

Radyasyon Güvenliği Kılavuzu: Genel Tanımlar ve Nükleer Tıp Uygulamalarında Radyasyondan Korunma Kuralları

Radiation Safety Guide: General Definitions and Radiation Protection Rules in Nuclear Medicine Applications

© Yasemin Parlak¹, © Bađnu Uysal², © F. Suna Kırac³, © Bilal Kovan⁴, © Mustafa Demir⁵, © Aslı Ayan⁶, © Leyla Poyraz⁴, © İnci Aliç Özasan⁷, © Kamil Köseođlu⁸, © Nami Yeyin⁵, © Semra Dönmez⁶, ve TNTD Radyasyon Güvenliği ve Kalite Kontrol Çalışma Grubu Üyeleri

¹Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Manisa, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

³TNTD Radyasyon Güvenliği ve Kalite Kontrol Çalışma Grubu Başkanı, İzmir, Türkiye

⁴İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

⁵İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

⁶Sađlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

⁷Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

⁸Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

Öz

Günümüzde tıp ve endüstri alanında yaygın olarak kullanılan iyonize radyasyon, canlı dokudan geçen enerjiyi bir kısmını ya da tamamını dokuya aktarır. Canlı organizmada düşük maruziyet dozlarından yüksek dozlara dek olası zararlı etkilere neden olur. Bunlar stokastik etkiler (kanser, mutasyonlar) ve deterministik etkilerdir (yeni ismi doku reaksiyonları, dermatit, katarakt gibi). Radyasyon çalışanlarının ve halkın radyasyon maruziyetinin olabildiğince düşük tutulması ve kabul edilebilir doz sınırları içinde kalması zararlı etkilerin önlenmesi açısından önemlidir. Uygulamalarda ulaşılabilir mümkün olan en düşük doz ve uygulanabilir mümkün olan en düşük doz prensipleri ile uluslararası ve ulusal atom enerjisi kurumları tarafından tanımlanan mesleki ve toplum için izin verilen doz limitlerine uyulmalıdır. Radyasyon alanlarında çalışırken maruziyet dozunu mümkün olduğu kadar azaltmak için radyasyondan korunma kurallarına uyulmalıdır. Radyasyon kazaları, radyoaktif

Abstract

Ionizing radiation which is widely used in the field of medicine and industry, and in scientific studies leaves some or all of its energy to the tissue as it passes through living tissue. It causes known possible harmful effects on living organisms, from low exposure doses to high doses. These are stochastic effects (cancer, mutations) and deterministic effects which are recently named as tissue reactions (such as dermatitis, cataracts). It is important to keep the radiation exposure of the radiation workers and the public as low as possible and to keep within the acceptable dose limits in order to avoid unknown harmful effects. Radiation risks to health are assessed by radiation absorbed dose, dose equivalent and effective doses. In routine daily practices, as low as reasonably achievable dose and as low as reasonably practicable dose principles, and also, occupational and public permissible dose limits defined by international and national atomic energy agencies should be complied. Radiation

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Prof. Dr. F. Suna Kırac, TNTD Radyasyon Güvenliği ve Kalite Kontrol Çalışma Grubu Başkanı, İzmir, Türkiye

Tel.: +90 542 515 26 35 E-posta: fskirac@yahoo.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-0441-4599

©Telif Hakkı 2020 Türkiye Nükleer Tıp Derneđi / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

maddelerin taşınması ve atıkların bertarafı (yok edilmesi) ise, çevre sağlığının korunması açısından önemli ve radyasyondan korunma kurallarına uyulmasını gerektiren özel durumlardır. Hedefe yönelik yeni radyofarmasötiklerin geliştirilmesi ile özellikle malign hastalıkların tedavisinde radyonüklitler sık uygulanmaktadır. Bu nedenle, özellikle yüksek doz radyonüklit tedavi uygulandıktan kısa süre sonra ölen hastalara yapılacak işlemlerde görevli hastane çalışanları için radyasyondan korunma önemlidir. Bu kılavuzda önce radyasyon ile ilgili kavramlar açıklanacak, ardından radyasyonlu uygulamalarda ulusal ve uluslararası radyasyondan korunma kuralları sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, radyasyon alanı, radyasyondan korunma

protection rules should be followed to reduce an exposure dose as much as possible while working in the radiation areas. Radiation accidents, transportation of radioactive materials and radioactive waste disposal are important special issues for the protection of environmental health, and compliance with radiation protection rules are necessary. With the development of new targeted radiopharmaceuticals, radionuclide treatments are frequently applied in nuclear medicine clinics, especially in the treatment of malignant diseases. Therefore, radiation protection is an important issue especially for the hospital workers performing procedures to the patients who die shortly after administration of high-dose radionuclide therapy. In this guide, the terms related to radiation will be presented at first, and then, the national and international radiation protection rules in radiation works will be given.

Keywords: Radioactivity, radiation area, radiation protection

Giriş

İyonize radyasyon, tıp ve endüstride 20. yüzyıl başlarından beri kullanılmakta olup teknolojik gelişmelerle birlikte tıp alanında kullanımı gittikçe yaygınlaşmıştır. Son yıllarda uygulanan ileri tanı ve tedavi yöntemleri hastalıkların erken tanısı ve tedavi edilme şansını artırırken toplumun radyasyon maruziyetinin de artmasına neden olmuştur. Özellikle X-ışınından yararlanan radyolojik görüntüleme yöntemlerinin bilinçsizce ve gereksiz kullanılması çevre ve toplum sağlığı açısından önemli risk oluşturmaktadır. Radyasyon maruziyetinin kanser ve kanser dışı birçok sağlık sorunlarının gelişmesine neden olduğu, ilk radyasyon dermatiti olgusunun yayınlandığı 1896 yılından beri bilinmektedir (1,2). İyonize radyasyon canlı dokudan geçerken enerjisinin bir kısmını ya da tamamını dokuya aktararak canlı organizmada düşük maruziyet dozlarından yüksek dozlara dek bilinen olası zararlı etkilere neden olur. Bunlar stokastik etkiler (kanser, mutasyonlar) ve deterministik etkiler yani doku reaksiyonlarıdır (dermatit, katarakt gibi). Radyasyon çalışanlarının ve toplumun radyasyon maruziyetinin kabul edilebilir doz sınırları içinde kalması bilinmeyen zararlı etkilerin önlenmesi açısından önemlidir. ALARA (as low as reasonably achievable dose) ve ALARP (as low as reasonably practicable dose) prensipleri ile uluslararası ve ulusal atom enerjisi kurumları tarafından tanımlanan mesleki ve toplum için izin verilen doz sınırlarına ve radyasyondan korunma kurallarına uyulmalıdır (3,4,5,6,7,8,9). Radyasyon

kazaları, radyoaktif maddelerin taşınması ve atık bertarafı (yok edilmesi) ise çevre sağlığının korunması açısından önemli ve radyasyondan korunma kurallarına uyulmasını gerektiren özel durumlardır (6,10,11,12,13,14,15,16). Hedefe yönelik yeni radyofarmasötiklerin geliştirilmesi ile, özellikle malign hastalıkların tedavisinde, radyonüklitlerle tedavi nükleer tıp kliniklerinde sık uygulanmaktadır (17). Bu nedenle, özellikle yüksek doz radyonüklit tedavi uygulandıktan kısa süre sonra ölen hastalara yapılacak işlemlerde görevli hastane çalışanlarının radyasyondan korunması önemlidir (18,19). Bu kılavuzda önce radyasyon ile ilgili kavramlar tanımlanacak, ardından radyasyonlu ortamda güvenli çalışma, radyoaktif maddelerin taşınması, saklanması ve yok edilmesi sırasında radyasyonla çalışanlar ve çevrenin radyasyonun zararlı etkilerinden korunması için dikkat edilmesi gereken ulusal ve uluslararası radyasyondan korunma kurallarına yer verilecektir.

Amaç

İyonize radyasyondan faydalanılan tanısız testler ve tedaviler sırasında hastalar ve radyasyon personelinde radyasyonun neden olabileceği istenmeyen zararlı etkilerin saptanması ve önlenmesi, çevrenin radyasyonun zararlı etkilerinden korunması için dikkat edilmesi gereken ulusal ve uluslararası radyasyondan korunma kurallarının yeni bilgiler bağlamında tartışılması amaçlandı.

Kılavuzda Kullanılan Tanımlar ve Kısaltmalar	
As Low As Reasonably Achievable Dose (ALARA)	Ulaşılabilir mümkün olan en düşük doz
As Low As Reasonably Practicable Dose (ALARP)	Uygulanabilir mümkün olan en düşük doz
Annual Limit on Intake (ALI)	Solunum veya sindirim yolu ile vücuda alınan radyoaktif materyal için yıllık kabul edilen sınır
Ba-133	Baryum-133
Becquerel (Bq)	Aktivite birimi
Co-57	Kobalt-57
Cs-137	Sezyum-137
Curie (Ci)	Aktivite birimi
Derived Air Concentration (DAC)	Belli bir radyonüklidin havadaki konsantrasyonu
Dangerous Goods Regulations (DGR)	Tehlikeli madde yönetmeliği
DSÖ (WHO)	Dünya Sağlık Örgütü
European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)	Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması
F-18	Flor-18
FDG	Florodeoksiglukoz
Ga-68	Galyum-68
Ge-68	Germanyum-68
GM	Geiger-Müller
Gray (Gy)	Soğurulmuş doz birimi
Half value layer (HVL)	Yarı değer kalınlığı
International Atomic Energy Agency (IAEA)	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
International Air Transport Association (IATA)	Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
I-131	İyot-131
International Committee on Radiation Protection (ICRP)	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu
International Maritime Organization (IMO)	Uluslararası Denizcilik Kurumu
International Maritime Dangerous Goods (IMDG)	Uluslararası Denizcilik Tehlikeli Maddeleri
Laminar Air Flow (LAF)	Tabakalandırılmış Hava Akımı
Low Specific Activity Material (LSA)	Düşük Özgül Aktiviteli Madde
Lu-177	Lutesyum-177
mCi	miliCurie
mGy	miliGray
Mo-99	Molibden-99
mR	miliRöntgen
mSv	miliSievert
MPChava	Havadaki Maksimum Kabul Edilebilir Radyoaktivite Konsantrasyonu
National Council on Radiation Protection (NCRP)	Ulusal Radyasyondan Korunma Konseyi
NŞA	Normal Şartlar Altında
PET/BT	Pozitron emisyon tomografi/bilgisayarlı tomografi
Radiation Absorbed Dose (Rad)	Soğurulmuş doz birimi

Radyasyon Alanı	Radyasyona maruz kalınacak yıllık dozun 1 mSv değerini geçme olasılığı bulunan alanlar
Radyasyon Görevlisi	Radyasyon kaynağı ile yürütülen faaliyetlerden dolayı toplum üyesi kişiler için belirtilen doz sınırlarının üzerinde radyasyona maruz kalma olasılığı olan denetimli ve gözetimli alanlarda görevi gereği çalışan kişi
Radyasyondan Korunma Sorumlusu (RKS)	Radyasyondan korunmada temel güvenlik standartlarını yapılan işin niteliklerine göre uygulayacak, bu alandaki eğitim ve deneyimi lisanslama aşamasında kurum tarafından değerlendirilerek uygun görülen kişidir
Röntgen (R)	X ve gama ışınlarının havada bulunan iyonizasyonlarının sayısal toplamı
Roentgen equivalent man (Rem)	Eşdeğer doz, vücutta soğurulan enerjinin birimidir
Sievert (Sv)	Etkin doz birimi
Sm-153	Samaryum-153
Sr-89	Stronsiyum-89
Surface Contaminated Object (SCO)	Yüzeyi bulaşmış cisim
System International (SI)	Uluslararası sistem
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
Tc-99m	Teknesyum-99m
Tenth-value thickness (TVT)	Radyonüklidden yayınlanan fotonları 10 kat azaltan kalınlıktır
Transportation Index (TI)	Taşıma İndisi
TENMAK	Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu
UBAK	Ulaştırma Bakanları Avrupa Konferansı
Xe-133	Xenon-133
Y-90	İtriyum-90

1.0. Radyasyon Birimleri ve Tanımları

Yeni teşhis ve tedavi yöntemleriyle iyonlaştırıcı radyasyon kullanımı giderek artmaktadır. Radyasyonun zararlı biyolojik etkilerinin bilinmesi ve saptanması önemlidir. Radyasyonun biyolojik etkilerini belirleyebilmek için radyasyon dozunun bilinmesi gerekir. Radyasyon dozunun hedef kütlede meydana getireceği etki radyasyonun çeşidi (alfa, beta vb.), doz hızı, bu doza maruz kalış süresi ve dokunun radyosensitivitesi ile ilişkilidir. Radyasyon dozu ve radyoaktivite ölçüm birimleri olarak farklı terimler kullanılmaktadır (3,4,5,6,9,10,17,20,21,22,23).

1.1. Aktivite: Radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarıdır. Radyasyon aktivite birimleri Curie (Ci) ve Becquerel (Bq)'dir. Uluslararası kabul edilen (SI) birim Bq'dir.

Özel Birim Curie (Ci): Saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.

SI Birimi Becquerel (Bq): Bir saniyede bozulan çekirdek sayısıdır (s^{-1}).

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

1.2. Işınlama Birimi: Işınlama özel birimi Röntgen, SI birimi C/kg'dır. Röntgen, X ve gama ışınlarının havada bulunan iyonizasyonlarının sayısal toplamı, yani radyasyona maruz kalma ölçüsüdür.

Tanım olarak 1 röntgen normal şartlar altında (NŞA) (0°C ve 760 mm Hg basınçta) 1 ml kuru havada (0,001293 gr) absorblandığı zaman 1 elektrostatik yük birimlik (eyb) iyon oluşturmak için gerekli X veya gama radyasyon miktarı olarak tanımlanır.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$$

1.3. Soğurulmuş Doz Birimi: Dokulardaki radyasyon birimi olarak Rad, SI birimi Gray (Gy) kullanılır. Işınlanan maddenin 1 kg'na 10^{-4} joule enerji veren radyasyon miktarı 1 rad'dır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir. Işınlanan maddenin 1 kg'na 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarı da 1 Gy'dir. Günümüzde kullanılan geçerli birim Gy'dir.

$$1 \text{ Rad} = 100 \text{ erg/g}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$$

Absorbe edilen doz ve maruz kalınan doz arasındaki ilişki aşağıdaki formül ile gösterilir.

$$\text{Rad} = \text{Röntgen} \times f$$

f: Işın demetinin kalitesi ve ışınlanan dokuya bağımlı faktördür (Tablo 1).

1.4. Eşdeğer Doz Birimi: Eşdeğer doz, vücutta toplanan enerjinin ifadesidir. Düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını

Tablo 1. Foton enerjisi ve doku tipine göre f değerleri

Foton enerjisi (MeV)	f faktör		
	Su	Kemik	Kas
0,01	0,90	3,60	0,92
0,02	0,87	4,20	0,90
0,03	0,87	4,20	0,90
0,04	0,88	4,00	0,91
0,05	0,90	3,50	0,92
0,06	0,91	2,80	0,93
0,08	0,94	1,90	0,94
0,10	0,95	1,40	0,95
0,15	0,96	1,10	0,96
0,20	0,96	0,98	0,96
0,40	0,97	0,93	0,96
0,60	0,97	0,92	0,96
0,80	0,97	0,92	0,96
1,00	0,97	0,92	0,96
1,25	0,97	0,92	0,96
1,50	0,97	0,92	0,96
3,00	0,96	0,93	0,95
5,00	0,96	0,94	0,95
10,00	0,95	0,96	0,93

Tablo 2. Doku ağırlık faktörleri

Doku	Doku ağırlık faktörü (ICRP 61)	Doku ağırlık faktörü (ICRP 103)
Kemik iliği (kırmızı), kolon, akciğer, mide,	0,12	0,12
Gonadlar	0,20	0,08
Mesane, özefagus, karaciğer, tiroid, meme	0,05	0,04
Kemik yüzeyi, beyin, tükrük bezleri, deri Diğerleri*	0,01 0,05	0,01 0,05

*Diğerleri ICRP 103: Adrenaller, ekstratorasik bölge, kalp, böbrek, lenfatik kanallar, kas, oral mukoza, pankreas, prostat, bağırsak, dalak, timus, uterus, ICRP: Uluslararası radyasyondan korunma komisyonu

da içeren bir kavramdır. Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir (3,9,10,20,22). Eski birimi Rem (Roentgen equivalent man), SI Birimi Sievert (Sv)

$$\text{Rem} = \text{Soğurulan Doz} \times \text{Faktörler}$$

Sv: 1 Gy'lik X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rem} = 0,01 \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ J/kg}$$

1 Sv yüksek bir eşdeğer doz değeridir. Tıbbi uygulamalarda eşdeğer doz ölçümü için genellikle miliSv veya mikroSv değeri kullanılır. Örneğin, yıllık maruz kalınan doğal radyasyon dozu yaklaşık 2,4 mSv, bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleme yapılan hastanın aldığı radyasyon dozu 8-15 mSv, Flor-18 florodeoksiglukoz (F-18 FDG) ile Pozitron emisyon tomografi/bilgisayarlı tomografi (PET/BT) görüntüleme yapılan hastaların aldıkları etkin doz yaklaşık 12-25 mSv aralığındadır (24,25).

1.5. Etkin Doz: Birimi Sv olup, insan vücudunda ışınlanan bütün doku ve organlar için hesaplanmış eşdeğer dozun, her doku ve organın doku ağırlık faktörleri ile çarpılması sonucunda elde edilen dozların toplamıdır. Doku ağırlık faktörleri Tablo 2'de ve radyasyon birimleri Tablo 3'te özetlenmiştir (3,4,5,6,20,26).

2.0. Radyasyon Alanları

Radyasyona maruz kalınacak yıllık dozun 1 mSv değerini geçme olasılığı bulunan alanlar "Radyasyon Alanı" olarak değerlendirilir. Bu alanlar da "Denetimli Alanlar" ve "Gözetimli Alanlar" olarak ikiye ayrılır (3,5,6,10,12,27).

Radyasyon alanları ve çalışma koşulları; radyasyon kaynaklarının özelliklerine, riskin büyüklüğüne ve çalışma koşullarına uygun olarak radyasyondan korunma sorumluları ve radyasyon güvenliği komitelerinin radyasyon alanlarında yapacakları radyasyon

ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucuna göre lisans sahibi tarafından sınıflandırılmalı ve buralarda çalışacak personel belirlenmelidir. Radyasyon ile çalışan görevlilerin kabul edilebilir radyasyon dozları Tablo 4’te verilmiştir (6,7,8,10,22).

Görevleri gereği iyonlaştırıcı radyasyondan etkilenen kişilerin çalışma koşulları A ve B olarak sınıflandırılır. Yılda 6 mSv’den daha fazla etkin doza veya göz merceği, deri, el ve ayaklar için yıllık eşdeğer doz sınırlarının 3/10’undan daha fazla doza maruz kalma olasılığı bulunan radyasyon çalışanları için Çalışma Koşulu A, bu koşulları sağlamayan radyasyon çalışanları için radyasyon maruziyeti ise Çalışma Koşulu B olarak tanımlanmaktadır. Çalışma Koşulu A durumunda görev yapan kişilerin, kişisel dozimetre kullanması zorunludur. Tablo 5’te alınan radyasyon dozlarına göre sınıflandırılan düzeyler verilmiştir (3,5,6,22,26,27).

2.1. Denetimli Alanlar: Çalışanların ardışık beş yılın ortalaması yıllık doz sınırlarının 3/10’undan (6 mSv/yıl) fazla radyasyon dozuna maruz kalabilecekleri alanlardır. Bu alanlar, radyasyon görevlilerinin giriş ve çıkışlarının özel denetime, çalışmalarının radyasyon korunması

bakımından özel kurallara bağlı olduğu (dozimetre taşıma, koruyucu kıyafet gibi) alanlardır. Alana giriş noktasına ve uygun yerlere “Radyasyon uyarı sembolü” ve “uygun talimatlar” asılır. Yerel kurallar ve prosedürler ile korunma ve güvenlik önlemleri oluşturulur. Alana giriş kilit vb. şekilde sınırlandırılır. Alana girişte koruyucu kıyafet, ölçüm cihazı vb. malzemeleri bulunduracak olanaklar sağlanır. Önlemlerin yeterliliği sürekli olarak denetlenir (3,5,6,20,26,27,28).

Nükleer Tıp Bölümleri’nde denetimli alanlar sıcak oda (radyofarmasötik hazırlama odası), enjeksiyon odası, radyoaktif hasta bekleme odaları, radyoaktif madde atık odası, radyoaktif madde dikey odası (depo), görüntüleme odaları, radyonüklit tedavi odaları, radyoaktif hasta tuvaletleri ve radyoaktif madde bulaşma riski yüksek olan alanlardır.

2.2. Gözetimli Alanlar: Kişisel doz ölçümü gerektirmeyen, çevresel radyasyonun izlenmesi gereken ve yıllık doz sınırlarının 1/20’sinin (1 mSv) aşılma olasılığı olup 3/10’nun (6 mSv) aşılması beklenmeyen alanlara gözetimli alan denir. Bu alanların alan doz ölçümlerinin belli aralıklarla yapılması gerekmektedir (3,5,6,26,27).

Tablo 3. Radyasyon birimleri (3,4,20,21)

	Birimi		Dönüşümü
	Eski	SI	
Aktivite	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci= 3,7x10 ¹⁰ Bq 1 Ci= 37 GBq 1 mCi= 37 MBq
Işınlama	Röntgen (R)	Coulomb/kilogram (C/kg)	1 C/kg= 3876 R 1 R= 2,58x10 ⁻⁴ C/kg
Soğurulmuş doz	Rad (Radiation absorbed dose)	Gray (Gy)	1Gy= 100 rad 1 Rad= 0,01 Gy
Doz eşdeğeri	Rem (Röntgen equivalent man)	Sievert (Sv)	1 Sv= 100 rem 1 Rem= 0,01 Sv

Tablo 4. Radyasyon çalışanları ve toplumdaki kişiler için kabul edilen radyasyon dozları (6,7,8,10,22)

	Radyasyon görevlileri	Toplum üyesi kişiler
Efektif doz	Ardışık beş yılın ortalaması 20 mSv’i herhangi bir yılda ise 50 mSv’i geçemez	1 mSv (özel durumlarda ardışık beş yılın ortalaması 1 mSv olmak üzere yılda 5 mSv’e izin verilir)
Yıllık eşdeğer doz		
Göz merceği	Ardışık beş yılın ortalaması 20 mSv’i geçmemek üzere tek bir yılda en fazla 50 mSv	15 mSv
Deri	500 mSv	50 mSv
El ve ayak	500 mSv	
*Radyasyon kazalarında görevli acil müdahale personeli için doz sınırlamaları bu tabloda yer almamaktadır. Buna ilişkin doz sınırları mevcut kılavuzun 3.5. maddesinde özetlenmiştir		

Kemik dansitometre, RIA (radyoimmün assay) laboratuvarları gibi alanlar.

2.3. Kontrolsüz Alanlar: Radyasyon dozu 2 mrem (20 mikroSv)/saat ve 50 mrem (500 mikroSv)/yıl düzeyini aşmayan ve çevresel radyasyon ölçümü gerektirmeyen alanlardır (3,5,6,27). İdari bölüm, radyoaktif olmayan hasta ve yakınlarının bekleme odası, radyoaktif olmayan tuvaletlerdir.

3.0. Özel Durumlar

3.1. On sekiz yaşından küçükler radyasyon uygulaması içinde çalıştırılmazlar. Eğitimleri radyasyon kaynaklarının kullanılmasını gerektiren 16-18 yaş arasındaki stajyerler ve öğrenciler için etkin doz, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK, eski Türkiye Atom Enerjisi Kurumu-TAEK) düzenlemelerine göre herhangi bir yılda 6 mSv'yi geçemez. Ancak el, ayak veya deri için yıllık eşdeğer doz sınırı 150 mSv, göz merceği için 15 mSv'dir (5,6,7,8,26). On sekiz yaşını doldurmuş stajyerler ve öğrenciler için radyasyonla çalışanlar için belirlenen doz sınırları uygulanır. On altı yaşını doldurmamış stajyerler ve öğrenciler için doz sınırları halk için doz sınırları ile aynıdır.

3.2. Harici çalışanlar da dahil olmak üzere radyasyonla çalışanlar, hamilelik ve emzirme dönemlerinde durumlarını çalıştıkları kuruluşa bildirmelerinden itibaren radyasyona maruz kalma riski taşıyan işlerde görevlendirilemez. Hamile radyasyon görevlileri için çalışma şartları yeniden düzenlenmeli ve doğacak çocuğun alacağı dozun mümkün olduğu kadar düşük düzeyde tutulması sağlanmalıdır. Hamileliğin kalan süresi boyunca fetüsün alacağı doz 1 mSv'yi aşmamalıdır. Emzirme dönemindeki kadın çalışanlar, radyoaktif kontaminasyon riski taşıyan işlerde çalıştırılmamalıdır. Emzirme dönemindeki personel, radyoaktif iyodun solunması veya sindirim yoluyla alınması riski taşıyan nükleer tıp alanında ve benzeri bulaşma riski taşıyan işlerde çalıştırılmaz (3,6,22,26,29,30,31).

3.3. Geçici görevlendirmelerde, çalışanlara radyasyon güvenliği eğitimi verilmelidir. Alacağı radyasyon dozu ile ilgili bilgilendirme yapılmalıdır (3,10,12,15,26).

3.4. Ziyaretçiler denetimli alanlara kesinlikle, gözetimli alanlara ise radyasyondan korunma sorumlusundan izin almadan giremezler. İzin verilen ziyaretçilerin giriş ve çıkış saatlerinin kayıtlarının tutulması radyasyondan korunma sorumlusu tarafından sağlanır. Gerek görülen hallerde tıbbi tanı ve tedavi altındaki hastalara gönüllü ve bilinçli olmak koşuluyla yardım etmek isteyen veya hasta bakımını üstlenen ya da hasta ziyareti için gelen kişilerin alacakları etkin doz, tanı ve tedavi süresince 5 mSv değerini aşamaz (6,26,32,33).

3.5. Acil durum müdahale çalışmalarında toplam etkin doz; hayat kurtarıcı eylemler için <500 mSv, ciddi yaralanmaların ve felaket koşullarının önlenmesi için <100 mSv, kısa süreli iyileştirme çalışmaları için <50 mSv olarak belirlenmiştir. Alabilecekleri etkin doz 50 mSv'yi aşabilecek acil durum çalışanları, ortaya çıkabilecek sağlık etkileri ve koruyucu eylemler hakkında çok detaylı ve açık bir şekilde bilgilendirilir ve gönüllülük esasına göre çalıştırılır. Gerekğinde bu doz aşılabılır. Ancak, deterministik dozlara ulaşılmaması için azami tedbirler alınmalıdır. Uzun dönemli iyileştirme çalışmaları için Tablo 4'te verilen mesleki doz ışınlaması sınırları geçerlidir. Hamile olan ya da hamilelik şüphesi olan kadın çalışanlar müdahale faaliyetlerinin dışında tutulur (5,6,29,30).

3.6. Nükleer Tıp Laboratuvarları'nda en sık karşılaşılan sorun radyoaktif gazların [Örneğin; Xenon-133 (Xe-133)] veya uçucu radyoaktif maddenin [İyot-131 (I-131)] havayı kontamine etmesidir. Havadaki radyoaktif madde düzeyi için National Council on Radiation Protection & Measurements (NCRP) tarafından maksimum kabul edilebilir konsantrasyonlar (MPC_{hava}) belirlenmiştir. Nükleer tıpta sık kullanılan bazı radyonüklitler için denetimli ve kontrolsüz alanlarda MPC_{hava} değerleri Tablo 6'da görülmektedir. Bu değerler haftalık 40 çalışma saati esas alınarak belirlenmiştir.

4.0. Radyoaktif Kaynaklar ve Korunma

4.1. Yarı Değer Kalınlığı (Half value layer, HVL): Radyonüklitlerden yayılan fotonların yarısının durdurulması için gereken zırh kalınlığıdır. Foton enerjisi ve absorban madde atom numarasına bağlıdır. Enerji yükseldikçe absorban madde kalınlığı artar; Z arttıkça azalır (3,9,10).

Tablo 5. Yıllık alınan doz ve önem düzeyleri (ICRP Publication 103)

Yüksek	>100 mSv
Artmış	10-100 mSv
Düşük	1-10 mSv
Çok düşük	<1 mSv
Önemsiz	<0,01 mSv
ICRP: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu	

$$HVL = 0,693/\mu$$

Burada μ , lineer atenuasyon sabiti olup birimi cm^{-1} dir. Farklı enerjide ışınlama yapan farklı radyonüklitler için gerekli kurşun kalınlığı Tablo 7'de verilmiştir.

Tenth-value thickness (TVT): Radyonüklitten yayınlanan fotonları 10 kat azaltan kalınlıktır.

$$TVT = \ln(0,1)/\mu \\ = 2,3/\mu$$

$$HVL = 0,693/\mu \Rightarrow TVT = 3,32 HVL$$

4.2. Doz Sınırlama Sisteminin Temel İlkeleri:

Radyasyon korunmasında kullanılan doz sınırlama sisteminin üç temel ilkesi bulunmaktadır.

1. Işınlamaya neden olan uygulamaların gerekçelendirilmesi,
2. Korunmanın optimizasyonu,
3. Bireylerin ışınlanmalarının sınırlandırılması (doz sınırları).

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonunun (ICRP) tavsiyeleri şeklinde yayınlanan dökümanlar tüm ulusal düzenleyici kuruluşlar tarafından takip

Tablo 6. Özel tanımlama gerektirmeyen radyasyon alanlarında kabul edilebilir havadaki maksimum kabul edilebilir radyoaktivite konsantrasyonu düzeyi için maksimum radyoaktivite değerleri

Radyonüklit	Aktivite Miktarı (mikroCi)
H-3, Ga-67, C-14, F-18, Cr-51, Tc-99m, Xe-133, Tl-201	1000
P-33, Co-57,	100
P-32	10
Co-60, I-125, I-131	1

Tablo 7. Sık kullanılan radyonüklitlerin kurşun yarı değer kalınlıkları

Radyonüklit	Kurşun (mm)	Radyonüklit	Kurşun (mm)
Cs-137	6,3	I-131	2,4-3,0
Co-57	0,06	In-111	0,7-1
Co-60	12,4	Lu-177	0,6
F-18	4,0	Mo-99	6,2
Ga-67	1,7	Tc-99m	0,17
Ga-68	1,4	Tl-201	0,006
I-123	0,5	Xe-133	0,3
I-125	0,05	-	-

edilmektedir. ICRP komisyonu yılda bir defa toplanmakta ve yeni gelişmeleri içerecek tavsiyelerde bulunmaktadır (7,22,23).

4.2.1. Uygulamaların Gerekçelendirilmesi: İlke olarak, gerekçelendirilmedikçe uygulamalara izin verilmemelidir. Bu durumlarda karar kriteri sadece bilimsel görüşlere dayandırılmamalı, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve etik faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Her radyasyon uygulamasında zararlı etkiyi dengeleyecek tıbbi bir yarar bulunmalıdır. Hastalar ve radyasyon çalışanları gereksiz ve sonuç vermeyecek şekilde ışınlanmamalıdır. İnsanların ışınlanmasına karar verecek kişiler, uygulamanın gerekçelerini hazırlamak zorundadır.

4.2.2 Korunmanın Optimizasyonu: Korunmanın optimizasyonu ilkesi sadece gerekçelendirilmiş uygulamalara uygulanır. Bütün ışınlamaların mümkün olan en düşük doz değerinde (ALARA-as low as reasonably achievable) tutulması gerekir. Optimizasyonun (veya ALARA'nın) amacı, ışınlanmayı sıfıra indirmek değil riskleri, bulunduğu koşullarda kabul edilebilir seviyeye düşürmektir. Radyasyon kaynaklarının boyutunun küçültülmesi, ışınlamaya maruz kalan personelin çalışma zamanının sınırlandırılması ve insanlar ile radyasyon kaynakları arasındaki mesafenin artırılması, zırlama malzemelerinin kullanılması gibi uygulamalarla bu optimizasyon yapılabilir. Tedavi amaçlı tıbbi ışınlamalar hariç radyasyon ışınlaması gerektiren durumlarda bireysel dozların büyüklüğü ışınlanacak kişilerin sayısı, olası tüm ışınlamalar için ekonomik ve sosyal faktörler göz önüne alınmalıdır.

4.2.3. Bireylerin Işınlanmalarının Sınırlandırılması: Bireyler için yıllık kabul edilen radyasyon maruziyet dozları sınırlandırılmıştır. Bireylerin normal ışınlamaları, izin verilen tüm ışınlamaların neden olduğu ilgili organ ya da dokudaki eşdeğer doz ile etkin doz değerleri Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde belirtilen yıllık doz sınırlarını aşmamalıdır. İzin verilen radyasyon maruziyet dozları Tablo 4'te verilmiştir (5,6,7,8,22,26).

4.3. Tanısal Nükleer Tıp Uygulamalarında Radyasyondan Korunma

Tanısal çalışmalarda en çok Teknesyum-99m (Tc-99m), Flor-18 FDG (F-18) ve Galyum-68 (Ga-68) olmak üzere I-131, İyot-123 (I-123), İndiyum-111 (In-111) radyoizotoplarından yararlanılmaktadır (Tablo 8). Nükleer Tıp Bölümü'nde sıklıkla uygulanan radyofarmasötiklerden hastaların ve çevresindekilerin maruz kaldığı efektif dozlar hesaplanmıştır. Hastanede hastanın Nükleer Tıp Birimi'nden servise taşınmasında

Tablo 8. Tanısal amaçlı en sık kullanılan radyonüklitler ve fiziksel özellikleri

Radyonüklit	Enerjisi/Işın Tipi	Yarı ömrü
I-131	364 keV/γ	8 gün
I-123	159 keV/γ	11 saat
Tc-99m	140 keV/γ	6 saat
Tl-201	69-81 keV/x	72 saat
Ga-68	511 keV/γ	68 dakika
F-18	511 keV/γ	110 dakika
In-111	173-247 keV/γ	2,8 gün

görevli personel ile hasta arasındaki mesafe 0,5 m gibi oldukça az olup transfer aynı görevli tarafından yapıldığı takdirde 0,1 mSv/ay radyasyona maruz kalacağı rapor edilmiştir. Bartlett (34) tarafından, tüm sintigrafi uygulamaları için radyasyon maruziyetinin <300 mSv/çalışma olduğu bildirilmiştir. Hastane içinde 8 saat herhangi bir klinikte çalışan hemşire, en yüksek maruziyet dozuna PET/BT görüntüleme ya da miyokart perfüzyon sintigrafisi yapılmış hastalarla ulaşmaktadır. Bu maruziyet hastanın nükleer tıpta geçirdiği süre ile ilişkili olarak değişmektedir. Miyokart perfüzyon çalışmaları yapılan hastalar en erken 3-4 saat, PET/BT uygulaması yapılan hastalar 2 saat içerisinde servislerine gönderilmektedirler.

Radyasyon güvenliği konusunda gerekli eğitim ve uyarılar hasta ve hasta yakınlarına, radyasyon görevlisi olmayan hastane çalışanlarına mutlaka yazılı ve sözlü olarak yapılmalıdır (3,32).

4.3.1. Tanısal Amaçlı Radyofarmasötik Uygulanmış Radyoaktif Hastalarla İlgili Radyasyon Güvenliği Süreci: Tanısal amaçlı nükleer tıp tetkiki yapılan ve radyoaktif madde uygulanan hastalar ile hasta refakatçileri tetkik yapılmadan önce ve tetkik sonrası bölümden ayrılırken radyasyon güvenliği konusunda ayrıntılı olarak bilgilendirilmelidir (3,6,32,33).

4.3.1.1. İşlem süresince Nükleer Tıp Kliniği'nde ve bölümden ayrıldıktan sonra (yatan hasta için kliniklerde; ayakta hastalar için evlerinde) radyoaktif madde atılımını artırmak için yeterli miktarda su içmesi ve kendisinin içsel radyasyon maruziyetini azaltmak için sık sık tuvalete gitmesi gerektiği hastaya anlatılmalıdır.

4.3.1.2. Nükleer Tıp Bölümleri'nde hasta ve yakınlarına "hasta, hasta yakını ve refakatçi radyasyon güvenliği bilgilendirme formu" dağıtılmalıdır.

4.3.1.3. Radyasyon alanları ve radyoaktif bulaş riski olan alanlara; 18 yaşından küçük bireylerin ve gebelerin girişi engellenmelidir (6,26,30).

4.3.1.4. Yatan hastaya tanısal işlem yapılmışsa (6,10,32);

4.3.1.4.1. İşlem sırasında 5 mSv üstünde radyasyon maruziyetine neden olacak dozda radyoaktif madde uygulanmış hastaların (örneğin; kemik ya da kalp sintigrafisi) refakatçi ve ziyaretçileri ile görüşmesi ve teması sınırlandırılmalıdır.

4.3.1.4.2. Hastanın genel durumu taburcu veya izinli çıkarılması için uygunsa, odadaki diğer hastaların radyasyon maruziyetini önlemek için, hastanın evde uyması gereken radyasyon güvenliği önlemleri anlatılarak eve gönderilmesi önerilir.

4.3.1.4.3. Eğer yarı ömrü uzun, gama enerjisi yüksek, beta ışını da bulunan radyofarmasötik (örneğin; I-131) tanısal amaçlı uygulanmış ise, hastanın tercihen işlem süresince ve genel durumu uygun ise yarı ömür süresince diğer hastalardan ayrı tutulması önerilir. Düşük dozda I-131 uygulandığında çevresindeki kişilere vereceği radyasyon dozlarını 0,3 mSv değerinde tutabilmek için genel radyasyon güvenliği sınırlamaları uygulanmalıdır.

4.3.1.4.4. F-18 FDG ya da Ga-68 radyofarmasötikleri ile görüntüleme yapılmış hasta enjeksiyondan sonra 2 saat nükleer tıp biriminde kaldı ise, bölümden gönderilirken ciddi sınırlamalara gerek yoktur.

4.3.1.5. Hastanın damar yolu herhangi bir işlem için kullanılmayacaksa radyoaktif madde enjeksiyonu yapılan damar yolu kateteri çıkarılmalıdır.

4.3.1.6. Serviste veya yoğun bakımda yatan hastanın tedavisinde görevli sağlık personeli (hemşire, hastabakıcı, teknisyen ve temizlik görevlisi vb.) radyasyon güvenliği konusunda bilgilendirilmelidir.

4.3.1.7. Nükleer Tıp Birimi'nde tetkik yapılan hastaya, yattığı klinikteki tedavi uygulamaları sırasında da mutlaka eldiven giyilmeli ve işlem mümkün olan en kısa zaman içinde tamamlanmalıdır.

4.3.1.8. Oral alımı olan hasta yeterli sıvı alımı ve mesanenin sık sık boşaltılmasının önemi konusunda aydınlatılmalıdır. Oral alımı kısıtlı hastalarda ise, intravenöz hidrasyon yapılması önerilir.

4.3.1.9. Hastada herhangi bir kateter, sonda, nefrostomi kanülü, trakeostomi kanülü, kolostomi torbası, gastrostomi kanülü, nefrosistostomi torbası, drenaj tübü vb. varsa içeriği ile birlikte radyoaktif atık olarak kabul edilmeli ve radyoaktif atık eliminasyon kurallarına uygun şekilde davranılmalıdır.

4.3.1.10. Hastada idrar ve/veya gaita inkontinansı varsa hastanın bakımını yapan kişinin eldiven kullanarak bu işlemi yapması ve bu içeriğin radyoaktif olduğunu bilerek davranması gerekmektedir. Bulaşlı malzemeler

radyoaktif atık olarak kabul edilmeli ve radyoaktif atık eliminasyon kurallarına uygun şekilde davranılmalıdır.

4.3.1.11. Ortama bulaş olasılığı var ise, "Geiger-Müller (GM) Aleti" ile radyasyon ölçümü yapılmalıdır. Radyoaktif bulaş saptandığı takdirde radyasyondan korunma sorumlusu (RKS) tarafından bu alan işaretlenerek uygun dekontaminasyon işlemleri yapılmalıdır (35).

4.3.1.12. Hastane RKS, klinikte yatmaya devam eden radyoaktif hastanın tetkik ve diğer tüm işlemlerinin hamile personel tarafından yapılmamasını sağlamalıdır (3,6).

4.3.1.13. Hastadan herhangi bir tetkik için kan almak gerekiyorsa ve tetkik acil değilse kan alma işlemi, uygulanan radyoaktif maddenin vücuttan atılımı için, uygun zamana dek ertelenmelidir.

4.3.1.14. Yirmi dört saatlik idrar toplanması gereken hastalarda bu işlem ertelenmelidir. Ertelenemiyorsa idrar torbası veya idrar toplama kabının kurşun kap içinde korunması önerilir.

4.3.1.15. Hasta tuvaletinin mümkünse ilk 24 saat sadece o hasta tarafından kullanılması sağlanmalıdır. Ancak, bu mümkün değilse hastanın tuvalet sonrası klozet kapağını kapatarak birkaç kez rezervuarı (sifonu) çekmesi ve etrafa bulaş yapmamaya dikkat etmesi söylenmelidir.

5.0. Nükleer Tıp Ünitesi'nde Yerleşim Planı Yaparken Dikkat Edilecek Hususlar

Nükleer Tıp birimleri tercihen müstakil bir bina içerisinde, mümkün olmayan durumlarda ise, bulunacakları binanın zemin katında, diğer bölümlerden bağımsız, hasta ve personel trafiğinin en az olduğu yerde kurulmalıdır. Bölüm dışı hastaların girişleri engellenebilecek, diğer hastane çalışanların girişleri sınırlandırılabilir ve nükleer tıp hastalarının giriş çıkışları kontrol altında tutulabilecek şekilde planlanmalıdır. Bölümde bulunacak olan kullanım alanlarının yerleşme planları yapılırken ilgili alanlarda bulundurulacak radyoaktivite miktarları göz önüne alınarak yerleştirme işlemi girişten itibaren en düşük aktiviteden en yüksek aktiviteye gidecek şekilde yapılmalıdır Nükleer Tıp ünitelerinde tesis tasarımı yapılırken birtakım hedefler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar ICRP önerileri de göz önünde bulundurularak TENMAK tarafından belirlenmiştir. Bu hedefler arasında radyoaktif kaynakların güvenliğinin sağlanması, çalışan, hasta ve toplum ışınlamalarının optimum düzeye indirilmesi, radyofarmasötik çalışma için tam kontrol sağlanması, kontaminasyon yayılımının engellenmesi hususları yer almaktadır (6,36,37).

Sağlıklı bir yerleşim planlaması ve zırhlama kalınlığı hesabı için aşağıda sunulan bilgilere gereksinim vardır:

1. Yan, üst, alt alanlarla ilgili bilgiler ve onların kullanılma şartları,
2. Bölümde herhangi bir anda bulunacak en yüksek aktivite miktarı,
3. Hasta yükü,
4. Hasta başına verilecek aktivite miktarı,
5. Hastanın klinikte geçireceği ortalama zaman.

5.1. Zırhlama Karakteristikleri Belirlemede Göz Önünde Bulundurulması Gereken Hususlar

1. Çalışma alanları,
2. Cihaz ve X-ışını ekipmanlarının özellikleri,
3. Mesguliyet faktörlerine göre bitişik alanların iş yükü,
4. Radyoaktif maddenin bulunduğu yerin etrafındaki alanların insanlar tarafından ne oranda işgal edildiği,
5. Radyoaktif madde ile zırhlaması gereken yer arası uzaklık,
6. İzin verilen doz sınırları,
7. Lokalizasyona göre zırhlama kalınlıkları ve yerlerinin belirlenmesi,

Zırhlama materyalinin seçimi: Zırhlama gerektiren her oda için duvarların kurşun, beton, delikli tuğla gibi değişik duvar malzemeleri için gereken minimum kalınlıklar; tavan, taban ve kapı için ayrı ayrı olmak üzere odaların alanı, bitişik yerlerin kullanım şekli, duvar yapı malzemesi ve kalınlığı gibi özellikler göz önünde bulundurulmalıdır (36,37,38).

5.2. Radyofarmasi Laboratuvarı (Sıcak Oda)

Radyofarmasötiklerin hazırlandığı yerdir ve güçlü karbon filtreli çeker ocak veya tabakalandırılmış hava akımı - laminar air flow (LAF) kabini bulunmalıdır. Radyofarmasi laboratuvarlarında çalışanı ve ürünü aynı anda korumak amacıyla dikey LAF (hava akımı çalışma yüzeyine dik) kullanmak uygundur. LAF çıkışı doğrudan bacaya verilmeli ve hava hızı 0,3-0,5 m³/sn olmalıdır. Sıcak odada çeker ocak içinde, 5 cm kalınlığında kurşun bloklar kullanılarak, en az 80x50 cm² ve yaklaşık 30 cm yüksekliğinde sıcak hücre yapılmalıdır. Bu hücrenin ön bölümüne, üzerinde en az 10x20 cm² boyutlarında ve 0,3 cm kalınlığında kurşuna eşdeğer cam takılı olan 5 cm kurşun kalınlığı göğüs koruyucu zırh konulmalı ve yapılacak tezgahın yapısı bu ağırlığı taşıyacak yapıda olmalıdır (F-18 ve benzeri radyoaktif maddelerin kullanılması durumunda zırh kalınlık değerleri ayrıca hesaplanır).

Çeker ocak havalandırma çıkışı; genel havalandırma sisteminden tamamen ayrı, çıkan havanın geri dönüşünü engelleyecek ve çevreyi olumsuz etkilemeyecek şekilde binanın uzağından salınacak biçimde yapılmalıdır. Hava değişimi saatte oda hacminin 8-10 katı olmalıdır. Nükleer Tıp Laboratuvarı'nda bulunan yüzeyler taban, tavan, duvarlar, tezgahlar, masa vb. kolay temizlenebilen, emici olmayan ve pürüzsüz malzemelerle kaplanmalıdır. Lavabolar dirseksiz, kapı kolları ve musluklar yeni düzenlemelere göre el değmeden açılabilir olmalıdır. Radyofarmasi laboratuvarları denetimli alanlardır. Bu nedenle, bu alana girişin kısıtlanması gerekmektedir (25,36,37,39).

Radyofarmasi laboratuvarlarının (Sıcak odanın) radyasyon kontrolü için sabit alarmlı bir alan monitörü bulunmalıdır. Bu monitör odadan ayrılmadan önce kıyafet ve ellerin bulaş kontrolü için kullanılır. Alarm sesi sürekli açık kalmalıdır. Bulaş riski varsa monitör ellenmemelidir. Çünkü, kişi monitörü de kontamine edebilir.

Radyofarmasi laboratuvarlarında (Sıcak odada) işaretlenen kitlerin kurşun korumalarının üstüne kitin adı, hazırlanış saati, aktivitesi ve hacmi yazılmalıdır. Bu viyaller kapaklı kurşun kaplar içinde saklanmalıdır. Oda içerisindeki diğer kurşun paravanlar çalışma modülü içinde ve bankolar üzerinde kurşun bloklarla oluşturulabilir. İçleri kolay dekontaminasyon için çelik veya laminant ile kaplanabilir. Kurşun camlı L tipi göğüs zırhı kullanılmalıdır. Amaç, işaretleme yapılırken yüzeye sıçramaları ve lensi korumaktır (7,8,36,37,38,40).

5.2.1. Radyofarmasi Laboratuvarında Radyasyondan Korunma: Radyofarmasi laboratuvarlarında radyasyon korunmasında göz önünde bulundurulması gereken üç önemli faktör vardır. Bunlar;

Uzaklık: İşlemleri radyoaktif kaynakla çalışan arasındaki uzaklığı mümkün olduğu kadar artıracak şekilde planlamak gerekir. Örneğin radyoaktif maddeyi elle tutmak yerine pens, maşa, forsepsle tutmak, enjektör zırhı kullanmak ve enjektörü iğnesinden değil pistonundan tutmak radyasyon dozunu önemli ölçüde azaltacaktır.

Aktivite: Gerekenden daha fazla aktiviteyle çalışmamak; jeneratör sağımının ilk aşamada kullanılacak kadarını kullanım alanında tutup, kalanı uzak bir alanda emniyet altına almak, hemen kullanılmayacak bağlanmış radyofarmasötiği çalışma alanından uzakta muhafaza etmek, radyoaktif atıkları kullanım alanında fazla biriktirmeden ana atık deposuna göndermek gibi hususlar çalışan radyasyon dozunu azaltacaktır.

Zırhlama: Bütün radyoaktif kaynaklar zırhlanmalıdır. Zırhlama materyali yayılan radyasyonun türüne ve enerjisine uygun kalınlıkta olmalıdır. Mo-99/Tc-99m jeneratörlerinin yüzey dozu yüksektir. Yeterince kalın zırhlama yapmak taşıma sorunu nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle, jeneratörü kurşun tuğla arkasında veya kurşun çekmece/dolaplarda saklamak ve bu zırhın içinde kurşun koruyucu içine yerleştirilmiş vakumlu şişeye sağlamak uygun olacaktır.

Radyofarmasötik viyalleri uygun zırhın içinde tutulup sadece ölçerken çıkarılmalıdır, sadece gama yayıcılarında enerjiye uygun kurşun kaplar (domuz) kullanılmalıdır. Beta yayıcılarında cam veya plastik zırhlama yeterlidir. Yıllık izin verilen el dozu 500 mSv'dir. Eğer uygun zırh kullanılmazsa doz kolayca aşılabilir (4,10,12,38,40).

6.0. Radyoaktif Bulaş Temizliği (Dekontaminasyon) İşlemi

Nükleer tıp birimlerinde bulaş olmaması temel ilkedir. Kontaminasyon riski olan yerlerde, kontaminasyonu önleme, tespit ve temizlik için kesin kurallar belirlenmiş olmalı ve bu kurallara uyulması sağlanmalıdır. Ancak, bulaş olduğu takdirde anında doğru önlemler alınmalıdır. Temizlik personelinin girişine kontaminasyonun olmadığını tespitinden sonra kontrollü olarak izin verilebilir. Bulaşı temizleyen bölüm görevlilerinin hem dekontaminasyon hem de kişisel koruyucu önlemleri konusunda eğitilmiş olması gerekir. Dekontaminasyon işlemi RKS gözetiminde yapılmalıdır. Bulaş olup olmadığını saptamak için Wipe testi yapılır veya radyasyon ölçer (GM aleti) ile ölçüm alınır. Elde edilen ölçümler kayıt edilmelidir (3,6,22,35,36).

Wipe testi

Wipe testini yapmak için emici kağıt (Örneğin; Whatman filtre kağıdı no: 41) kullanılır. Yaklaşık 100 cm²lik alan veya obje emici kağıt ile hafifçe silinir. Kağıt kuyu tipi sayıcıda sayılır ve kayıt edilir. İşlem bulaş temizlenene kadar sürer. Kuyu sayıcıda 200 dpm (=3 Bq) veya zemin aktivitesinin 2 katı aktivite saptanırsa dekontaminasyon işlemi gereklidir.

Testin Yapılışı

1. Alanın zemin planları hazırlanmalıdır.
2. Test alanları işaretlenmelidir. Tezgahlar, zemin, çeker ocak, çöp kovaları, kullanılan aletler, telefon ahizeleri vb.
3. Uygun çözücü (su, alkol) ile nemlendirilmiş emici kağıt veya pamuklu spanç kullanılarak tanımlanan

alan (100 cm²) silinir. Her bir alan için bir silme işlemi yapılır.

4. Silme materyali havada kurutulur.
5. Sayım için bir taşıyıcıya konur (plastik kapalı bir torba gibi).
6. Uygun bir sayıcı ile sayılır.
7. Temiz bir silme materyali zemin aktivitesini belirlemede kullanılır.
8. Sonuçlar kayıt edilir.

Sıklık: Wipe testinin etkinliği %10 olup rutinde haftalık olarak yapılır.

Survey Meter (GM aleti)

Survey meter ile elde edilen tüm ölçümler kayıt edilir. Kullanılan probun cinsine göre sayım/dakika veya mR/saat cinsinden ölçüm alınır. "Pancake" veya sintilasyon probu kullanıldı ise birim sayım/dakika olmalıdır. Eğer "energy compensated" prob kullanıldı ise mR/saat cinsinden ölçüm alınmalıdır. Objelerden ölçümler daima sabit uzaklıkta alınmalıdır; genellikle 1 cm uzaklıktan sayımlar alınır. Probu kontamine olmamasına dikkat edilmelidir.

Sıklık: Survey meter ölçümlerinin radyoaktif madde ile çalışıldıktan sonra ve bulaş olasılığı var ise uygulanması önerilir. Günlük çalışma sonunda yapılabilir.

Bulaş saptandığı anda dekontaminasyon işlemi yapılır. Öncelikle acil ekipmanlar kolaylıkla elde edilebilir olmalıdır. Dekontaminasyon işlemleri için gerekli acil malzemelerin listesi aşağıda verilmiştir; birimin çalışma sistemine göre seçilebilir (Tablo 9) (35).

Bulaş radyonüklidin etrafa saçılması veya dökülmesi ile olabilir; tabana, suya veya havaya vb. olabilir. Personel ve hasta dışındaki kişileri vücut içinde veya dışında bulaş ile etkileyebilir. Dekontaminasyon işlemleri bulaş yüzeyi (banko veya deri) ve tipine (düşük veya yüksek doz) göre değişir (Tablo 10). Yakıcı kimyasallar ve sert fırçalama deriye bulaş temizliğinde uygun değildir. Bol su ve hafif sabunlarla cildin yıkanması önerilir. Cam yüzeyin temizliğinde alkali deterjanlar kullanılır. Dünya Sağlık Örgütü porselen ve cam yüzey temizliği için kromik asit önermiştir. Standart dekontaminasyon işlemlerine rağmen yüksek sayım saptanıyorsa porselen ve cam yüzeyler için, kromik asit ya da fosforik asit gibi mineralize asitler kullanılabilir. Doz kalibratöründe ölçülen örneklerdeki aktivite düzeyi 0,36 MBq/cm² olana dek dekontaminasyon işlemi sürer, kontrol GM cihazı ile yapılır. Eğer asit ile dekontaminasyona rağmen sayım azalmıyorsa bu alet radyoaktif atık olarak kabul edilebilir. Kontaminasyona neden olan ajana göre yarılanma/atık

deposunda saklanması ya da geçici olarak zırhlaması önerilir.

Kısa yarı ömürlü, Tc-99m gibi, radyonüklitlerle çalışma alanında bulaş oldu ise dekontaminasyon işlemi sonrası ince kurşun plaka ile bulaşlı alanın üzeri örtülür. Aktivite düzeyi, tarih ve saat yazılır; kabul edilebilir düzeye dek örtülü kalır. Eğer yatak örtüsü vb. bulaşlı ise yıkanmaz, plastik torba içine konur ve radyasyon düzeyi kabul edilir düzeye inene dek atık deposunda tutulur.

Personele bulaş olduğunda genellikle deri etkilenir ve duş gerektirecek kadar yoğun değildir. Eğer duş gerekirse dilüsyon yolu ile daha geniş alana yayılım önlenmelidir.

Tablo 9. Dekontaminasyon kitinde bulunması gereken malzemeler

Malzeme	Amaç
Uyarı işaretleri	Alanı belirlemek
Plastik torbalar, küçük	Ayakkabıları örtmek, bulaşlı materyali koymak
Eldiven	Ellerin korunması
Yapışkan bant	Örtücü materyali sabitlemek (galoş vb.)
Forceps, pens	Bulaşlı materyali tutmak
Plastik torba, büyük	Bulaşlı materyali koymak
Sünger, 4x4	Bulaşlı materyali emmek
Kağıt havlu	Silme ve kurulamak
Radiacwash ve deterjan	Bulaşlı uzaklaştırma (bağlayıcı-çöktürücü etki)
Pudra	Bulaşlı uzaklaştırma (bağlayıcı)
Etiketler	Bulaş materyalini tanımlama
Makas	Emici materyali kesmek
Whatman no: 41 kağıdı	Dekontaminasyondan sonra örnekler alma
Chux	Dekontaminasyon sonra alanı örtmek
Geiger-Müller survey metre	İzleme

Tablo 10. Bulaş yüzeyi ve dekontaminasyon materyalleri

Bulaş Yüzeyi	Dekontaminasyon Ajansı
Cam-porselen	Alkali deterjanlar Kromik asit Fosforik asit
Plastik	Decon 90
Deri	Su (ılık) ve hafif sabun
Gözler	Su-serum fizyolojik
Saçlar	Bol su-şampuan

Sıcak su kullanımından kaçınılmalıdır; çünkü dolaşımı artırarak radyoaktif maddenin emilimini ve dolaşımı geçmesini hızlandırır. Ilık su önerilir. Genellikle, kontamine alan iyi sınırlı ise sabun ve su ile yıkanması yeterlidir. Eğer deride kesik veya yara var ise, su ile hemen yıkanır. Gözlere bulaş oldu ise, su ile ardından serum fizyolojik ile yıkama işlemi yapılır. Saçlarda bulaş oldu ise, radyoaktif maddenin yayılmasından kaçınarak dekontaminasyon solüsyonu veya şampuan ile yıkanmalıdır. Tekrarlayan yıkamalara rağmen yıkama sonrası son ölçümden %10'dan daha fazla değişiklik saptanmıyorsa, yıkama durdurulur. Aerosol, toz ve gaz ürünleri ile havaya bulaş olduğu takdirde radyonüklit için türetilmiş hava konsantrasyonu - derived air concentration (DAC) değeri esas alınır. DAC değeri yüksek ise ortam havalandırılmalı ve radyoaktif gazların kapalı sistemde toplanması sağlanmalıdır (6,39,41).

7.0. Radyoaktif Maddelerin Güvenli Taşınması

Tıbbi, endüstriyel, araştırma amaçlı radyoizotoplardan radyoaktif atık ve nükleer yakıt çevriminde olan maddelerin taşınmasına kadar uzanan bir çeşitlilik içerir. Radyoaktif paket taşımacılığının büyük kısmını kısa yarı ömürleri de dikkate alınarak çoğunlukla tıpta tanı ve tedavi amaçlı kullanılan radyoizotopları içeren paketler oluşturmaktadır. Radyoaktif madde taşınmasında amaç; görevlilerin ve çevrenin güvenliği açısından, güvenlik standartlarının belirlenmesi ve en yüksek seviyede uygulanmasıdır. Nükleer tıp birimine teslim edilmiş radyoaktif madde içeren paketlerin farklı binalar arasında ve aynı bina içinde hastalara uygulanmak üzere taşınması ve kabulü sırasında radyasyon güvenliği açısından tanımlanan kurallara uyulmalıdır (3,5,6,13,14).

1959 yılında Birleşmiş Milletler Ekonomi ve Sosyal Konseyi radyoaktif maddelerin güvenli taşınması için bir mevzuat hazırlama gereği hissetmiş ve International Atomic Energy Agency (IAEA) tarafından "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material" hazırlanmıştır (14). Temel olarak bu düzenleme şu iki hususu şart koşmuştur; 1) Gönderici; radyoaktif maddenin tehlikesine göre yeterli paketlemeyi sağlamakla yükümlüdür. 2) Taşıyıcı; tüm radyolojik tehlikelerin minimize edildiğinden emin olacak tüm gerekli önlemleri almakla yükümlüdür. IAEA Güvenlik Standartları serisinin uzun süreli yapısında da, "Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması" ayrı bir temel güvenlik standardı olarak değerlendirilmiştir. Türkiye'de radyoaktif maddelerin özellikle; kara, hava, deniz yolu ile güvenli taşınması sistemi IAEA'nın taşıma güvenliği yönetmelikleri, taşıma standartlarını belirleyen uluslararası belli başlı kuruluşların (IATA-International

Air Transport Association, DGR-Dangerous Goods Regulations, IMO-International Maritime Organization, IMDG-International Maritime Dangerous Goods) tehlikeli maddelerin taşınmasına yönelik hazırlanmış olan tavsiye ve talimatları çerçevesinde ve bir dizi uluslararası antlaşmalar ile belirlenmiştir.

Türkiye'de yapılan karayolu ile radyoaktif madde taşımaları da uzun yıllar boyunca Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği kapsamında başta TENMAK olmak üzere ilgili devlet kurumları kontrolünde yapılmış olup, 2005 yılında yürürlüğe giren "Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği" ile gerekli yasal düzenleme yapılmıştır (13,42). TENMAK mevzuatına ek olarak, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tarafından "Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik" yayımlanmıştır (43). Yürürlükteki TENMAK ve Ulaştırma Bakanları Avrupa Konferansı (UBAK) mevzuatı ile IAEA'nın ve Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığın İlişkin Avrupa Anlaşması'nın (ADR) radyoaktif madde taşıma ile ilgili yaptırımları ülkemizde de uygulanmakta olup radyoaktif madde taşımacılığındaki mevzuatımız Avrupa normları ile aynı seviyededir.

7.1. Radyoaktif Madde Taşımacılığında Kullanılan Paket Tipleri (6,13,14)

7.1.1. Adi Paketler (Excepted Packages): Adi paketler çok düşük radyoaktivite içeren paketlerdir. Bunlar arasında, radyoaktivite içeren saat, elektronik cihaz gibi mamul madde paketleri, doğal uranyum, doğal toryum, fakirleştirilmiş uranyum ve diğer radyoaktif maddeleri içeren paketler, radyofarmasötikler, immünoassay takımları, küçük kapalı kontrol kaynakları içeren paketler bulunmaktadır. Adi paketlerde paketlenmemiş bir aletin yüzeyinden 10 cm uzaklıkta herhangi bir noktada radyasyon seviyesi 0,1 mSv/saatten daha fazla ve paket yüzeyinin herhangi bir noktasında radyasyon seviyesi 5 mikroSv/saatten daha fazla olamaz. Adi paketler büyük bir tehlike içermemekle beraber, yine de bu paketlere dikkatli davranılmalı ve güvenilir bir şekilde taşınmalıdır.

7.1.2. Endüstriyel Paketler (Industrial Packages): Düşük özgül aktiviteli madde (Low Specific Activity Material - LSA) ve yüzeyi bulaşmış cisimleri (Surface Contaminated Object - SCO) taşımada kullanılır.

7.1.2.1. Düşük Özgül Aktiviteli Madde (LSA): Yapısı itibarıyla birim kütlesi başına düşen aktivitenin çok düşük olduğu maddedir. Üç gruba ayrılır:

LSA-I: Fiziksel olarak solunum ya da sindirim yoluyla meydana getirebileceği önemli bir doz etkisinin

ortaya çıkması için oldukça büyük kütlelerine maruz kalmayı gerektirecek, doğada kendiliğinden bulunan uranyum, toryum gibi radyoizotopları içeren ve bu radyoizotopların kullanılması amacı ile işlenen maden cevherleri, ışınlanmamış katı haldeki doğal uranyum veya fakirleştirilmiş uranyum ya da doğal toryum veya bunların katı ve sıvı bileşikleri karışımlarını içerir.

LSA-II: Tahmini özgül aktivitesi katı ve gazlar için 10^{-4} A₂/g ve sıvılar için ise 10^5 A₂/g değerini aşmayan radyoaktif maddelerdir. Konsantrasyon sınırı 0,8 TBq/L'ye kadar olan Trityumlu su örnektir.

LSA-III: Katı radyoaktif atık ve aktifleşmiş maddeler de dahil olmak üzere toz halinde olmayan katılar, radyoaktivitenin maddenin tamamında düzgün dağılım gösterdiği beton, seramik veya zift gibi katı bağlama malzemeleri ile radyoaktif madde içeren katı maddeler bu gruptadır.

7.1.2.2. Yüzeysel Bulaşmış Cisim (SCO): Kendisi radyoaktif olmayan, fakat radyoaktivitenin yüzeyinde dağıldığı cisim, cihaz ya da malzeme olup bunlar da temel olarak 2 gruba ayrılır:

SCO - I: Ortalama 300 cm² yüzey üzerinde,

1. Sabit Olmayan Bulaşma: Beta ve gama yayıcılar ve düşük düzeyde zehirleyici özelliğe sahip alfa yayıcıları için 4 Bq/cm²'yi veya diğer tüm alfa yayıcıları için 0,4 Bq/cm²'yi geçmediği katı cisimdir.

2. Sabit Bulaşma: Beta ve gama yayıcıları ve düşük düzeyde zehirleyici özelliğe sahip alfa yayıcıları için 4×10^4 Bq/cm²'yi veya diğer tüm alfa yayıcıları için 4×10^3 Bq/cm²'yi geçmediği katı cisimdir.

SCO - II: Yüzeysel üzerinde sabit ve sabit olmayan bulaşma, SCO - I için belirlenen uygulanabilir sınırları aşan katı cisimlerdir.

A- Tipi Paketler (Type A-Packages): Küçük fakat önemli aktiviteye sahip maddenin güvenli ve ekonomik taşınması için tasarlanmış paket tipidir.

A₁: A Tipi Paketlerde özel formlu radyoaktif maddeler için izin verilen maksimum aktivite değerini, dağılıma, saçılma veya sızıntıya neden olmayacak bir kapsül içinde muhafaza edilen veya dağılıp saçılması mümkün olmayan katı halde özel hazırlanmış radyoaktif maddeyi,

A₂: A Tipi Paketlerde özel formlu radyoaktif maddelerin haricindeki diğer radyoaktif maddeler için izin verilen maksimum aktivite değerlerini göstermektedir. Özel hazırlanmış dışında kalan radyoaktif maddelere ait türetilen radyoaktivite değerleridir.

Bu tip paketlerin içeriklerinin toplam aktivitesi, içerisindeki radyoaktif çekirdeklerin varlıklarına göre uygun olarak sınırlandırılmış olup; bu sınırlama özel

formlu radyoaktif madde olup olmadığına bağlıdır. Bu limitler, radyoaktif maddenin çevreye yayılması sırasında dış radyasyonun ya da bulaşmanın en düşük seviyede olmasını sağlar.

B- Tipi Paketler (Type B-Packages): B- Tipi Paketler, normal taşıma koşulları dışında ciddi kaza durumlarında taşıdığı radyoaktif maddenin açığa çıkmasını engelleyecek şekilde ve genellikle bir defa kullanılmak üzere tasarlanmış paket tipidir.

B- Tipi Paketler tek taraflı onay B (U) ya da çok taraflı onay B (M) ile taşınır. Bunlar:

B (U): Yalnız paket tasarımının yapıldığı ülkenin yetkili otoritesinin onayı yeterlidir.

B (M): Paket tasarımının yapıldığı ülkenin yetkili otorite onayının yanı sıra; sevkiyatın geçtiği yol üzerindeki ülkelerle birlikte, sevkiyatın yapıldığı ülkenin yetkili otoritesinin de onayı gerekmektedir.

B- Tipi paket içeriklerine örnek olarak medikal ya da araştırma amaçlı radyoizotoplar, endüstriyel, medikal ya da araştırma amaçlı kaynaklar ile ışınlanmış ya da ışınlanmamış nükleer yakıtlar verilebilir.

7.2. Radyoaktif Madde Taşıyan Paketlerin Sınıflandırılması

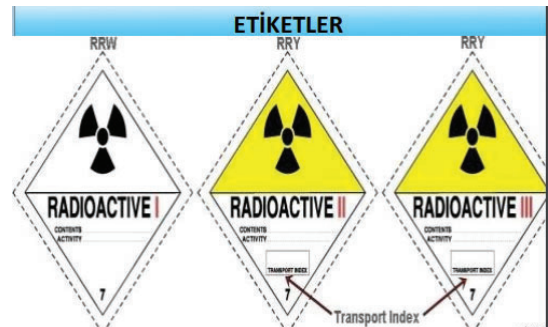
Radyoaktif madde paket ve kolileri taşıma indisi (TI) ve yüzeysel radyasyon seviyelerine göre sınıflandırılır.

Taşıma İndisi: Radyoaktif madde taşıyan paketin veya paketlenmemiş LSA-I madde veya SCO-I'nın yüzeyindeki radyasyon seviyesi kontrolünün bir ölçüsüdür (Şekil 1). TI; yüzeysel 1 m mesafede mrem/saat olarak ölçülen radyasyon seviyesinin birimsiz değeridir.

Radyoaktif Maddelerin Güvenli Taşınması Yönetmeliği Madde 61'e göre: Paketler veya koliler, I-Beyaz, II-Sarı veya III-Sarı şeklinde sınıflandırılırlar (Tablo 11) (41,42).

7.3. Radyoaktif Maddelerin Taşıma Kuralları

Radyoaktif maddelerin taşıma kuralları, hastane içi ve uluslararası taşıma için ayrıdır.



Şekil 1. Radyoaktif madde taşıma etiketleri

Tablo 11. Radyoaktif paketlerin transport indisi ve yüzey doz hızına göre sınıflandırılması (13,14,39,40)

Sınıflandırma ve paket işaretleri	Yüzeyde doz hızı ($\mu\text{Sv}/\text{saat}$)	1 metrede doz hızı ($\mu\text{Sv}/\text{saat}$)	Transport indisi (TI)
Beyaz I	5	0,05-1	0
Sarı II	>5 <500	<10	0< TI <1
Sarı III	>500 <2000	>10 <100	1< TI <10

1. Uygun paketleme ve etiketleme yapılmalıdır.
2. Taşıyıcı kabın üstünde radyoaktif maddenin adı, miktarı ve tarih olmalıdır.
3. Radyoaktif maddeler kalın kurşun kaplar içinde taşınmalı.
4. Kurşun kalınlığının seçiminde, radyonüklidin cinsi, enerjisi, aktivite miktarı ve taşıma zamanı önemli rol oynar.
5. Yüksek enerjili beta partikül yayan radyonüklitler için, içi düşük atom ağırlıklı madde ile kaplanmış kurşun bir taşıyıcı kullanılmalıdır.
6. Radyoaktif maddeleri diğer kişi ve kuruluşlara satış yapmak üzere, ithal lisansı almış olan firmalar yalnız lisans almış kişi ve kuruluşlara dağıtım yapmak zorundadır. Radyoaktif madde ithal, ihraç ve transit geçiş izinleri takiben TENMAK tarafından gerek görülen hallerde gümrüklerde veya taşımanın başlayacağı noktada "Radyoaktif Maddelerin Güvenli Taşınması Yönetmeliğine" uygunluğu radyasyon güvenliği uzmanları tarafından incelenerek izin belgesi düzenlenir (42).
7. Teslim alınan bir radyoaktif kaynağın taşıma kabında hasar fark edildiğinde, kalibrasyon tarihine uygun olması gereken aktivitenin eksik olup olmadığı incelenmeli; sarfının uygun olmadığı saptanması durumunda, bu kılavuzun bölümünde özetlenen tedbirler alınarak kaynağın yok edilmesi gerekir (13,14,41,42).

8.0. Radyoaktif Atıkların Saklama ve Yok Edilmesi

Radyoaktif atıklar, insan ve çevre sağlığına büyük zararlar verebileceği için diğer atıklardan farklı şekilde değerlendirilmeleri gerekir. Radyoaktif materyalin kullanım ya da kaybindan sonra uygun olmayan bir yönetim sergilenmesi (özellikle de kapalı kaynaklar için), toplum bireylerinin maruziyeti ya da ekipman, bina ya da toprağın kontaminasyonu ile sonuçlanabilir. Radyoaktif maddeler farklı radyoaktivite miktarı, fiziksel

ve/veya kimyasal durumlarda olabilirler. Atık yönetimi planlanırken tüm koşullar göz önünde bulundurulmalıdır. Radyoaktif atıklar insan ve çevre sağlığını koruma açısından kabul edilebilir düzeyde ve uygun yasal çerçeve ile yönetilmelidir. Aynı zamanda radyoaktif atığın oluşumu en düşük düzeye getirilmelidir.

ICRP ve IAEA'nın Basic Safety Series no.115, (BSS, 1996) radyoaktif atıkların güvenli yönetimi konusundaki yayınlar gibi diğer uluslararası tavsiyeleri doğrultusunda hazırlanan "Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik" (resmi gazete tarih / sayı: 09.03.2013/28582) 2013 yılında yürürlüğe girmiştir (11). Radyoaktif atıkların güvenli biçimde yönetimi, uygun yasalar, düzenleyici bir kuruluş, kompetan bir işletme ve uygun biçimde eğitim almış personel gerektirir. Radyoaktif maddelerin bulunduğu tüm projelerin erken aşamalarında atık yönetimi göz önünde bulundurulmalı ve planlanmalıdır (15,41).

Yüksek Seviyeli Radyoaktif Atıklar: Nükleer santrallarda enerji üretimi sırasında oluşan atıkları içerir. Bunlar Sr-90, Cs-137 gibi fisyon ürünleri ve Zn-65, Co-60 gibi aktivasyon ürünleridir.

Orta Seviyeli Atıklar: Nükleer yakıt çevriminden oluşan atıklar ve bu tür yakıtlarla kontamine olmuş maddeler bu sınıfa girer.

Düşük Seviyeli Atıklar: Radyoizotopların tıp, endüstri, tarım ve araştırmalarda kullanılması sonucu ortaya çıkan ve genellikle kısa yarılanma süresine sahip atıklardır.

Hastane ve kliniklerin nükleer tıp bölümlerinde önemli miktarlarda radyoaktif atık oluşmaz. Nükleer Tıp Merkezleri'nde radyoaktif maddelerin kullanılması sonucu açığa çıkan atıklar 65 günden daha az fiziksel yarılanma süresine sahip olduklarından düşük seviyeli atık sınıfına girerler. Bu atıkların bekletme ile radyoaktif niteliklerinin kaybolacağı ve normal tahliye işlemlerine tabi tutulacağı kabul edilmektedir. Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik 9/a maddesine göre katı atık sınırı paket yüzeyi <1 $\mu\text{Sv}/\text{Saat}$, madde 8/e sıvı atıklarla ilgili olup yatırılarak I-131 tedavisi

gören hastaların idrar ve dışkılarını ihtiva eden sıvı atıkların kanalizasyon sistemindeki I-131 sınırı <10 Bq/ml olarak tanımlanmıştır. Tıbbi atık bertaraf tesislerine gönderilecek katı atık torbalarının yüzeyindeki radyasyon doz hızı hiçbir şekilde 1 μ Sv/saat (0,1 mrem/saat) değerini aşamaz. Ölçümler, atılan radyoaktif maddenin yaydığı radyasyonu ölçebilecek uygun deteksiyon cihazı ile yapılır. Madde 14 ve 15'e göre atıklarla ilgili kayıtlar Yönetmeliğe uygun olarak tutulur ve her yıl kuruma gönderilir (11,15,33).

8.1. Katı Atıklarda Uyulması Gerekli Hususlar

Radyoaktif katı atıklar kalın tıbbi atık poşetlerine doldurulur. Ağızı bağlanır ve üzerine radyoizotopun cinsi, o günün tarihi yazılan etiket yapıştırılarak atık odasına gönderilir (Şekil 2). Atık odasında, kurşun konteynırda en az 10 yarı ömür bekletildikten sonra yüzey dozu ölçülür. Radyasyon dozu TENMAK limitlerinin altına inmişse; tıbbi atık olarak işlem görmesi için radyasyon dozu, torbanın atılma tarihi yazılarak imzalanır.

8.2. Sıvı Atıklarla İlgili Hususlar

Nükleer Tıp bölümlerinde sıvı radyoaktif atık olarak şişe ve enjektörlerde kalan radyoaktif sıvı materyal,

RADYOAKTİF MADDELERLE YÜRÜTÜLEN ÇALIŞMALAR SONUCU OLUŞAN ATIKLARA AİT ETİKET	
Kuruluş / Lab. Adı :	
Adresi :	
Radyoizotopun Cinsi :	
Yaklaşık Aktivite Miktarı :	
Torbanın Etiketleme Tarihi :	
Yüzey Radyasyon Doz Hızı :	
Radyasyon Korunması Sorumlusu :	
İmza :	

Teslim Alan Kuruluş:
Tarihi:
Adı Soyadı:
İmza:

Şekil 2. Radyoaktif maddelerin atık etiket örneği

sıvı sintilasyon örnekleri (Beta sayımı), radyoaktif tanı/ tedavi uygulanan hastanın vücut sıvıları, radyoaktif malzemenin yıkanmasıyla oluşan atık yıkama suları, I-131 tedavisi gören hastaların idrar ve dışkılarını içeren sıvı atıklar sayılabilir. Sıvı atıklar;

8.2.1. Alfa yayıcı içermemeli,

8.2.2. Beta ve gama radyoaktivitesi içeren çözeltilerin konsantrasyonu <3,7 Bq/ml olmalı,

8.2.3. Sadece H-3 veya C-14 içeren çözeltilerin radyoaktivite konsantrasyonu <37 Bq/ml olmalı,

8.2.4. I-131 ve Lu-177 tedavisi alan hastaların biyolojik atıkları hastaneden kanalizasyon sistemine doğrudan verilmez. Sıvı atık tanklarında biriktirilerek en az 10 yarı ömür bekletilir. Kanalizasyona verilmeden (deşarj işlemi) önce düzenli olarak ölçülür. Aktivite düzeyi 10 Bq/ml ölçüldüğü zaman radyasyon işareti konulmuş tek bir noktadan kanalizasyona verilir.

8.2.5. İzin verilen miktardaki sıvı radyoaktif atık altında "T" dirsek olmayan ve üzerinde radyoaktivite işareti olan tek bir lavabodan kanalizasyon sistemine su ile seyreltilerek bırakılır.

8.2.6. Sadece suda çözünebilir veya dağılılabilen radyoizotoplar kanalizasyona verilebilir, katı/tortu varsa filtre ile tutulur. Kimyasal ve toksik maddeler için çevre ile ilgili otoriteden ayrıca izin alınır.

8.2.7. Bir defada kanalizasyon sistemine verilecek toplam aktivite <2,5 x Annual Limits on Intake (ALI)_{min} değeri (Bir ayda <25 x ALI_{min}) <100 MBq olmalıdır. Bazı radyonüklitlerin ALI değerleri Tablo 12'de verilmiştir (23).

8.2.8. Co-57 (271 gün), Ba-133 (10 yıl), Cs-137 (30 yıl) gibi kalibrasyon ve kalite kontrolü kaynakları, Ge-68/ Ga-68 jeneratörleri (270 gün) gibi yarı ömrü 100 günü aşan izotoplar TENMAK yönetmeliği kapsamında değildir. Kullanım ömürlerini tükettiklerinde ulusal depolama merkezlerine teslim edilmeleri önerilmektedir (6).

Tablo 12. ICRP - 61'e göre annual limit on intake değerleri

Radyonüklit	Yarı ömrü	ALI _{min}
F-18	109,74 dk	4X10 ⁸
Tc-99m	6,02 st	1X10 ⁹
I-131	8,04 g	8X10 ⁵
Y-90	64,1 st	5X10 ⁶
H-3	12,15 y	1X10 ⁹
C-14	5730 y	4X10 ⁷
Cr-51	27,7 g	2X10 ⁸

ALI_{min}: Annual limit on intake, ICRP: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu

8.3. Gaz Halindeki Atıklarla İlgili Konular

Uçucu radyoaktif maddeyle çalışırken oluşan radyoaktif buhar (iyot), radyoaktif uygulama yapılan hastanın solumasyonu çıkan gaz (akciğer ventilasyon) gaz halindeki radyoaktif atık sınıfına girmektedir. Gaz atıklar, kurumca önceden onaylanmış olan proje çerçevesinde uygun bir sistemle atmosfere salıverilir (41).

8.4. Radyoaktif Kaynakların Ayrıştırılması

Radyoaktif çalışmaların yapıldığı her alanda daha önce yapılmış olan sınıflandırma koşullarını karşılayacak sayıda ve özellikle, radyasyon işareti taşıyan radyoaktif atık kutusu bulunmalıdır.

Katı atıkların hacmi mümkün olduğunca küçültülerek tıbbi atık olarak atılmaya, depolama veya kalıcı bekletme alanlarına taşımaya uygun paketler haline getirilmelidir.

Sıvı atıklar buharlaştırılarak veya katıya emdirilerek katı hale getirilebilir, kanalizasyona verilecek asit artıklar nötrleştirilir.

Biyolojik atıklar yakılmaya, depolanmaya veya tıbbi atıklar olarak atılmaya hazırlanmak üzere dondurulur, kireçlenir veya kimyasal muameleye tabi tutulabilir.

8.5. Radyoaktif Maddeleri Çevreye Verme

Atıklar sınıflandırılmalarına ve özelliklerine göre tıbbi atık olarak sertifikalı bir toplayıcıya, kanalizasyon sistemine ya da atmosfere verilebilir. Bu kaynaklar alfa kaynağı içermemeli ve içerdiği radyonüklitlerin yarı ömrü <100 gün olmalıdır. Yüze radyasyon doz hızı <1 µSv/saat olmalıdır. Taşınmaya dayanıklı 150 mikron kalınlığında, üzerinde görülebilecek büyüklükte "Uluslararası Klinik Atıklar" işareti bulunan kırmızı plastik torbalara konulmalı, bu atıklar evsel nitelikli atıklar ile aynı araca yüklenmemelidir (3,11,29,41).

9.0. Radyoaktif Materyalin Kaybı veya Çalınması

Radyoaktif materyalin kaybı veya çalınması durumunda, hemen Radyasyon Güvenlik Birimi bilgilendirilir (14). Radyasyon kaynaklarının kaybı ve çalınması ile ilgili olarak Radyasyon Güvenliği Tüzüğü "Madde 21- Bu tüzük kapsamına giren radyasyon kaynaklarının kaybı ve çalınması halinde, sorumlu ve görevlilerce derhal gerekli tedbirler alınır ve durum en hızlı haberleşme aracıyla kuruma bildirilir. Kurum uzmanlarınca, yerinde yapılan inceleme sonucunda, radyasyon güvenliği açısından öngörülen yönergelerin gereği, sözü edilenlerce, derhal yerine getirilir. Bu konularda, gerekirse, ilgili kuruluşların yardımı istenir, onlarla iş birliği yapılır." denmektedir (44).

Radyoaktif kaynak bulunduğu taşıma kabının hasarlı olup olmadığı, orijinal aktivitede, yarılanma ömrü göz önünde bulunarak, azalma olup olmadığı saptanması için gerekli ölçümler yapılmalıdır. Radyoaktif kaynağın kullanılmayacak şekilde hasar görmüş olması durumunda tedbirler alınarak yok edilmesi gerekir (15,36,39,44).

10.0. Radyasyon Kazaları

Bir radyasyon kazası oluşması durumunda, lisans ve izin koşulları gereğince alınması gerekli önlemler sorumlu ve görevlilerce derhal alınır. Durum en hızlı haberleşme aracıyla kuruma bildirilir. Kurum uzmanlarınca yerinde yapılan inceleme sonucunda, radyasyon güvenliği açısından öngörülen yönergelerin gereği, sözü edilenlerce, derhal yerine getirilir. Bu konularda, gerekirse, ilgili kuruluşların yardımı istenir, onlarla iş birliği yapılır. Nükleer Tıp Merkezleri, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği gereği "Tehlike Durumu Planı" hazırlanmalıdır (16,39,44,45).

11.0. Radyoaktif Ceset ve Radyasyon Güvenliği

Benign ve malign hastalıkların tedavisinde radyonüklitlerin [I-131, Lutesyum-177 (Lu-177), Stronsiyum-89 (Sr-89), itriyum-90 (Y-90), Samaryum-153 (Sm-153), vb.] kullanımı arttıkça, radyoaktif cesetler ile karşılaşma olasılığı da giderek artmaktadır. Radyonüklit tedavi uygulanmış hastanın ölümü durumunda, ceset radyoaktif kaynak kabul edilmeli TENMAK tarafından tanımlanan radyasyon güvenliği kurallarına uyulmalıdır. Radyoaktif tedavi uygulanan olgunun tedaviden kısa süre sonra ölümün gerçekleşmesi halinde, uygulanan radyonüklitin efektif yarı ömrü, uygulama yöntemi ve hedef organlar ile ilişkili olarak hasta odasının kuma, inkontinans kaynaklı radyoaktif madde bulaşına karşı temizlenmesi (dekontaminasyonu) ve cenaze hazırlama işlemleri için RKS'nin uyarıları dikkate alınmalıdır. Görevli personelin mümkün olduğunca az radyasyona maruz kalması için gerekli önlemler alınmalı ve ceset yakınındakilere radyasyondan korunma önlemleri hakkında bilgi verilmelidir. Önlemler, ölüm anından ceset yok edilene dek her aşamada sürdürülmelidir (4,6,10,15,18,19,35,46).

Sonuç

İyonizan radyasyon bir kaynaktan elektromanyetik dalga ya da hızlı parçacıklar demetinin yayınlanması şeklinde olan ışımadır. Hücrelerde (somatik ve

gonadlar) hasar oluşturmayacak en düşük radyasyon dozu tanımlanamadığından gereksiz radyasyon maruziyetinden kaçınılması (ALARA prensibi) ve radyasyonlu uygulamalarda fayda-risk oranının değerlendirilerek gereksiz uygulamalardan kaçınılması (ALARP prensibi) radyasyon güvenliği açısından önemlidir. Gebeler ve çocuklar riskli grubu oluşturur. Radyasyonun etkisini azaltmak için zırhlama, uzaklık ve süreye dikkat edilmelidir. Uygulamalarda genellikle radyasyon elemanları ve halk için izin verilen eşdeğer doz sınırlarına uyulmalıdır.

Kaynaklar

- Azzam El, Jay-Gerin JP, Pain D. Ionizing radiation-induced metabolic oxidative stress and prolonged cell injury. *Cancer Lett* 2012;327:48-60.
- Spycher BD, Lupatsch JE, Zwahlen M, et al. Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study. *Environ Health Perspect* 2015;123:622-628.
- Değer M, Demir M, İnce M, et al. Kalite Kontrol, Enstrümantasyon ve Radyasyon Güvenliği Komitesi Yönergesi. Bölüm III. Radyasyon Güvenliği. *Turk J Nucl Med* 2004;13:151-169.
- International Commission on Radiation Units and Measurements. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals Report No: 106, October 2007.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 24.3.2000 Resmi Gazete Sayısı: 23999, Revizyon tarihi: Değişik: RG-3/6/2010-27600.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Nükleer Tesislerde Radyasyondan Korunma Yönetmeliği. Resmi Gazete 29.05.2018/30435.
- Boal TJ, Pinak M. Dose limits to the lens of the eye: International Basic Safety Standards and related guidance. ICRP 2013 Proceedings. Radiation Safety and Monitoring Section, International Atomic Energy Agency, Vienna
- IAEA. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. IAEA-TECDOC No. 1731. International Atomic Energy Agency, Vienna. 2013.
- Kıraç FS. Radyasyon Kavramı ve İyonizan Radyasyonun İnsanlar Üzerindeki Etkisine Genel Bakış. *Türkiye Klinikleri J Nucl Med-Special Topics* 2016;2:1-11.
- Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA General Safety Requirements 2014;3:10-11.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği. Resmi Gazete 9 Mart 2013/28582.
- Applying Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine, Safety Reports Series No. 40, IAEA, Vienna, 2005.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyoaktif Maddelerin Güvenli Taşınmasına İlişkin Kılavuz TAEK RSGD-KLV- 035.
- IAEA. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2018 Edition Specific Safety Requirements No. SSR-6 (Rev. 1).
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik. Resmi Gazete 02.09.2004/25571.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon Olay Veya Kazalarının Sınıflandırılmasına İlişkin Kılavuz RSGD-KLV-033. 25/02/2019.
- Kıraç S. Radyonüklit tedavi uygulamalarında temel radyasyon güvenliği ve dozimetrik yaklaşımın temelleri. İn radyonüklit tedavi. Eds. Recep Bekiş, Berna Polack, M. Fani Bozkurt. O'Tıp Kitabevi, İzmir, 2019,39-72.
- Kıraç FS, Aslı Ayan. Radyonüklit Tedavi Uygulanmış Hasta Öldüğü Taktirde Radyasyon Çalışanı Olmayan Personel İçin Radyasyon Güvenliği Süreci. *Nükleer Tıp Seminerleri* 2019;5:165-168.
- Woods CM, DePaolo F, Whitaker RD. Guidelines for Handling Decedents Contaminated with Radioactive Materials (HHS/CDC, April 2007). <https://emergency.cdc.gov/radiation/pdf/radiation-decedent-guidelines.pdf>. Erişim tarihi 21.01.2019.
- Relative biological effectiveness (RBE), radiation weighting factor (wR), and quality factor (Q) ICRP Publication 92 (Ann. ICRP 33 (4)). 2003.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Dozimetrik Niceliklere İlişkin Kılavuz RSGD-KLV-001. 23/05/2016.
- ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP, 2007.
- ICRP Publication 61. Annuals Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendations. Recommended citation. ICRP, 1991.
- Quinn B, Dauer Z, Pandit-Taskar N, Schoder H, Dauer LT. Radiation dosimetry of 18F-FDG PET/CT: incorporating exam-specific parameters in dose estimates. *BMC Medical Imaging* 2016;16:41.
- Durmuş Altun G. Kardiyak PET/BT ve PET/MR Çalışmalarında Radyasyon Maruziyeti. *Türkiye Klinikleri J Nucl Med-Special Topics* 2016;2:32-38.
- Wrixon AD, New ICRP recommendations. *J Radiol Prot* 2008;28:161-168.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon Alanlarının Sınıflandırılmasına İlişkin Kılavuz (RSGD-KLV-005).
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon Uyarı İşaretlerine İlişkin Kılavuz RSGD-KLV-004. 23/05/2016.
- Instruction Concerning Prenatal Radiation Exposure. Regulatory Guide 8.13. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1999.
- Kıraç FS. Gebelikte ve Çocuklarda Radyasyon Güvenliği. *Türkiye Klinikleri J Nucl Med-Special Topics* 2017;3:4-11.
- Sağlık Hizmetlerinde İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları ile Çalışan Personelin Radyasyon Doz Limitleri Ve Çalışma Esasları Hakkında Yönetmelik. R.G. 05 Temmuz 2012/28344).

32. Aras F, Kırac S, Ayan A, ve ark. Radyonüklitlerle Tanısal Çalışmalar Sırasında Hasta ve Çevresindeki Kişiler için Radyasyon Güvenliği Süreci. Nükleer Tıp Seminerleri 2016;3:172-175.
33. Radyonüklit Tedavisi Gören Hastaların Taburcu Edilmesine İlişkin Kılavuz. RSGD-KLV-009. TAEK, Ankara, 14 Kasım 2016.
34. Bartlett ML. Estimated dose from diagnostic nuclear medicine patients to people outside the Nuclear Medicine department. Radiat Prot Dosimetry 2013;157:44-52.
35. İnce S. Eksternal Kontaminasyon ve Dekontaminasyon Teknikleri. Nükleer Tıp Seminerleri 2017;3:211-215.
36. TAEK. Nükleer Tıp Uygulamalarında Radyasyondan Korunma Programına İlişkin Kılavuz RSGD-KLV-030. 08/01/ 2019.
37. TAEK. Teşhis ve Ayakta Tedavi Ünitesinin Yerleşim Planında Bulunması Gereken Hususlar <https://www.taek.gov.tr/tr/nukleer-tip.html>.
38. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals - Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Ann. ICRP 2008;38:1-2.
39. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Nükleer Tıpta Kullanılan Radyoaktif Kaynakların Emniyetine İlişkin Kılavuz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu RSGD-KLV-023. 09/01/2019.
40. International Atomic Energy Agency, Operational Guidance On Hospital Radiopharmacy: A Safe And Effective Approach Publication. IAEA 2008, Vienna.
41. U.S.NRC. Protecting people and Enviroment. Part-20. Standarts for Protection Against Radiation. update date: 16/04/2020.
42. TAEK. Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği. Resmî Gazete 08.07.2005/25869.
43. TAEK. Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete 24.04.2019/30754.
44. TAEK. Radyasyon Güvenliği Tüzüğü. Resmi Gazete 07.09.1985/18861.
45. TAEK. Radyolojik Acil Durumların Değerlendirilmesi ve Müdahalesi İçin Kullanılacak Genel Prosedürlere İlişkin Kılavuz RSGD-KLV-031. 06/02/2019.
46. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Kontrollü Alanlarda Çalışan Harici Görevlilerin İyonlaştırıcı Radyasyondan Kaynaklanabilecek Risklere Karşı Korunmasına Dair Yönetmelik. Resmî Gazete 18/6/2011/27968.