

# Radyolojik ve Nükleer Maruziyetlerde Tıbbi Müdahale

Halime Erzen Yıldız<sup>1</sup>

## Özet

Radyasyon kazası, iyonize radyasyonla yapılan bir uygulama sırasında meydana gelen ve halkın ya da çevrenin beklenmedik ışınlanması ile karakterize olan olaydır. Radyolojik ve nükleer olaylarda, etkilenen kişi sayısı, olayın niteliğine göre değişkenlik gösterebilir. Vücudun lokal bir bölgesinin ya da tamamının yüksek doz radyasyona maruz kalmasına bağlı olarak deri, hematopoietik sistem, sindirim sistemi ve serebrovasküler sistemin etkilenmesi ile karakterize Akut Radyasyon Sendromu denilen radyasyon hastalığı meydana gelir. Ayrıca yüksek doz radyasyona maruz kalmanın, tiroid bozuklukları ve kanseri, lösemiler ve diğer solid kanserler, infertilite, kardiyovasküler hastalık riskinde artış gibi uzun vadeli sonuçları da vardır. Akut radyasyon maruziyetinde müdahale planlanmasında triyaj önemlidir. Triage, radyasyon maruziyetinden sonra hasta veya yaralıların tıbbi yardım önceliğine göre sınıflandırılması ve ileri tıbbi bakım sağlanacak sağlık merkezlerine nakledilmesidir.

Radyolojik ve nükleer maruziyetler toplum için her zaman büyük bir risk kaynağı olduğundan ilgili sivil toplum kuruluşları ve sağlık sektörü çalışanları her zaman hazırlıklı olmalıdır. Yüksek doz radyasyon maruziyeti ile başa çıkmak, politika kararları, hekimlerin, müdahale ekibinin ve halkın eğitimi, önleme ve tıbbi yaklaşım planları çeşitli stratejiler gerektirir. En önemli strateji önlemedir.

## 1. Giriş

Radyasyon kazası, iyonize radyasyonla yapılan bir uygulama sırasında meydana gelen ve halkın ya da çevrenin beklenmedik ışınlanması ile karakterize olan olaydır. Nükleer santrallerde kontrollü reaksiyonun bozulması ya da radyoaktif atıklardaki ürünlerin kontrol dışına çıkması ile

1 Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu  
Orcid No:0000-0002-0603-1815

tesis çalışanlarının ve çevrenin etkilenmesine “nükleer kaza” denir (Ekşi, 2017). Radyoaktif materyalin taşınması, dağıtılması veya nükleer bir silahın patlatılması insanlar için radyolojik ve nükleer tehdit’dir (Ayan ve Dönmez, 2018). Hiroşima ve Nagazaki de olduğu gibi kasıtlı olarak fırlatılan nükleer silah, Çernobil’de olduğu gibi nükleer santral kazası ya da radyoaktif envanter bulunduran uydunun çarpması büyük çaplı bir felakete neden olur (Rump vd., 2018). Yüksek dozda iyonize radyasyona tüm vücudun akut maruziyeti, insanlar üzerinde olumsuz biyolojik hasara sebep olur ve tıbbi olarak acil müdahale gerektirir (Gale vd., 2021). Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP), yüksek doz radyasyona maruz kalınması durumunda, radyasyon maruziyet dozunun azaltılması için radyoaktif malzemelerin salınmasından önce tahliyenin etkili bir yol olduğunu vurgulamıştır (Ohba vd., 2021). Halkın tahliye edilmesinin temel amacı, radyoaktif dumanlar ve yer birikintilerinden kaynaklanan stokastik etkileri azaltmaktır. Yaşam alanlarında radyasyon dozunun 50 mSv/saat üzerinde olması ve salınımın devam etmesinin beklendiği durumlarda, tahliye yapılmalıdır (Ekşi, 2017).

Radyolojik ve nükleer olaylarda, etkilenen kişi sayısı, olayın niteliğine göre değişkenlik gösterebilir. Olaydan etkilenenlerde iki konu çok önemlidir. Birincisi termal yanıklar ve travma ile yaralanmalar, ikincisi ise radyoaktif kaynak ile etkileşimdir. Genelde akut radyasyon maruziyetinde müdahale planlanmasında triyaj önemlidir. Triyaj, radyasyon maruziyetinden sonra hasta veya yaralıların tıbbi yardım önceliğine göre sınıflandırılması ve ileri tıbbi bakım sağlanacak sağlık merkezlerine nakledilmesidir (Karaçaloğlu, 2017).

Yüksek doz radyasyona maruz kalmanın, tiroid bozuklukları ve kanseri, lösemiler ve diğer solid kanserler, infertilite, kardiyovasküler hastalık riskinde artış gibi uzun vadeli sonuçları da vardır (Gale ve Armitage, 2018). Ek olarak Atom bombası, Çernobil ve Fukushima Daiichi nükleer santral kazalarından sonra insanlarda psikolojik problemlerin de ortaya çıktığı kanıtlanmıştır. Nükleer olsun ya da olmasın her türlü felaket, travma sonrası stres bozukluğu, depresyon, anksiyete, aşırı alkol alımı, psikosomatik hastalıklar ve fizyolojik bozukluklara neden olabilir (Ohtsuru vd., 2015).

Radyolojik ve nükleer felaketlerin nadir olarak yaşanması sıkı önlemler alma fırsatlarını sınırlasa bile müdahale gerçekleştirilirken stratejilerin geliştirilmesi, halkı korumak, olumsuz etkileri en aza indirmek ve acil durum çalışanlarını yüksek dozda radyasyona maruz kalmaktan korumak için etkili eylem planlarının geliştirilmesi önemlidir (Ohtsuru vd., 2015).

Bu çalışma, yüksek doz radyasyona maruz kalma durumunda olay yerinde ve sağlık kuruluşlarında kazazedeye yapılması gereken tıbbi müdahale konusunda geniş bir perspektif sunmayı hedeflenmiştir.

## 2. Yüksek Doz Radyasyonda Risk Kaynakları ve Alınabilecek Önlemler

Nükleer santral kazaları, nükleer silahlar dışında radyolojik tanı ve tedavi merkezlerinde bulunan radyasyon kaynaklarının da dahil olmayan personelce kullanılması, taşınması ve imhası halinde toplum hem de çevre radyasyona maruz kalmaktadır. Ek olarak; Araştırma reaktörleri, radyoaktif maddelerin endüstriyel ve tıbbi uygulamaları, radyoaktif maddelerin taşınması ve depolanması, nükleer envanterli uydu, gemi ve denizaltı, nükleer terörizm, radyoaktif madde kaçakçılığı, kayıp radyoaktif maddeler risk kaynakları arasında yer almaktadır (Cansın, 2006). 2016 yılında Sakarya'da kayıp İridyum -192 kaynağını bulan ve evine götüren 16 yaşındaki çocukta radyasyona bağlı cilt hasarı oluşmuş ve en az 10 yakını da radyasyondan etkilenmiştir (Ayan ve Dönmez, 2018). 1987 yılında Brezilya'nın Goiania kentinde terk edilmiş bir klinikten çıkarılan Cs-137 kaynaklı radyoterapi cihazına maruz kalanlardan yirmi kişi hastaneye kaldırılmış ve bunlardan 4'ü bir ay içinde ölmüştür (Rump vd., 2018).

Fukushima Daiichi nükleer santral kazasından sonra, doktorlara nükleer bir kazanın tıbbi ve sosyal etkileriyle mücadele için gerekli bilgi ve becerileri sağlamak amacıyla üç yeni eğitim programı oluşturulmuştur. Birincisi, Fukushima Tıp Üniversitesi'ndeki öğrencilere yönelik radyasyon tıbbi konusunda bir eğitim modülüdür. İkincisi, Fukushima Tıp Üniversitesi'ndeki mevcut tıbbi programı zenginleştirmeye yönelik, hekimleri kamu bilim ve teknolojinin iletişimi ve radyasyon kaygısının sosyal ve psikolojik etkileri gibi becerilerle donatmayı amaçlayan bir modülüdür. Üçüncüsü, Hiroşima Üniversitesi'nde doktora derecesine sahip, tıbbi, çevresel ve sosyal faktörleri ele alarak nükleer felaketler konusunda geleceğin liderlerini yetiştirmeyi amaçlayan Phoenix Lider Programıdır (Ohtsuru vd., 2015).

Ülkemizde nükleer tehlikelerden kaynaklanan radyoaktivitenin zamanında belirlenebilmesi için Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK) tarafından Radyasyon Erken Uyarı Sistem Ağı (RESA) kurulmuştur. 24 saat kesintisiz ölçüm hizmeti veren bu sistem sayesinde radyasyon takibi, değerlendirilmesi, güncellenmesi ve internet üzerinden halkın erişimine sunulması sağlanmıştır. RESA'dan alınan veriler Avrupa Radyolojik Veri Değişim Platformuna (European Radiological Data Exchange Platform-EURDEP) gönderilmekte ve Avrupa ülkeleri tarafından EURDEP'e aktarılan veriler düzenli olarak takip edilmektedir (Ayan ve Dönmez, 2018).

Toplumun radyoaktif ve nükleer olaylardan haberdar etmek amacıyla Uluslararası Nükleer Olay Seviyesi olarak bilinen bir sınıflama kullanılmaktadır. Halk, kitle iletişim araçlarından gelen uyarılara harfiyen

uymak zorundadır. Radyasyondan korunmada eğitim en önemli aşamadır. Ülkemizde sağlık ekiplerine, Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı (RSHMB) tarafından “Kitle İmha Silahlarına Karşı Koyma ve Kişisel Korunma (KİS4K)” adlı tatbiki KBRN (Kimyasal, biyolojik, radyolojik, nükleer) eğitimi yılda iki kez verilmektedir. KİS4K; Eğitim, planlama, danışmanlık ve laboratuvar hizmeti sunmaktadır (Cansın, 2006). Türkiye’de Sağlık Bilimleri Üniversitesi bünyesinde 2022 yılında KBRN Eğitim ve Simülasyon merkezi açılmıştır. Merkezde KBRN ajanlarına maruz kalan yaralılarda ilk yardım ve tıbbi tedaviye yönelik uygulamalar için gerçeklik özelliğine sahip bir manken aracılığıyla KBRN maruziyetini simüle etmenin yanısıra tedavi uygulamalarının doğruluğu da test ediliyor (SBÜ, 2022).

### 3. Yüksek Doz İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Nükleer patlama gibi yüksek doz radyasyon insan sağlığını beş yolla etkiler:

**1. Güçlü ve parlak ışık etkisi:** Patlama ile birlikte meydana gelen güçlü ve parlak ışık geçici körlüğe neden olabilir.

**2. Darbe etkisi:** Radyasyon maruziyeti dışında gelişen darbeye bağlı ölümler, yıkılan yapıların enkazı altında kalma, yüksek ve ani basınç nedeniyle hemoraji, organ rüptürleri ve toz bulutundan boğulma olabilir.

**3. Isı etkisi:** Patlama sonrasında termal radyasyona bağlı olarak, önce X-ışınları yayılır, sonra birkaç saniye süren uzun dalga enfraruj ya da görülebilen ışınlar oluşur. Termal enerji sonucu oluşan bu ışınlar deri yanıklarına, yangınlara ve körlüğe neden olabilir.

**4. Radyasyon etkisi:** Nükleer patlamadan hemen sonra gama ışınları, nötron, alfa ve beta parçacıkları açığa çıkar. Ani radyasyon etkisi ilk birkaç dakika içinde oluşur. Radyoaktif maddeler hem eksternal maruziyete hem de su ve yiyecekleri kontamine ederek internal maruziyete neden olurlar.

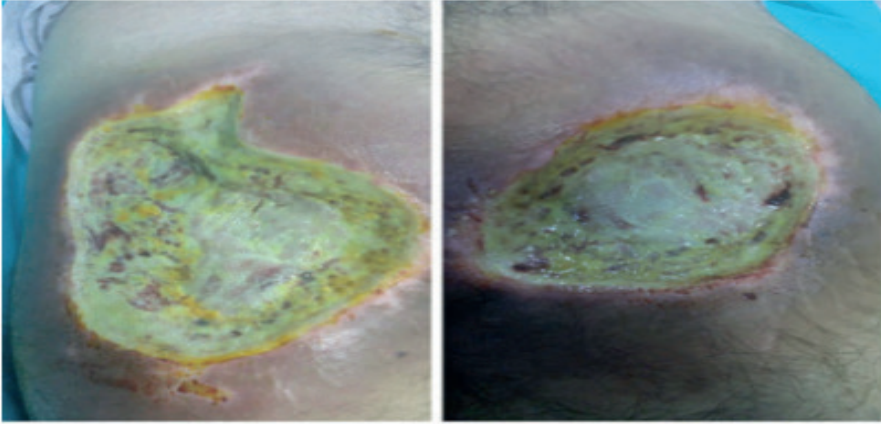
**5. Diğer:** Elektromagnetik dalgalar, radyo ve radar sinyalleri ile iletişimin engellenmesi; Kanserojen ve teratojen etki; Çevre kirliliğine yol açması; Toplum düzeninin sarsılması (Cansın, 2006).

Yüksek doz iyonize radyasyona maruz kalmanın olumsuz biyolojik etkileri vardır. Cilt, akciğer, gastrointestinal sistem ve kemik iliği gibi dokular, yüksek radyosensitif dokulardır. Yaklaşık 200.000 akciğer grafisine eşdeğer olan 2 Gy’den daha az tüm vücut iyonize radyasyona maruz kalan kazazede acil tıbbi müdahaleye gerek kalmadan iyileşebilir. Buna karşın 12-15 Gy’den fazla radyasyona maruz kalanlar tıbbi müdahale yapılsa bile ölüm olabilir. Acil

müdahale gerektiren yaralıların çoğu kemik iliği yetmezliği ve gastrointestinal hasarın oluştuğu 2-10 Gy'e maruz kalanlardır (Gale ve Armitage, 2018). Radyasyon maruziyetinde bazı mağdurlar, darbe etkisi, mermiler, termal yanıklar ve kimyasallardan kaynaklanan eş zamanlı yaralanmalara maruz kalabilir. Bu tür etkiler iyonize radyasyona karşı duyarlılığı artırabilir ve/veya akut radyasyon sendromunun (ARS) etkili tedavisine rağmen ölümcül olabilir (Gale vd., 2021).

#### 4. Akut Radyasyon Sendromu (ARS)

Vücudun lokal bir bölgesinin ya da tamamının yüksek doz radyasyona maruz kaldıktan sonraki belirti ve semptomların olduğu klinik bir tablodur. ARS, radyasyon hastalığı olarak da bilinir (Şekil 1). Klinik sendromlar en hassas dokular olan deri, hematopoietik sistem, sindirim sistemi ve serebrovasküler sistemi kapsar. ARS'nin ciddiyeti ışınlanan alana, radyasyon tipine (alfa, beta, gamma, nötronlar vs.) ve enerjisine, maruz kalma yolu (iç ve dış) ve bunlara eşlik eden travma ve yanıklara bağlıdır. ARS Prodromal (öncü, ilk safha), Latent (belirti göstermeyen), Manifest (açıkça görülen), Recovery or death (iyileşme ya da ölüm) olarak adlandırılan dört evreden oluşur. ARS'nin alt sendromu olan kutanöz sendromda 0.3-0.5 Gy dozlarda ışınlanmadan sonraki birkaç saat içinde kaşıntının eşlik ettiği geçici eritem olabilir.



*Şekil 1. Ir-192 (50 Ci) kaynağını yaklaşık 2 saat boyunca pantolonun her iki arka cebinde taşıyan işçinin 4. ayda her iki gluteal bölgede ağır ve derin ülserasyonlar ve derin doku nekrozu (Ince, 2017)*

Çok yüksek cilt dozlarında vezikül, alopesi, atrofi, fibrozis, salgı bezi hasarı, pigment artışı ya da azalışı, ülserasyon ve nekroz ortaya çıkabilir. Absorbe

edilen 2-3 Gy dozlarda hematolojik sendrom ortaya çıkar. Hematolojik hasar semptom vermeden 1-3 haftalık latent faz sonrası da ortaya çıkabilir. 5-6 Gy doza maruziyetten 5-6 gün sonra Gastrointestinal sendrom, 10 Gy'lik dozda ise Nörovasküler sendrom meydana gelir. Radyasyona bağlı yanıkları ve yaralanmaları olan hastalardaki yaralar daha zor iyileşir. Kan hücrelerinin, özellikle de lenfositlerin, granülositlerin ve trombositlerin konsantrasyonları ile ilişkili enfeksiyon ve kanama riski de mevcuttur. Ayrıca çoklu organ disfonksiyonu sendromu da gelişebilir. Çernobil'de 600 acil durum çalışanından 134'ünde ARS olduğu bildirilmiştir (Ayan ve Dönmez, 2018; Gale ve Armitage, 2021; Ohtsuru vd., 2015). Tüm vücudun maruz kaldığı radyasyon dozu-etki ilişkisi Tablo 1'de gösterilmiştir. ARS'da maruziyet dozuna bağlı oluşabilecek sendromlar Tablo 2'de verilmiştir (Flynn ve Goans, 2006).

*Tablo 1. Tüm vücut radyasyon dozu ve etkisi*

Doz	Etkisi
0.2 Gy	Semptom yok. Lenfositlerdeki kromozom değişiklikleri için eşik değer
0.5 Gy	Minör lenfosit baskılanması için eşik değer
1 Gy	Bulantı-kusma için eşik değer, 48 saatte hafif lenfosit baskılanması, Ölüm yok
2 Gy	Bulantı ve kusma saatler içinde sık görülür; 48 saatte orta derecede lenfosit baskılanması, Kombine yaralanma varsa az sayıda ölüm
3.5 Gy	Birkaç saat içinde bulantı-kusma; 48 saatte belirgin lenfosit baskılanması, Tedavi edilmezse 60 gün içinde %50 oranında ölüm (kombine yaralanmalar mevcutsa ölüm oranı artar).
6 Gy	1 saat içinde %100 bulantı-kusma, 48 saatte şiddetli lenfosit baskılanması, Tedavi edilmezse 60 gün içinde %100 oranında ölüm (kombine yaralanmalar mevcutsa tedaviye rağmen %100 ölüm)

*Tablo 2. ARS'de klinik sendrom*

Maruziyet dozu	Klinik Sendrom
1-8 Gy	Hematopoietik sendrom: lenfositopeni, nötropeni, trombositopeni Klinik etkiler bulantı, kusma, deride eritem, ateş, mukozit ve diyare Yara iyileşmesinde bozulma, anemi, kanama, enfeksiyon komplikasyonlarında artış ve ölüm
8-30 Gy	Gastrointestinal sendrom: Şiddetli bulantı-kusma, diyare, ateş, baş ağrısı ve yorgunluk Maruziyetten 1-2 hafta sonra ölüm
> 30 Gy	Kardiyovasküler ve merkezi sinir sistemi sendromu: Birkaç dakika içinde kusma, yanma hissi, bitkinlik, hipotansiyon, ateş, diyare Nörolojik olarak baş dönmesi, ataksi, konvüzyon 24-48 saat içinde ölüm

## 5. Radyasyon Maruziyetinde Olay Yerinde Müdahale

Acil koşullarda uygulanması zor olsa da yürürlükteki bir radyasyon güvenlik programının temel amacı radyasyonun deterministik ve stokastik etkilerini sınırlamak ve bunun için kazazedeleri ve görevlileri radyasyon maruziyetinden korumaktır. Bu nedenle mesafe, zaman, zırhlama ve radyoaktif kaynağın kontrolünü ihtiva eden ALARA (as low as reasonably achievable) prensibi göz önüne alınır (Karaçalıoğlu, 2017). Yüksek radyasyonlu alanlarda hayat kurtarma önlemleri olay yerinden uzaklaştırma ile başlar. Yaralılar eğitilmiş ve özel kıyafetli personel tarafından olay yerinden hızla uzaklaştırılır. Radyasyon ölçüm cihazı ile kişinin maruz kaldığı doz tespit edilir. Diğer bir deyişle olay yerine müdahalede ilk basamak; radyasyondan korunmanın sağlanabilmesi için olay yerinin tetkiki ve kontrollü alan oluşturulmasıdır. Buna göre olay yeri aşırı yüksek, yüksek, orta, hafif alan olmak üzere dört alandan oluşmalıdır. Radyolojik ve nükleer radyasyon maruziyetlerinde müdahale saha yönetimi alanlar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir (Tablo 3).

*Tablo 3. Radyolojik ve nükleer kazalarda saha yönetimi*

Aşırı Yüksek Dozda Radyasyon Alanı	100mSv/sa	Mağdurları çıkarma 12 saatten kısa
Yüksek Dozda Radyasyon Alanı	1000mR/sa 10mSv/sa	İtfaiye Tıbbi yardım Kurtarma Zaman sınırlı girişimler
Orta Dozda Radyasyon Alanı	100mR/sa 1mSv/sa	Tampon alan Dekontaminasyon Sadece görevli olanlar Kısıtlı süre
Düşük Doz Radyasyon Alanı	0.1mSv	Müdahale edenlerin dekontaminasyonu bu alanın dış sınırında

### 5.1. Tıbbi müdahale alanının oluşturulması

Sıcak alandan çıkarılan kazazedelere ılık alanda bir tıbbi müdahale alanı oluşturulmalıdır. Bu alan belirlenirken rüzgarın yönü ve radyasyon doz oranı dikkate alınmalıdır (rüzgar yönü, soğuk alandan müdahale alanına doğru olmalı) (Şekil 2). Müdahale alanında radyasyon dozu sürekli takip edilmeli, doz seviyesi 10  $\mu$ Sv/saat'in üzerine çıktığında daha düşük bir alana geçilmelidir. Hastaların sağlık kuruluşlarına naklini sağlamak için organizasyon yapılmalıdır. Yangın ve patlama riski varsa müdahale alanı daha uzak bölgelere taşınmalıdır (Ekşi, 2017).





Şekil 2. Olay yerinde sıcak, ılık ve soğuk alan (MEGEP, 2011)

### 5.1. Arındırma

Amaç hastaya dıştan radyasyon kontaminasyonunu gidermek ve maruziyeti kesmek ile sağlık personeline bulaşı önlemektir. Sırayla “ıslat-soy-yıka-giydir” prensibine göre tatbik edilir (Şekil 3). Arındırılmamış hiçbir hastaya tıbbi tedavi başlanmamalıdır. Çünkü bulaş devam ettiği için yaralı daha çok radyasyona maruz kalmakta ve sağlık personeli de risk altına girmektedir (Cansın, 2006). Olay yerinde yapılacak dekontaminasyon işlemleri kazazedelerin çevreyi kontamine etmelerini, ilk yardımda bulunan kişilerin kontamine olmasını sınırlar ve internal kontaminasyonu da engeller. Kontaminasyon tespit edilen olguların dekontaminasyon işlemlerinin hastane içindeki dekontaminasyon ünitelerine sevkinden önce, transport öncesinde ılık ve soğuk alan arasına yerleştirilmiş dekontaminasyon ünitelerinde gerçekleştirilmesi tercih edilmelidir.



Şekil 3. Kazazedenin arındırılması (MEGEP, 2011)



Saçların silkelmesi, taranması, kıyafetlerin ve ayakkabıların çıkartılmasının bulaşı %90'dan fazla azalttığı belirtilmiştir. Her dekontaminasyon işlemi sonrasında ölçüm tekrarlanır. Bir önceki doza göre ölçüm sonuçlarında %10'dan fazla azalma sağlanana kadar yıkamaya devam edilmelidir. Açık yaralanmalı olgularda yara yerleri steril serum fizyolojik ile yıkanmalıdır. Dekontaminasyon sırasında açık yaradaki radyonüklid ile kontamine şarapnellerin çıkartılmasından kaçınılmalıdır. Kontamine şarapnellerin olduğu açık yaralar tıbbi usüle uygun olarak yıkanır, kapatılır, zırhlanır ve normal dekontaminasyon prosedürü sonrasında hasta sağlık kuruluşuna transfer edilir. Dekontaminasyon işleminde sıcak sudan, sürterek temizlemekten kaçınılmalıdır. Çünkü sürterek yapılan arındırma ve yıkama işlemleri derideki stratum korneum katmanları arasına radyoaktif maddenin girmesine ve maruziyet dozunda artışa neden olabilir. Hafif yüksek doz ölçülen kişilere evlerinde günlük duş almaları ile iç çamaşır ve kıyafetlerini günlük olarak değiştirmeleri önerilebilir (Ayan ve Dönmez, 2018).

### 5.3. Acil sağlık ekiplerinin sorumlulukları

Acil sağlık ekipleri soğuk alanda görev yaparlar. Acil sağlık ekiplerinin sorumlulukları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ayan ve Dönmez, 2018):

- İtfaiye ekipleri tarafından sıcak alandan çıkarılmış olan mağdurlara acil tıbbi müdahalenin başlatılması,
- Olay yerinde bulunan radyasyona ya da diğer nedenlere bağlı gelişmiş olan yaralanmalara müdahale,
- Tıbbi nakil ve transport sağlanacak hastaneler ile koordinasyonu sağlamak,
- Ölümlerin olması durumunda geçici bir morg alanı oluşturmak,
- Radyasyona maruz kalma durumunda koruyucu tıbbi tedaviyi sağlamak,
- Radyasyon yaralanmalarında semptomatik tedaviye başlamak

Olay yerinde müdahale edecek sağlık ekipleri kontaminasyonu önlemek için bazı kişisel koruyucu ekipmanları kullanmalıdır. Bunlar; sert koruyucu kask, tüm yüzü kaplayan pozitif basınçlı filtreli yüz maskeleri, kimyasallara dirençli eldiven ve botlar, tüm vücudu örten kimyasallara ve buhara dirençli elbiseler ve kişisel dozimetri (Karaçalıoğlu, 2017) (Şekil 3).

## 6. Radyolojik ve Nükleer Maruziyetlerde Tıbbi Yaklaşım

### 6.1. Ekipman ve malzemeler

Yaralılara yönelik dekontaminasyon için tedavi alanı belirlenmeli ve mümkünse acil servis faaliyetinin ana akışından uzakta, acil servis girişinin yakınında bir alana kurulmalıdır. Dekontaminasyon odaları gereksiz malzeme veya ekipmandan arındırılmalı ve olası kontaminasyonu en aza indirmek için kullanılmayan sabit ekipmanların üzeri kapatılmalıdır. Bazı hastaneler radyoaktif olarak kontamine olmuş hastaları kabul edecek şekilde düzenlenmiştir ve acil durumlara hızlı bir şekilde odaları veya ameliyathaneleri hazırlanmak için protokoller geliştirmiştir (Rump vd., 2018). Radyasyon tespit cihazları, özellikle Geiger- Müller (GM) sayacı ve film termoluminesans dozimetri veya cep dozimetreleri bulundurulmalıdır. Hasta tedavisiyle ilgilenen personel için ameliyathane kıyafetleri olmalıdır. Zemin bantlanmış kaymaz plastik tabakalarla kaplanmalıdır. Radyolojik numune alma ekipmanı olmalı ve Radyolojik dekontaminasyon malzemeleri bulundurulmalıdır. Su için atık kapları (variller), dekontaminasyon atıkları ve giysiler için yüzlerce büyük plastik torba olmalıdır. Kazazedelerden herhangi bir metal parçasını veya şarapneli çıkarmak için forseps kullanılmalı ve bunlar hasta ve personelden uzakta, korumalı bir kab içine konmalıdır.

### 6.2. Dekontaminasyon Ekibi Elbisesi

Dekontaminasyon ekibi evrensel önlemleri içeren prosedürlere sıkı bir şekilde uymalıdır. Bere, maske, göz koruması, önlük, eldiven ve galoş dahil bariyer kıyafetleri giyilir. Tüm dikişler ve manşetler maskeleme bandıyla sabitlenmelidir. İdeal olarak yaka seviyesinde bir dozimetre takılmalıdır. Eksiksiz bir cerrahi önlük ideal olarak, kontamine olmuş hastaları yıkamada kullanılmak üzere plastik bir önlük ve çapraz kontaminasyonu önlemek için iç eldivenlerin ameliyat giysisine bantlandığı çift eldivenleri içerir, çünkü eldiven değişiklikleri gerekli olabilir (Flynn ve Goans, 2006).

### 6.3. Radyasyon Etkisine Bağlı Triyaj

Radyasyon maruziyetlerinde hem dekontaminasyon hem de olguların tıbbi tedavi alma önceliğinin belirlendiği dinamik bir süreçtir. Olay alanında genellikle fiziksel hasar durumuna göre basit triyaj ve hızlı tedavi, pediatrik hastalar için basit triyaj ve hızlı tedavi ve özellikle askeri alanda uygulanan DIME (delayed, immediate, minimal, expectant) sınıflamaları kullanılabilir. Triyajda amaç en çok sayıda hastaya en iyi yardımı sağlamaktır. Bu nedenle her türlü müdahaleye rağmen kaybedileceği bilinenler bekletilebilir.

REAC/TS (Radiation Emergency Assistance Center/Training Site), radyasyona maruz kalmanın ciddiyetine bağlı olarak hastane bakım grupları olarak listelenen dört temel tedavi kategorisini kullanır. Dört kategori hafif (2 Gy), orta (2-5 Gy), şiddetli (5-10 Gy) ve ölümcül (10 Gy) maruziyettir. Hafif bir radyasyon dozu almış olanlar, acil tedavi olmaksızın hayatta kalmaları beklendiğinden, minimal tedavi kategorisinde değerlendirilebilir. Ölümcül bir radyasyon dozu almış olanlara palyatif bakım sağlanmalıdır. Orta (2-5 Gy) ve şiddetli (5-10 Gy) gruplardaki mağdurların tedavisi için klinik kaynaklara öncelik verilir (Ayan ve Dönmez, 2018).

#### 6.4. Eksternal Dekontaminasyon

GM sayacı harici dekontaminasyonda kullanılır. Giysilerin çıkarılması tek başına harici radyoaktif kirlenmeyi %90 oranında azaltabilir. Sabun ve ılık veya oda sıcaklığında suyla yıkamak etkilidir ve kirliliğin diğer %90'ını giderir. Sabun çoğu kirleticiyi elimine eder ve çözer. Yapılan çalışmalar, sabunun tek başına yetersiz kaldığı durumlarda, sabunun yanı sıra şampuanın da cilt dekontaminasyonunda etkili olabileceğini göstermiştir. Bazı durumlarda povidon-iyot, sağlam cilt üzerinde antiseptik mikrop öldürücü olarak kullanılabilir. Yaralar ve vücut delikleri genellikle ilk önce dekontamine edilir. Yaralar salinle yıkanmalıdır. Yanıklar suyla nazikçe durulanmalı ve kalıntılardan arındırılmalıdır. Bazı hastalarda metal parçalar (şarapnel) gömülü olabilir. Metalik şarapnel çıkarıldığında radyoaktivite açısından değerlendirilmeli ve güvenli bir yere konulmalıdır. Potansiyel olarak radyoaktif parçalar eldivenli ellerle değil, forsepsle tutulmalıdır. Kirlenmiş atık su herhangi bir sınırlama olmaksızın kanalizasyona bırakılabilir. Saçlar herhangi bir ticari şampuanla arındırılabilir. Uygunsa saçın kesilmesi kirletici maddeleri temizleyebilir. El ve ayak tırnakları kontrol edilmeli, gerekiyorsa kesilmelidir (Flynn ve Goans, 2006).

Her cilt ve yara dekontaminasyonundan sonra hasta, dekontaminasyonun etkinliğini belirlemek için bir GM sayacıyla kontaminasyon seviyesi bir kez daha kontrol edilmelidir.

#### 6.5. İnternal Dekontaminasyon ve Dekorporasyon

Radyonüklidler vücuda alındıklarında kimyasal yapılarına bağlı olarak farklı doku ve organlarda birikirler. Vücuttan elimine edilmeleri efektif yarı ömre bağlıdır. Etkin yarılanma ömrü, günler, aylar hatta yıllar sürebilir. Örneğin Plütonyum-239'un yarı ömrü 50 yıldır. Radyonüklidler bu özelliklerinden dolayı iç ışınlamaya neden olurlar. 37kBq (1 $\mu$ Ci) plütonyum-239'un yarayı kontamine ettiği ve tedavi olmaksızın 823mSv'lik bir radyolojik doza yol açtığı varsayılmaktadır. Etkin dozun belirlenmesi, tüm vücut sayımı ve idrar

veya dışkıda radyonüklid atılım ölçümleri yoluyla vücuttaki radyoaktivitenin ölçülmesini ve ardından dahili dozimetri hesaplamalarını gerektirir.

Hasta tıbbi olarak stabilize edildikten ve dışarıdan dekontamine edildikten sonra, iç kontaminasyonun en aza indirilmesine odaklanılmalıdır. Emilim azaltılarak, atılım artırılarak veya her ikisi birden yapılarak iç kontaminasyon en aza indirilir. Uygulanacak işlemler arasında; Oral/nazofarengeal aspirasyon, Mide lavajı, Gastrointestinal geçiş süresini azaltmak için magnezyum sülfat gibi laksatiflerin kullanımı, emilimi azaltmak için antasitlerin (örneğin alüminyum hidroksit) kullanımı, intravenöz hidrasyon ve/veya diüretiklerin verilmesi, kusmayı sağlayan kusturucuların uygulanması, bloke edici veya seyreltici maddelerin (radyoaktif iyodür için potasyum iyodür gibi) verilmesi yer alır. İç maruziyette, tiroid bezi vücudun radyasyondan zarar görmesi muhtemel en hassas organıdır. Tiroidte biriken radyoaktif iyot, tiroit kanseri gibi geç ortaya çıkan sağlık etkilerine neden olabilir. Potasyum iyodür, hedef organ olan tiroid bezinin radyoaktif iyot alımını önleyen, böylece radyoaktif iyotun idrarla atılmasını sağlayan bloke edici bir maddedir. Tedavi özellikle çocuklar ve hamile veya emziren kadınlar için önemlidir. Radyasyon maruziyetinde kriz yönetim merkezi ilgili uzmanlara danışarak iyot kullanım dozunu belirlemelidir. Önerilen günlük potasyum iyodür dozları yetişkinler için (hamile veya emziren kadınlar dahil) 130 mg, 4-17 yaş arası çocuklar için 65 mg, 1-36 ay arası çocuklar için 32 mg ve 1 aydan küçük bebekler için 16 mg'dır (Rump vd., 2018; Flynn ve Goans, 2006).

Nükleer ve radyolojik olaylarda antidot olarak potasyum iyodür dışında Granülosit koloni uyarıcı faktör (G-CSF), dietilentriaminpentaasetik asit ((Ca)DTPA ve (Zn)DTPA) ile Prusya mavisini (ferrik heksaziyanoferat) mevcuttur. Kanda ya da hücre dışında (Ca)DTPA, daha az sıkı bağlı olan kalsiyum iyonunu, aralarında plütonyum-239 ve amerikyum-241'in de bulunduğu birçok metal radyonüklid ile değiştirir ve böbreklerden atılımını hızlandırır. (Ca)DTPA genellikle intravenöz olarak enjekte edilir ve aynı zamanda inhalasyon yoluyla da uygulanabilir. Ağız yoluyla uygulanan Prusya mavisini, safra yoluyla salgılanan sezyum-137'yi bağırsağa bağlayarak kana yeniden emilmesini önler ve dışkı yoluyla atılımını artırır. Bazı ülkelerde, DMPS (2, 3-Dimerkapto-1-propansülfonik asit) veya DMSA (dimerkaptosüksinik asit) gibi sülfhidril grupları da gerekli olduğunda kullanımı düşünülmektedir. Bunlar etkinliği şüpheli olmasına rağmen polonyum-210 kontaminasyonunu tedavi etmek için kullanılır. Ancak tedaviye ne zaman başlanacağı konusunda fikir birliği yoktur. "İhtiyatlı yaklaşıma" göre, dahili dozimetri sonuçları beklenmeli ve dekontaminasyon tedavisi ancak ilgili etkin dozun doğrulanması durumunda başlatılmalıdır (> 20 mSv veya > 200 mSv) (Rump vd., 2018).

## 6.6. ARS Tedavisi

Yüksek doz radyasyon maruziyetinde ilk 72 saat boyunca tedavinin başlangıç aşaması, travma ve yanıkların tedavisine, dış dekontaminasyona ve uygun olduğunda potasyum iyodürün başlatılmasına yöneliktir. Kazazedeye müdahalede bulunan bölümler sadece radyasyonla uğraşan klinikler değil, hastanın ihtiyacına göre genel cerrahi, hematoloji, intaniye, ortopedi, plastik cerrahi ve yoğun bakım üniteleri olmalıdır. Hastaların önce tıbbi anlamda stabil hale gelmeleri sağlanmalı, klinik bulgular, maruz kalınan doz miktarı, radyonüklid cinsi ve internal kirlenmenin olup olmadığı dikkate alınmak suretiyle radyasyon yaralanmaları değerlendirilmelidir. Radyasyona maruz kalmış hastanın tedavisi; maruz kalınan radyasyon cinsine (gama, nötron), radyonüklid tipine (sezyum, plütonyum, vs), maruziyet dozu ve düzeyine (tam veya kısmi vücut), maruz kalma şekline (iç ya da dış), eş zamanlı travma veya yanıkların olup olmamasına göre değişebilir (Gale ve Armitage, 2021; Ayan ve Dönmez, 2018). Ciddi kombine yaralanmalarda prognoz, radyasyon olmadan aynı derecede konvansiyonel yaralanmaya göre çok daha kötü seyredir. Travma hastaları için “altın saat” travmadan sonraki ilk 1-2 saattir. Kaza nedeniyle şok geçiren veya şoka girmeye çok yakın olan hastalar eğer bu altın saat içinde tedavi edilmezlerse ölebilirler. ARS’de alınan doza bağlı olarak tedavi deri, hematopoietik sistem, sindirim sistemi ve serebrovasküler sisteme yöneliktir (Flynn ve Goans, 2006).

### 6.6.1. Hematopoetik hasar tedavisi

Kazazedelerin ilk değerlendirilmesinde, öncelikli olarak tam kan sayımı yaptırılmalı ve aynı gün içerisinde tam kan sayımı 4-6 saat aralıklarla tekrarlanmalıdır. Hem travma sonrası erken dönemde hem de daha sonra hematopoietik radyasyon hasarının ortaya çıkması sırasında, endikasyon varsa kan ürünleri agresif bir şekilde kullanılmalıdır. Olay anından sonraki 24 saat içinde miyeloid sitokinlerin (granülosit koloni stimülan faktör) uygulanması önem taşır. Radyasyona maruz kaldıktan sonraki 2-4 haftalık dönemde, radyasyonun gecikmiş miyelosupresif etkileri görülürse daha fazla transfüzyon gerekebilir. İmmün sistemi baskılanmış hastada transfüzyonla ilişkili graft-versus-host hastalığı riskini azaltmak için mümkünse kan ürünleri yaklaşık 25 Gy’lik bir doz verilerek ışınlanmalıdır, değilse ışınlanmamış olarak da kullanılabilir (Ortatatlı vd., 2015; Flynn ve Goans, 2006).

Olaydan 24 saat sonra lenfosit sayısı normalin %10’u ise, tedaviye rağmen ölümcüldür. Lenfosit sayımı %90’ın üzerindeyse tedavi olmasa da bu vakalarda ölüm beklenmez (Ayan ve Dönmez, 2018). Nötropenik vakalarda destek tedavisi olarak hematopoietik büyüme faktörleri, kan ürünleri ve antibiyotikler verilir.

### 6.6.2. Gastrointestinal hasar tedavisi

Gastrointestinal sendrom 5-6 Gy doza maruziyetten 5-6 gün sonra gelişebilir ve agresif tedaviye gereksinim duyar. Bulantı-kusma ve ishal genellikle semptomatik olarak ve sıvı replasmanı ile tedavi edilir. Alınan doz miktarı ile kusma sıklığı lineer bir uyum gösterir. Maruziyetten sonra 1-2 saat içinde kusma varsa tüm vücut etkin radyasyon dozu en az 3 Gy'dir. Eğer 1 saatten önce kusma mevcutsa 4 Gy'in üzerinde doz maruziyeti söz konusudur. Kusma için proklorperazin, granisetron ve ondansetron gibi ilaçlar uygulanır. Kusma genellikle 48 saat içinde kaybolur ve uzun süreli antiemetik tedavi ihtiyacı ortadan kalkar. Diyare için loperamid ve difenoksilat hidroklorür ile atropin sülfat gibi ilaçlar verilir (Gale ve Baranov, 2011; Flynn ve Goans, 2006).

### 6.6.3. Kardiyovasküler ve Merkezi Sinir Sistemi Hasar Tedavisi

Çok yüksek dozda akut radyasyona maruz kalmanın ciddi sonuçlarına yönelik etkili bir tıbbi müdahale yoktur. Sedasyon ve kardiyovasküler destek verilmesine rağmen çoğu mağdur maruziyetten hemen sonra ölür. Nörovasküler sendrom 10 Gy'lik dozlarda ortaya çıkar ve genel olarak ölümcüldür. Vakaların konforu için palyatif ve semptomatik tedavi uygulanmalıdır (Gale ve Baranov, 2011).

### 6.6.4. Kemik İliği Tedavisi

Kemik iliği 1-2 Gy'i aşan dozlarda radyasyona maruz kalırsa kemik iliği baskılanması meydana gelir. Yaklaşık 5 Gy'lik tüm vücut dozuna maruz kalan vakaların yarısı tıbbi müdahale olmadan ölür. Böyle bir maruziyette kan hücrelerinin yenilenmesi ve enfeksiyonların kontrolü önemlidir. Bazen çok az sayıda kemik iliği hücresi radyasyona maruz kaldığında müdahale olmadan iyileşmenin gerçekleşmesi için gereken süre çok uzun olabilir. Fakat kemik iliği 8-10 Gy'in üzerinde ışınlanırsa kemik iliği transplantasyonu gerekebilir (Gale ve Baranov, 2011).

### 6.6.5. Enfeksiyon ve Cilt Tedavisi

Nötropenik hastalarda enfeksiyonun kontrol edilmesi önemli bir faktördür. Enfeksiyonlar, radyasyona bağlı kemik iliği aplazisi ve lenfosit azlığına bağlı immünoşüpresif etkiler nedeniyle radyasyon maruziyetinde önemli bir ölüm nedenidir. (Flynn ve Goans, 2006).

Yaralar ve vücut delikleri önce dekontamine edilir. Yaralar salinle yıkandıktan sonra topikal antibiyotikler ve gerekirse sistemik antibiyotikler



kullanılır. Yara, yapışmayan pansumanlarla kapatılmalı ve ağrı kontrolü de sağlanmalıdır (Gale ve Baranov, 2011).

### 6.7. Kazazedeye Psikolojik Destek

Atom bombası, Çernobil ve Fukushima Daiichi nükleer santral kazaları vakalarında, insanlar uzun vadeli psikolojik yüklerle maruz kaldılar. Bu psikolojik yükler, yüksek radyasyon maruzitetinden sonra toplumdaki hekimlerden ne beklenebileceği sorusunu gündeme getirmektedir. Çernobil kazasında ruh sağlığı, engelliliğe, fiziksel hastalıklara ve ölümlere neden olan en büyük halk sağlığı sorunuuydu.

Radyolojik ve Nükleer maruziyetlerde travma sonrası stres bozukluğu, depresyon, anksiyete, psikosomatik hastalıklar, hipokondri meydana gelebilmektedir. Radyasyon maruziyeti sonrası bozulan ruh sağlığı, fiziksel işlevlerin aksamasına, çeşitli hastalıklara ve akabinde sağlığın bozulmasına sebep olabilir. Bu nedenle ruh sağlığı sorunlarına dikkat etmek önemlidir (Ohtsuru vd., 2015).

Fukushima'daki Nükleer Santral kazasından sonra tahliye edilenlere yönelik aktif sosyal yardım hizmeti ve ruh sağlığı müdahale programları başlatılmıştır (Ohba vd., 2021). Radyasyon maruziyetinden sonraki iyileşme döneminde, hekimlerin olaydan etkilenen pek çok bölge sakinine genel fiziksel ve zihinsel sağlık bakımı sağlaması gerekmektedir. Ayrıca radyolojik ve nükleer olaylarda müdahale ekibi arasındaki iletişim, halkın doğru bilgilendirilmesi ve yapılacaklar hakkında hızlı uyarıda bulunulması gibi davranışlar hem ölüm oranını hem de psikolojik hasarı azaltabilir.

### 7. Sonuç

Radyolojik ve nükleer maruziyetler toplum için her zaman büyük bir risk kaynağıdır. Bu nedenle ilgili sivil toplum kuruluşları ve sağlık sektörü çalışanları her zaman hazırlıklı olmalıdır. Afet planının bir parçası olarak telefon numaralarını içeren bir öncelik listesi önceden oluşturulmalı ve ulaşılabilir olmalıdır.

Radyasyon maruziyeti yaşanmadan önce potansiyel tehlikelerin olabileceğinin öngörülmesi ve buna karşı tedbir alınması gerekir. Farklı senaryolar oluşturulup, bu senaryolardaki görev dağılımının önceden belirlenmesi, ihtiyaç duyulan malzemelerin kolay ulaşılabilir bir yerde depolanması, personelin ve halkın eğitilmesi temel tedbirler arasında yer alır. Aksi takdirde yanlış veya eksik organizasyona bağlı kazazede sayısında artış ve daha fazla çevresel hasar meydana gelir.

Olay yeri müdahale ekibinin koordineli bir şekilde zamana karşı mücadele etmesi gerekir. Bu da, önceden hazırlık çalışmaları gerçekleştiren olay yeri yönetim sistemleri ile mümkündür. Bu nedenle her ülke mevcut olay yeri yönetim sistemlerini gözden geçirmeli ve hazırlık çalışmaları tekrarlanmalıdır.

Hekimlerin nükleer ve radyolojik afete müdahale konusunda eğitim alması gerekir. Tıp fakültelerindeki hekim adaylarına Nükleer Tıp ve Radyasyon Onkolojisi uzmanları tarafından nükleer afetler ve radyasyon hastalıkları konusunda teorik bilgiler daha fazla verilmelidir. Gelecekteki nükleer ve radyolojik felaketlere hazırlanmak ve hasarı en aza indirmek için öğrenme süreci gereklidir.

Yüksek doz radyasyon maruziyeti ile başa çıkmak, politika kararları, hekimlerin, müdahale ekibinin ve halkın eğitimi, önleme ve tıbbi yaklaşım planları çeşitli stratejiler gerektirir. Önleme en etkili stratejidir.

## Kaynakça

- Ayan, A., Dönmez, S. (2018). Radyolojik Nükleer Kaza ve Terör Olaylarında Tıbbi Yönetim. *Ankara Eğt. Arş. Hast. Dergisi*, 51(2), 154-162.
- Cansın, A. (2006). Nükleer silahlar ve radyasyon. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 63(1), 139-144.
- Ekşi, A. (2017). Nükleer Kazalarda Olay Yeri Yönetimi. *Hastane Öncesi Dergisi*, 2(1), 51-62.
- Flynn, D. F., Goans, R. E. (2006). Nuclear terrorism: triage and medical management of radiation and combined-injury casualties. *Surgical Clinics*, 86(3), 601-636.
- Gale, R. P., Armitage, J. O. (2021). Use of molecularly-cloned haematopoietic growth factors in persons exposed to acute high-dose, high-dose rate whole-body ionizing radiations. *Blood Reviews*, 45, 100690.
- Gale, R. P., Armitage, J. O. (2018). Are we prepared for nuclear terrorism? *New England Journal of Medicine*, 378(13), 1246-1254.
- Gale, R. P., Armitage, J. O., Hashmi, S. K. (2021). Emergency response to radiological and nuclear accidents and incidents. *British journal of haematology*, 192(6), 968-972.
- Gale, R. P., Baranov, A. (2011). If the unlikely becomes likely: medical response to nuclear accidents. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 67(2), 10-18.
- Ince, S. (2017). Acute Local Radiation Injury and Treatment Methods/Akut Lokal Radyasyon Hasari ve Tedavisi. In *Nuclear Medicine Seminars* (Vol. 3, No. 3, pp. 201-207). Galenos Yayınevi Tic. Ltd.
- Karaçalıoğlu, A. Ö. (2017). Nükleer-Radyolojik Acillerde Tıbbi Triyaj. *Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi*, 196-201.
- MEGEP, 2011. KİMYASAL BİYOLOJİK RADYASYON VE NÜKLEER (KBRN) TEHLİKELERDE ACİL YARDIM 725TTT154https://megep.meb.gov.tr/mte\_program\_modul/moduller\_pdf/Kimyasal,%20Biyolojik,%20Radyasyon%20Ve%20N%C3%BCKleer%20(kbrn)%20Tehlikelerde%20Acil%20Yard%C4%B1m.pdf
- Ohba, T., Tanigawa, K., Liutsko, L. (2021). Evacuation after a nuclear accident: Critical reviews of past nuclear accidents and proposal for future planning. *Environment international*, 148, 106379.
- Ohtsuru, A., Tanigawa, K., Kumagai, A., Niwa, O., Takamura, N., Midorikawa, S., ... & Clarke, M. (2015). Nuclear disasters and health: lessons learned, challenges, and proposals. *The Lancet*, 386(9992), 489-497.
- Ortatatlı, M., Sezigen, S., Ayan, H. A., Balandız, H., Kenar, L. (2015). Terörizm kapsamında kimyasal, biyolojik, nükleer ve radyasyona bağlı yaralanmaların değerlendirilmesi. *Türkiye Klinikleri J Foren Med Special Topics*, 1(2), 44-52.

Rump, A., Becker, B., Eder, S., Lamkowski, A., Abend, M., Port, M. (2018). Medical management of victims contaminated with radionuclides after a “dirty bomb” attack. *Military medical research*, 5(1), 1-10.

SBÜ, 2022. Sağlık Bilimleri Üniversitesi. KBRN Eğitim ve Simülasyon Merkezi <https://www.sbu.edu.tr/tr/haber/eG69iV-sbu-kbrn-egitim-ve-simulasyon-merkezi-acildi>