplanmıştır (Faul 2007, Faul 2009).

Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi'nde radyoloji, nükleer tıp, radyasyon onkolojisi, kardiyoloji, gastroenteroloji, ortopedi ve üroloji bölümlerinde radyasyona maruz kalan 199 çalışandan; birimlere göre ağırlıklandırılmış şekilde, tabakalı örnekleme yöntemi kullanılarak 86 çalışan, hastane başhekimliğinden alınan çalışan listeleri üzerinden basit rastgele örnekleme yöntemiyle seçilerek örnekleme dâhil edilmiştir. Radyasyona maruz kalan grupla benzer özelliklere (yaş, cinsiyet, sigara içme, alkol tüketme, kronik hastalık varlığı, antioksidan ürün kullanma, son bir yıl içinde tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyon maruziyeti) sahip radyasyona maruz kalmayan 86 çalışan örnekleme dâhil edilmiştir. Araştırmaya katılmayı kabul eden 172 katılımcıyla araştırma gerçekleştirilerek hesaplanan örneklem büyüklüğüne ulaşılmıştır.

3.5. Veri Toplama Araçları

Araştırmada veri toplama aracı olarak veri toplama formları (Ek-1, Ek-2) kullanılmıştır.

3.5.1. Veri Toplama Formu 1 (Ek-1)

Veri Toplama Formu 1 güncel literatür taranarak araştırmacı tarafından hazırlanmıştır ve 30 sorudan oluşmaktadır. İlk 8 maddede sağlık çalışanların sosyo-demografik özelliklerini (yaş, cinsiyet, boy, kilo, medeni durum, eğitim durumu, hane halkı sayısı, gelir durumu), 9-10.

maddelerde sigara ve alkol tüketme alışkanlıklarını, 11-15. maddelerde sağlık durumları ile ilgili özelliklerini (kronik hastalıklarını, düzenli ilaç ve antioksidan ürün kullanma durumlarını, tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyon maruziyetini), 16-24. maddelerde mesleklerini ve çalışma şartlarını, 23-29. maddelerde sahip oldukları, çocuklarının sağlık durumlarını ve üreme sağlığı durumlarını, 30. maddede sağlık yakınmalarını sorgulayan sorular yer almaktadır.

3.5.1. Veri Toplama Formu 2 (Ek-2)

Güncel literatür taranarak, araştırmacı tarafından hazırlanan Veri Toplama Formu 2, 20 sorudan oluşmaktadır. İyonize radyasyon kaynaklarının bulunduğu hastane bölümlerinde çalışan katılımcılara uygulanmıştır. Veri Toplama Formu 2’de; iyonize radyasyon maruziyeti olan sağlık çalışanlarının çalışma şartlarını, maruz kaldıkları iyonize radyasyon kaynağını, iyonize radyasyon kaynağına yönelik alınan önlemleri, çalışanların kişisel koruyucu ekipmanları ve kişisel dozimetrelerini kullanım sıklıklarını sorgulayan sorulara yer verilmiştir.

3.6. Verilerin Toplanması ve Araştırmanın Yürütülmesi

Katılımcılara çalıştıkları birimde ulaşılmıştır. Araştırmacı tarafından katılımcılara çalışma hakkında detaylı bilgi verilerek, sözlü onamları alınmıştır. İlk görüşmeden sonraki gün araştırmaya katılmayı kabul edenlerin yazılı onamları alındıktan sonra veri toplama formu uygulanmış ve sabah en az 8 saatlik açlık sonrası düz jelli, klot aktivatörlü tüplere 5 ml venöz kan örnekleri alınmıştır. COVID-19 (Koronavirüs Hastalığı 2019) pandemi sürecinde katılımcıları ve araştırmacıyı korumak için kişisel koruyucu donanım (cerrahi maske, FFP3 maske, eldiven, önlük) kullanılmış, veri toplama formları tek tek poşet dosyaya konularak el teması kurulmadan gözlem altında 7-8 dakikada uygulanmış, görüşme süreleri en fazla 15 dakikayla sınırlandırılmıştır.

Steril şartlarda alınan kan örnekleri düz biyokimya tüplerinde oda sıcaklığında 1000 g’de 10 dk santrifüj edilerek (Hettich Rotina 46R soğutmalı santrifüj cihazı), üstte kalan serum konik kapaklı mikrosantrifüj tüpüne alınarak -20 °C’de saklanmıştır. Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Biyokimya Laboratuvarı’nda ayrılan serumlarda tümör nekrozis faktör (TNF)- α , interleükin (IL)-10 serum seviyesi enzyeme-linked immuno-sorbent assay (ELISA) ile; toplam antioksidan durumu (TAS) ve toplam oksidan durumu (TOS) spektrofotometrik yöntemle ölçülmüştür (Erel 2004, Erel 2005). TOS’un TAS’a bölünmesiyle elde edilen Oksidatif stress indikatörü (OSİ) hesaplanmıştır (Selek 2007).

3.7 Etik Durum

Araştırma için Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Araştırmalar Etik Kurulu’ndan (Tarih: 07/02/2020, Sayı: 2020/2299) onay alındıktan sonra, araştırmanın Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi

Hastanesi'nde yürütülebilmesi için Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Başhekimliği'nden gerekli yazılı izin alınmıştır (Ek-3-4). Veri toplama işlemine geçilmeden önce, araştırmacı tarafından katılımcılara çalışma ve çalışmada kullanılacak veri toplama araçları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiş, sözlü ve yazılı onamları alınmıştır (Ek-5).

3.8 Araştırma Bütçesi

Çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından finanse edilmiştir (Proje No: 201518006).

3.9 Araştırmanın Bağımlı ve Bağımsız Değişkenleri

Necmettin Erbakan üniversitesi meram tıp fakültesi sağlık çalışanlarında mesleki iyonize radyasyon maruziyetinin etkilerini araştırmak için planlanan çalışmada bağımsız değişkenler; katılımcıların sosyo-demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, boy, kilo, medeni durum, eğitim durumu, hane halkı sayısı, gelir durumu), sağlık durumları ile ilgili özellikleri (kronik hastalıkları, düzenli ilaç ve antioksidan ürün kullanma durumları, tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyon maruziyeti), çalışma koşulları olarak belirlenmiştir. Bağımlı değişkenler; çocuklarının sağlık durumları, üreme sağlığı durumları, sağlık yakınmaları, oksidatif stres ve inflamasyon biyogöstergeleri olarak kabul edilmiştir.

3.10 Değişkenlerin Ölçümü ve Hesaplanması

3.10.1 Toplam Antioksidan Durum Ölçümü

TAS ölçümü Bioassay marka ticari kit ile yapılmıştır (Bioassay, China).

Test çalışma prensibi: Numunedeki antioksidanlar koyu mavi-yeşil renkli 2,2'-azino-bis (3-etilbenz-thiazoline-6-sulfonik asid) (ABTS) radikal solüsyonunu, renksiz ABTS formuna çevirir. Toplam antioksidan miktarı 660 nm absorbansdaki değişimle ilişkilidir. Sonuçlar mmol Trolox Ekvale/L olarak verilmiştir. Kitin kalibrasyonu stabil antioksidan standardı (E vitamini benzeri Trolox Equivalent) ile yapılır.

Bileşenler:

Tüm reaktifler ve standartlar kullanıma hazırdır.

İçerik	Konsantrasyon
Rekatif 1	Tampon çözelti
	Asetat tampon 0,4 mol/L pH 5,8
Reaktif 2	Prokromojen Çözeltisi
	ABTS 30 mmol/L
Standart	Trolox 1 mmol/L
QC Level 1	Trolox 0,5 mmol/L
QC Level 2	Trolox 2,0 mmol/L

Numune Çalışılması: Numuneler Bioassay kiti ile Bio-rad Mikroplate absorbans okuyucu xMark (Bio-rad Laboratories, California, ABD) cihazında tam otomatik olarak çalışılmıştır. Otomatik cihaz tarafından Reaktif 1'den 300 µl, numuneden 18 µl alınarak küvet içinde karıştırılıp 30 saniye sonra ilk okuma 660 nm'de yapılmıştır. Sonrasında Reaktif 2'den 45 µl karıştırılarak inkübatörde 5 dk bekletilip ikinci okuma 660 nm'de yapılmıştır.

3.10.2 Toplam Oksidan Durum Ölçümü

TOS ölçümü Andygene marka ticari kit ile yapılmıştır (Andygene, China).

Test çalışma prensibi: Numunedeki oksidanlar ferrik iyonla tümleşik ferröz iyon-iyon-o-dianisidine kompleksini oksitler. Oksidasyon reaksiyonu reaksiyon ortamında bol miktarda bulunan çoğaltan moleküller ile prolone edilir ve ferrik iyon asidik ortamda kromojen ile renkli bir bileşik oluşturur. Spektrofotometrede ölçülen rengin koyuluğu numunedeki oksidan moleküllerinin toplam miktarını verir. Kitin kalibrasyonu hidrojen peroksit ile yapılır, sonuçlar litre başına düşen mikromol hidrojen peroksit eşivalanı olarak verilir (µmol H₂O₂ Equivalent /L).

Bileşenler:

Tüm reaktifler ve standartlar kullanıma hazırdır.

İçerik	Konsantrasyon
Reaktif 1	Tampon çözelti
	H ₂ SO ₄ 25 mM pH 1,75
Reaktif 2	Substrat Çözeltisi
	H ₂ SO ₄ 25 mM pH 1,75
	Ferröz iyon 5 mM
	O-dianisidine 10 nM
Standart	H ₂ O ₂ 10 µmol/L
QC Level 1	H ₂ O ₂ 5 µmol/L
QC Level 2	H ₂ O ₂ 20 µmol/L

Numune Çalışılması: Numuneler Andygene kiti ile Bio-rad Mikroplate absorbans okuyucu xMark (Bio-rad Laboratories, California, ABD) cihazında tam otomatik olarak çalışılmıştır. Otomatik cihaz tarafından Reaktif 1'den 300 µl, numuneden 45 µl alınarak küvet içinde karıştırılıp 30 saniye sonra ilk okuma 530 nm'de yapılmıştır. Ardından reaktif 2'den 15 µl karıştırılarak inkübatörde 5 dk bekletilip ikinci okuma 530 nm'de yapılmıştır.

3.10.3 Oksidatif Stres İndeksi Hesaplaması

TOS'un TAS'a bölünmesiyle elde edilen oksidatif stress indikatörü ($OSI = ((TOS/1000)/TAS) * 100$) hesaplanmıştır (Selek 2007).

3.10.4 Tümör Nekrozis Faktör-Alfa Seviyesi Ölçümü

TNF- α ölçümü Andygene marka ticari kit ile yapılmıştır (Andygene, China).

Test çalışma prensibi: Bu kit ELISA yöntemiyle çalışır. Plaka, insan TNF- α antikoruna ile önceden kaplanır. Numuneler plaka oyuklarına eklenir ve örneklerdeki TNF- α spesifik antikor ile birleşir. Daha sonra, insan TNF- α 'ya özgü biyotinlenmiş saptama antikoruna ve Avidin-Horseradish Peroksidaz (HRP) konjugatı her bir mikro plakaya arka arkaya eklenir ve inkübe edilir. Serbest bileşenler yıkanarak, substrat solüsyonu ilave edilir. İnsan TNF- α , biyotinlenmiş saptama antikoruna ve Avidin-HRP konjugatı içeren kuyucuklar mavi renkte görünür. Enzim-substrat reaksiyonu, durdurma çözeltisinin eklenmesiyle sona erdirilir ve renk sarıya döner. Optik yoğunluk 450 ± 2 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülür. Optik yoğunluk değeri insan TNF- α konsantrasyonu ile orantılıdır.

Bileşenler:

Tüm reaktifler ve standartlar kullanıma hazırdır.

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Kaplamalı ELISA plakası	12 Kuyulu*8 Tüp	Yıkama konsantresi (30X)	20 ml
Standart çözeltisi	0,5 ml	Talimat	1
Standart dilüsyon	1,5 ml	Plaka kapatıcı	2
Kromojen çözeltisi A	6 ml	Örnek Seyreltici	6 ml
Kromojen çözeltisi B	6 ml	Stop çözeltisi	6 ml
HRP-Konjugat reaktifi	6 ml	Sızdırmaz torba	1

3.10.5 İnterlökin-10 Seviyesi Ölçümü

IL-10 ölçümü Andygene marka ticari kit ile yapılmıştır (Andygene, China).

Test çalışma prensibi: Bu kit ELISA yöntemiyle çalışır. Plaka, insan IL-10 antikoruna ile önceden kaplanmıştır. Numuneler plaka oyuklarına eklenir ve örneklerdeki IL-10 spesifik antikor ile birleşir. Daha sonra, insan IL-10'a özgü biyotinlenmiş saptama antikoruna ve Avidin-Horseradish Peroksidaz (HRP) konjugatı her bir mikro plakaya arka arkaya eklenir ve inkübe edilir. Serbest bileşenler yıkanarak, substrat solüsyonu ilave edilir. İnsan IL-10, biyotinlenmiş saptama antikoruna ve Avidin-HRP konjugatı içeren kuyucuklar mavi renkte görünür. Enzim-substrat reaksiyonu, durdurma çözeltisinin eklenmesiyle sona erdirilir ve renk sarıya

döner. Optik yoğunluk 450 ± 2 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülür. Optik yoğunluk değeri insan IL-10 konsantrasyonu ile orantılıdır.

Bileşenler:

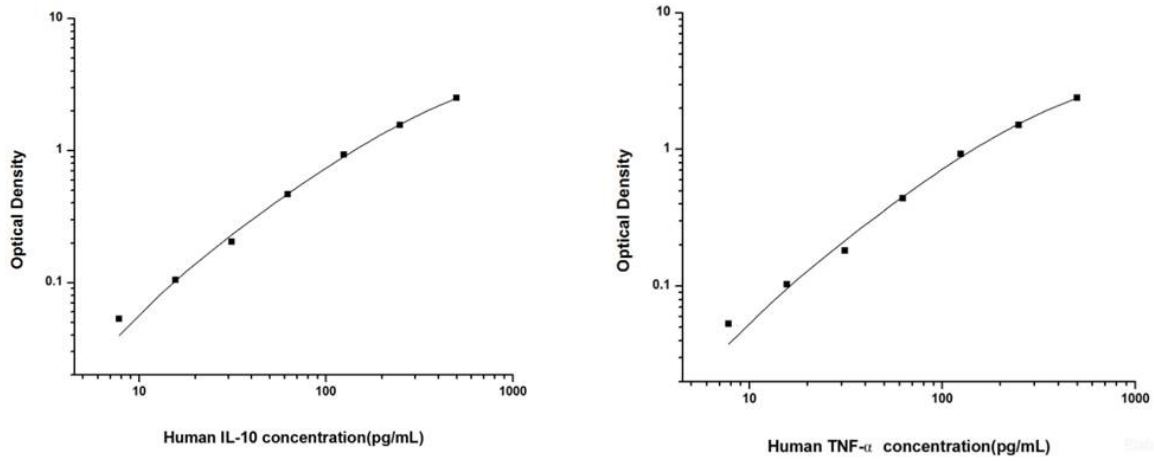
Tüm reaktifler ve standartlar kullanıma hazırdır.

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Kaplamalı ELISA plakası	12 Kuyulu*8 Tüp	Yıkama konsantresi (30X)	20 ml
Standart çözeltisi	0,5 ml	Talimat	1
Standart dilüsyon	1,5 ml	Plaka kapatıcı	2
Kromojen çözeltisi A	6 ml	Örnek Seyreltici	6 ml
Kromojen çözeltisi B	6 ml	Stop çözeltisi	6 ml
HRP-Konjugat reaktifi	6 ml	Sızdırmaz torba	1

Numune TNF- α ve IL-10 Çalışılması: Çalışmaya başlamadan önce -20 °C’de saklanan serum örnekleri oda ısısına gelene kadar bekletilmiştir. Çözünen her bir serum, büyük moleküler ağırlıktaki maddelerin uzaklaştırılması amacıyla Millipore microcon santrifüj filtrelerinden (cut off 10.000) geçirilmiştir. Her bir serum 2 mL’lik filtrelere konularak 14.000 rpm’de 10 dakika santrifüj edilmiştir.

1. Primer antikorlar primer antikor çözeltisiyle sulandırılarak, tamamen çözülmesi sağlanmıştır.
2. Plaka diyagramında gösterildiği gibi, kuyucuk başına 50 μ l numune veya standart eklenmiştir.
3. Her bir kuyucuğa, 50 μ l sulandırılmış primer antikor eklenmiştir.
4. Plaka yapışkan bir şeritle kapatıldı ve sonra 4 °C’ de bir gece inkübasyona bırakılmıştır.
5. Plakalar Elx 50 yıkama ünitesinde 250 μ L Wash Buffer ile 3 kez yıkanmıştır.
6. 100 μ L seyreltilmiş sekonder antikor her bir kuyucuğa eklenmiştir.
7. Plakalar sızdırmaz yapışkan bir şeritle kapatılıp, iki yana hafifçe sallanarak uygun şekilde karışması sağlanmıştır.
8. Oda sıcaklığında 1 saat inkübasyona bırakılmıştır.
9. Plakalar Elx 50 yıkama ünitesi ile 3 kez yıkanmıştır.
10. Enzim substrat çözeltisi, seyreltici çözeltinin 100 katı hacminde sulandırılmıştır. Kuyucuk başına sulandırılmış enzim substratından 100 μ l eklenmiştir. Plaka sallanarak çözeltinin karışması sağlanmıştır. Plaka alüminyum folyo ile kaplanarak, karanlıkta ve oda sıcaklığında 15 dakika inkübasyona bırakılmıştır.
11. 100 μ L bitirme solüsyonu eklenmiştir. Plak sallanarak karışması sağlanmıştır.

12. Ölçüm 450 nm absorbansta Elx 800 cihazında (Bio Tek Instruments) yapılmıştır.
13. Standart eğri ELISA kiti içinde mevcut olan standardize edilmiş örneklerden elde edilmiştir.



Şekil 3.1: IL-10 ve TNF- α Standart Kalibrasyon Eğrisi

3.11 Verilerin Analizi

Çalışma sonucu elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak istatistiksel analiz için SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programı kullanılmıştır.

Tanımlayıcı analizlerde kategorik veriler sayı (n) ve yüzde (%) olarak gösterilirken, sayısal veriler aritmetik ortalama $\pm$ standart sapma (ss), kullanılarak özetlenmiştir.

Verilerin merkezi limit teoremine göre normal dağıldığı kabul edilmiştir (Dawson-Saunders 1990, Akgül 2003). Kategorik verilerin karşılaştırılmasında ki-kare (χ^2) testi ve Fisher'in kesin ki-kare testi, sayısal verilerin karşılaştırılmasında ise Student t testi (t tablo istatistiği) kullanılmıştır. Radyasyonlu alanda çalışanlarda TOS, TAS ve OSİ ile radyasyonlu alanda çalışma süreleri (yıl) arasındaki ilişkinin incelenmesinde Pearson korelasyon testi kullanılmıştır. Korelasyon ilişkileri aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilmiştir (Hayran 2011).

R	İlişki
0,05-0,30	Düşük veya önemsiz korelasyon
0,30-0,40	Düşük-orta derecede korelasyon
0,40-0,60	Orta derecede korelasyon
0,60-0,70	İyi derecede korelasyon
0,70-0,75	Çok iyi derecede korelasyon
0,75-1,00	Mükemmel korelasyon

İyonize radyasyonun neden olduğu oksidatif stres ve inflamasyonu öngörmek için serum TAS, TOS, OSİ, TNF- α , IL-10 biyogösterlerinin sensitivite, spesifisite ve kesme değeriinin incelenmesinde receiver operating characteristics (ROC) analizi kullanılmıştır.

Analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.



4. BULGULAR

4.1 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Sosyo-Demografik Özellikleri

Necmettin Erbakan Üniversitesi (NEÜ) Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde yürütülen bu çalışmaya radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan kişi sayısı eşit alınarak toplam 172 kişi dahil edildi.

Radyasyonlu alanda çalışanların %64,0'ı evli, %26,7'si bekar, %8,1'i boşanmış, %1,2'si dul iken; radyasyonlu alanda çalışmayanların %70,9'u evli, %26,7'si bekar, %2,3'ü boşanmıştı.

Katılımcıların eğitim durumlarına bakıldığında radyasyonlu alanda çalışanların %15,1'i yüksek lisans/doktora mezunu, %67,4'ü üniversite mezunu, %10,5'i lise mezunu, %4,7'si ortaokul mezunu, %2,3'ü ilkokul mezunuydu. Radyasyonlu alanda çalışmayanların ise %5,8'i yüksek lisans/doktora mezunu, %72,1'i üniversite mezunu, %14,0'ı lise mezunu, %3,5'i ortaokul mezunu, %4,7'si ilkokul mezunuydu.

Hane halkı kişi sayısı ortalamaları radyasyonlu alanda çalışanlarda $3,47 \pm 1,46$, radyasyonlu alanda çalışmayanlarda $3,18 \pm 1,34$ 'di.

Aylık gelir durumuna göre incelendiğinde radyasyonlu alanda çalışanların aylık gelir ortalaması $8.020,69 \pm 4.218,94$ ₺ (1.116,39 \$), radyasyonlu alanda çalışmayanların ise $10.431 \pm 5.787,27$ ₺ (1.449,94 \$) idi.

Katılımcıların beden kitle indeksleri ortalamaları radyasyonlu alanda çalışanlarda $26,20 \pm 3,38$ kg/m², radyasyonlu alanda çalışmayanlarda $25,35 \pm 3,92$ kg/m² hesaplandı.

Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan sağlık çalışanları sosyo-demografik özelliklerine göre karşılaştırıldığında; medeni durum, eğitim durumu, hane halkı kişi sayısı, beden kitle indeksi için gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark yoktu ($p > 0,05$). Ancak gelir durumuna göre incelendiğinde; radyasyonlu alanda çalışmayanların gelir durumu radyasyonlu alanda çalışanlardan daha yüksek bulundu ve gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı tespit edildi ($p < 0,05$).

Katılımcıların gruplara göre sosyo-demografik özellikleri ve karşılaştırmaları Tablo 4.1'de sunuldu.

Tablo 4.1: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Sosyo-Demografik Özellikleri (Konya, 2021)

		Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)	χ^2	p
		n (%)	n (%)		
Medeni durum	Evli	55 (64,0)	61 (70,9)	0,953	0,329
	Bekar/Boşanmış/Dul	31 (36,0)	25 (29,1)		
Eğitim durumu	Lise ve altı	15 (17,4)	19 (22,1)	0,587	0,444
	Üniversite ve üzeri	71 (82,6)	67 (77,9)		
		Ortalama $\pm$ ss	Ortalama $\pm$ ss	t	p
Hane halkı kişi sayısı		3,47 $\pm$ 1,46	3,18 $\pm$ 1,34	1,359	0,176
Gelir durumu		8.020,69 $\pm$ 4218,94	10.431 $\pm$ 5787,27	3,122	0,002
BKİ		26,20 $\pm$ 3,38	25,35 $\pm$ 3,92	1,515	0,132

4.2 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Benzer Alınan Sosyo-Demografik, Sigara-Alkol Kullanma Durumları ve Sağlık Durumu Özellikleri

Benzer alınan sosyo-demografik özelliklerden cinsiyete göre gruplar incelendiğinde; radyasyonlu alanda çalışanların %50,0'si erkek, %50,0'si kadındı. Radyasyonlu alanda çalışmayanların ise %41,9'u erkek, %58,1'i kadındı.

Radyasyonlu alanda çalışanlarda yaş ortalamaları 35,91 $\pm$ 7,07, radyasyonlu alanda çalışmayanlarda 34,96 $\pm$ 8,25 bulundu.

Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcıların sigara kullanma durumları incelendiğinde radyasyonlu alanda çalışanlarda sigara kullanan 30 kişi (%34,9), sigara kullanmayan 56 kişi (%65,1) ve radyasyonlu alanda çalışmayanlarda sigara kullanan 26 kişi (%30,2), sigara kullanmayan 60 kişi (%69,8) olduğutespit edildi. Sigara içme süresi ortalaması, radyasyonlu alanda çalışanlarda ve sigara içenlerde 10,97 $\pm$ 5,50 paket/yıl, radyasyonlu alanda çalışmayanlarda ve sigara içenlerde 9,63 $\pm$ 6,59 paket/yıl olarak hesaplandı.

Alkol kullanma durumları incelendiğinde radyasyonlu alanda çalışanların %9,3'ü alkol tükettiğini, %90,7'si alkol tüketmediğini belirtirken; radyasyonlu alanda çalışmayanların %4,7'si alkol tükettiğini, %95,3'ü alkol tüketmediğini belirtti.

Katılımcıların sağlık durumu özellikleri olarak; radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcılarda kronik hastalık varlığı, düzenli ilaç kullanımı, antioksidan ürün takviyesi kullanımı ve son bir yıl içinde tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyon maruziyeti incelendi.

Radyasyonlu alanda çalışanların %30,2'sinin kronik hastalığı olduğu, %69,8'inin kronik hastalığı olmadığı; radyasyonlu alanda çalışmayanların %29,1'inin kronik hastalığı olduğu, %70,9'unun kronik hastalığı olmadığı tespit edildi. Radyasyonlu alanda çalışan ve

kronik hastalığı olan katılımcıların kronik hastalıklarının var olma süresi ortalaması $8,71 \pm 8,58$ yıl, radyasyonlu alanda çalışmayanlarda ve kronik hastalığı olanlarda $7,36 \pm 6,77$ yıl olarak gösterildi.

Radyasyonlu alanda çalışanlarda ve çalışmayanlarda düzenli ilaç kullanan 22 kişi (%25,6), kullanmayan 64 kişi (%74,4) vardı.

Radyasyonlu alanda çalışanlarda antioksidan ürün takviyesi kullanan 10 kişi (%11,6), kullanmayan 76 kişi varken; radyasyonlu alanda çalışmayanlarda antioksidan ürün takviyesi kullanan 9 kişi (%10,5), kullanmayan 77 kişi (%89,5) vardı.

Radyasyonlu alanda çalışanların %40,7'sinin tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyona maruz kaldığı, %58,3'ü tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyona maruz kalmadığı ortaya konuldu. Radyasyonlu alanda çalışmayanların ise %30,2'sinin tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyona maruz kaldığı, %69,8'inin tıbbi tanı ve tedavi amacıyla radyasyona maruz kalmadığı gösterildi.

Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcılar cinsiyet, yaş, sigara-alkol kullanma durumu ve sağlık durumu özellikleri açısından karşılaştırıldığında gruplar istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($p > 0,05$). Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcıların cinsiyet, yaş, sigara-alkol kullanma durumu ve sağlık durumu özelliklerine göre dağılımları ve karşılaştırmaları ayrıntılı olarak Tablo 4.2'te sunulmuştur.

Tablo 4.2: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Benzer Alınan Sosyo-Demografik Özellikleri, Sigara-Alkol Kullanma Durumları ve Sağlık Durumu Özellikleri Dağılımı (Konya, 2021)

		Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)	χ^2	p
		n (%)	n (%)		
Cinsiyet	Erkek	43 (50,0)	36 (41,9)	1,147	0,284
	Kadın	43 (50,0)	50 (58,1)		
Sigara	Kullanan	30 (34,9)	26 (30,2)	0,424	0,515
	Kullanmayan	56 (65,1)	60 (69,8)		
Alkol	Tüketen	8 (9,3)	4 (04,7)	1,433	0,231
	Tüketmeyen	78 (90,7)	82 (95,3)		
Kronik hastalığı	Olan	26 (30,2)	25 (29,1)	0,028	0,867
	Olmayan	60 (69,8)	61 (70,9)		
Düzenli ilaç kullanımı	Kullanan	22 (25,6)	22 (25,6)	0,000	1,000
	Kullanmayan	64 (74,4)	64 (74,4)		
Antioksidan ürün takviyesi	Kullanan	10 (11,6)	9 (10,5)	0,059	0,808
	Kullanmayan	76 (88,4)	77 (89,5)		
Tıbbi radyasyon maruziyeti	Olan	35 (40,7)	26 (30,2)	2,058	0,151
	Olmayan	51 (58,3)	60 (69,8)		

Tablo 4.2 (Devamı): NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Benzer Alınan Sosyo-Demografik Özellikleri, Sigara-Alkol Kullanma Durumları ve Sağlık Durumu Özellikleri Dağılımı (Konya, 2021)

	Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)	t	p
	Ortalama±ss (yıl)	Ortalama±ss (yıl)		
Yaş	35,91±7,07	34,96±8,25	0,813	0,417
Sigara içme süresi	10,97±5,50*	9,63±6,59**	0,833	0,408
Kronik hastalık süresi	8,71±8,58***	7,36±6,77****	0,622	0,537

* Radyasyonlu alanda çalışan ve sigara kullanan katılımcılar değerlendirildi (n=30).

** Radyasyonlu alanda çalışmayan ve sigara kullanan katılımcılar değerlendirildi (n=26).

*** Radyasyonlu alanda çalışan ve kronik hastalığı olan katılımcılar değerlendirildi (n=26).

**** Radyasyonlu alanda çalışmayan ve kronik hastalığı olan katılımcılar değerlendirildi (n=25).

Radyasyonlu alanda çalışanların en fazla belirttiği kronik hastalıkları; anemi, astım, tiroid hastalıkları, koroner arter hastalığı, diabetes mellitus, romatoid artritir. Radyasyonlu alanda çalışmayanların en fazla belirttiği kronik hastalıkları ise; astım, deri hastalıkları, aritmi, tiroid hastalıkları, ankilozan spondilit, diabetes mellitus, hipertansiyondur. Katılımcıların gruplara göre kronik hastalıkları Tablo 4.3'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 4.3: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Kronik Hastalıkları (Konya, 2021)

Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=26*)				Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=25*)			
Kronik hastalık	n	Kronik hastalık	n	Kronik hastalık	n	Kronik hastalık	n
Anemi	3	Hipertansiyon	1	Astım	8	Behçet	1
Astım	3	Deri hastalıkları	1	Deri hastalıkları	5	Hepatit B	1
Tiroid hastalıkları	3	IgA nefriti	1	Aritmi	3	Migren	1
Koroner arter hastalığı	3	Mitral yetmezlik	1	Tiroid hastalıkları	3	Polikistik over sendromu	1
Gut	3	Multipl skleroz	1	Ankilozan spondilit	2	Polisitemi	1
Diabetes mellitus	2	Perikardit	1	Diabetes mellitus	2	Behçet	1
Romatoid artrit	2	Hiperkolesterol	1	Hipertansiyon	2	Hepatit B	1
Aritmi	1	Vertigo	1	Ailevi akdeniz ateşi	1	Migren	1
Ailevi akdeniz ateşi	1	Alerjik rinokonjunktivit	1	Anemi	1	Polikistik over sendromu	1

* Katılımcılarda birden fazla kronik hastalığı olanlar vardır.

Radyasyonlu alanda çalışanların kullandıkları antioksidan ürünler; multi-vitamin, D vitamini, magnezyum, B vitamini, C vitamini, beta-glukan, biotin, kalsiyumdur. Radyasyonlu

alanda çalışmayanların kullandıkları antioksidan ürünler ise; multi-vitamin, C vitamini, B vitamini, D vitamini. Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcıların kullandıkları antioksidan ürünlerin ayrıntıları Tablo 4.4'te gösterildi.

Tablo 4.4: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Kullandıkları Antioksidan Ürünler (Konya, 2021)

Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=9*)		Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=10*)	
Antioksidan ürün	n	Antioksidan ürün	n
B vitamini	2	Beta-glukan	1
C vitamini	2	Magnezyum	3
D vitamini	4	Biotin	1
Multi-vitamin	4	Kalsiyum	1
		Multi-vitamin	6

* Birden fazla antioksidan ürün kullanan katılımcı vardır.

4.3 Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Meslekleri ve Çalıştıkları Birimler

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %15,1'i doktor, %23,3'ü hemşire/sağlık memuru, %46,5'i teknisyen, %1,2'si biyolog, %1,2'si tıbbi sekreter, %7'si hizmetliydi. Radyasyonlu alanda çalışmayanların %50,0'ı doktor, %16,3'ü hemşire/sağlık memuru, %5,8'i teknisyen, %2,3'ü biyolog, %12,8'i tıbbi sekreter, %12,8'i hizmetliydi (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Meslek Gruplarına Göre Dağılımı (Konya, 2021)

Meslek	Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)
	n (%)	n (%)
Doktor	13 (15,1)	43 (50,0)
Hemşire/Sağlık	20 (23,3)	14 (16,3)
Teknisyen	40 (46,5)	5 (5,8)
Biyolog	1 (1,2)	2 (2,3)
Tıbbi sekreter	1 (1,2)	11 (12,8)
Hizmetli	6 (7,0)	11 (12,8)
Fizikçi	4 (4,7)	
Kimyager	1 (1,2)	

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %40,7'si radyoloji, %11,6'sı nükleer tıp, %14,0'ı radyasyon onkolojisi, %10,5'i kardiyoloji, %11,6'sı ortopedi, %8,1'i üroloji, %3,5'i gastroenteroloji birimlerinde görev aldıkları saptandı (Tablo 4.17).

Radyasyonlu alanda çalışmayan katılımcıların görev yaptıkları birimler; acil tıp, adli tıp, aile hekimliği, anatomi, biyokimya, iç hastalıkları, enfeksiyon, fizyoloji, göğüs hastalıkları, halk sağlığı, kadın doğum, mikrobiyoloji, patoloji, pediatri, ruh sağlığı ve hastalıkları, spor hekimliği, ve tıbbi biyolojidir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Görev Yaptıkları Birimlere Göre Dağılımı (Konya, 2021)

Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)		Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)			
Birim	n (%)	Birim	n (%)	Birim	n (%)
Radyoloji	35 (40,7)	Acil tıp	2 (2,3)	Halk sağlığı	7 (8,1)
Nükleer tıp	10 (11,6)	Adli tıp	7 (8,1)	Kadın doğum	2 (2,3)
Radyasyon onkolojisi	12 (14,0)	Aile hekimliği	10 (11,6)	Mikrobiyoloji	3 (3,5)
Kardiyoloji	9 (10,5)	Anatomi	4 (4,7)	Patoloji	3 (3,5)
Ortopedi	10 (11,6)	Biyokimya	3 (3,5)	Pediatri	10 (11,6)
Üroloji	7 (8,1)	İç hastalıkları	13 (15,1)	Ruh sağlığı ve hastalıkları	4 (4,7)
Gastroenteroloji	3 (3,5)	Enfeksiyon	6 (7,0)	Spor hekimliği	2 (2,4)
		Fizyoloji	4 (4,7)	Tıbbi biyoloji	2 (2,3)
		Göğüs hastalıkları	4 (4,7)		

4.4 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çalışma Koşulları

Radyasyonlu alanda çalışanların %69,8'i memur, %30,2'si sözleşmeli olarak istihdam edilirken, radyasyonlu alanda çalışmayanların %73,3'ü memur, %26,7'si sözleşmeli olarak istihdam ediliyordu ve gruplar arasında istatistiksel olarak fark yoktu ($p>0,05$, Tablo 4.7).

Tablo 4.7: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların İstihdam Biçimi (Konya, 2021)

	Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)	χ^2	p
	n (%)	n (%)		
Memur	60 (69,8)	63 (73,3)	0,257	0,612
Sözleşmeli	26 (30,2)	23 (26,7)		

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcılarda mesleklerini icra ettikleri sürelerin ortalaması $12,06 \pm 7,37$ yıl, radyasyon kaynakları ile çalışma süreleri ortalaması $9,80 \pm 7,18$ yıl, günlük çalışma süreleri ortalaması $8,07 \pm 2,04$ saat, haftalık çalışma süreleri ortalaması $41,59 \pm 9,88$ saattir. Radyasyonlu alanda çalışmayan katılımcılarda mesleklerini icra ettikleri sürelerin ortalaması $10,45 \pm 8,46$ yıl, günlük çalışma süreleri ortalaması $8,48 \pm 1,31$ saat,

haftalık çalışma süreleri ortalaması $47,70 \pm 17,42$ saattir. İki grup arasında haftalık çalışma süreleri arasında istatistiksel olarak fark varken ($p < 0,05$); günlük çalışma saatleri ve mesleklerini icra ettikleri süre bakımından istatistiksel olarak fark yoktu ($p > 0,05$) (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çalışma Süreleri (Konya, 2021)

Çalışma süreleri	Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)	t	p
	Ortalama $\pm$ ss	Ortalama $\pm$ ss		
Meslek icra süresi (yıl)	12,06 $\pm$ 7,37	10,45 $\pm$ 8,46	1,325	0,187
Radyasyon kaynakları ile çalışma süresi (yıl)	9,80 $\pm$ 7,18	-		
Günlük çalışma saati	8,07 $\pm$ 2,04	8,48 $\pm$ 1,31	-1,574	0,117
Haftalık çalışma saati	41,59 $\pm$ 9,88	47,70 $\pm$ 17,42	-2,831	0,005

Radyasyonlu alanda çalışanların %58,1'i mesai usulü, %41,9'u nöbet usulü çalışırken; radyasyonlu alanda çalışmayanların %69,8'i mesai usulü, %30,2'si nöbet usulü çalışıyordu. İki grup arasında çalışma stilleri açısından istatistiksel olarak fark yoktu ($p > 0,05$, Tablo 4.9).

Tablo 4.9: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çalışma Stilleri (Konya, 2021)

		Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)	χ^2	p
		n (%)	n (%)		
Çalışma stili	Mesai	50 (58,1)	60 (69,8)	2,522	0,112
	Nöbet	36 (41,9)	26 (30,2)		

4.5 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Özellikleri

4.5.1 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılarda İyonize Radyasyon Maruziyeti Oluşturan Radyasyon Kaynakları

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcılarda iyonize radyasyon maruziyeti oluşturan radyasyon kaynakları röntgen cihazı (%19,8), kemik dansitometri cihazı (%1,2), bilgisayarlı tomografi (%9,3), pozitron emisyon tomografisi (%8,1), radyoizotoplar (%3,5), lineer hızlandırıcı (%14,0), anjiyografi (%14,0), skopi (%26,7), endoskopik retrograd kolanjiopankreatografi (%3,5) idi (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılarda İyonize Radyasyon Maruziyeti Oluşturan Radyasyon Kaynakları (Konya, 2021)

n=86		n (%)
İyonize Radyasyon Kaynakları	Röntgen cihazı	17 (19,8)
	Kemik dansitometri cihazı	1 (1,2)
	Bilgisayarlı tomografi	8 (9,3)
	Pozitron emisyon tomografisi	7 (8,1)
	Radyoizotoplar	3 (3,5)
	Lineer hızlandırıcı	12 (14,0)
	Anjiyografi	12 (14,0)
	Skopi	23 (26,7)
	Endoskopik retrograd kolanjiopankreatografi	3 (3,5)

4.5.2 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonize Radyasyon Maruziyet Şekli

Radyasyonlu alanda çalışanlarda iyonize radyasyon kaynakları ile ağırlıklı maruziyet şekli; doğrudan el, cilt teması ile %32,6 ve dışardan ışına maruziyet ile %67,4 olarak tespit edildi (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışanların İyonize Radyasyon Kaynakları İle Ağırlıklı Maruziyet Şekli (Konya, 2021)

n=86		n (%)
Maruziyet Şekli	Doğrudan el, cilt teması	28 (32,6)
	Dışardan ışına maruziyet	58 (67,4)

4.5.3 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Çalıştıkları Radyasyon Alanları

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcılara çalıştıkları radyasyon alanları sorulduğunda; %66,3'ü denetimli alanda, %8,1'i gözetimli alanda, %3,5'i hiçbir, %22,1'i bilmiyorum cevabını verdi (Tablo 4.12).

Tablo 4.12: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Görev Yaptıkları Radyasyon Alanları (Konya, 2021)

n=86		n (%)
Radyasyon alanları	Denetimli alan	57 (66,3)
	Gözetimli alan	7 (8,1)
	Hiçbiri	3 (3,5)
	Bilmiyorum	19 (22,1)

4.5.4 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Şua İzni Kullanma Durumları ve Şua İzni Kullanmama Nedenleri

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %54,7'sinin şua izni kullandığı, %45,3'ünün şua izni kullanmadığı belirlendi. Şua izni kullanmama nedenleri olarak; %15,1'i radyasyon görevlisi şartlarını taşımadığı için şua izni kullanamadığını, %33,3'ü izin kullandıklarında ek ödemelerinin kesintiye uğraması nedeniyle şua izni kullanmadığını, %2,6'sı personel eksikliği nedeniyle şua izni kullanamadığını, %53,8'i bilmediğini belirtti (Tablo 4.13).

Tablo 4.13: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Şua İzni Kullanma Durumları ve Şua İzni Kullanmama Nedenleri (Konya, 2021)

n=86		n (%)
Şua izni	Kullanan	47 (54,7)
	Kullanmayan	39 (45,3)
Şua izni kullanmama nedenleri (n=39)	İzin vermemeleri	13 (33,3)
	Para kesintisi	4 (10,3)
	Personel eksikliği	1 (2,6)

4.5.5 Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Yolları Hakkındaki Bilgi Kaynakları ve İyonlaştırıcı Radyasyonla Çalışanların Haklarını Bilme Durumları

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %54,7'si hizmet içi eğitim aldığını belirtirken, %45,3'ü almadığını belirtti. Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların iyonlaştırıcı radyasyon ve korunma yolları hakkındaki bilgilerini; %32,7'si eğitim öğretim sürecinde, %30,2'si hizmet içi eğitimde, %22,1'i iş arkadaşlarından, %4,7'si medya ve internetten, %2,3'ü kongre/sempozyumdan edindiği ortaya kondu ve %3,5'inin bilgi almadığı bulundu. Katılımcıların %60,5'inin iyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların haklarını bildiği, %39,5'inin bilmediği gösterildi (Tablo 4.14).

Tablo 4.14: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Yolları Hakkındaki Bilgi Kaynakları ve İyonlaştırıcı Radyasyonla Çalışanların Haklarını Bilme Durumları (Konya, 2021)

(n=86)		n (%)
Hizmet içi eğitim	Alan	47 (54,7)
	Almayan	39 (45,3)
Bilgi aldıkları kaynaklar	Eğitim öğretim süreci	31 (36,0)
	Hizmet içi eğitim	26 (30,2)
	İş arkadaşları	20 (23,3)
	Medya ve internet	4 (4,7)
	Kongre, sempozyum	2 (2,3)
	Bilgi almadım	3 (3,5)

Tablo 4.14 (Devamı): NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Yolları Hakkındaki Bilgi Kaynakları ve İyonlaştırıcı Radyasyonla Çalışanların Haklarını Bilme Durumları (Konya, 2021)

(n=86)		n (%)
İyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların hakları	Biliyorum	52 (60,5)
	Bilmiyorum	34 (39,5)

4.5.6 İyonlaştırıcı Radyasyona Yönelik Alınan Önlemlerin Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi

İyonlaştırıcı radyasyonun risklerini azaltmaya yönelik alınan önlemleri; radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %3,5'i kesinlikle yeterli, %24,4'ü yeterli, %39,5'i ne yeterli ne yetersiz, %25,6'sı yetersiz, %7,0'ı kesinlikle yetersiz bulunduğunu belirtti (Tablo 4.15).

Tablo 4.15: İyonlaştırıcı Radyasyonun Risklerini Azaltmaya Yönelik Alınan Önlemlerin NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi (Konya, 2021)

n=86	n (%)
Kesinlikle yeterli	3 (3,5)
Yeterli	21 (24,4)
Ne yeterli ne yetersiz	34 (39,5)
Yetersiz	22 (25,6)
Kesinlikle yetersiz	6 (7,0)

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %62,8'i çalıştığı ortamda iyonize radyasyona yönelik özel havalandırma sistemi olduğunu belirtirken, %23,3'ü olmadığını belirtti. Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %14,0'ı ise özel havalandırma sisteminin varlığı hakkında bilgisi yoktu (Tablo 4.16).

Tablo 4.16: Çalıştıkları Alanda İyonize Radyasyona Yönelik Özel Havalandırma Sistemi Varlığının NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi (Konya, 2021)

n=86	n (%)
Var	54 (62,8)
Yok	20 (23,3)
Bilmiyorum	12 (14,0)

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %74,4'ü çalıştığı birimdeki iyonlaştırıcı radyasyon yayan cihazların kalibrasyonunun ve kontrolünün düzenli yapıldığını belirtirken,

%7,0'si düzenli yapılmadığını belirtti. Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların iyonlaştırıcı radyasyon yayan cihazların kalibrasyonunun ve kontrolünün yapılması hakkında %18,6'sının bilgisinin olmadığı tespit edildi (Tablo 4.17).

Tablo 4.17: İyonlaştırıcı Radyasyon Yayan Cihazların Kalibrasyon ve Kontrol Düzeninin NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesi (Konya, 2021)

n=86	n (%)
Düzenli yapılıyor	64 (74,4)
Düzenli yapılmıyor	6 (7,0)
Bilmiyorum	16 (18,6)

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların çalıştıkları birimde; %91,9'u kurşun önlük, %80,2'si kurşun boyunluk, %41,9'u kurşun paravan, %12,8'i kurşun eldiven, %40,7'si koruyucu gözlük, %40,7'i gonadal koruyucu, %2,3'u şaşırtma koridoru/kurşun duvar bulunduğunu belirtti. Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların çalıştıkları birimde %8,1'u kurşun önlük, %19,8'i kurşun boyunluk, %58,1'i kurşun paravan, %87,2'si kurşun eldiven, %59,3'ü koruyucu gözlük, %59,3'ü gonadal koruyucu bulunmadığını belirtti (Tablo 4.18).

Tablo 4.18: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Çalıştıkları Birimlerde Bulunan Kişisel Koruyucu Ekipmanlar (Konya, 2021)

n=86	n (%)	
	Var	Yok
Kurşun önlük	79 (91,9)	7 (8,1)
Kurşun boyunluk	69 (80,2)	17 (19,8)
Kurşun paravan	36 (41,9)	50 (58,1)
Kurşun eldiven	11 (12,8)	75 (87,2)
Koruyucu gözlük	35 (40,7)	51 (59,3)
Gonadal koruyucu	35 (40,7)	51 (59,3)
Şaşırtma koridoru, kurşun duvar	2 (2,3)	84 (97,7)

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcılardan 16 kişinin (%18,6) kişisel koruyucuları temin etmekte zorluk yaşadığı, 70 kişinin (%81,4) zorluk yaşamadığı saptandı (Tablo 4.19). Radyasyonlu alanda çalışan katılımcılardan kişisel koruyucu ekipmanları temin etmede zorluk yaşayanlar gerekçe olarak malzemelerin eski ve eksik olduğunu belirtti.

Tablo 4.19: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Kişisel Koruyucu Ekipmanları Temin Etme Durumu (Konya, 2021)

n=86	n (%)
Zorluk yaşıyorum	16 (18,6)
Zorluk yaşamıyorum	70 (81,4)

Radyasyonlu alanda çalışanların kişisel koruyucuları kullanma sıklıkları incelendiğinde; kurşun önlüğü %31,4'ü her zaman, %10,5'si sıklıkla, %27,9'ı bazen kullandığını, %30,2'si kullanmadığını belirtti. Radyasyonlu alanda çalışanların kurşun boyunluğu %30,2'sinin her zaman, %12,8'inin sıklıkla, %16,3'unun bazen kullandığı, %40,7'sinin kullanmadığı saptandı. Radyasyonlu alanda çalışanların kurşun paravanı %19,8'inin her zaman, %7,0'inin sıklıkla, %7,0'inin bazen kullandığı, %66,3'ünün kullanmadığı ortaya kondu. Kurşun eldiveni %5,8'inin her zaman, %1,2'sinin sıklıkla, %4,7'sinin bazen kullandığı, %88,4'ünün kullanmadığı ortaya kondu. Gonadal koruyucuyu %3,5'inin her zaman, %2,3'ünün sıklıkla, %3,5'inin bazen kullandığı, %90,7'sinin kullanmadığı gösterildi. Koruyucu gözlüğü %2,3'ünün her zaman, %2,3'ünün sıklıkla, %12,8'inin bazen kullandığı, %82,6'sının kullanmadığı tespit edildi. Radyasyonlu alanda çalışanların kişisel dozimetrelerini ise %64,0'ının her zaman, %5,8'inin sıklıkla, %10,5'inin bazen kullandığı, %19,8'inin kullanmadığı bulundu (Tablo 4.20).

Tablo 4.20: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Kişisel Koruyucu Ekipmanları ve Kişisel Dozimetrelerini Kullanma Sıklıkları (Konya, 2021)

n=86	n (%)			
	Her zaman	Sıklıkla	Bazen	Kullanmıyorum
Kurşun önlük	27 (31,4)	9 (10,5)	24 (27,9)	26 (30,2)
Kurşun boyunluk	26 (30,2)	11 (12,8)	14 (16,3)	35 (40,7)
Kurşun paravan	17 (19,8)	6 (7,0)	6 (7,0)	57 (66,3)
Kurşun eldiven	5 (5,8)	1 (1,2)	4 (4,7)	76 (88,4)
Gonadal koruyucu	3 (3,5)	2 (2,3)	3 (3,5)	78 (90,7)
Koruyucu gözlük	2 (2,3)	2 (2,3)	11 (12,8)	71 (82,6)
Dozimetre	55 (64,0)	5 (5,8)	9 (10,5)	17 (19,8)

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların kişisel koruyucu ekipmanları çalışma arkadaşlarına göre %72,1'inin eşit, %15,1'inin daha fazla, %12,8'inin daha az kullandığı saptandı (Tablo 4.21).

Tablo 4.21: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Kişisel Koruyucu Ekipmanları Çalışma Arkadaşlarına Göre kullanma Durumları (Konya, 2021)

n=86	n (%)
Daha az	11 (12,8)
Eşit	62 (72,1)
Daha fazla	13 (15,10)

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların kişisel dozimetre ölçümlerinde son bir yıl içinde limit aşımı bildirilen 2 kişi (%2,3) olduğu saptandı.

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcılarda dozimetre sonuçlarını güvenilir bulan 30 kişi (%34,9), güvenilir bulmayan 56 kişi (65,1) olduğu gösterildi.

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcılardan 1 kişinin iyonize radyasyon kaynaklarıyla çalışırken kaza geçirdiği tespit edildi. Katılımcının yaşadığı kaza iyonize radyoizotopları içeren ilacın gözüne sıçraması olarak tespit edildi.

Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %25,6'sı iyonize radyasyon maruziyetinden kaynaklanabilecek rahatsızlıkları olduğunu, %74,4'ü iyonize radyasyon maruziyetinden kaynaklanabilecek rahatsızlıkları olmadığını belirtti. İyonize radyasyon maruziyetine bağlı oluşan rahatsızlıkları: kas-iskelet sistem ağrısı (özellikle bacakta ağrı, rahatsızlık hissi, 14 kişi), yorgunluk (5 kişi), tiroid hastalıkları (4 kişi), cilt hastalıkları (3 kişi), göz hastalıkları (2 kişi), güneş alerjisi (1 kişi), saç dökülmesi (1 kişi) olarak tespit edildi (Tablo 4.22).

Tablo 4.22: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Katılımcıların Radyasyon Maruziyetine Bağlı Olduğunu düşündükleri Rahatsızlıkları (Konya, 2021)

n=22*	n
Kas-iskelet ağrısı, bacakta ağrı rahatsızlık	14
Yorgunluk	5
Tiroid hastalıkları	4
Cilt hastalıkları	3
Göz hastalığı	2
Güneş alerjisi	1
Saç dökülmesi	1

* Birden fazla rahatsızlık bildiren katılımcı vardır.

4.6 Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Çocuk Sahibi Olma Durumu ve Çocuklarının Sağlığı

Çocuk sahibi olan katılımcı sayısı, radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan gruplarda aynı bulunmuştur (%66,3).

Radyasyonlu alanda çalışan ve çocuk sahibi olan (57 kişi) katılımcılardan 1 kişi çocuğunda konjenital anomali (aort koarktasyonu), 2 kişi de çocuğunda sağlık problemi (pes planus ve immun sistem yetmezliği) olduğunu bildirdi.

Radyasyonlu alanda çalışmayan ve çocuk sahibi olan (57 kişi) katılımcılardan 3 kişi çocuğunda konjenital anomali (hemihipertrofi, hipospadias, pes ekinovarus), 5 kişi de çocuğunda sağlık problemi (astım, disleksi, silver russel sendromu, diyabet, çölyak, multipl skleroz, vitiligo) olduğunu bildirdi.

Çocuğunda konjenital anomali ve sağlık problemi olma durumu, radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcı gruplarına göre incelendiğinde istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmadı (Tablo 4.23).

Tablo 4.23: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcıların Çocuk Sahibi Olma Durumu ve Çocuklarının Sağlığı (Konya, 2021)

		Radyasyonlu alanda çalışanlar	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar	χ^2	p
		n (%)	n (%)		
Çocuk sahibi olma durumu	Evet	57 (66,3)	57 (66,3)	0,000	1,000
	Hayır	29 (33,7)	29 (33,7)		
	Toplam	86 (100,0)	86 (100,0)		
Çocuğunda konjenital anomali	Var	1 (1,8)	3 (5,3)	1,036	0,618*
	Yok	56 (98,2)	54 (94,7)		
	Toplam	57 (100,0)	57 (100,0)		
Çocuğunda sağlık problemi	Var	2 (3,5)	5 (8,8)	1,370	0,438*
	Yok	55 (96,5)	52 (91,2)		
	Toplam	57 (100,0)	57 (100,0)		

* Fisher'in kesin ki kare testi kullanılmıştır.

4.7 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcılarda Üreme Sağlığı

Radyasyonlu alanda çalışan kadın katılımcıların %27,9'unun menstruasyon düzensizliği olduğu, %72,1'inde olmadığı bulunurken; radyasyonlu alanda çalışmayan kadın katılımcıların %14,0'ında menstruasyon düzensizliği olduğu, %86,0'ında olmadığı ortaya kondu.

Radyasyonlu alanda çalışan kadın katılımcılarda radyasyonlu alanda çalışmayan kadınlara göre menstruasyon düzensizliği daha fazla görülmesine rağmen gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu (Tablo 4.24).

Tablo 4.24: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcılarda Menstruasyon Düzensizliği (Konya, 2021)

		Radyasyonlu alanda çalışanlar	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar	χ^2	p
		n (%)	n (%)		
Menstruasyon düzensizliği	Var	12 (27,9)	7 (14,0)	2,750	0,097
	Yok	31 (72,1)	43 (86,0)		
	Toplam	43 (100,0)	50 (100,0)		

Radyasyonlu alanda çalışan kadın katılımcıların %60,5'inin gebelik yaşadığı; gebelik yaşayanların %15,4'ünün tedavi almadığı ama gebe kalmasının 1 yılı geçtiği, %23,1'inin tedavi ile gebe kaldığı, %61,5'inin gebe kalmada zorluk yaşamadığı tespit edildi (Tablo 4.25).

Radyasyonlu alanda çalışmayan kadın katılımcıların %70,0'ının gebelik yaşadığı; gebelik yaşayanların %8,6'sının tedavi almadığı ama gebe kalmasının 1 yılı geçtiği, %91,4'ünün gebe kalmada zorluk yaşamadığı saptandı. Radyasyonlu alanda çalışmayan kadın katılımcılarda tedavi ile gebe kalan yoktu (Tablo 4.25).

Radyasyonlu alanda çalışan ve radyasyonlu alanda çalışmayan kadın katılımcılarda gebelik yaşama durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu ($p>0,05$).

Radyasyonlu alanda çalışmayan kadın katılımcılarda radyasyonlu alanda çalışan kadınlara göre gebe kalmada zorluk yaşamama durumunun daha fazla olması istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,05$).

Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan kadın katılımcılarda gebelik durumu ve gebe kalmada zorluk yaşama dağılımları ve karşılaştırmaları Tablo 4.25'da verildi.

Tablo 4.25: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcılarda Gebelik Durumu ve Gebe Kalmada Zorluk Yaşama Dağılımları (Konya, 2021)

		Radyasyonlu alanda çalışanlar	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar	χ^2	p
		n (%)	n (%)		
Gebelik yaşayanlar	Evet	26 (60,5)	35 (70,0)	0,931	0,335
	Hayır	17 (39,5)	15 (30,0)		
	Toplam	43 (100,0)	50 (100,0)		
Gebe kalmada zorluk	Tedavi almadım ama gebe kalmam 1 yılı geçti	4 (15,4)	3 (8,6)	10,374	0,006
	Evet, tedavi ile hamile kaldım	6 (23,1)	0 (0,0)		
	Yaşamadım	16 (61,5)	32 (91,4)		
	Toplam	26 (100,0)	35 (100,0)		

Radyasyonlu alanda çalışan ve gebelik yaşayan kadın katılımcıların %11,5'inin ölü doğum, %15,4'ünün düşük yaptığı tespit edildi (Tablo 4.26).

Radyasyonlu alanda çalışmayan ve gebelik yaşayan kadın katılımcıların %5,7'sinin ölü doğum, %5,7'sinin düşük yaptığı ortaya kondu (Tablo 4.26).

Ölü doğum ve düşük yapma durumu incelendiğinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ($p>0,05$, Tablo 4.26).

Tablo 4.26: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Kadın Katılımcıların Ölü Doğum ve Düşük Yapma Durumları (Konya, 2021)

		Radyasyonlu alanda çalışanlar	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar	χ^2	p
		n (%)	n (%)		
Ölü doğum	Evet	3 (11,5)	2 (5,7)	0,672	0,642*
	Hayır	23 (88,5)	33 (94,3)		
	Toplam	26 (100,0)	35 (100,0)		
Düşük	Evet	4 (15,4)	2 (5,7)	1,573	0,387*
	Hayır	22 (84,6)	33 (94,3)		
	Toplam	26 (100,0)	35 (100,0)		

* Fisher'in kesin ki kare testi kullanılmıştır.

4.8 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda Sağlık Yakınmaları

Göz rahatsızlığı; radyasyonlu alanda çalışanların %43,0'ında, radyasyonlu alanda çalışmayanların %26,7'sinde saptandı.

Kulak rahatsızlığı; radyasyonlu alanda çalışanların %16,3'ünde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %26,7'sinde gözlemlendi.

Baş ağrısı; radyasyonlu alanda çalışanların %53,5'inde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %37,2'sinde tespit edildi.

Halsizlik; radyasyonlu alanda çalışanların %60,5'inde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %36,0'ında ortaya kondu.

Sinirlilik; radyasyonlu alanda çalışanların %55,8'inde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %32,6'sında saptandı.

Yorgunluk; radyasyonlu alanda çalışanların %73,3'ünde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %44,2'sinde saptadı.

Sersemlik; radyasyonlu alanda çalışanların %29,1'inde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %7,0'ında gözlemlendi.

Otururken ayağa kalktığında baş dönmesi ve/veya göz kararması; radyasyonlu alanda çalışanların %30,2'sinde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %17,4'ünde bulundu.

Sık dişeti kanaması; radyasyonlu alanda çalışanların %24,4'ünde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %4,7'sinde saptadı.

Özellikle el sırtı başta olmak üzere radyasyona maruz kalan vücut bölgelerinde kıl dökülmesi radyasyonlu alanda çalışanların %7,0'ında tespit edilirken; radyasyonlu alanda çalışmayanlarda tespit edilmedi.

El cildinde bozukluklar; radyasyonlu alanda çalışanların %16,3'ünde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %5,8'inde gözlemlendi.

Lenf bezlerinde büyüme şikayeti radyasyonlu alanda çalışanların %10,5'inde varken; radyasyonlu alanda çalışmayanlarda yoktu.

Saç dökülmesi; radyasyonlu alanda çalışanların %44,2'sinde, radyasyonlu alanda çalışmayanların %23,3'ünde saptadı.

Radyasyonlu alanda çalışanlarda radyasyonlu alanda çalışmayanlara göre istatistiki olarak anlamlı bir şekilde daha fazla saptanan sağlık yakınmaları; göz rahatsızlığı (bulanık görme, batma, kaşıntı, sulanma vb.), kulak rahatsızlığı (ağrı, sıcaklık hissi, çınlama vb), baş ağrısı, halsizlik, sinirlilik, yorgunluk, sersemlik, ciltte solukluk, otururken ayağa kalktığında baş dönmesi/ göz kararması, sık dişeti kanaması, el sırtı başta olmak üzere radyasyona maruz kalan vücut bölgelerinde kıl dökülmesi, el cildinde bozukluklar, lenf bezlerinde büyüme, saç dökülmesidir ($p<0,05$).

Unutkanlık, deride döküntü, işitme azlığı, mide yakınması, çarpıntı, nefes darlığı, cinsel isteksizlik, uyku düzeninde bozulma, sık ateşli hastalığa yakalanma, kolay iyileşmeyen uzun süreli infeksiyon, beklenmedik veya uzun sürede duran kanama, ciltte morluk yakınmaları, radyasyonlu alanda çalışanlarda radyasyonlu alanda çalışmayanlara göre daha fazla tespit edilmesine rağmen istatistiki olarak anlamsız bulundu ($p>0,05$).

Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcıların sağlık yakınmaları ve karşılaştırmaları Tablo 4.27'de sunuldu.

Tablo 4.27: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Sağlık Yakınmaları ve Dağılımları (Konya, 2021)

Yakınmalar	Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)		Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)		χ^2	p
	Var n (%)	Yok n (%)	Var n (%)	Yok n (%)		
Göz rahatsızlığı (bulanık görme, batma, kaşıntı, sulanma vb.)	37 (43,0)	49 (57,0)	23 (26,7)	63 (73,3)	5,017	0,025
Kulak rahatsızlığı (ağrı, sıcaklık hissi, çınlama vb)	14 (16,3)	72 (83,7)	5 (5,8)	81 (94,2)	4,793	0,029
Baş ağrısı	46 (53,5)	40 (46,5)	32 (37,2)	54 (62,8)	4,598	0,032
Halsizlik	52 (60,5)	34 (39,5)	31 (36,0)	55 (64,0)	10,268	0,001
Sinirlilik	48 (55,8)	38 (44,2)	28 (32,6)	58 (67,4)	9,430	0,002

Tablo 4.27 (Devamı): NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan Ve Çalışmayan Katılımcıların Sağlık Yakınmaları ve Dağılımları (Konya, 2021)

Yakınmalar	Radyasyonlu alanda çalışanlar		Radyasyonlu alanda çalışmayanlar		χ^2	p
	Var n (%)	Yok n (%)	Var n (%)	Yok n (%)		
Yorgunluk	63 (73,3)	23 (26,7)	38 (44,2)	48 (55,8)	14,991	<0,001
Unutkanlık	44 (51,2)	42 (48,8)	35 (40,7)	51 (59,3)	1,896	0,168
Sersemlik	25 (29,1)	61 (70,9)	6 (7,0)	80 (93,0)	14,205	<0,001
Deride döküntü	16 (18,6)	70 (81,4)	8 (9,3)	78 (90,7)	3,099	0,078
İşitme azlığı	9 (10,5)	77 (89,5)	7 (8,1)	79 (91,9)	0,276	0,600
Mide yakınması	24 (27,9)	62 (72,1)	23 (26,7)	63 (73,3)	0,029	0,864
Çarpıntı	19 (22,1)	67 (77,9)	11 (12,8)	75 (87,2)	2,584	0,108
Nefes darlığı	18 (20,9)	68 (79,1)	12 (14,0)	74 (86,0)	1,454	0,228
Cinsel isteksizlik	8 (9,3)	78 (90,7)	4 (4,7)	82 (95,3)	1,433	0,231
Uyku düzeninde bozulma	31 (36,0)	55 (64,0)	28 (32,6)	58 (67,4)	0,232	0,630
Ciltte solukluk	13 (15,1)	73 (84,9)	5 (5,8)	81 (94,2)	3,971	0,046
Otururken ayağa kalktığı anda baş dönmesi/ göz kararması	26 (30,2)	60 (69,8)	15 (17,4)	71 (82,6)	3,875	0,049
Sık ateşli hastalığa yakalanma	3 (3,5)	83 (96,5)	2 (2,3)	84 (97,7)	0,206	1,000*
Kolay iyileşmeyen uzun süreli enfeksiyonlar	6 (7,0)	80 (93,0)	3 (3,5)	83 (96,5)	1,055	0,496*
Beklenmedik veya uzun sürede duran kanamalar	4 (4,7)	82 (95,3)	1 (1,2)	85 (98,8)	1,854	0,368*
Sık dişeti kanaması	21 (24,4)	65 (75,6)	4 (4,7)	82 (95,3)	13,526	<0,001
Ciltte morluklar	6 (7,0)	80 (93,0)	1 (1,2)	85 (98,8)	3,723	0,117*
Özellikle el sırtı başta olmak üzere radyasyona maruz kalan vücut bölgelerinde kıl dökülmesi	6 (7,0)	80 (93,0)	0 (0,0)	86 (100,0)	6,217	0,029*
El cildinde bozukluklar	14 (16,3)	72 (83,7)	5 (5,8)	81 (94,2)	4,793	0,029
Lenf bezlerinde büyüme	9 (10,5)	77 (89,5)	0 (0,0)	86 (100,0)	9,497	0,003*
Saç dökülmesi	38 (44,2)	48 (55,8)	20 (23,3)	66 (76,7)	8,428	0,004

* Fisher'in kesin ki kare testi kullanılmıştır.

4.9 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda Oksidatif Stres Markırlarının Değerlendirilmesi

Radyasyonlu alanda çalışanlarda TOS ve OSİ ortalama değerleri (sırasıyla; 7,15±4,34, 0,68±0,60) radyasyonlu alanda çalışmayanlardan (sırasıyla 5,24±3,60, 0,39±0,38) daha yüksek bulunmuştur. TAS ortalama değeri ise radyasyonlu alanda çalışanlarda (1,37±0,40) radyasyonlu alanda çalışmayanlardan (1,75±0,50) daha düşük olduğu gösterilmiştir. Radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcıların ortalama TOS, TAS ve OSİ değerleri karşılaştırıldığında gruplar arasında istatistiksel olarak fark tespit edilmiştir (sırasıyla p=0,002, p<0,001, p<0,001 Tablo 4.28).

Tablo 4.28: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda Oksidatif Stres Göstergeleri (Konya, 2021)

	Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)		
	Ortalama $\pm$ ss	Ortalama $\pm$ ss	t	p
TOS	7,15 $\pm$ 4,34	5,24 $\pm$ 3,60	3,151	0,002
TAS	1,37 $\pm$ 0,40	1,75 $\pm$ 0,50	5,458	<0,001
OSİ	0,68 $\pm$ 0,60	0,39 $\pm$ 0,38	3,679	<0,001

İyonize radyasyon maruziyeti olan çalışanlarda iyonize radyasyon kaynaklarının bulunduğu bölümlerde çalışma süreleri ile TOS ve OSİ değerleri arasında negatif yönde, düşük düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edildi (sırasıyla $r=-0,283$, $p=0,008$; $r=-0,265$, $p=0,014$).

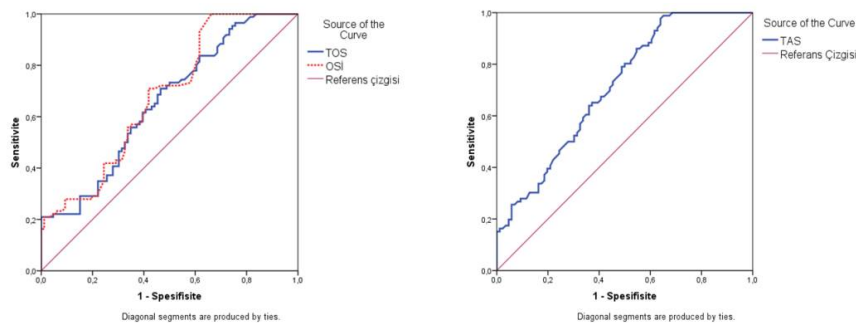
İyonize radyasyon maruziyeti olan çalışanlarda iyonize radyasyon kaynaklarının bulunduğu bölümlerde çalışma süreleri ile TAS arasında pozitif yönde, düşük düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edildi ($r=0,241$, $p=0,026$).

Radyasyonlu alanda çalışanlarda cinsiyete, sigara içmeye, alkol kullanmaya, kronik hastalık varlığına, düzenli ilaç kullanımına, antioksidan ürün kullanımına, tanı ve tedavi amacıyla tıbbi radyasyon maruziyetine göre ortalama TAS, TOS ve OSİ değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ($p>0,05$).

ROC analizinde TOS sınır değeri 3,47 μ mol H₂O₂ Equivalent/L alındığında; sensitivite %70,9, spesifisite %53,3, pozitif prediktif değeri %60,4, negatif prediktif değeri %64,8 bulundu (Eğri altında kalan alan (AUC)=0,655; %95 güven aralığı (GA)=0,574-0,736, Şekil 4.14).

ROC analizinde TAS sınır değeri 1,6750 mmol Trolox Equivalent/L alındığında; sensitivite %73,3, spesifisite %54,7, pozitif prediktif değeri %61,8, negatif prediktif değeri %67,1 bulundu (AUC=0,712; %95 GA=0,636-0,788; $p<0,001$, Şekil 4.14).

ROC analizinde OSİ sınır değeri 0,2250 alındığında; sensitivite %70,9, spesifisite %58,1, pozitif prediktif değeri %62,9, negatif prediktif değeri %66,7 bulundu (AUC=0,679; %95 GA=0,599-0,758, Şekil 4.14).



Şekil 4.1: TOS, TAS ve OSİ ROC Eğrisi (Konya, 2021)

4.10 Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda İnflamasyon Biyogöstergelerinin Değerlendirilmesi

Radyasyonlu alanda çalışanlarda TNF- α değeri ortalaması 699,57 $\pm$ 243,49, radyasyonlu alanda çalışmayanlarda 518,31 $\pm$ 208,21 bulunurken; IL-10 değeri ortalaması radyasyonlu alanda çalışanlarda 456,19 $\pm$ 220,90, radyasyonlu alanda çalışmayanlarda 605,68 $\pm$ 301,10 bulundu. Radyasyonlu alanda çalışanlarda TNF- α değeri ortalaması daha yüksek, IL-10 değeri ortalaması daha düşük tespit edilerek, TNF- α ve IL-10 göstergeleri gruplar arasında istatistiksel olarak farklı bulundu ($p < 0,05$, Tablo 4.29).

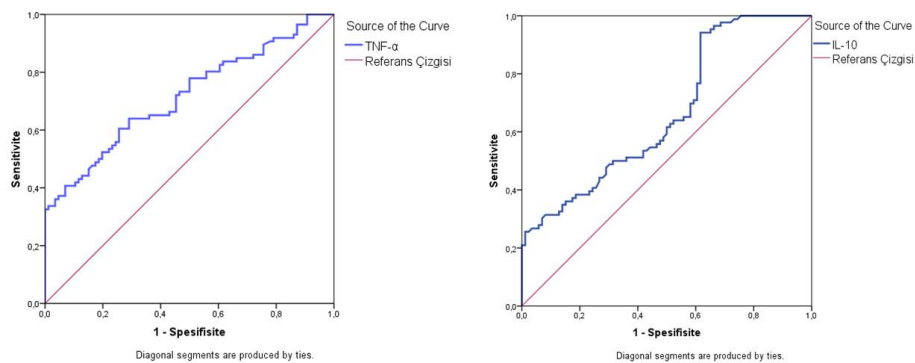
Tablo 4.29: NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde Radyasyonlu Alanda Çalışan ve Çalışmayan Katılımcılarda İnflamasyon Göstergeleri (Konya, 2021)

	Radyasyonlu alanda çalışanlar (n=86)	Radyasyonlu alanda çalışmayanlar (n=86)		
	Ortalama $\pm$ ss	Ortalama $\pm$ ss	t	p
TNF- α	699,57 $\pm$ 243,49	518,31 $\pm$ 208,21	3,712	<0,001
IL-10	456,19 $\pm$ 220,90	605,68 $\pm$ 301,10	5,246	<0,001

Radyasyonlu alanda çalışanlarda cinsiyete, sigara içmeye, alkol kullanmaya, kronik hastalık varlığına, düzenli ilaç kullanımına, antioksidan ürün kullanımına, tanı ve tedavi amacıyla tıbbi radyasyon maruziyetine göre ortalama TNF- α ve IL-10 değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ($p > 0,05$).

ROC analizinde TNF- α sınır değeri 536,50 ng/L alındığında; sensitivite %72,1, spesifisite %54,7, pozitif prediktif değeri %61,4, negatif prediktif değeri %66,2 bulundu (AUC=0,717; %95 GA=0,640-0,793, Şekil 4.18).

ROC analizinde radyasyonlu alanda çalışanlarda IL-10 sınır değeri 615,00 ng/L alındığında; sensitivite %69,8, spesifisite %41,9, pozitif testin prediktif değeri %54,5, negatif testin prediktif değeri %58,1 bulundu (AUC=0,665; %95 GA=0,584-0,745, Şekil 4.18).



Şekil 4.2: TNF- α ve IL-10 ROC Eğrisi (Konya, 2021)

5. TARTIŞMA

Geniş kullanım alanı olan iyonize radyasyonun, insan sağlığı üzerine etkileri iyonize radyasyonun keşfinden bu yana görülmektedir. Özellikle tıp alanında hastalıkların tanı ve tedavisinde yaygın olarak kullanılan iyonize radyasyon kaynakları, sağlık çalışanlarında düşük dozda uzun süreli maruziyete bağlı etkiler oluşturur. Günümüzde bu sağlık etkileri araştırılmaya devam edilmektedir ve mesleki iş güvenliğinin sağlanması amacıyla iyonize radyasyon kaynaklarından korunmaya verilen önem artmaktadır (UNEP 2006, Fazel 2020, TAEK 2020h).

5.1 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Koruyucu Donanım ve Dozimetre Kullanma Durumları

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada kişisel dozimetre kullanım sıklığı %80,2 tespit edilmiştir. Radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %64,0'ının kişisel dozimetrelerini her zaman kullandığı saptanmıştır. Kişisel koruyucu ekipmanlardan kurşun önlük kullanım sıklığı %69,8, kurşun boyunluk kullanım sıklığı %59,3, kurşun paravan kullanım sıklığı %33,7, koruyucu gözlük kullanım sıklığı %17,4, kurşun eldiven kullanım sıklığı %11,6, gonadal koruyucu kullanım sıklığı %9,3 bulunmuştur. Kurtul (2018) kamu ve özel hastanede radyasyon maruziyeti olan 441 katılımcıda yürüttüğü çalışmada, kişisel dozimetre kullanım sıklığını %71,30 bulmuştur. Kişisel koruyucu ekipman kullanım sıklıklarını ise; kurşun paravan %50,6, kurşun önlük %39,7, tiroid koruyucu %36,6, koruyucu gözlük %5,2, koruyucu eldiven %2,9 saptamıştır (Kurtul 2018). Avcı (2016) radyoloji biriminde çalışanlarda yürüttüğü çalışmada, dozimetre kullanma sıklığını % 84,1, kurşun önlük kullanım sıklığını %66,8, kurşun boyunluk kullanım sıklığını %33,2, kurşun paravan kullanım sıklığını %65,5, koruyucu gözlük kullanım sıklığını %11,8, kurşun eldiven kullanım sıklığını %4,1 olarak tespit etmiştir. Balsak (2014) radyoloji çalışanlarında yürüttüğü çalışmada, kişisel koruyucu ekipman kullanım sıklığını dozimetre için %80,6, kurşun önlük için %51,0, tiroid koruyucu için %32,7, kurşun paravan için %54,5, kurşun eldiven için %5,0 koruyucu gözlük için %14,4 olarak ortaya koymuştur. Öztürk (2017) radyasyona maruz kalan sağlık çalışanlarında yürüttüğü çalışmada, kurşun önlük kullanım sıklığını %73,9, kurşun boyunluk kullanım sıklığını %62,9, koruyucu gözlük kullanım sıklığını %20,8 bulmuştur.

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, kişisel dozimetre sonuçlarına güven duyanlar diğer çalışmalarla benzer olarak %35'in altında gözlenmiştir (Balsak 2014, Kurtul 2018).

Bu çalışmada ve yukarıda incelenen diğer çalışmalarda kişisel dozimetre kullanım sıklığının %80-85 arasında değiştiği gözlemlenebilir. Kişisel dozimetre kullanım sıklığının bu kadar yüksek olması Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği (5272 sayılı-24.03.2000 tarihinde

yayınlanan) ile Çalışma Koşulu A durumunda görev yapan kişilerin kişisel dozimetre kullanmasının zorunlu tutulmasından kaynaklanabilir.

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, kişisel koruyucu ekipmanların kullanım sıklıkları yukarıda incelenen çalışmalardan farklı bulunmuştur; ancak çalışmalarda katılımcıların en fazla kullandığı koruyucu ekipmanın kurşun önlük ve kurşun paravan olduğu gözlenebilir. Kurşun önlüğün ve kurşun paravanın en fazla kullanılan koruyucu ekipman olması, diğer koruyucu ekipmanlara göre daha ergonomik olmasından ve daha fazla hayati organı korumasından kaynaklanabilir. Yukarıda incelenen literatür bilgisinden farklı olarak bu çalışmada en az kullanılan kişisel koruyucunun gonadal koruyucu olmasının nedeninin, kullanılan kurşun önlüklerin genital bölgeyi de koruduğu düşünülerek ayrı bir koruyucu kullanmaya gerek duyulmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Radyasyon kaynaklarıyla doğrudan el, cilt teması olan kişilerin kişisel koruyucu donanım kullanma durumlarının daha fazla olduğu araştırmacı gözlemine dayanarak, çalışmalardaki kişisel koruyucu donanım kullanımı farklılıklarının çalışmaya alınan birimlerin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.2 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Özellikleri, Çalışma Koşulları ve Bilgi Kaynakları

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, mesleki iyonize radyasyon maruziyeti bulunan sağlık çalışanlarının iyonize radyasyon kaynakları bulunan alanda çalışma sürelerinin ortalamasının $9,80 \pm 7,1$ yıl olduğu, %40,7'sinin radyoloji bölümünde çalıştığı ve %46,7'sinin teknisyen olduğu bulunmuştur. Avcı (2016) Diyarbakır il ve ilçelerindeki kamu hastanelerinde radyoloji birimi çalışanlarında yaptığı çalışmada, radyasyonlu alanda çalışma süresinin ortalamasını 10,06 yıl olarak bulmuştur. Uzuntarla (2019) dozimetre taşıyan sağlık personelinin iyonlaştırıcı radyasyon hakkındaki risk algısı ve bilgi düzeyini araştırdığı çalışmada, katılımcıların radyasyonlu alanda çalışma süresinin ortalamasını $10,45 \pm 7,15$ yıl olarak bulmuş ve %51,0 ile en çok katılan meslek grubunun tekniker/teknisyen olduğunu ortaya koymuştur. Erdem (2014) Ankara ilinde radyasyon etkisi altında olan sağlık çalışanlarıyla yürüttüğü çalışmada, katılımcıların ortalama çalışma sürelerinin $11,01 \pm 7,4$ yıl olduğunu, %44,7'sinin radyoloji bölümünde çalıştığını ve %66,7'sinin sağlık teknikeri olduğunu tespit etmiştir. Yarenoğlu (2018) iyonize radyasyon maruziyeti olan sağlık çalışanlarında yaptığı çalışmasında, katılımcıların %68,3'ünün ameliyathane çalıştığını, %46,5'inin hemşire olduğunu belirtmiştir. Kurtul (2018) iyonize radyasyon maruziyeti bulunan sağlık çalışanlarıyla yürüttüğü çalışmasında, katılımcıların %61,4'ünün radyoloji bölümünde çalıştığını ve %74,5'inin tekniker olduğunu gözlemlemiştir. Radyasyonlu alanda çalışanların çalışma sürelerinin ortalamasının 10 yıl olduğu gözlenmiş ve bu çalışmada diğer çalışmalarla benzer bulgular elde edilmiştir. Bu çalışmaya yukarıda

incelenen literatüre benzer şekilde en çok radyoloji bölümünde çalışanlar ve tekniker/teknisyen mesleğine sahip katılımcıların alındığı söylenebilir.

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, iyonlaştırıcı radyasyon güvenliği ve korunma yolları hakkında en fazla bilgi alınan kaynak diğer çalışmalarla benzer olarak mezuniyet öncesi eğitim-öğretim süreci olarak bulunmuştur (Kurtul 2018, Uzuntarla 2019).

Avcı (2016)'nın Diyarbakır il ve ilçelerindeki kamu hastanelerinde radyoloji birimi çalışanlarında yaptığı çalışmada, katılımcıların %66,7'si cihazların yıllık kalibrasyonlarının yapıldığını belirtmiştir. Uzuntarla (2019)'nın dozimetre taşıyan sağlık personelinin iyonlaştırıcı radyasyon hakkındaki risk algısı ve bilgi düzeyini araştırdığı çalışmada, katılımcıların %54,5'i özel bir havalandırma sisteminin olduğunu, %78,7'si cihazların kalibrasyon ve kontrolünün düzenli olarak yapıldığını belirtmiştir. Arslan (2017)'in radyasyona maruz kalan radyoloji çalışanlarının çalışma koşullarını değerlendirdiği çalışmada, katılımcıların %75,7'si kalibrasyonların düzenli aralıklarla yapıldığını belirtmiştir. NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %74,4'ü çalıştığı birimdeki iyonlaştırıcı radyasyon yayan cihazların kalibrasyonu ve kontrolünün düzenli yapıldığını, %62,8'i çalıştığı ortamda iyonize radyasyona yönelik özel havalandırma sistemi olduğunu belirtmiştir. Bu bulgularımız incelenen diğer çalışmalarla benzerdir.

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %18,60'ının kişisel koruyucuları temin etmekte zorluk yaşadığı bulunmuştur. Uzuntarla (2019) dozimetre taşıyan sağlık personelinin iyonlaştırıcı radyasyon hakkındaki risk algısı ve bilgi düzeyini araştırdığı çalışmada, katılımcıların %14,40'ünün kişisel koruyucuları temin etmede zorluk yaşadığını bulmuştur. Kişisel koruyucuların temin edilmesinde zorluk yaşanması malzemelerin eksikliğinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada ve incelenen çalışmalarda hastane çalışma ortamlarında en fazla bulunan kişisel koruyucu ekipmanın kurşun önlük, en az bulunan kişisel koruyucu ekipmanın kurşun eldiven olduğu gösterilmiştir (Balsak 2014, Arslan 2017, Kurtul 2018). Hastane çalışma ortamlarında kurşun eldivenin az bulunması iyonize radyasyon kaynaklarıyla çalışanların kurşun eldiveni kullanmayı tercih etmemelerinden kaynaklanabilir.

Arslan (2017)'in radyasyona maruz kalan radyoloji çalışanlarının çalışma koşullarını adli olarak değerlendirdiği çalışmada, katılımcıların %8,1'inde dozimetre sonuçlarında limit aşımı bildirildiği, %10,1'inin şua iznini kullanmadığı saptanmış ve döner sermayeden kesinti yapılması en çok belirtilen şua izni kullanmama nedeni olarak ortaya konmuştur. Erdem (2014) Ankara ilinde radyasyon etkisi altında olan sağlık çalışanlarında yürüttüğü çalışmada,

katılımcıların %20,8'inin dozimetre sonuçlarında limit aşımı bildirildiğini ve radyasyon kazası yaşamadıklarını tespit etmiştir. Balsak (2014) Diyarbakır il ve ilçelerindeki hastanelerin radyoloji bölümü çalışanlarında yürütülen çalışmada, katılımcıların %25,5'inin şua izni bazen ya da hiç kullanmadıklarını ve ek ödemelerin kesilmesi en çok belirtilen şua izni kullanmama nedeni olduğunu göstermiştir. NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların %2,3'ünün dozimetre sonuçlarında limit aşımı bildirildiği, %1,2'sinin radyasyon kazası geçirdiği, %45,3'unun şua izni kullanmadığı saptanmış ve şua izni kullanmayı hak edememe en çok belirtilen şua izni kullanmama nedeni olarak ortaya konmuştur. Bu çalışmada diğer çalışmalara göre dozimetre sonuçlarında limit aşımı bildiriminin az olması; hastanenin radyasyon güvenliği komitesinin ve sağlık çalışanlarının, radyasyon güvenliğine ve radyasyondan korunma yollarına gerekli özeni göstermelerinden dolayı olabilir. Bu çalışmada şua izni kullanmayanların fazla olması, iyonize radyasyon kaynaklarının bulunduğu ortamda çalışmalarına rağmen radyasyon görevlisi sayılmayan sağlık çalışanlarının da çalışmaya dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.3 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Çocuklarının Sağlığının ve Üreme Sağlığı Durumlarının İncelenmesi

Hızlı bölünen ve mitotik fazdaki hücrelerin radyosensitif olduğu bilindiğine göre; sürekli hücre bölünmesinin ve çoğalmasının gözlemlendiği embriyonun iyonize radyasyondan etkilenmesi kaçınılmazdır. Radyasyonun embriyo üzerine etkileri radyasyonun dozuna, doz hızına ve gebelik evresine bağlı olarak değişmekle birlikte başlıca; doğum öncesi veya doğum sonrası ölüm, doğumsal anomaliler, büyüme bozuklukları ve çeşitli yapısal ve fonksiyonel geriliklerdir. Veriler hayvan deneylerinden, Hiroşima ve Nagasaki'de atom bombasına maruz kalmış gebelerin izlemlerinden elde edilmiştir (Bıçakçı 2009, Ayan 2017).

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, çocuğunda konjenital anomali olan 1 kişi, sağlık problemi olan 2 kişi tespit edilmiş ve kadın katılımcıların %15,4'ü düşük, %11,5'i ölü doğum yaşadığını belirtmiştir. NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan katılımcılarda çocuklarının sağlığı, düşük ve ölü doğum yapma durumu açısından fark bulunmamasından dolayı iyonize radyasyon maruziyetinden korumak için gebelere yönelik alınan önlemlerin yeterli düzeyde olduğu düşünülebilir.

Gonadlar radyasyona son derece duyarlıdır ve akut maruz kalınan doz arttıkça geçici ovulasyon duraklamasından kalıcı infertiliteye kadar çeşitli etkiler görülebilir (Allen 2020, TAEK 2020e). NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışan kadın katılımcıların %27,9'unda adet düzensizliği olduğu, %38,5'inin gebe kalmada zorluk yaşandığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada radyasyonlu

alanda çalışanlarda radyasyonlu alanda çalışmayanlara göre gebe kalmada zorluk daha fazla gözlenmiştir. Çalışmamızdan elde ettiğimiz bulgular ışığında mesleki iyonize radyasyon maruziyetinin de gonadlar üzerinde zararlı etkiler oluşturarak üreme sağlığını etkilediği söylenebilir.

5.4 Radyasyonlu Alanda Çalışanların Sağlık Durumları ve Yakınmaları

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışanların %30,2'si kronik hastalığı olduğunu belirtmiştir. Anemi, astım, tiroid bezi hastalıkları, koroner arter hastalığı ve gut kronik hastalığı olanlarda en fazla belirtilen hastalıklardır. Düzenli ilaç kullanan ve radyasyona bağlı rahatsızlıklarının olduğunu düşünenlerin oranı %25,6'dır. Radyasyona bağlı olan rahatsızlıklardan kas-iskelet sistem ağrısı, özellikle bacak ağrısı en fazla belirtilmiştir. Düşük doz mesleki iyonize radyasyon maruziyetinin de tiroid bezi ve koroner arter hastalıklarına neden olabileceğini gösteren çalışmalar vardır (McGale 2005, Zablotska 2014, Vimercati 2019).

Öztürk (2017) dozimetre taşıyan sağlık çalışanlarının iyonlaştırıcı radyasyondan kaynaklandığını düşündükleri rahatsızlıklardan en fazla belirttikleri eklem-bacak-baş ağrıları olarak bulunmuştur. Avcı (2016) radyoloji çalışanlarında en çok bildirilen mevcut hastalığın anemi olduğunu tespit etmiştir. Erdem (2014) radyasyon maruziyeti olan sağlık çalışanlarının %50,9 unda daha önceden tanı alan hastalığının olduğu ve tanıli hastalıklarından en fazla belirtilen migren, ikinci sırada anemi olduğu bulmuştur. Arslan (2017) radyasyona maruz kalan radyoloji çalışanlarının %6,8'inde radyasyona bağlı hastalık tespit etmiş ve hastalıkların tiroid kanseri ve katarakt olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma katılımcılarda görülen kronik rahatsızlıklar yönünden literatürle benzerdir. Özellikle tiroid bezi hastalıkları ve koroner arter hastalıkları düşük doz iyonize radyasyon maruziyeti ile ilişkilendirilebilir. Kas-eklem ağrı şikayetlerinin fazla görülmesi kullanılan kişisel koruyucu ekipmanların ağır olmasından ve yapılan işlemler esnasında fazla ayakta kalmaya bağlı olabilir.

Avcı (2016) yürüttüğü çalışmada, radyoloji çalışanlarının en çok bildirdiği sağlık yakınmalarını; yorgunluk, halsizlik, unutkanlık, sinirlilik, uyku düzensizliği, en az bildirdiği sağlık yakınmalarını ise ciltte morluk, sık ateşli hastalığa yakalanma olarak tespit etmiştir. Erdem (2014) yürüttüğü çalışmada, iyonize radyasyonlu alanda çalışanların en çok gözlenen sağlık yakınmalarını; yorgunluk, halsizlik, unutkanlık, baş ağrısı, göz rahatsızlığı, en az gözlenen sağlık yakınmasını beklenmedik uzun süren kanamalar olarak bulmuştur. NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışan katılımcıların en çok bildirdiği sağlık yakınmaları; yorgunluk, halsizlik, sinirlilik, baş ağrısı, unutkanlık, en az bildirdiği sağlık yakınmaları sık ateşli hastalığa yakalanma olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, radyasyonlu alanda çalışanlarda en çok gözlenen sağlık yakınmaları açısından yukarıda incelenen çalışmalarla benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak sağlık yakınmaları radyasyonlu alanda çalışan ve çalışmayan gruplarda karşılaştırılmıştır (Erdem 2014, Avcı 2016). Radyasyonlu alanda çalışanlarda radyasyonlu alanda çalışmayanlara göre; göz rahatsızlığı, kulak rahatsızlığı, baş ağrısı, halsizlik, sinirlilik, yorgunluk, sersemlik, ciltte solukluk, otururken ayağa kalktığında baş dönmesi/göz kararması, sık dişeti kanaması, özellikle el sırtı başta olmak üzere radyasyona maruz kalan vücut bölgelerinde kıl dökülmesi, el cildinde bozukluklar, lenf bezlerinde büyüme, saç dökülmesi yakınmaları daha fazla bulunmuştur. Farklı bulunan bu şikayetlerin iyonize radyasyon maruziyeti ile daha fazla ilişkili olduğu söylenebilir.

5.5 İyonize Radyasyon Maruziyeti ve Oksidatif Stres

İyonize radyasyon hücreleri dolaylı yoldan etkileyerek, serbest radikal oluşumunu tetikleyebilir ve oksidatif stresi artırır (Sebastià 2020). İyonize radyasyonlu alanda çalışanlarda oksidan ve antioksidan durumu ortaya koyan bu çalışmada; TAS, TOS seviyeleri ölçülmüş, OSİ hesaplanmıştır. Radyasyonlu alanda çalışanlarda radyasyonlu alanda çalışmayanlara göre TOS ve OSİ değeri daha yüksek, TAS değeri daha düşük bulunmuştur.

Sebastià (2020) sağlık çalışanlarında yaptığı çalışmada, iyonize radyasyona maruz kalan grubun özellikle de nükleer tıp biriminde çalışanlarda antioksidan belirteçlerin (TAS, hücre dışı süperoksit dismutaz aktivitesi) azaldığını, oksidan belirteçlerin (TBARS: thiobarbituric acid reactive substance, NOx: nitrites and nitrates) arttığını belirtmişlerdir. Çelik (2016) yaptığı çalışmada iyonize radyasyon maruziyet grubunu oluşturan röntgen teknisyenlerinde TAS seviyesini kontrol grubuna göre düşük, TOS ve OSİ değerlerini daha yüksek bulmuştur. El-Benhawy (2020) kadın hemşirelerde yürüttüğü çalışmasında TAS değerini radyasyona maruz kalanlarda kalmayanlara göre daha düşük bulmuştur. Malekirad (2005) ve Kumar (2016) sağlık çalışanlarında yaptıkları çalışmada TAS değerini farklı olarak radyasyonlu alanda çalışanlarda daha yüksek bulmuştur. Katsarska (2016) ve Aneva (2019) gama radyasyona mesleki olarak maruz kalan nükleer santral çalışanlarında TAS değerini radyasyona maruz kalmayan gruba göre daha yüksek bulmuştur. Katsarska (2016) ayrıca lenfositlerdeki ROS seviyelerini de radyasyona maruz kalan grupta yüksek bulmuştur. Kłuciński (2008) X ışınına maruz kalan çalışanlarda düşük dozda iyonlaştırıcı radyasyona uzun süre maruz kalmanın antioksidan savunmasını azalttığı sonucuna varmıştır. Literatürde farklı oksidatif stres biyogöstergeleri kullanılarak hastane çalışanları üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar, iyonize radyasyonlu alanda çalışanlarda oksidatif stresin yüksek olduğunu desteklemiştir; ancak antioksidan sistemler üzerinde farklı görüşler ortaya çıkmıştır (Durović 2008, Eken 2012, Ahmad 2016, Siama 2019, Gao 2020). Meram Tıp Fakültesi Hastanesi çalışanlarında yürütülen bu çalışmada, iyonize radyasyon maruziyetinin dozu ölçüm

yöntemleriyle belirlenmemiş olup, iyonize radyasyon kaynaklarının bulunduğu alanlarda çalışanların düşük dozda kronik radyasyona maruz kaldığı düşünülmüştür. Maruz kalınan radyasyon dozuna ve süresine bağlı olarak antioksidan değerlerinin değiştiği söylenebilir. Maruz kalınan doz arttıkça antioksidanların daha fazla tüketilmesinden dolayı TAS'ın azaldığı, düşük dozlarda ise iyonize radyasyonlu alanda çalışma süresi arttıkça antioksidan sistemlerin daha çok uyarılmasından dolayı TAS'ın artacağı düşünülmektedir.

5.6 İyonize Radyasyon Maruziyeti ve İnflamasyon

İyonize radyasyon dokularda bir immün cevap oluşturarak inflamasyona neden olabilir (Yahyapour 2018). Proinflamatuvar sitokin olan TNF- α ve antiinflamatuvar sitokin olan IL-10'u çalıştığımız bu çalışmada radyasyonlu alanda çalışanlarda çalışmayanlara göre TNF- α seviyesini daha yüksek, IL-10 seviyesini daha düşük saptamıştır. El-Benhawy (2020) kadın hemşirelerde yürüttüğü çalışmasında TNF- α ve diğer inflamasyon göstergelerini (C-reaktif protein, interferon gama) radyasyonlu alanda çalışanlarda çalışmayanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Aneva (2019) düşük doz gama radyasyona mesleki olarak maruz kalan nükleer santral çalışanlarında, radyasyonlu alanda çalışmayanlardan TNF- α seviyesini daha yüksek, IL-10 seviyesini daha düşük bulmuştur. Zakeri (2010) girişimsel kardiyologlarda kontrol grubuna göre IL-2 seviyesini daha yüksek ve IL-10 seviyesini daha düşük bulmuştur. Heidari (2016) sağlık çalışanlarında yaptığı çalışmada, IL-10 seviyesini radyasyonlu alanda çalışanlarda kontrol grubuna göre daha düşük bulmuştur. Ahmad (2019) radyoloji teknikerleri ve sağlıklı gönüllülerde yürüttüğü çalışmada radyasyon maruziyeti olan grupta O_2^- , IL-6, makrofaj inflamatuvar protein-1 α , ve IL-1 α düzeylerini daha yüksek bulurken; IL-10 ve TNF- α seviyeleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulamamıştır. Sonuçlarımızın literatürle uyumlu olduğu ve kronik düşük doz iyonize radyasyonun inflamasyonu uyardığı söylenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

NEÜ Meram Tıp Fakültesi Hastanesi sağlık çalışanlarında mesleki olarak iyonize radyasyon maruziyetinin etkilerini incelediğimiz çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- 1) Radyasyonlu alanda çalışanların kişisel koruyucu ekipmanları ve dozimetrelerini düzenli kullanmadıkları tespit edilmiştir.
- 2) Radyasyonlu alanda çalışanların %54,7'sinin hizmet içi eğitim aldığı, %60,5'inin haklarını bildiği ve %54,7'sinin şua izni kullandığı belirlenmiştir.
- 3) Radyasyonlu alanda çalışanlarda tedavi ile gebe kalanların daha fazla olduğu bulunmuştur.
- 4) Halsizlik, sinirlilik, yorgunluk, baş ağrısı, göz rahatsızlığı, kulak rahatsızlığı, sersemlik, ciltte solukluk, otururken ayağa kalktığında baş dönmesi/ göz kararması, sık dişeti kanaması, özellikle el sırtı başta olmak üzere radyasyona maruz kalan vücut bölgelerinde kıl dökülmesi, el cildinde bozukluklar, lenf bezlerinde büyüme, saç dökülmesi yakınmalarının radyasyonlu alanda çalışanlarda daha fazla görüldüğü tespit edilmiştir.
- 5) Sağlık çalışanlarında uzun süre düşük doz mesleki iyonize radyasyon maruziyetinin oksidan/antioksidan dengesizliği oluşturarak oksidatif stresi ve inflamasyonu arttırdığı bulunmuştur.
- 6) Radyasyondan etkilenimin ortaya konulabilmesi için oksidatif stres ve inflamasyon biyogöstergelerinin kesme noktaları; TOS için 3,47 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ Equivalent/L, TAS için 1,6750 mmol Trolox Equivalent/L, OSI için 0,2250, TNF- α için 536,50 ng/L, IL-10 için 615,00 ng/L olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlara dayanarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- 1) İş sağığı ve güvenliğı kapsamında iyonize radyasyon güvenliğı, koruyucu donanım kullanımı, radyasyon kaynaklarıyla çalışanların hakları konularında sağık çalışanlarına düzenli aralıklarla hizmet içi eğitimler verilmelidir.
- 2) İyonize radyasyon maruziyetini azaltmak ve önemli organları ışımalardan korumak için kullanılan kişisel koruyucu ekipman eksikliğı giderilerek, kişisel koruyucu donanımların kullanımı artırılmalıdır.
- 3) Radyasyon maruziyet doz izlemlerinin yapılması önemlidir. Bu nedenle çeşitli simulasyon eğitim programları düzenlenerek dozimetre sonuçlarına duyulan güven artırılmalı ve dozimetre kullanımı teşvik edilmelidir.
- 4) İyonize radyasyon maruziyetine bağılı hastalık ve şikayetlerin belirlenmesi, erken tanınması ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için periyodik izlem ve muayenelere verilen önem artırılmalı ve izlem parametreleri genişletilerek oksidatif stres ve inflamasyon biyogöstermeleri eklenmelidir.

7. KAYNAKLAR

- 16332 sayılı Sağlık Hizmetlerinde İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları İle Çalışan Personelin Radyasyon Doz Limitleri Ve Çalışma Esasları Hakkında Yönetmelik. 2012. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16332&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 21.07.2020)
- 5272 sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. 2000. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5272&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 21.07.2020)
- Abbas AK, Lichtman AH, Pillai S. Editörler. Cellular and Molecular Immunology. 9. baskı. Saunders Elsevier Philadelphia, USA; 2018.
- Ahmad IM, Abdalla MY, Moore TA, Bartenhagen L, Case AJ, Zimmerman MC. Healthcare Workers Occupationally Exposed to Ionizing Radiation Exhibit Altered Levels of Inflammatory Cytokines and Redox Parameters. Antioxidants (Basel). 2019; 8(1): 12.
- Ahmad IM, Temme JB, Abdalla MY, Zimmerman MC. Redox status in workers occupationally exposed to long-term low levels of ionizing radiation: A pilot study. Redox Rep. 2016; 21(3): 139-45.
- Akdemir ÜÖ, Karabacak Nİ. Pozitron emisyon tomografi/manyetik rezonans görüntüleme kullanımında günlük iş akışı ve protokol optimizasyonu. Nucl Med Semin. 2017; 1: 12-2.
- Akgül A. Tıbbi araştırmalarda istatistiksel analiz teknikleri, SPSS uygulamaları. 2. baskı. Ankara, Emek Ofset; 2003.
- Akköse A, Ömer B, Yiğitbaşı A. DNA damage and glutathione content in radiology technicians. Clinica Chimica Acta. 2003; 336: 13-18.
- Akyolcu MC, Barutçu B, Dursun Ş, Toplan ŞS, Kalkan T, Özçelik D, Tuncel H. İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri. Biyofizik Ders Kitabı. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları; 2010. p.449-468.
- Alagöz E. Nükleer Radyolojik Acillere Müdahalede Temel Kavramlar, Akut Radyasyon Sendromu ve Tedavisi. Nucl Med Semin 2017; 3: 189-195.
- Alavi SS, Dabbagh ST, Abbasi M, Mehrdad R. Medical radiation workers' knowledge, attitude, and practice to protect themselves against ionizing radiation in Tehran Province, Iran. J Educ Health Promot. 2017 Jun 5;6:58.
- Allen JY, Dainiak N, Wingard JR. Clinical manifestations, evaluation, and diagnosis of acute radiation exposure. Danzl DF, Chao NJ. Editörler. Up To Date. <https://www.uptodate.com/contents/clinical-manifestations-evaluation-and-diagnosis-of-acute-radiation-exposure?> (Erişim Tarihi: 09.07.2020)
- Altunsoy EE. Bilgisayarlı tomografi taramalarındaki anatomik bölgelerin ve organların radyasyon kütle zayıflatma katsayılarının monte carlo metodu ile incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2018.
- Aneva N, Zaharieva E, Katsarska O, Savova G, Stankova K, Djounova J, Boteva R. Inflammatory profile dysregulation in nuclear workers occupationally exposed to low-dose gamma radiation. Journal of radiation research. 2019; 60(6): 768-779.
- Annagür A. Yenidoğan sepsisinde total antioksidan seviye, total oksidan seviye ve serum paraoksonaz düzeyleri [Yan dal uzmanlık tezi]. Konya: Selçuk Üniversitesi; 2011.

- Arslan N. Radyasyonun biyolojik sistemler üzerindeki etkileri. Nucl Med Semin. 2017a; 3: 178-183.
- Arslan S. Hastanelerde radyasyona maruz kalan radyoloji çalışanlarının çalışma koşullarının adli olarak değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi]. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi; 2017b.
- Auvinen A, Kivelä T, Heinävaara S, Mrena S. Eye Lens Opacities Among Physicians Occupationally Exposed to Ionizing Radiation. Ann Occup Hyg. 2015;59(7):945-8.
- Avcı R. Diyarbakır ilinde radyoloji çalışanlarının radyasyondan korunma durumları ve sağlık yakınmaları [Yüksek lisans tezi]. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi; 2016.
- Ay M. Girişimsel kardiyoloji incelemelerinde personel radyasyon dozunun ölçülmesi ve hasta radyasyon dozları ile korelasyonu [Yüksek lisans tezi]. Ankara: Ankara Üniversitesi; 2020.
- Ayan A. Konsepsiyondan Adölesana Radyasyonun Geç Dönem Etkileri: İntrauterin Işınlamada Risk, Hereditör Etkiler, Solid Tümörler. Nucl Med Semin. 2017; 3: 216-220.
- Aydoğdu R. D-galaktoz ile oluşturulan yaşlanma modelinde ardıc katranı' nın oksidatif stres üzerine etkisi [Yüksek lisans tezi]. İstanbul: Üsküdar Üniversitesi; 2020.
- Azzam El, Jay-Gerin JP, Pain D. Ionizing radiation-induced metabolic oxidative stress and prolonged cell injury. Cancer Lett. 2012;327(1-2):48-60.
- Balsak H. Radyoloji çalışanlarının tanı amaçlı kullanılan radyasyonun, zararlı etkileri hakkında bilgi, tutum ve davranışları [Yüksek Lisans Tezi]. Malatya: İnönü Üniversitesi; 2014
- Bıçakçı BC. Radyasyonun fetus üzerine etkileri. Türk Onkoloji Dergisi. 2009;24(4): 185-190.
- Bilir N, Yıldız AN. İş sağlığı ve güvenliği. 3. baskı. Hacettepe üniversitesi yayınları, Ankara; 2014.
- Büyüksulu N, Yiğitbaşı T. Reaktif oksijen türleri ve obezitede oksidatif stres. Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2015; 5(3): 197-203.
- Chen B, Dai Q, Zhang Q, et al. The relationship among occupational irradiation, DNA methylation status, and oxidative damage in interventional physicians. Medicine (Baltimore). 2019; 98(39): e17373.
- Choudhary S. Deterministic and stochastic effects of radiation. Cancer therapy and oncology international journal. 2018; 12(2): 555834.
- Çakmak M. Kord kanında 25-hidroksivitamin-D₃ düzeylerinin oksidatif stresle ilişkisi [Tıpta uzmanlık tezi]. İstanbul: Sağlık Bilimleri Üniversitesi; 2020.
- Çapuk M. Adıyaman sağlık yüksekokulu öğrencilerinin radyasyonun zararlı etkileri hakkında farkındalık düzeylerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi; 2016..
- Çelik S. Ankara üniversitesi nükleer bilimler enstitüsü radyasyondan korunma programı ve radyasyondan korunma optimizasyonu [Yüksek lisans tezi]. Ankara: Ankara Üniversitesi; 2013.

- Çimen B, Erdoğan M, Oğul R. İyonlaştırıcı radyasyon ve korunma yöntemleri. S.Ü. Fen Fakültesi Fen Dergisi. 2017; 43(2); 139-147.
- Çimen B. İyonlaştırıcı radyasyon ve çevre güvenliği [Yüksek lisans tezi]. Konya: Selçuk Üniversitesi; 2018.
- Daşdağ S. İyonlaştırıcı radyasyonlar ve kanser. Dicle Tıp Dergisi. 2010; 37(2): 177-185.
- Dawson-Saunders B, Trapp RG. Basic and Clinical Biostatistics. Norwalk, Appleton & Lange; 1990.
- Durović B, Spasić-Jokić V, Durović B. Influence of occupational exposure to low-dose ionizing radiation on the plasma activity of superoxide dismutase and glutathione level. Vojnosanit Pregl. 2008; 65(8): 613-8.
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ). Ionizing radiation, health effects and protective measures. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures> (Erişim Tarihi: 21.07.2020)
- Dünya sağlık örgütü (World Health Organization, WHO). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum, Radiological aspects. 2017.
- Düz ÇA. Diyabetik nefropatide sistemik adropin uygulamasının oksidatif stres üzerine etkileri [Yüksek lisans tezi]. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2020.
- Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi. Radyasyon Güvenliği El Kitabı. İzmir; 2014, 4-20.
- Eken A, Aydın A, Erdem O, Akay C, Sayal A, Somuncu I. Induced antioxidant activity in hospital staff occupationally exposed to ionizing radiation. Int J Radiat Biol. 2012; 88(9): 648-53.
- Ekinci M. Sağlık çalışanlarının radyasyon tutumunu belirleme ölçeği geliştirme ve uygulama çalışması [Yüksek lisans tezi]. Erzincan: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi; 2019.
- El-Benhawy SA, El-Tahan RA, Nakhla SF. Exposure to Radiation During Work Shifts and Working at Night Act as Occupational Stressors Alter Redox and Inflammatory Markers. Arch Med Res. 2020; 7: S0188-4409(19)30919-1.
- Encyclopaedia Britannica. Radiation historical background. <https://www.britannica.com/science/radiation/Historical-background> (Erişim Tarihi: 28.04.2020a)
- Encyclopaedia Britannica. Wilhelm Conrad Roentgen <https://www.britannica.com/biography/Wilhelm-Rontgen> (Erişim Tarihi: 28.04.2020b)
- Encyclopaedia Britannica. Marie Curie. <https://www.britannica.com/biography/Marie-Curie> (Erişim Tarihi: 28.04.2020c)
- Erdem S. Bir üniversite hastanesinde iyonizan radyasyon kaynakları ile çalışan sağlık çalışanlarında iş sağlığı ve güvenliği durumlarının değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi]. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2014.
- Erel O. A novel automated method to measure total antioxidant response against potent free radical reactions. Clin Biochem. 2004; 37: 112-9.
- Erel O. A new automated colorimetric method for measuring total oxidant status. Clin Biochem. 2005; 38: 1103-11.

- Ersever S. Radyofarmasötik üreten tesislerde radyasyon kaynaklı risklerin farklı yöntemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi]. İstanbul: İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi; 2018.
- Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behavior research methods. 2007; 39(2):175-191.
- Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. Behavior research methods. 2009; 41(4): 1149-1160.
- Fazel R, Einstein AJ. Radiation risk to healthcare workers from diagnostic and interventional imaging procedures. Cutlip D, Windecker S, Estes NAM, Saperia GM. Editörler. Up To Date. <https://www.uptodate.com/contents/radiation-risk-to-healthcare-workers-from-diagnostic-and-interventional-imaging-procedures> (Erişim Tarihi: 21.07.2020)
- Fidan AE. Skopi cihazı kullanan ortopedi doktorlarındaki radyasyona bağlı kromozom hasarlarının araştırılması [Yüksek lisans tezi]. İstanbul: İstanbul Üniversitesi; 2014.
- Gao J, Dong X, Liu T, Zhang L, Ao L. Antioxidant status and cytogenetic damage in hospital workers occupationally exposed to low dose ionizing radiation. Mutat Res. 2020; 850-851: 503152.
- Gökharman FD, Aydın S, Koşar PN. Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler. SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2016; 7(2): 35-40.
- Güler Ç, Akın L. Editörler. Halk sağlığı temel bilgiler 2. 3. baskı. Hacettepe üniversitesi yayınları, Ankara; 2015.
- Hayran M, Hayran M. Sağlık araştırmaları için temel istatistik. 1. baskı. Ankara: Art Ofset; 2011. s. 313.
- Heidari S, Taheri M, Ravan AP, Moghimbeigi A, Mojiri M, Naderi Khojastehfar Y, et al. Assessment of some immunological and hematological factors among radiation workers. J Biol Today's World. 2016; 5: 113–9.
- Katsarska O, Zaharieva E, Aneva N, Savova G, Stankova K, Boteva R. The soluble receptor ST2 is positively associated with occupational exposure to radiation. Int J Radiat Biol. 2016; 92(2): 87-93.
- Kayan M, Nazıroğlu M, Çelik Ö, Yalman K, Köylü H. Vitamin C and E combination modulates oxidative stress induced by X-ray in blood of smoker and nonsmoker radiology technicians. Cell Biochemistry and Function. 2009; 27: 424–429.
- Kłuciński P, Wójcik A, Grabowska-Bochenek R, Gmiński J, Mazur B, Hrycek A, Cieślik P, Martirosian G. Erythrocyte antioxidant parameters in workers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation. Ann Agric Environ Med. 2008; 15: 9–12.
- Kumar D, Kumari S, Salian SR, Uppangala S, Kalthur G, Challapalli S, Chandraguthi SG, Kumar P, Adiga SK. Genetic Instability in Lymphocytes is Associated With Blood Plasma Antioxidant Levels in Health Care Workers Occupationally Exposed to Ionizing Radiation. Int J Toxicol. 2016; 35(3): 327-35.
- Kunt H. Radyoloji çalışanlarında iyonize radyasyonun biyolojik etkileri [Doktora Tezi]. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi; 2011.

- Kurtul S, Kurtul N. The Level of Knowledge About Radiation Safety and the Frequency of the Use of Protective Equipment Among Healthcare workers Exposed to Radiation in Different Units. *Turk J Oncol.* 2018; 33(3): 102–7.
- Lee CI, Elmore JG. Radiation-related risks of imaging. Aronson MD, Kunins L. Editörler. Up To Date. <https://www.uptodate.com/contents/radiation-related-risks-of-imaging> (Erişim Tarihi: 21.07.2020)
- Lök R. Nükleer radyasyonla çalışanlarda iş güvenliği. [Yüksek lisans tezi]. İstanbul: Gedik Üniversitesi; 2015.
- Malekiran AA, Ranjbar A, Rahzani K, Pilehvarian AA, Rezaie A, Zamani MJ, Abdollahi M. Oxidative stress in radiology staff. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2005; 20(1): 215-8.
- McGale P, Darby SC. Low doses of ionizing radiation and circulatory diseases: a systematic review of the published epidemiological evidence. *Radiat Res.* 2005; 163(3): 247-57.
- Ministry of the Environment Government of Japan. Deterministic Effects and Stochastic Effects. Booklet to provide basic information regarding health effects of radiation. 1st Edition. 2019.
- Mons U, Muscat JE, Modesto J, Richie JP Jr, Brenner H. Effect of smoking reduction and cessation on the plasma levels of the oxidative stress biomarker glutathione--Post-hoc analysis of data from a smoking cessation trial. *Free Radic Biol Med.* 2016; 91: 172-7.
- Najafi M, Motevaseli E, Shirazi A, Geraily G, Rezaeyan A, Norouzi F, Rezapoor S, Abdollahi H. Mechanisms of inflammatory responses to radiation and normal tissues toxicity: clinical implications. *International Journal of Radiation Biology.* 2018; 94(4): 335-356.
- National Cancer Institute. Radiation Therapy to Treat Cancer. <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/radiation-therapy> (Erişim Tarihi: 26.04.2020)
- OECD (2019), Health at a Glance 2019: OECD Indicators, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/4dd50c09-en>.
- Onat T, Emerk K, Sözmen EY. Editörler. İnsan biyokimyası. 2. baskı. Palme yayınları, Ankara; 2006.
- Orme NM, Rihal CS, Gulati R, Holmes DR Jr, Lennon RJ, Lewis BR, McPhail IR, Thielen KR, Pislaru SV, Sandhu GS, Singh M. Occupational health hazards of working in the interventional laboratory: a multisite case control study of physicians and allied staff. *J Am Coll Cardiol.* 2015; 65(8): 820-826.
- Özgülen E. Radyasyon Güvenliği El Kitabı. Özel çevre hastanesi. 2018. https://www.cevrehastanesi.com.tr/upload/dosya/gorrb01-radyasyon-guvenligi-el-kitabi-rev01pdf_20181017005430.pdf (Erişim Tarihi: 09.04.2020)
- Öztürk YE, Türktemiz H, Akdağ T. Dozimetre taşıyan sağlık çalışanlarında iş yükünün iyonlaştırıcı radyasyon risk algısına etkisi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi.* 2017; 20(2): 143-155.
- Pisoschi AM, Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *Eur J Med Chem.* 2015; 5(97): 55-74.
- RadiologyInfo.org. radiation dose in X-ray and CT Exams. <https://www.radiologyinfo.org/en/pdf/safety-xray.pdf> (Erişim Tarihi: 09.04.2020)

- Roh JS, Sohn DH. Damage-associated molecular patterns in inflammatory diseases. *Immune Netw.* 2018; 18(4): e27.
- Sakaoğlu Manavgat S. Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nde kişisel dozimetre taşıyan çalışanların mesleki iyonlaştırıcı radyasyon risk algısı ve ilişkili etmenler [Uzmanlık Tezi]. İzmir: Ege Üniversitesi; 2011.
- Salvatori M, Rizzo A, Rovera G, Indovina L, Schillaci O. Radiation dose in nuclear medicine: the hybrid imaging. *La radiologia medica.* 2019; 124: 768-776.
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Health effects of security scanners for passenger screening, based on X-ray technology. European commission; 2012.
- Sebastià N, Olivares-González L, Montoro A, et al. Redox status, dose and antioxidant intake in healthcare workers occupationally exposed to ionizing radiation. *Antioxidants (Basel).* 2020; 9(9): 778.
- Selek S, Aslan M, Horoz M, Gur M, Erel O. Oxidative status and serum PON1 activity in beta-thalassemia minor. *Clin Biochem.* 2007; 40: 287-91.
- Siama Z, Zosang-Zuali M, Vanlalruati A, Jagetia GC, Pau KS, Kumar NS. Chronic low dose exposure of hospital workers to ionizing radiation leads to increased micronuclei frequency and reduced antioxidants in their peripheral blood lymphocytes. *Int J Radiat Biol.* 2019; 95(6): 697-709.
- Sies H, Jones DP. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2020; 21(7): 363-383.
- Şahin Bal S, Kılıç Ö, Gönültaş F. Bitlis kaynak sularında radon konsantrasyonunun belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 2017; 21(3): 302-306.
- Taşkın H. İzmir ili fon radyasyon düzeylerinin belirlenmesi, insan sağlığı üzerine etkilerinin değerlendirilmesi ve coğrafi bilgi sistemleri aracılığı ile dağılımın gösterilmesi [Doktora Tezi]. İstanbul: İstanbul Üniversitesi; 2018.
- Tekin G. Obsesif kompulsif bozukluk hastalarında seçici serotonin geri alım önleyicileri ile tedavinin oksidatif stres üzerine etkisi [Uzmanlık Tezi]. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi; 2020.
- Tokaç D. Kaynak işçilerinde mesleki maruziyete bağlı olası oksidatif stres göstergelerindeki değişikliklerin incelenmesi [Doktora Tezi]. Ankara: Hacettepe Üniversitesi; 2018.
- Tulchinsky T, Varavikova E. Editörler. Yeni halk sağlığı. 3. baskıdan çeviri. Palme yayınları, Ankara; 2019.
- Türk Radyasyon Onkolojisi Derneği. Görüntüleme Teknikleri Radyasyon Dozu. https://www.trod.org.tr/hastalarimiz_icin.php?id=992 (Erişim Tarihi:09.04.2020)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Öğrenci Dersleri. Bölüm 3 - Radyasyon "Radyasyon ve Biz" - Doğal ve yapay radyasyon kaynakları. <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm> (Erişim tarihi: 21.02.2020a)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyonla Birlikte Yaşıyoruz Doğal Radyasyon Kaynakları. <https://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (Erişim tarihi: 21.02.2020b)

- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyonla Birlikte Yaşıyoruz Yapay Radyasyon Kaynakları. <https://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1084-yapay-radyasyon-kaynaklari.html> (Erişim tarihi: 21.02.2020c)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Öğrenci Dersleri. Bölüm 3 - Radyasyon "Radyasyon ve Biz" - Radyasyon birimleri. <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r04.htm> (Erişim tarihi: 30.04.2020d)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Öğrenci Dersleri. Bölüm 3 - Radyasyon "Radyasyon ve Biz" - Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri. <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r07.htm> (Erişim tarihi: 18.05.2020e)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). Dozimetre Nedir, Kullanılan Dozimetreler Hangileridir ve Hangi Amaçlar İçin Kullanılmaktadır? <https://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/150-dozimetri-sss/996-dozimetre-nedir-kullanilan-dozimetreler-hangileridir-ve-hangi-amaclar-icin-kullanilmaktadir.html> (Erişim Tarihi: 22.07.2020f)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). Denetimli ve Gözetimli Alan Nedir? <https://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/91-radyasyon-guvenligi-sss/863-radyoaktivite-nedir.html> (Erişim Tarihi: 23.07.2020g)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Öğrenci Dersleri. Bölüm 3 - Radyasyon "Radyasyon ve Biz" – Radyasyondan Korunma Yöntemleri <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r08.htm> (Erişim Tarihi: 23.07.2020h)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği Dairesi. Türkiye’de radyasyon kaynakları. 2018.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon ve bilmek istediklerimiz. Uslu İ, Güven N, Gözbebek F, çeviri edidörü. 2000. <https://www.researchgate.net> (Erişim Tarihi: 27.04.2020)
- Uçal Y. Serbest radikaller ve antioksidan besinler. Yücel D, çeviri editörü. Harper’ın resimli biyokimyası. Ankara: Güneş tıp kitapçıları; 2019. p. 541-545.
- Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP). The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection, publication 103. 2007; 37: 2-4.
- United Nations Environment Programme (UNEP), Radiation: effects and sources. 2016.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Radiation terms and units. <https://www.epa.gov/radiation/radiation-terms-and-units> (Erişim Tarihi: 30.04.2020a)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Use of Radiation in Medicine. <https://www.epa.gov/radtown/use-radiation-medicine> (Erişim Tarihi: 09.04.2020b)
- United States Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC). Measuring Radiation. <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/measuring-radiation.html> (Erişim Tarihi: 30.04.2020a)
- United States Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC). Uses of Radiation, Industrial Uses. <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/uses-radiation.html> (Erişim Tarihi: 27.04.2020b)
- Uzuntarla Y, Doğan F. Bir eğitim ve araştırma hastanesinde dozimetre taşıyan sağlık personelinin iyonlaştırıcı radyasyon hakkındaki risk algısı ve bilgi düzeyinin belirlenmesi. Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi. 2019; 6(1): 34-4.

- Vimercati L, De Maria L, Mansi F, Caputi A, Ferri GM, Luisi V, Lovreglio P, Cannone ESS, Lorusso P, Gatti MF, Massagli CRS, Triggiani V. Prevalence of Thyroid Diseases in an Occupationally Radiation Exposed Group: A Cross-Sectional Study in a University Hospital of Southern Italy. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*. 2019; 19(6): 803-808.
- Yahyapour R, Amini P, Rezapour S, Cheki M, Rezaeyan A, Farhood B, et al. Radiation-induced inflammation and autoimmune diseases. *Mil Med Res*. 2018; 5(1): 9.
- Yanbaeva DG, Dentener MA, Creutzberg EC, Wesseling G, Wouters EF. Systemic effects of smoking. *Chest*. 2007; 131(5): 1557-66.
- Yarenoğlu A. Hastanelerde radyasyona maruz kalan çalışanların çalışan güvenliği ve radyasyon güvenliği konusunda bilgi, tutum ve davranışları [Yüksek lisans tezi]. İstanbul: İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi; 2018.
- Yılmaz R. Akciğer hastalığı patogenezinde oksidatif stres ve antioksidan sistemin rolleri. *Chron Precis Med Res*. 2020; 1(1): 1-7.
- Zablotska LB, Little MP, Comett RJ. Potential increased risk of ischemic heart disease mortality with significant dose fractionation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study. *Am J Epidemiol*. 2014;179(1): 120-31.
- Zakeri F, Hirobe T, Akbari Noghabi K. Biological effects of low-dose ionizing radiation exposure on interventional cardiologists. *Occup Med (Lond)*. 2010; 60(6): 464-9.