

NÜKLEER TEHLİKELER
HAKKINDA TEMEL BİLGİLER:

ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER



AFAD

Adres:

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

Üniversiteler Mah. Dumlupınar Bulvarı No:159

(Eskişehir Yolu 9.km) 06800 Ankara / TÜRKİYE

Başkanlık Pbx: 0 (312) 258 2323

Başkanlık Fax: 0 (312) 220 2612

www.afad.gov.tr



[f](#) [t](#) / afadbaskanlik

AFAD

EUR-OPA
EUR-OPA MAJOR HAZARDS AGREEMENT
ACCORD EUR-OPA RISQUES MAJEURS

COUNCIL OF EUROPE
CONSEIL DE L'EUROPE

AFEM
TÜRKİYE

European Centre of
Technological Safety



**NÜKLEER TEHLİKELER
HAKKINDA TEMEL BİLGİLER:
ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN
ALINAN DERSLER**

Viktor Poyarkov

“Basic Knowledge of Nuclear Hazards: Lessons from Chernobyl and Fukushima” başlıklı bu kitap, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Avrupa Doğal Afetler Eğitim Merkezi (AFEM) tarafından Türkçeye tercüme edilmiş, yeniden düzenlenmiş ve kitabın sonuna “Radyolojik ve Nükleer Terimler Sözlüğü” eklenmiştir.

Ankara, 2018



EŞ YAZARLAR LİSTESİ

Kitabın iyileştirilmesinde katkıda bulunan ve daha anlaşılır olmasını sağlayan eş yazarlar:

<i>Badalyan Stepan</i>	Ermenistan
<i>Bantush Anatoliy</i>	Moldova
<i>Barnova Teya</i>	Gürcistan
<i>Barelli Alessandro</i>	San-Marino
<i>Chelidze Lia</i>	Gürcistan
<i>El Mouraouah Azelarab</i>	Fas
<i>Georgieva Liliana</i>	Bulgaristan
<i>Gibson Kelsey</i>	ABD
<i>Gruden Yaroslava</i>	Ukrayna
<i>Kachanov Sergey</i>	Rusya
<i>Kazimirova Galina</i>	Ukrayna
<i>Kholosha Vladimir</i>	Ukrayna
<i>Kolev Koleo</i>	Bulgaristan
<i>Korshunov Sergey</i>	Rusya
<i>Machavariany Marina</i>	Gürcistan
<i>Massue Jean-Pierre</i>	Fransa
<i>Marchenko Tatyana</i>	Rusya
<i>Mayer Cassie</i>	ABD
<i>McGrory-Klyza Isabel</i>	ABD
<i>Ojagov Habib</i>	Azerbaycan
<i>Raymond Amanda</i>	ABD
<i>Slayton Hayley</i>	ABD



Önsöz

Çernobil nükleer santral kazasının bize verdiği en büyük derslerden biri, yetkililerin durumun vahametini anlatmakta ve koruma amaçlı gerekli tedbirleri almakta geç kalması nedeniyle kazanın insanlar üzerindeki etkisini artırmış olmasıdır. Yetkili mercilerdeki bu tereddüt ve şeffaflıktan yoksunluk ne yazık ki Fukuşİma nükleer santral kazasında tekrarlanmıştır. Artık vatandaşlar bu gibi hataları kabul etmemektedir. Demokrasilerde, yetkililerin toplum ve yargı karşısında sorumlulukları bulunmaktadır. Dolayısıyla, herkesin hayatını etkileyecek kararlar kamuoyunun gözü önünde alınmalıdır. Bu yüzden risk yönetiminin, radyasyon riski de dahil, tekrar ele alınması önem arz etmektedir. Demokratik toplumlarda vatandaşların güvenliğini ve geçimini etkileyecek önemli kararlara katılımı daha iyi seviyelere çıkartılmalıdır.

Avrupa Konseyi, vatandaşların hayatlarını etkileyecek kararlarda daha fazla katılımın sağlanmasının savunucusudur. Kurumumuz; Çernobil felaketine tanıklık eden siyasi sistemin tamamıyla görmezden geldiği, insan hakları, hukukun üstünlüğü ve demokrasi gibi temel değerleri üzerine inşa edilmiştir. Eğer daha güvenli ve dirençli toplumlar inşa etmek istiyorsak demokrasinin bir gereklilik olduğunu bilmeliyiz. İnsanlar çevrelerindeki risklere karşı bilgilendirilme hakkına sahiptir ve resmi yetkililerin de vatandaşları risklerden korumak amacıyla alınan tedbirlere ve prosedürlere dahil etme yükümlülüğü bulunmaktadır. Güvenlikle ilgili bir diğer temel husus ise bazı endüstriyel faaliyetlerin nüfus üzerinde yaratabileceği tehlikelerle alakalı bilgilere erişilmesi hakkındadır.

Bu kitap Avrupa Konseyinin radyasyon tehlikeleriyle ilgili Avrupa-Akdeniz Büyük Doğal ve Teknolojik Afetler Açık Kısmi Antlaşması (EUR-OPA) bağlamında başlatılmış, risklerle ilgili bilincin artırılması insanların güvenliğini sağlayabilir anlayışıyla ortaya konulmuştur. Elinizdeki bu kitabın çok iddialı bir amacı vardır; öğretmenler, gazeteciler, karar vericiler, öğrenciler gibi farklı gruplara nükleer tehlikelerle ilgili temel bilgileri akla uygun ve ilgi çekici bir biçimde anlatmaktır. Çernobil ve Fukuşİma'da görüldüğü gibi acil durum halinde sadece tek bir güvenilir bilgi kaynağı söz konusudur. O da insanların kendi temel bildikleri doğrultusunda acil durumlara ilişkin bilgileri analiz etmeleri ve yorumlamalarıdır.

Sadece nükleer bilimciler tarafından hazırlanamayacağına inandığımızdan, sadece ilk taslağın bir nükleer fizikçi tarafından hazırlanmasına karar verildi. Daha sonra çok farklı alanlardan gelen meslek uzmanlarıyla bu taslak üzerinde istişare edilmiştir. Bu kitap on bir dile çevrilmiş ve Ermenistan, Azerbaycan, Belçİka, Bulgaristan,



NÜKLEER TEHLİKELER HAKKINDA TEMEL BİLGİLER: ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER

Fransa, Gürcistan, Lüksemburg, Moldova, Fas, Rusya, San Marino, Türkiye, Ukrayna, ABD ve başka ülkelerde kitap hakkında fikir alışverişinde bulunulmuştur. İçeriğin geliştirilmesine ve dünyanın her yerinde insanların kitabı daha kolay anlayabileceği hale gelmesine katkı sağlayan gazetecilerden, karar vericilerden, öğretmenlerden ve öğrencilerden birçok yararlı öneriler alınmıştır (bkz. Eş yazarlar listesi). Buradan hepsine minnettarlığımızı sunarız. Umarız bu kitap nükleer güvenlik ile ilgili temel bilgilerin öğrenilmesine katkı sağlar.

Eladio FERNANDEZ-GALIANO

EUR-OPA Genel Sekreteri



İÇİNDEKİLER

1. Giriş	9
2. Radyoaktivitenin Doğası, Radyoaktivite, Kararlı Atomlar ve Radyasyon Türleri	10
3. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi	11
4. Radyasyon Kaynakları	13
4.1. Doğal Radyasyon	13
4.2. Kozmik Radyasyon	14
4.3. İnsan Yapımı Radyasyon	15
5. Radyasyonun İnsanlara Ulaşma Yolları	19
5.1. Arka Plan Radyasyonunun Doğal Kaynaklarından Kaynaklanan Radyasyon Maruziyeti	20
5.2. Nükleer Ve Radyolojik Kazalarından Kaynaklanan Radyasyon Maruziyeti	21
6. Radyasyonun Sağlık Etkileri	25
7. Radyasyon Tespiti	28
8. Nükleer Acil Durum Yönetimi: Önleme, Hazırlık ve Müdahale	29
8.1. Tahliye	30
8.2. İyot Profilaksisi (Koruması)	30
8.3. Sığınma	31
8.4. Geçici Yer Değiştirme ve Yeniden İskan	32
8.5. Tarımsal Tedbirler	32
9. Nükleer Kaza Durumunda Neler Yapmalıyız?	33



EKLER

Atomların Yapısı.....	36
Reaktör Şeması.....	37
Kararlı İyot Tabletlerin Alınımı	39
Acil Durum Planlaması.....	41
Radyolojik ve Nükleer Terimler	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Radyasyon tipleri ve uygun malzemelerle durdurulmalar.....	12
Şekil 2. Filyon olayı gösterimi	15
Şekil 3. Nükleer güç santrallerinde kullanılan nükleer yakıt	16
Şekil 4. Doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozlar	20
Şekil 5. Yüksek radyasyon dozlarının doku üzerinde oluşturduğu hasar.....	26
Şekil 6. Radyasyon tespit dedektörü-1	28
Şekil 7. Radyasyon tespit dedektörü-2	28
Şekil 8: Nükleer Güç Santrali çevresinde ölçüm yapılması	29



1. Giriş

1986 yılında Çernobil nükleer reaktöründe yaşanan nükleer kaza tüm dünyayı sarsmıştır. Belarus, Ukrayna ve Rusya'dan 100 bini aşkın insan radyoaktivite ile kirlenmiş alanlardan tahliye edilmiş ve beş milyona yakın insan da radyasyona maruz kalmıştır. Fransa, Almanya, Polonya ve diğer Avrupa ülkelerinde ise radyasyondan korunma tedbirleri uygulamaya konulmuştur.

2011 yılında yaşanan Fukuşİma Nükleer kazası her nükleer reaktörde nükleer tehlikelerin olabileceğini göstermiştir. Çernobil ve Fukuşİma nükleer santral kazalarına ilişkin kamuoyu algısı, radyonüklit salınımlardan kaynaklanan radyasyon tehlikelerine karşın vatandaşların bilgilendirilmesinde büyük bir yetersizlik olduğunu açıkça göstermiştir.

Fukuşİma'da yayılan radyoaktif İyot-131 nedeniyle Avrupa'da gözlemlenen radyasyon maruziyeti, radon ve potasyum gibi doğal radyonüklitlerin neden olduğu radyasyon maruziyetinin binde birinden daha az olmasına rağmen, İyot-131 salımı birçok Avrupa şehrinde büyük korku kaynağı olmuştur. Nükleer kazalarda sadece çok az sayıda insan ulusal yetkililerin ve radyolojik risk değerlendirme uzmanlarının açıkladığı resmi bilgilere güvenmektedir. Bu durum, insanlara nükleer tehlikelerle ilgili güvenilir bilgi sağlayabilecek tek bir yöntem olduğunu açıkça göstermektedir. Bu da insanlara radyolojik tehlikelerle ilgili temel bilgileri vermek ve kendi risk değerlendirme yeteneklerini geliştirmektir.

Maalesef, sıkça sorulan sorular formatında olan nükleer acil durumlara ilişkin müdahale tavsiyeleri, çoğu zaman işe yaramamıştır. Çünkü bazı önemli sorulara ait cevapların doğru bir şekilde anlaşılması için konuya ilişkin temel bilgilere sahip olunması gerekmektedir. Birçok durumda, yapay radyonüklitlerden kaynaklı küçük radyasyon dozları (İyot-131, Sezyum-137 veya Stronsiyum-90 gibi), halkın geneli tarafından doğal radyasyon dozlarından daha yüksek bir riske sahip olduğu düşünülmektedir. Oysa ki, her iki durumda da zarar verici unsur aynıdır; gama, beta ya da alfa radyasyonu (Burada tehlike için ölçüt, radyasyon maruziyet dozudur).

Günümüzde, bazı ülkelerde elektriğin %50'sinden fazlası Nükleer Güç Santrallerinde (NGS) üretilmektedir ve radyoaktif materyaller; tıp, endüstri, taşımacılık, askeri ve diğer beşerî faaliyetlerde kullanılmaktadır. Uzaydan ve dünyadan (granit, toryum kumundan) gelen doğal radyasyona maruz kalmaktayız. Örneğin, radyoaktif potasyumu sindirim yoluyla ya da radyoaktif radonu soluyarak



vücudumuza aldığımızda doğal radyasyona maruz kalmamız söz konusu olacaktır. Radyasyon maruziyeti hayatımızın bir parçasıdır. Diğer yandan, nükleer ya da radyolojik kazalardan dolayı birtakım riskler vardır ve bu kazaların sonucunda ortaya çıkan radyasyon maruziyeti de hayati risk taşımaktadır. Bu durumda herkes kendine şu soruları sormalıdır:

Var olan nükleer ya da radyolojik tehlikeler nelerdir? Bunların özellikleri nedir? Nükleer bir kaza durumunda neler yapılmalıdır?

Bu soruların cevapları herkes tarafından bilinmelidir.

2. Radyoaktivitenin Doğası, Radyoaktivite, Kararlı Atomlar ve Radyasyon Türleri

Tüm maddeler atomlardan oluşmaktadır. Bir atom, pozitif yüklü bir çekirdekten ve onu çevreleyen negatif yüklü elektronları içermektedir. Atom çekirdeği pozitif yüklü protonlar ve nötr halde bulunan nötronlardan oluşmaktadır. Çekirdeğin yükü çekirdekte bulunan proton sayısına eşittir. (Bkz. Ekler, Atomun yapısı)

Atomların kimyasal özellikleri sadece elektronların sayısına bağlıdır, elektron sayısı da çekirdekte bulunan protonların sayısına eşittir. Aynı kimyasal özelliklere sahip ama çekirdeğinde farklı nötron sayısına sahip atomlar da bulunmaktadır. Bu atomlar, sonuç olarak farklı fiziksel özelliklere sahiptirler. Bazı atomlar kararsız ya da radyoaktif olabilmektedir.

Radyoaktivite, fazla enerjiye sahip bazı çekirdeklerin kendiliğinden başka bir çekirdeğe dönüşmesi ya da dönüşme olmadan daha az enerjiye sahip olunan bir duruma gelmesidir. Bu fazla enerji; alfa, beta ya da gama radyasyonu (bazı özel durumlarda nötronlar ya da başka parçacıklar yayılabilmektedir) yayınlanarak atılmaktadır.

Aynı kimyasal özelliklere sahip olup çekirdeğinde farklı nötron sayısına sahip atomlara *izotop* ya da *nüklit* adı verilmektedir. Radyoaktif izotop ise *radyonüklit* olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, hidrojenin üç ana izotopu bulunmaktadır. Hafif izotopunun çekirdeğinde sadece bir proton vardır ve kararlı haldedir, atom kütle numarası $A=1$ 'dir ve sembolü ^1H 'dir. Ancak bir proton ve iki nötrondan oluşan hidrojen izotopu kararsızdır. Sembolü ^3H ve adı trityumdur. İyotun kararlı izotopu ^{127}I 'dir ve izotop ^{131}I (ya da iyot-131) radyoaktiftir. İki izotop aynı kimyasal özelliklere sahiptir.



Bazı durumlarda doğada bulunan kimyasal elementler kararlı ve uzun yarı ömürlü izotopların karışımıdır. Örneğin, mineral ve yemeklerde bulunan normal potasyum, ^{39}K ve ^{41}K kararlı izotopları ile uzun yarı ömürlü izotop olan ^{40}K 'nın karışımıdır.

Eğer bir izotop radyoaktif ise, radyoaktivitenin birimi nedir? Bir saniyedeki bozunma, Becquerel (bekerel) olarak adlandırılan bir radyoaktivite birimidir (sembölü Bq). Eski birim olan Curie (küri) (sembölü Ci) ise 3.7×10^{10} Bq'e eşittir. Farklı radyoaktif izotoplar (radyonüklitler) farklı bozunma oranlarına sahiptir. Bozunma oranı yarı ömür olarak ifade edilmekte ve bu tüm radyonüklitlerin yarısının bozularak başka atomlara dönüştüğü zaman dilimini belirtmektedir. Yarı ömür süresi boyunca, radyoaktivite yarıya inmekte, 2 yarı ömürde 4 kat, 3 yarı ömürde ise 8 kat azalmaktadır. Kısa ömürlü radyonüklitler aynı miktardaki uzun ömürlü radyonüklitlerden daha fazla radyoaktiviteye sahiptir. Örneğin ^{131}I 'nin yarı ömrü 8.02 gün iken sezyum-137'nin (^{137}Cs) yarı ömrü 30.07 yıldır. Bu demektir ki ^{131}I 'nin radyoaktivitesi ^{137}Cs 'den 1370 kat daha fazladır.

Nükleer enerji sadece radyoaktif bozunmanın sonucu olarak ortaya çıkmamaktadır. Bazı hafif çekirdeklerin birbirleriyle tepkimeye girerek yeni çekirdekler oluşturması (füzyon) ya da ağır çekirdeklerin parçalanarak yeni çekirdekleri meydana getirmesi (filyon) durumlarında da nükleer enerji açığa çıkmaktadır. Güneşimiz ve diğer yıldızlar nükleer reaksiyonlar (füzyon) sonucu parlamaktadır. Tüm mevcut nükleer güç santralleri, enerjilerini zincirleme filyon reaksiyonları sonucunda üretmektedir. Bunun sonucunda maalesef radyolojik tehlikelerin ana kaynağı olan çok yüksek radyoaktiviteye sahip atıklar da açığa çıkmaktadır. Teoride radyoaktif atık üretmeksizin enerji üreten nükleer reaksiyonlar mümkün olsa da şimdilik nasıl yapılacağı henüz bilinmemektedir. Bu husus, gelecekteki bilimsel araştırmalar için iyi bir konu başlığıdır.

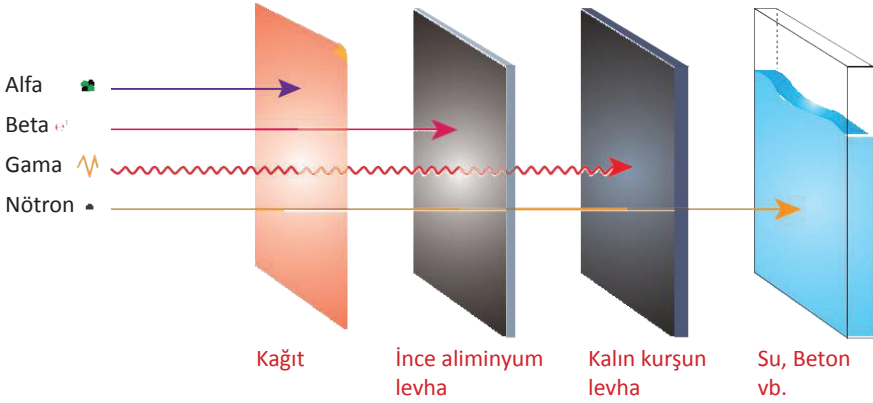
3. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Alfa, beta parçacıkları ya da gama ışınlarının akısı olan iyonlaştırıcı radyasyon, esasında radyoaktif bozunmanın sonucudur. İyonlaştırıcı radyasyon ayrıca; nükleer filyon ya da nükleer füzyon gibi nükleer reaksiyonlarla ve yüklü parçacıkların hızlandırıldığı radyasyon üreten aygıtlarla açığa çıkabilmektedir.

Radyoaktif bozunmadan ortaya çıkan enerji, üç ana biçimde radyasyon olarak yayılmaktadır. Bunlar; farklı enerjilere sahip alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve gama ışınları şeklindedir.



NÜKLEER TEHLİKELER HAKKINDA TEMEL BİLGİLER: ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER



Şekil 1. Radyasyon tipleri ve uygun malzemelerle durdurulmaları

Beta parçacıkları (elektron akısı) ve alfa parçacıkları (Helyum-4 çekirdeklerinin akısı) gibi yüklü parçacıklar doğrudan maddeyi oluşturan atomların elektronlarıyla etkileşime girmekte ve enerjilerini aktarmakta ya da atomları ve molekülleri uyarmaktadır. Alfa parçacıkları, ağır ve +2 yüklü olmaları nedeniyle maddeyle şiddetli bir şekilde etkileşime girmekte ve madde içerisinde kattıkları mesafe boyunca çok sayıda iyon oluşturmaktadır. Sonuç olarak fazla nüfuz edici değildir. Örneğin, Radyum-226 (^{226}Ra)'dan yayınlanan alfa parçacıkları havada 4 cm kadar hareket edebilmekte ve normal bir kâğıt parçasını bile geçememektedir. Alfa parçacıkları dokuda ise sadece 4 μm (mikrometre¹) kadar yol alabilmektedir.

Alfa parçacıkları gibi beta parçacıklarının da başlangıç enerjilerine bağlı olarak madde içerisinde kat ettikleri ortalama bir mesafe bulunmaktadır. Örneğin, Sezyum-137 (^{137}Cs)'den yayınlanan beta parçacıkları, havada 8 m kadar ve suda ise 10 mm kadar hareket edebilmektedir. 1 mm kalınlığındaki alüminyum levha tarafından beta parçacıkları tamamen soğurulabilmektedir.

Gama ya da X-ışınları; alfa veya beta parçacıklarında olduğu gibi kattıkları mesafe boyunca önlerine çıkan her atomu iyonlaştırmamaktadır. Gama ya da X-ışınlarının sadece çok az bir kısmı atomlardaki elektronlarla etkileşime girmekte ve elektronlara enerjilerini aktarmaktadır. Ancak bu tür radyasyonların önemli bir kısmı maddelerden enerji durumlarını değiştirmeden geçmektedir. Özellikle yüksek

¹ Bir metrenin milyonda birine eşit olan uzunluk birimidir.



enerjiye sahip gama ışınları için madde içinde nüfuz etme kabiliyetleri en fazla olan radyasyon türüdür. Bu ışınların insan dokularıyla etkileşime girebilme kabiliyetleri ise daha düşüktür. Sezyum-137 (^{137}Cs) yayımlanan gama ışınlarının yoğunluğu; 5 cm beton, 1,7 cm çelik ya da 1 cm kullanılarak yarıya düşürülebilmektedir.

Nötronlar, maddenin elektronlarıyla doğrudan etkileşime girmemekte ve doğrudan atomları iyonlaştırmamaktadır. Nötronlar atom çekirdekleriyle etkileşime girmekte ve bunun sonucunda enerjilerini maddeye aktarmaktadırlar. Ayrıca nötronlar ile etkileşime giren atom çekirdekleri radyoaktif özellik kazanabilmekte ve bunun sonucunda bozunarak iyonlaştırıcı radyasyon yayabilmektedir.

Radyasyon madde içerisinde soğrulduğu (absorbe edildiği) zaman, atomik ve moleküler seviyede birtakım kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Eğer radyasyon maruziyeti yeterince büyük ise bu değişimler rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Örneğin, cam yoğun miktarda radyasyona maruz kalması durumunda renk değişimine uğramaktadır.

Maddenin gram başına emdiği radyasyon enerjisine soğurulan doz adı verilmektedir. Soğurulan doz, radyasyonun insan dokusuna zarar verebilme kapasitesinin ve radyolojik tehlikenin ölçütüdür. Birimi J/kg olan Grey (Gy), emilen dozun SI birimidir ve herhangi maddede 1 kilogramında 1 joule'luk enerjinin soğurulabilmesi için gerekli radyasyon miktarıdır. Rad eski birimdir ve kg başına soğurulan 0.01 Joule'a eşittir. 1 Gray (Gy) ise 100 rad'a eşittir.

4. Radyasyon Kaynakları

4.1. Doğal Radyasyon

Evren var olduğunda, dünyamızda kararlı izotoplarla birlikte radyonüklitler de oluşmuştur. Bu kararlı ve radyoaktif izotoplar aslında gezegenimiz Dünya'yı oluşturan materyalleri teşkil etmekteydi. Bu radyonüklitlerin büyük bir kısmı günümüze ulaşmadan bozunmuştur ama çok uzun yarı ömürlere sahip Uranyum-235 ile 238, Toryum-232 ve Potasyum-40 gibi radyonüklitler hala varlığını sürdürmektedir. Uranyum-238'in yarı ömrü 4.5 milyar yıldır. Bununla birlikte Uranyum-235'in yarı ömrü $0,71 \times 10^9$ yıl, Toryum- 232 (^{232}Th)'nin yarı ömrü 14×10^9 yıl ve Potasyum-40 (^{40}K)'in yarı ömrü ise $1,3 \times 10^9$ yıldır.

Uranyum-235, Uranyum-238 ve Toryum-232 gibi evrenin başlangıcında var olan radyonüklitler bozunarak daha fazla radyonüklit oluşturmuş ve bunun sonucunda



da birçok radyonüklit ortaya çıkmıştır. Uranyum ve toryumun çekirdekleri silsile halinde radyoaktif bozunmaya uğramakta ve neredeyse her zaman ana çekirdeklerin etrafında kız çekirdekler bulunmaktadır. Her ne kadar Radon gibi kız çekirdeklerin çoğu kısa ömürlü olsa da devamlı olarak uzun ömürlü prekürsörlerin bu çekirdeklere bozunması sebebiyle bu kız çekirdekler çevreye yayılmaktadırlar (Bkz. Ekler, Tablo 1).

Radon; soluduğumuz havadan sekiz kat daha ağır, kokusuz ve görünmez olmasına rağmen radyasyon maruziyeti bakımından insanları en çok etkileyen radyonüklittir (İnsanlardaki doğal radyasyon kaynaklı maruziyetin yarısını oluşturmaktadır). Radon, başlıca iki temel yolla oluşmaktadır: Uranyum-238'in bozunması sürecinde oluşan radyonüklitlerden biri olan Radon-222 ve Toryum-232'nin bozunma dizilimi sırasında oluşan Radon-220.

Uranyum ve toryumun bozunma ürünü olan radon; ana kayaç, toprak ve inşaat malzemesi gibi içinde uranyum ya da toryum bulduran herhangi bir madde içerisinde oluşabilmektedir. Bütün bu maddeler atmosfere radon gazı salmaktadır. Radon bir soy gaz olduğundan yüzeylerden atmosfere kolaylıkla sızabilmektedir. Bir kaya kütesinden yayılan radon gazı miktarı içerisinde mevcut olan uranyum ya da toryum miktarına bağlıdır. Havadaki radonun konsantrasyonu ayrıca ortamdaki temiz havanın oranına da bağlıdır. Az hava dolaşımının olduğu bodrum katlarında, mağaralarda ve maden kuyularında radon yoğunluğu çok yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Madenlerdeki radon konsantrasyonunu işçiler için tehlikeli olabilecek seviyelerin altında tutmak için yeterli havalandırma sistemlerinin bulunması gerekmektedir.

Radon oldukça hızlı bir şekilde bozunmakta ve bu sırada bir dizi kız çekirdekler oluşmaktadır (Bkz. Ekler, Tablo 1). Atmosferde oluşan bu çekirdekler, küçük toz ya da su parçacıklarına yapışmakta ve bunun sonucunda toprak ve bitkilerde birikmektedir. Yağmur, atmosferden radon kızlarının temizlenmesinde oldukça etkilidir. Ayrıca radonun iç mekanlardaki yoğunluğu dış mekanlardan ortalama 10 ya da 20 kat daha fazladır.

4.2. Kozmik Radyasyon

Radyasyonun başka bir doğal kaynağı da yıldızlardaki nükleer reaksiyonlardır. Bu nükleer reaksiyonlar sonucunda; enerji yüklü proton, elektron ve diğer parçacıklar ile gama ve X-ışınlarını içeren kozmik ışınlar üretilmektedir. Bize en yakın yıldız olan Güneş, kozmik radyasyonun büyük kısmını oluşturmaktadır. Dünya'nın manyetik alanı ve atmosferi insanları kozmik radyasyondan korumaktadır. Eğer bu korumalar olmasaydı insanlar Dünya yüzeyinde yaşayamayacaklardı.



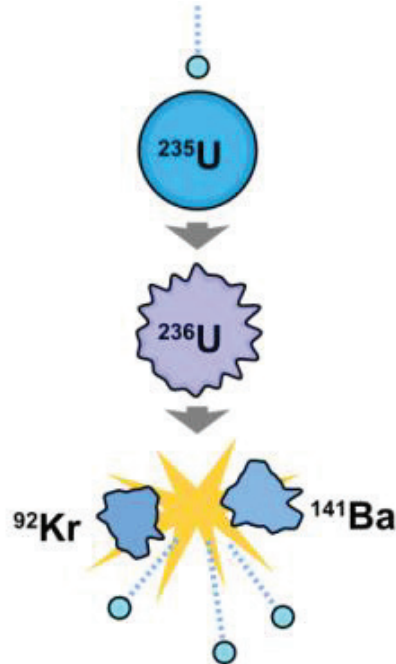
Kozmik radyasyon, uçak içerisinde veya yüksek dağlarda belirgin bir şekilde artmaktadır. Kozmik radyasyon atmosferde ayrıca Karbon-14 (^{14}C) ve trityum (^3H) gibi radyonüklitler de oluşturmaktadır.

4.3. İnsan Yapımı Radyasyon

İnsan-yapımı radyonüklitler, beşeri faaliyetler sonucunda ortaya çıkmaktadır. İnsan-yapımı radyasyonun temel kaynakları; nükleer silahlar ve nükleer reaktörler ile bunları destekleyici tesislerinden oluşmaktadır (uranyum değirmenleri, nükleer yakıt hazırlama ve işleme tesisleri, nükleer atık yönetimi birimleri gibi). Ayrıca radyoaktif kaynaklar ve X-ışını üreten diğer kaynaklar ya da lineer hızlandırıcılar; sanayi, askeri ve tıp alanlarında kullanılmaktadır.

Bu tesislerin birçoğu radyoaktif atık üretmekte ve bu atıkların bir kısmı kontrollü bir şekilde çevreye salınmaktadır. Radyoaktif maddeler, duman detektörü gibi cihazlarda da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Nükleer silah denemeleri ve nükleer kazalar da insan-yapımı radyasyonun kaynakları arasındadır.

Nükleer Güç Santalleri, radyasyonun en büyük kaynağı ve dolayısıyla radyasyon riskinin de en yüksek olduğu yerlerdir. Günümüzde, nükleer enerji üretiminin en yaygın yolu zincirleme fisyon reaksiyonlarıdır. Uranyum-235 (^{235}U) gibi ağır çekirdekler bölünerek daha hafif çekirdekler oluşturmakta ve bunun sonucunda birkaç nötron açığa çıkmaktadır. Bu nükleer enerji, ısı enerjisine dönüşmekte ve sonrasında da elektrik enerjisi olarak elde edilmektedir. Zincirleme fisyon reaksiyonları sonucunda oluşan çekirdekler radyoaktif özellik taşıdığından bu süreçteki başlıca sorun güvenlik olmaktadır.



Şekil 2. Fisyon olayı gösterimi



NÜKLEER TEHLİKELER HAKKINDA TEMEL BİLGİLER: ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER

Günümüzde dünya elektriğinin %16'sı bu şekilde üretilmektedir. Depolanmış yüksek radyoaktifli kullanılmış yakıtların miktarı 300.000 tona ulaşmıştır. Ayrıca kullanılmış yakıt miktarı her yıl 12.000 ton kadar artmaktadır.

Bir nükleer güç santralinde ısı kaynağı reaktör kalbinde bulunmaktadır. Bu ısı kaynağı buhar üretimi için ısı sağlamaktadır. Üretilen buhar ile türbin döndürülmekte ve türbinin jeneratörü döndürmesiyle de elektrik üretimi sağlanmaktadır (Bkz. Ekler, Reaktör Şeması). Pompalar ise reaktör ve diğer sistemden suyun dolaşımını sağlamak için gerekli olan basıncı sağlamaktadır.

Nükleer Güç Santrallerinde kullanılan nükleer yakıtlar genellikle uranyum dioksit (UO_2) formundadır. Uranyum dioksit, silindirik şekilde yakıt peletleri şeklinde üretilmektedir. Bu peletler ise yakıt zarfı ile kapatılmış yakıt çubukları içerisine yerleştirilmektedir.



Şekil 3. Nükleer Güç Santrallerinde kullanılan nükleer yakıt (uranyum dioksit (UO_2))

Her reaktör içerisinde yüksek miktarda radyonüklit bulunmaktadır. Eğer bu radyonüklitler dünyadaki insanlara eşit miktarda dağıtılsaydı tüm insanlarda önemli düzeyde radyasyon maruziyeti söz konusu olacaktı. Reaktörlerin içerisinde gerçekleşen temel faaliyetler, fisyon ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Bu fisyon ürünleri farklı kimyasal özelliklere sahip olan; Ksenon-133 (^{133}Xe) gibi gazlar, İyot-131 (^{131}I) ya da Sezyum-137 (^{137}Cs) gibi uçucu elementler ve Stronsiyum-90 (^{90}Sr) ya da plutonyum izotopları gibi katı maddelerden oluşmaktadır.

Tablo 2 (Bkz. Ekler), Çernobil 4. Ünitesinde patlama öncesinde ve patlama anından içerisinde bulunan en önemli radyonüklitleri göstermektedir.

Nükleer bir reaktörün güvenli bir şekilde çalışmasına ilişkin esas problem, radyonüklitlerin çevreye olası salımlarını engellemektir. Radyoaktif fisyon ürünlerinin reaktör kalbinden çevreye salımını engelleyen dört engel bulunmaktadır: yakıt



peletleri, yakıt zarfları, reaktör kabı ve dış koruma kabı. Yakıt çubukları, fisyon ürünlerinin %99'unu yakıt peletlerinde ve geri kalan %1'ni de yakıt zarfında hapsedmektedir. Eğer reaktör kalbini yeterli düzeyde soğutacak miktarda su sağlamazsa, reaktör kalbi fazla ısınacak ve bunun sonucunda yakıt zarflarında hasar oluşabilecek ve sonrasında ise reaktör kalbi erimesi meydana gelebilecektir. Yakıt zarfları zarar görse de nispeten daha önleyici olan iki husus atmosfere olası salımı engelleyecektir: Yaygın reaktör tiplerinde reaktör kalbi (duvarları 30 cm kalınlığında olan bir reaktör kabı içerisinde bulunmaktadır) ve dış koruma kabı, radyoaktif ürünler ve çevre arasındaki son engeli oluşturmaktadır (Her reaktörde dış koruma kabı bulunmayabilmekte ve bu durum daha az güvenlik engeli anlamına gelmektedir). Dış koruma kabı; yüksek yoğunlukta, güçlendirilmiş ve iki metrelik kalınlığa ulaşan betondan yapılmaktadır. Dış koruma kabı; şiddetli kazalara, doğal ve teknolojik tehlikelere (uçak kazası gibi) karşı dayanacak şekilde inşa edilmektedir. İlk üç engel safdışı kalsa bile dış koruma kabı, fisyon ürünlerinin önemli düzeyde çevreye salımını engelleyebilmelidir.

Nükleer endüstri ve insan yapımı radyoaktif kaynaklar nedeniyle meydana gelen ortalama radyasyon maruziyeti, doğal radyasyondan kaynaklanan maruziyetin %1'i kadardır. Ancak nükleer ya da radyolojik kazalar söz konusu olduğunda bu durum değişmektedir.

Nükleer ve radyolojik kaza ifadesi genellikle nükleer tesislerden önemli miktarda radyoaktivite salımının olduğu ve çalışanların ve/veya halkın radyasyona maruz kaldığı olaylar için kullanılmaktadır.

Radyolojik kazalar; kayıp radyasyon kaynakları, radyasyon kaynaklarının taşınması esnasında yaşanan kazalar ya da bu kaynakların kullanılması esnasında yapılan insan hataları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Genellikle "zırhlanmış kaynak" olarak adlandırılan radyasyon kaynakları, az miktarda radyoaktif maddenin emniyetli bir kapta saklandığı küçük metal konteyner şeklindedir. Kayıp kaynak kazaları ise radyoaktif kaynağın kaybolduğu, çalındığı ya da terk edildiği durumları ifade etmektedir. Bu kaynakları bulan ve ne olduklarını bilmeyen insanlar bu kaynakları saklayabilmekte ya da kaynak zırhını açarak ciddi bir radyasyon maruziyeti yaşayabilmektedir.

Nükleer reaktörler, radyasyonun ve nükleer kazaların en önemli kaynağıdır. Eğer reaktör kalbinde radyoaktivite salımını engelleyen bariyerler hasar görürse, çevreye ilk olarak radyoaktif gazlar olan İyot-131(¹³¹I) veya Sezyum-137 (¹³⁷Cs) yayılacaktır. En ciddi nükleer kazalardan biri reaktör kalbi erimesi kazasıdır. Reaktör



kalbi erimesi kazası; nükleer reaktörde oluşan ısının soğutma sistemi tarafından uzaklaştırılmaması ve bu sebeple nükleer yakıt çubuklarından en az birinde sıcaklığın erime noktasını geçmesi ile oluşmaktadır. Reaktör kalbi erimesi kazası, reaktör çalışmayı durdursa dahi gerçekleşebilmektedir. Bunun sebebi yakıt içerisindeki radyonüklitlerin bozunmaya devam etmesi sonucunda yakıtın ısı üretmeye devam etmesidir. Bir nükleer reaktörün faaliyeti durdurulduğunda ve artık zincirleme nükleer fisyon reaksiyonlarının meydana gelmediğinde, reaktör kalbi içerisindeki fisyon ürünlerinin radyoaktif bozunması nedeniyle artık ısı olarak adlandırılan çok yüksek bir ısı üretimi olacaktır. Uzun ve istikrarlı bir güç üretme geçmişi olan bir reaktör kapatıldığı anda bu artık ısı, reaktörün toplam gücünün %6.5'i kadar olacaktır. Kapanmadan yaklaşık 1 saat sonra artık ısı, bir önceki reaktör gücünün %1,5'i kadar olacaktır. Bir gün sonrasında artık ısı %0.4'e düşecektir ve bir hafta sonrasında sadece % 0.2 kadar olacaktır. Zaman içerisinde artık ısı üretimi giderek azalacaktır. Ayrıca çeşitli fisyon ürünlerinin reaktör kalbi içerisindeki oranı ve bunların yarı ömürleri de artık ısıyı etkileyecektir.

Yakıt peleti ısınması neticesinde bazı fisyon ürünleri peletlerden sızabilmektedir. Radyoaktif ksenon ve iyotun hızlı bir şekilde peletten sızması halinde zarflama ve yakıt arasında bulunan boşluktaki Sezyum-134 (¹³⁴Cs) ve Sezyum-137 (¹³⁷Cs) miktarları artacaktır. Peletleri tutan zirkonyum alaşım tüpleri kırılması durumunda ise daha fazla miktarda radyoaktif gaz yakıttan salınacaktır.

Nükleer reaktörde gerçekleşen bir kazanın olası tehlikesi, radyasyon maruziyetidir. Bu maruziyet, reaktörde bulunan radyoaktif maddelerin atmosfere salımı nedeniyle oluşabilmekte ve bu salım genellikle bulut şeklinde nitelendirilmektedir. Etkilenen alanın büyüklüğü; reaktörden salınan radyoaktif maddelerin miktarı ve özellikleri, rüzgâr yönü ve hızı ve salınan radyoaktif maddelerin hızlı bir şekilde yeryüzünde birikmesine neden olacak yağmur ve kar gibi hava şartları gibi etmenlere bağlıdır. Önemli miktarda radyoaktif madde bulaşmış alanların büyüklüğü kaza yerinden itibaren 30 kilometreye kadar ulaşabilecektir.

Nükleer reaktör kazasından sonraki ilk birkaç gün halkın maruz kaldığı radyasyon dozu genellikle beş kaynağı bulunmaktadır:

- 1) Radyoaktif madde salımı sonucunda gama ışınlarına sebep olduğu dışsal ışınlanma,
- 2) Yerde radyoaktif madde birikimi sonucunda gama ışınlarına sebep olduğu dışsal ışınlanma,



- 3) Cilt, kıyafet, bina ve ağaçlar üzerinde radyoaktif madde birikimi sonucunda beta ve gama radyasyonlarının sebep olduğu dışsal ışınlanma,
- 4) Radyasyon bulutundaki radyoaktif maddelerin solunmasından kaynaklanan içsel ışınlanma,
- 5) Radyoaktif madde ile kirlenmiş (kontamine olmuş) su ve gıdaların tüketilmesinden kaynaklanan içsel ışınlanma.

Radyoaktif madde salımı anında, yukarıda sayılan beş kaynak sebebiyle oluşan radyasyon maruziyeti oldukça tehlikelidir. Radyasyon bulutunun geçişinden sonra ise yerde radyoaktif madde birikmesi nedeniyle alınan dozlar ve radyoaktif maddeler ile kirlenmiş (kontamine olmuş) gıdaların ve sütlerin tüketilmesi en tehlikeli durum olacaktır. Dışsal ışınlanma ve radyoaktif maddelerin solunması neticesinde alınan dozlar, acil koruyucu tedbirler sayesinde önlenebilmekte ya da azaltılabilmektedir. Sığınak, tahliye ve iyot tableti alımı gibi acil koruyucu tedbirler acil bir şekilde uygulanmalıdır. Sindirim yoluyla alınan dozlar ise yerel ölçekte üretilen gıdaların tüketilmesini derhal kısıtlayarak azaltılabilmektedir.

Radyolojik kazalar, radyoaktif maddelerin kullanıldığı, saklandığı ya da taşındığı hemen her yerde yaşanabilmektedir. Nükleer güç santrallerine ve diğer nükleer tesislerin yanı sıra; hastaneler, üniversiteler, araştırma laboratuvarları, büyük otobanlar, demiryolları, tersaneler ve askeri üslerde de radyolojik kazaların olma olasılığı bulunmaktadır.

5. Radyasyonun İnsanlara Ulaşma Yolları

Dünyada yaşamın başlamasından beri organizmalar; kozmik ışınlara, atmosferdeki kozmik ışın etkileşimleri ile oluşan radyonüklitlere ve doğadaki maddelerde bulunan radyasyona sürekli maruz kalmıştır ve kalmaktadır. Bunun sonucunda insanlar doğal radyasyonla birlikte yaşamaya uyum sağlamıştır. Yüksek seviyedeki radyasyon her ne kadar organizmalara zarar verse de belli miktardaki çevresel radyasyon yaşam için önem arz etmektedir. Örneğin arka plan radyasyonu ya da doğal radyasyon, biyolojik evrimin temel süreçlerine katkıda bulunmuştur.

Maddede birim hacmi başına biriken radyasyon enerjisi miktarı soğurulan doz olarak tanımlanmaktadır. Soğurulan doz birimi kilogram başına bir Joule'u ifade eden Gray (Gy)'dir. Beta, gama, X-ışınları, nötronlar ve alfa parçacıkları gibi farklı iyonlaştırıcı radyasyon türlerinin biyolojik yapılarla etkileşim biçimleri farklılık göstermektedir.

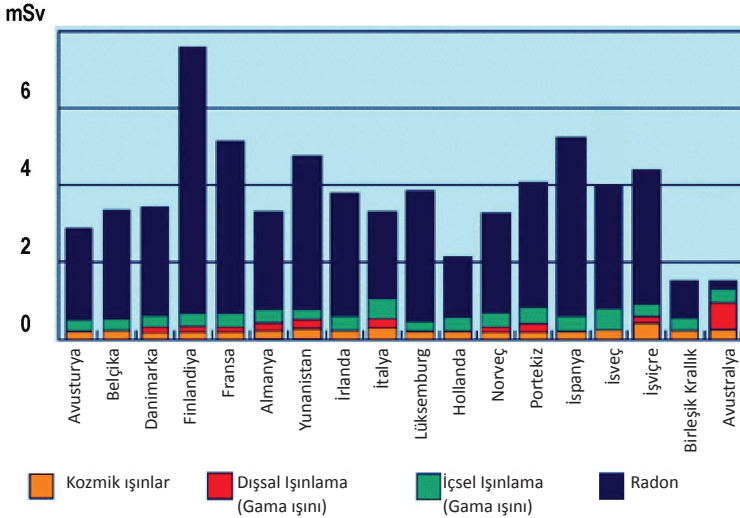


NÜKLEER TEHLİKELER HAKKINDA TEMEL BİLGİLER: ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER

Eşit miktarda soğurulan dozlar her zaman aynı biyolojik etkileri göstermemektedir. Etkin doz, insan vücudundaki organlarının radyasyona gösterdiği farklı hassasiyetler dikkate alınarak radyasyon maruziyetinin biyolojik etkilerini belirlenmekte kullanılmaktadır. Etkin doz, biyolojik hasara sebep olan göreceli etkinliği göz önüne alan ve soğurulmuş dozun bir katsayı ile çarpılması ile elde edilen dozdur. Etkin dozun birimi Sievert (Sv)'dir. Beta, gama ve X-ışınları için 1 Gy ile 1 Sv aynıken nötronlar ve alfa parçacıkları gibi daha zarar verici biyolojik etkilere sahip olan radyasyon türleri için 1 Gy, 5 Sv ve 20 Sv arasına değerlere denk gelmektedir.

5.1. Arka Plan Radyasyonunun Doğal Kaynaklarından Kaynaklanan Radyasyon Maruziyeti

Arka plan ya da doğal radyasyon, yaşadığımız çevrede doğal olarak bulunmaktadır. Bu radyasyonun düzeyi büyük farklılık gösterebilmektedir. Granit ya da siyah toryum kumlarının bulunduğu alanlarda yaşayan insanlar diğerlerine nazaran daha fazla arka plan radyasyonuna maruz kalmaktadır. Yüksek rakımlı yerlerde yaşayan ya da çalışan insanlar ise kozmik radyasyona daha fazla maruz kalmaktadır. Yer kabuğundan yayılan ve soluduğumuz havada her daim bulunan radon gazı, doğal maruziyetin büyük kısmını oluşturmaktadır. Radon gazı yoğunluğunun en fazla olduğu yerler binaların içidir. Radon gazı yoğunluğu yapı tiplerine, yapılarda kullanılan malzemelere ve havalandırma sistemlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 4. Doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozlar



Doğal olarak oluşan arka plan radyasyonu, çoğu insanın radyasyon maruziyetindeki temel kaynağıdır. Arka plan radyasyonu düzeyi genellikle yaklaşık 1,5 ila 3,5 milisievert arasında değişmektedir. Yıllık doğal ortalama doz ise 2,4 mSv (1 Sv=1000mSv) seviyesinde olsa da yıllık olarak 50 mSv'den fazla da olabilmektedir. Nüfusun önemli bir kısmını etkileyen yüksek seviyedeki arka plan radyasyonu, Hindistan'ın Kerala ve Madras eyaletlerinde etkili olmaktadır. Bu bölgelerde yaşayan 140 000 insan, aynı miktarda radondan aldığı dozun yanı sıra gama ışınlarının sebep olduğu dışal ışınlanma ile de yıllık ortalama 15 milisievert doz almaktadır. Brezilya ve Sudandaki pek çok insan için de bu maruziyet düzeyleri yılda ortalama 40 milisievert kadar olabilmektedir. İran, Hindistan ve Avrupa'da, doğal arka plan radyasyonunun yıllık dozunun 50 milisievertten fazla olduğu ve birçok yerde 260 milisieverte kadar (İran, Ramsar'da) kadar ulaştığı bilinmektedir. Finlandiya'da ortalama yıllık dozlar Birleşik Krallık'tan dört kat daha fazladır. Bununla birlikte, arka plan radyasyonun bu yüksek düzeylerinin artan kanser oranlarına veya diğer sağlık problemlerine neden olduğuna dair bir kanıt bulunmamaktadır.

5.2. Nükleer ve Radyolojik Kazalarından Kaynaklanan Radyasyon Maruziyeti

Nükleer kazalarda, insanları ve çevreyi reaktör kalbinden yayılan radyasyondan koruyan güvenlik bariyerleri hasar görmekte ve bunun sonucunda radyonüklitlerin bir kısmı çevreye yayılmaktadır.

Halkın ve çalışanların maruziyeti, kazanın büyüklüğüne ve diğer faktörlere göre değişiklik göstermektedir. Nükleer enerji tarihinde üç ciddi kaza yaşanmıştır: 1979'daki Three Mile Island Nükleer Güç Santrali Kazası (ABD); 1986'daki Çernobil Nükleer Güç Santrali Kazası (Sovyetler Birliği) ve 2011'deki Fukuşİma-1 Nükleer Güç Santrali Kazası (Japonya).

Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşanan en kötü ticari kaza, 1979'da Three Mile Island Nükleer Güç Santrali'nde gerçekleşmiştir. Ekipman arızası ve operatör hatası sonucu reaktör kalbini çevreleyen soğutma suyu reaktör sisteminden sızmıştır. 260.000 litre kadar radyoaktif su, koruma binasının ve ek binaların bodrum katlarını doldurmuştur. Reaktör kalbindeki soğutma suyunun azalması, yakıt çevresinde hiç su kalmayınca kadar devam etmiştir. Suyun sağladığı soğutma ortadan kalkınca da yakıt zarfları erimeye başlamıştır. Radyoaktif maddelerle dolu yüksek miktarlarda su koruma kabına dolmuştur. Koruma kabı tasarlandığı şekilde işlev görmüş ve atmosfere salınan radyoaktif madde miktarı düşük olmuştur. 370 PBq (1 PBq = 10¹⁵ Bq)



aktiviteye kadar radyoaktif soy gaz ve 0.55 TBq (1 TBq = 10^{12} Bq) aktivite kadar İyot-131 (^{131}I) salımı olmuştur. Tesisten 16 km uzaktaki bölgede yaşayan insanların bu kaza sebebiyle aldıkları doz ortalama 0.08 mSv iken ve kişi başına 1 mSv'den fazla doz alınmamıştır. Bu salımın özelliklerine dayanılarak serpentinin sağlık üzerine etkileri hakkındaki hazırlanan bilimsel makedelerde nükleer güç santralının 16 km'lik çapı içerisinde bir ya da iki tane kanser sebebiyle ölüm öngörülmüştür.

26 Nisan 1986 tarihinde, nükleer endüstri tarihinin en büyük kazası, eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği'nde günümüzde Belarus, Rusya Federasyonu ve Ukrayna ortak sınırlarına yakın olan Çernobil Nükleer Güç Santralının 4. Ünite'sinde yaşanmıştır. Meydana gelen patlamanın sonucunda, Ünite 4 tamamiyle tahrip olmuş ve radyonüklitler çevreye salınmıştır.

26 Nisan günün yaşanan patlamadan sonraki on gün boyunca Çernobil reaktöründe büyük oranda radyonüklit salınımı devam etmiştir. Bunlar arasında radyoaktif gazlar, yoğun aerosoller ve yakıt parçacıkları vardı. Toplam radyoaktif madde salımının aktivitesi 14 EBq (1 EBq = 10^{18} Bq) olmak üzere, 1.8 EBq aktiviteye sahip İyot-131 (^{131}I), 0.085 EBq aktiviteye sahip Sezyum-137 (^{137}Cs), 0.01 EBq aktiviteye sahip Stronyum-90 (^{90}S) ve 0.003 EBq aktiviteye sahip plutonyum izotopları atmosfere salınmıştır. Radyoaktif soy gazların katkısı, salınan toplam aktivitenin %50'i kadardı (Bkz. Ekler, Tablo 2).

Çernobil kazası, doğası gereği emniyetsiz bir reaktör tasarımının sonucudur. Buna ek olarak, operatörler tasarımdaki eksiklikler hakkında bilgilendirilmemiş ve işletimle ilgili tüm prosedürleri yerine getirmemişlerdir. Tüm bu etmenlerin bir araya gelmesi en kötü nükleer kaza türüne yani reaktörün birkaç saniye içinde tamamen yerle bir olmasına sebep olmuştur.

Radyoaktif İyot salınımı ve birikimi ani endişelere neden olmuştur. Ancak bu sorun en önemli izotop olan İyot-131 (^{131}I)'in hızlı bozunması sayesinde kazadan sonraki ilk ayda çözülmüştür. Radyoaktif İyot hızlı bir şekilde sütlerle geçmiş ve süt tüketen kişilerde (özellikle çocuklarda) yüksek miktarda tiroit dozları gözlenmiştir. En yüksek radyoaktif kirlilik düzeyleri Belarus, Rusya ve Ukrayna'yı etkilemiştir. Avrupa'nın geri kalanında ise hayvanları dışarıda bulunan mandıralarda artan seviyelerde radyoaktif İyot sütlerde gözlemlenmiştir. Fransa, Almanya, Polonya ve diğer Avrupa ülkelerinde radyasyondan korunma tedbirleri uygulamaya konulmuştur.



Avrupa'da 200.000 kilometre kareden fazla alan, 37 kBq/m² değerinin üzeri aktivite değerlerine sahip Sezyum-137 (yarı ömür 30 yıl) ile kirlenmiştir. Bu alanın büyük bir kısmını en fazla etkilenen üç ülke olan Belarus, Rusya ve Ukrayna toprakları oluşturmuştur. Kirlilik seviyeleri çok fazla farklılık göstermiş ve radyasyon bulutunun geçtiği anda yağışın olduğu yerlerde ise kirlilik seviyesi daha yüksek olmuştur. Daha büyük olan stronsiyum ve plütonyum parçacıklarının çoğu ise yıkılan reaktörden 30 km'ye kadar yerde birikmiştir.

1986-1987 yılları arasında ilk etapta aralarında NGS personeli, itfaiye, sağlık ve diğer çalışanların olduğu 350.000 kadar kişi, kaza sonrasındaki temizleme çalışmalarında yer almıştır.

1986 yılının baharında ve yazında, 30 km çapındaki yasak bölgede bulunan 116 bin kişi radyoaktif maddelerle kirlenmiş yerleşim birimlerinde tahliye edilmiştir. Sonrasında ise yaklaşık 220 bin kişi başka bölgelere yerleştirilmiştir.

Kazadan 25 yıl sonra; Belarus, Rusya ve Ukrayna'da yaklaşık beş milyon kişi için 37 kBq/m² seviyelerinde Sezyum-137 (¹³⁷Cs) ile radyoaktif maddelerle kirlenmiş bölgelerde yaşamaktaydı.

1 ile 16 Gy arasında tüm vücut ışımasına maruz kalmış 134 acil durum çalışanına Akut Radyasyon Sendromu (ARS) teşhisi konulmuştur. Maruziyet sonrasındaki üç ay içerisinde yirmi sekiz hasta yaşamını yitirmiştir. Çernobil'in radyoaktif serpintisine maruz kalan nüfusun aldığı radyasyon dozları, acil durum çalışanlarından çok daha düşüktü ve bu sebeple ARS ve ona bağlı ölümler gözlemlenmemiştir (Bu durumun sebebi sağlık izleme sisteminin yetersiz olmaması olabilir).

Birçok ulusal ve uluslararası araştırma, genç yaşta İyot-131 (¹³¹I)'e maruz kalan kişilerdeki tiroit kanserini kazanın insan sağlığı üzerindeki en önemli etki olduğunu doğrulamıştır. Kazadan 25 yıl sonra, Belarus, Rusya ve Ukrayna'da radyasyona maruz kalan 0-18 yaşları arasındaki 6000 kişide tiroit kanseri teşhis edilmiştir.

Fukuşİma-1 (Dai-ichi) nükleer kazaları, 11 Mart 2011 tarihinde gerçekleşen 9.0 ölçeğindeki deprem ve onu takip eden tsunami neticesinde Fukuşİma-1 Nükleer Güç Santralinde meydana gelen ekipman arızaları ve radyoaktif maddelerin salımlarını kapsamaktadır. Tsunami dalgaları sonucu nükleer santrali su basmıştır. Soğutma için gerekli elektrik gücü yitirilmiş ve bunun sonucunda fisyon ürünlerinin oluşturduğu artık ısı, reaktörün fazla ısınmasına yol açmıştır. Ayrıca sel ve depremin oluşturduğu hasar, dışarıdan gelecek yardıma da zorlaştırmıştır.



NÜKLEER TEHLİKELER HAKKINDA TEMEL BİLGİLER: ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER

1, 2, ve 3 numaralı ünitelerde kısmi erime olduğu saptanmış; 1,3 ve 4 numaralı ünitelerin ise koruma kapları hidrojen patlamaları sonucu yerle bir olmuştur. Başka bir patlama ise 2 numaralı ünitenin koruma kabına zarar vermiştir. 4 numaralı ünitenin farklı noktalarda yangınlar çıkmıştır. 5 ve 6 numaralı üniteler önceden kapatılmış olmasına rağmen artık ısı nedeniyle fazla ısınmaya başlamışlardır. Her reaktör ünitesinde havuzlar içerisinde bulunan yakıt çubukları, havuzlardaki su seviyesi düştükçe aşırı ısınmaya başlamıştır.

Fukuşıma-1 NGS'daki toplam salım miktarının İyot-131 (¹³¹I) için 0.16 EBq ve Sezyum-137 (¹³⁷Cs) için ise 0.015 EBq olduğu tahmin edilmektedir.

7800 acil durum çalışanı ortalama 7.7 mSv civarında radyasyon dozuna maruz kalmıştır. Otuz kişinin ise 100 mSv üzerinde doz aldığı kaydedilmiştir.

Türbin tabanında bulunan yüksek kirlilik seviyesindeki suya dikkatsizlik sonucunda maruz kalarak üç çalışanın ayaklarında ve bacaklarında şüpheli radyasyon yanıkları bildirilmiştir. Bu çalışanlar hastanede tedavi edildikten sonra, dört günlük müşahadenin ardından taburcu edilmişlerdir. Başka üç çalışanın ise radyasyon maruziyeti dışındaki nedenlerden ötürü sahada yaşamını yitirdiği ve birkaçının da yaralandığı belirtilmiştir.

Japon yetkililer, vatandaşların radyasyon maruziyetinin önüne geçebilmek adına, santralin ilk önce 3 km, sonra 10 km ve son olarak da 20 km yakınında bulunan herkesin tahliyesi edilmesi için talimat vermiştir. Santrale 20 ve 30 km arasında uzaklıkta olanların ise sığınaklara gitmesi ve tahliye için hazırlanmaları istenmiştir. Kazadan sonra 70.000'den fazla kişi tahliye edilmiştir.

En kötü radyasyon kazası Goiania'da (Brezilya) 12-29 Eylül 1987 tarihleri arasında meydana gelmiştir.

Yıkılmakta olan bir kliniğin içerisinde radyoterapi ünitesi terk edilmiştir. Bu ünite 1375 kürürlük aktiviteye sahip sezyum-137 kaynağı içermektedir ve iki adet iç içe geçmiş paslanmaz çelik konteyner içerisindeydi. İki şahıs üniteyi söküp içerisindeki kaynağı eve götürmüştür. İki şahıs da 13 Eylül'de kusma belirtileri göstermiş ve malzeme aynı günün gecesinde kaynağın kabından mavi bir parıltı yayıldığını fark eden hurdalık sahibi D.'ye satılmıştır. D. ve karısı M.F. maddeyi yakından incelemiş ve ayrıca kapsüle göz atmaları için birkaç kişiyi çağırmışlardır. 21 Eylül günü, radyoaktif kaynak konteynerden çıkarılmış ve parçalanarak birkaç kişiye dağıtılmış ve bu kişilerden bazıları malzemeyi ciltlerine sürmüştür. 28 Eylül günü birçoğu hastalanmış



ve muayene edilen yaklaşık 112.800 kişiden 129'nun kirlendiği (kontamine olduğu) tespit edilmiştir ve bunlardan yirmisi ise hastaneye yatırılmıştır. Olay sonunda beş kişi yaşamını yitirmiş, yirmi üç kişide lokal yanıklar oluşmuş ve bunlardan bazılarının parmaklarının ameliyatla kesilmesi gerekmiştir. Hastanede kaldıkları süre boyunca, birçok hasta depresyon ve başka duygusal sorunlar da yaşamışlardır.

Tehlike değerlendirmesine temel oluşturması adına Tablo 3'te doğal ve insan-yapımı farklı radyasyon kaynaklarının neden olduğu maruziyet dozlarını gösterilmektedir.

Tablo 3. Farklı radyasyon kaynaklarının sebep olduğu radyasyon maruziyetleri

Kaynak	Tipik doz (mSv)
10 saatlik uçak yolculuğu	0.03
Göğüs filmi	0.05
Bilgisayarlı tomografi taraması	10
Yıllık doğal arka plan dozu	2,4
Deniz seviyesinde yıllık kozmik radyasyon	0,4
Nükleer tesis çalışanın yıllık dozu (normal işletimde)	1
Meksiko'daki yıllık kozmik radyasyon (2300m)	0.8
Çernobil kazasındaki acil durum çalışanlarının kazara radyasyon maruziyeti	16000'e kadar
Çernobil kazası nedeniyle kirliliğin en üst düzeyde olduğu alanda yaşayan nüfusun (yaklaşık 150 000 kişi) aldığı radyasyon dozu	16

6. Radyasyonun Sağlık Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyon, vücut dokusunda enerji birikmesine neden olmakta ve bunun sonucunda hücrelerde hasara ya da ölüme neden olmaktadır. Bazı durumlarda radyasyonun insan sağlığına etkisi söz konusu olamayabilirken bazı durumlarda ise radyasyona maruz kalan hücre hayatta kalıp geçici ya da kalıcı anormallikler sergileyebilmektedir. Yüksek radyasyon dozları, geniş çapta hücre ölümlerine neden



NÜKLEER TEHLİKELER HAKKINDA TEMEL BİLGİLER: ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER

olabilmekte ve bu durum ölümle sonuçlanabilmektedir. Daha düşük dozlarda ise kişi hayatta kalabilmekte ancak vücut hücreleri zarar gördüğünden kanser riski artmaktadır. Radyasyonun verdiği zararın büyüklüğü; vücutta emilen toplam enerjinin miktarına, alınan doz hızına, maruziyet süresine ve belirli bazı organların radyasyon maruziyetine göre değişmektedir.

Radyasyon maruziyeti nedeniyle ortaya çıkan iki farklı sağlık etkisi bulunmaktadır: İlk etki deterministik etki olarak adlandırılmaktadır. Deterministik etkiler, akut radyasyon maruziyetinin sonucudur ve yüksek bir radyasyon dozuna kısa bir süre için maruz kalınmasını ifade etmektedir. Çoğu durumda, yüksek bir akut radyasyon maruziyetinin (1 sievert üzerinde olan) ani ve gecikmeli etkileri olabilmektedir. İnsanlar ve diğer memeliler için, akut radyasyon maruziyetinde alınan doz yeterince yüksekse; sindirim sistemi ile ilgili (gastrointestinal) bozukluklar, bakteriyel enfeksiyonlar, iç kanamalar, anemi ve diğer belirtiler ile kendini gösteren Akut Radyasyon Sendromu (ARS) hızlı bir şekilde gelişebilmektedir. Ani etkileri, yüksek dozlarla yüksek doz hızlarında maruz kalınması sonucunda nispeten hızlı ortaya çıkmaktadır (birkaç gün

ya da hafta içerisinde). Esasen, radyasyonun doku üzerindeki oluşturduğu hasar o denli geniş çaptadır ki vücudun yeni doku üretecek zamanı bulunmamaktadır. Bu hasarın etkileri termal yanıklarla aynı görünüme sahip olsa da genellikle daha derin ve uzun sürelidir. Deterministik etkiler genellikle radyasyon maruziyet şekline ve radyasyonun nüfuz etme seviyesine bağlı olarak vücut üzerinde lokal olarak gözlemlenmektedir. Gecikmiş biyolojik etkiler ise katarakt, geçici kısırlık, kanser ve genetik etkileri içerebilmektedir.



Şekil 5. Yüksek radyasyon dozlarının doku üzerinde oluşturduğu hasar

Çok yüksek seviyelerdeki akut radyasyon maruziyeti birkaç saat, gün ya da hafta içerisinde ölümle sonuçlanabilmektedir. Radyasyon farklı insanları farklı şekillerde etkilediğinden hangi dozların ölümcül olabileceğini önceden belilemek mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte, 3.5 - 5 Sv arası bir radyasyon dozunu birkaç dakikalık ya da birkaç saatlik zaman dilimlerinde alan nüfusunun %50'sinin otuz gün içerisinde öleceği öngörülmektedir. Bu durum bireylerin maruziyet öncesi sağlık durumlarına ve maruziyet sonrası aldıkları tedaviye göre farklılık gösterebilecektir. Sadece vücudun



belli kısımlarında görülen benzer maruziyetler ise deri üzerinde görülen radyasyon yanıkları gibi daha lokal etkilere yol açacaktır.

Radyasyon dozu ne kadar yüksekse, dokudaki hasar da o kadar şiddetli olmakta ve semptomların görülmesi de o kadar erken başlamaktadır (çok yüksek dozlarda ise etkiler saatler içinde ortaya çıkabilmektedir). Buna karşın düşük dozlar ve düşük doz hızlarında bu etkiler hiçbir şekilde ortaya çıkmamaktadır. Değerin altında deterministik etkilerin gözlemlenmediği bir doz eşliğinin var olduğu görülmektedir. Bu alınan dozun deterministik etkilerin görüleceği sınırın altında tutulmaya çalışılması, acil durum müdahalesi bakımından büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca deterministik etkilerin tedavi süreci özel tıbbi yardım gerektirmektedir.

Radyasyonun sağlık üzerindeki ikinci tip etkisi, kanser ya da gelecek nesillerde görülen kalıtsal etkiler gibi durumları içeren stokastik etkilere dir. Esasen sürekli ya da aralıklarla düşük seviyelerde radyasyona uzun bir süre boyunca maruz kalınmasını ifade eden kronik (süreğen) maruziyetin bir sonucudur. Kronik (süreğen) maruziyetin, sadece ilk maruziyeti takip eden süreçte belli bir süre gözlemlenebilecek etkiler göstereceği değerlendirilmektedir. Bu etkiler ise genetik etkileri ve lösemi (kan kanseri) ya da kanser gibi diğer etkileri içermektedir.

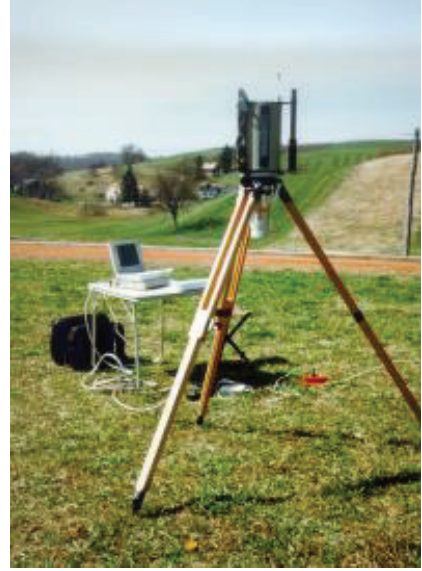
Stokastik etkilerin ayırt edici özelliği, bu etkilerin maruziyet sonrasında gecikmeli olarak (birkaç yıl ila onlarca yıl içerisinde) ortaya çıkmalarıdır. Ayrıca bu etkilerin ortaya çıkmaları da kesin değildir. Radyasyon vücuttaki hücrelere zarar verebilmekte, ancak bu zarar gözle görülmezken hücrelerin işlevlerini etkileyebilmektedir. Hücredeki bu değişimler, çok ileri zamanlarda kanser gibi hastalıklar şeklinde kendini gösterebilmektedir. "Kendini gösterebilmektedir" ifadesine dikkat edilmelidir, bu etkilerin ortaya çıkmasında bir kesinlik bulunmamaktadır. Stokastik etkiler için radyasyon dozu arttığında bir etkinin görülme şansının ya da olasılığın arttığını görülmektedir. Yani düşük dozlarda kanser oluşmasının çok düşük bir ihtimale sahiptir. Daha yüksek dozlarda kanser oluşmasının ihtimali ise çok daha yüksektir. Bununla birlikte başka kanserlerin oluşmayacağı "güvenli" bir doz ya da doz eşliği bulunmamaktadır.

Radyasyonun sebep olduğu kanser oluşumları; kimyasallar, biyolojik ajanlar, kişinin genetik yapısı gibi başka unsurların sebep olduğu kanserlerdem farklı mıdır? Bu sorunun cevabı görünüşte "hayır"dır. Bunların radyasyonla doğrudan bağlantısı olan deterministik etkilere nazaran ayırt edilemez olup, bu etkilerin tespit edilebilmesinin tek yolu belirli bir nüfus için dikkatli bir kanser ve doz kaydı yapılarak kanser istatistiklerinin incelenmesi şeklindedir.



7. Radyasyon Tespiti

Radyolojik tehlikeleri öngörebilmek için, dışsal ışınlanma maruziyeti ile toprak, su ve gıdada bulunan kirliliklerin (kontaminasyon) ölçülmesi gerekmektedir. Farklı radyasyon türlerini, farklı enerji aralıklarını ve farklı hassasiyetleri ölçmek için kullanılan çok çeşitli donanımlar bulunmaktadır. Bu donanımların bazı örneklerinden bahsedeceğiz. Örneğin radyografide (göğüs röntgeni gibi), X-ışınlarının kemik ve dokudaki nüfuz etme gücünün değişiminin fotografik film veya başka bir cihaz üzerinde bir görüntü oluşması sağlanmaktadır. İyonlaşma odası ise gaz içerisindeki radyasyon yükünü toplamaktadır. Diğer araçlar da kristallerde radyasyonla üretilen sintilasyonu ölçmektedir.



Şekil 6. Radyasyon tespit dedektörü-1

Radyoaktif bir buluttan veya kontamine bir yüzeyden harici maruziyeti ölçmek için doz hızları veya doz ölçerler kullanılmaktadır. Dahili maruziyeti ölçmeye yönelik, havada, suda ve gıdada bulunan ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu gibi farklı radyonüklit yoğunluklarının bilmesi gerekmektedir. Farklı radyonüklitler, insan organizmasında metabolizmalarına ve yayılan radyasyon tipine (alfa, beta veya gama) bağlı olarak, dahili maruziyet üzerinde farklı etkilere sahip olacaktır. Radyoaktiviteyi tespit etmek



Şekil 7. Radyasyon tespit dedektörü-2

için, su ve gıda numuneleri toplanmakta, bu numuneler ölçüm için hazırlanmakta ve gama ışın spektrometresi ya da başka araçlar kullanılarak bu numunelerdeki radyoaktivite ölçülmektedir. Havadaki radyonüklit yoğunluğunu saptamak için ise hava filtrelerden pompalanarak geçirilmekte ve radyonüklitlerin yoğunluğu ölçülmektedir.



8. Nükleer Acil Durum Yönetimi: Önleme, Hazırlık ve Müdahale

Enerji, askeri veya araştırma amaçlı kullanılan nükleer reaktörler, insan yapımı radyasyonun temel kaynaklarıdır. Reaktör kalbinde bulunan radyoaktivite, herhangi bir radyasyon kaynağının radyoaktivitesinden milyonlarca kat daha fazladır. Nükleer güç santrallerinin inşa edilmesi ve işletilmesi yakından izlenmekte ve düzenleme altına alınmaktadır. Nükleer kazaların önlenmesi için çok fazla çaba harcansa da olası bir kaza her zaman mümkün olmaktadır.

Büyük bir nükleer kazanın meydana gelmesi durumunda, çalışanlar ve halk çevreye salınan radyonüklitlerden kaynaklanan radyolojik risk altında olacaklardır. Bu durumda insanların korunması gerekecektir. Radyoaktif materyalin reaktörden havaya salınmasından kaynaklanan maruziyet genellikle buluta benzer bir oluşum ile belirtilmektedir. Etkilenen alanın büyüklüğü; tesisten salınan radyoaktif madde miktarına, rüzgâr yönü hızına ve hava koşullarına göre belirlenmektedir. Yağmur, kar gibi hava koşulları radyoaktif materyali hızla yere çökmesine ve radyonüklitlerin zeminde daha fazla birikmesine neden olmaktadır. Ciddi seviyelerdeki kontaminasyon, kaza mahallinden 30 km'ye kadar olan alanları etkileyebilmektedir. Koruma eylemlerinin amacı halk ve çalışanlar üzerindeki sağlık etkilerini en aza indirmektir. Özellikle çocuklar hedef alınarak, vatandaşların nükleer tehlikeler konusunda daha iyi bilgilendirmesi ve eğitmesi gerekmektedir.



Şekil 8: Nükleer Güç Santrali çevresinde ölçüm yapılması



Nükleer bir acil duruma ilişkin koruma eylemleri aşağıdaki hususları içermektedir:

Acil koruyucu eylemlerin etkili olması için, kazadan sonra birkaç saat içinde başlatılması gerekmektedir. Acil koruyucu eylemler tahliye, iyot tabletlerinin kullanımı (iyot profilaksisi) ve sığınak sağlanması (Doğrudan radyasyon maruziyetini ve kontamine havanın solunumu engellemek için insanların bina içerisinde tutulması) hususlarını içermektedir;

Daha uzun vadeli koruyucu eylemler, bu tedbirlerin kazadan sonraki günlerde uygulanması gerekebilecek tedbirlerdir. Bunlar: kontamine gıda ve su tüketiminin kısıtlanması, tahliye, yeniden iskan hususlarını içermektedir.

8.1. Tahliye

Tahliye, insanların önemli ölçüde radyasyona maruz kalabileceği bir alandan acil olarak uzaklaştırılmasını ifade etmektedir. Radyoaktif maddelerin hava yoluyla taşınan salımlarının önüne geçmeye yönelik en etkili koruyucu eylemdir. Ancak bu hususun bazı zorlukları bulunmaktadır. Öncelik, bu olası tedbirle ilgili halkın önceden bilgilendirilmesi gerekmektedir. Kaza durumunda halkın tahliyeyle ilgili net bir mesaj ya da işaret alması şarttır. Hastane ve hapishanelerdeki insanlar da dahil olmak üzere etkilenebilecek tüm nüfusun tahliyesi için yeterli ulaşım aracının sağlanmalıdır. Ayrıca, ulaşım alt yapısının büyük bir tahliye için trafik sıkışıklığı oluşmadan kaldırabilmesi gerekecektir. İnsanların afet alanında kontamine olmuş kıyafetleri değiştirmeleri, ciltlerindeki ve saçlarındaki kontaminasyonu yıkayarak gidermeleri gerekmektedir.

Son olarak, tahliye edilen insanların günlerce nerede tutulacağı sorunu var. Genellikle, acil durum merkezlerinde tahliye ve barınmanın yedi günden fazla sürmesi önerilmemektedir. Ayrıca, tahliyenin kendisinin uygulanması zaman almaktadır. Bu zaman acil durum planlaması ve müdahale için de hesaba katılmalıdır.

8.2. İyot Profilaksisi (koruması)

Reaktör yakıtı aşırı ısındığında ve yakıt zarfları hasar gördüğünde, yüksek miktarlarda radyoaktif iyot salınabilmektedir. Bu iyot hava yoluyla solunabilmekte, sebze ve bitkilerde birikebilmekte ve kontamine alanlarda otlayan hayvanların sütlerinde yoğunlaşabilmektedir. Solunmuş ya da yutulmuş iyot insanların tiroit bezlerinde birikmektedir. Yüksek miktarlarda tiroit dozları tiroit bezlerini parçalamakta ve özellikle çocuklarda tiroit kanser riskini arttırmaktadır. Radyoaktif iyot alımı, radyonüklit solunumu ve olası kontaminasyon ihtimaline karşı gıda ve suyun



tüketilmemesi gibi tedbirlerle azaltılabilmektedir. Ayrıca tiroit dozu, tiroit önleyici olarak bilinen kararlı (radyoaktif olmayan) iyot alınarak da düşürülebilmektedir. Bu kararlı iyot, tiroidi doygun hale getirmekte ve radyoaktif iyot alınımını önlemekte ya da azaltmaktadır. Normalde kararlı iyot, KI ya da KIO₃ haplarıyla ya da sıvı iyot damlalarının bir bardak suda eritilmesiyle alınmaktadır. Tavsiye edilen kararlı iyot dozu, Ekler kısmında Tablo 4'te gösterilmiştir.

Halkın yüksek iyot dozlarından koruması, radyonüklit salınımından önce ya da hemen sonra tiroit bezinin korunmasını gerektirmektedir. İyot alımının engellenmesi, sadece tiroit bezini korumaktadır, ancak reaktör kazalarından kaynaklanan erken ölümlerin büyük çoğunluğu tüm vücudun maruz kaldığı dozlardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, tiroit bezinin korunmasına yönelik kararlı iyot dağıtımının, tahliye ve sığınma çalışmalarını engellememesine özen gösterilmelidir.

8.3. Sığınma

Sığınma, havadaki radyoaktif materyalden ve kontamine yüzeyden kaynaklanan radyasyon maruziyetinin azaltılması için kapalı alanlarda ve uygun binalarda halkın tutulmasını içermektedir. 48 saatten fazla süre sığınmanın sürdürülmesi tavsiye edilmemektedir. Büyük ölçekli sığınak, özel olarak tasarlanmış zırlı duvarlara sahip yapıları veya büyük binaların bodrumlarına kurulan tesisleri ifade etmektedir. Radyoaktif iyottan korunmak için aktif kömür filtreli havalandırma sistemleri bazı büyük sığınaklarda kullanılabilir.

Radyoaktif bulut kaynaklı dışsal ışınlanma ve yerde biriken radyoaktif maddelere karşı korunmada sığınmanın etkinliği, kullanılan konut tipine ve halkın sığınaklarda uygun bir şekilde barınabilme becerisine bağlıdır. Örneğin, sıcak iklimlerdeki düşük çatlı evler, çok iyi bir koruma sağlamamaktadır.

Radyoaktif bulutun geçişi sırasında sokakta bulunursanız, kıyafetlerinizi değiştirmeli ve su ve deterjan kullanarak cildinizden ve saçınızdan kontaminasyonu yıkanarak uzaklaştırmanız gerekmektedir. "Gerçek hayatta" insanlardan birkaç günden fazla eve kapanmalarını istemek çok zordur. Three Mile Island kazası gibi, ortalama bir ailenin birden fazla arabasının olduğu bölgelerde, sığınma talimatı düşünmeden yapılan bir tahliyeye neden olabilecektir. Bu durum özellikle radyoaktif bulut geçişi sırasında trafik sıklığına, daha fazla güçlüğü ve hatta daha fazla radyolojik sonuçlara neden olabilecektir.



Uzun süreli koruyucu eylemler doğal olarak çok pahalı ve karmaşıktır. Büyük bir nüfus için alternatif yaşam düzenlemesini ve gıda temininin sağlanmasını gerektirmektedir. Bu tedbirlerle ilişkili büyük bir psikolojik bedel bulunmaktadır. Çernobil kazası örneğinde olduğu gibi kırsal kesimdeki nüfusun kentlere yerleştirilmesi, yer değiştirme ile bağlantılı sağlık sorunları nedeniyle ortalama yaşam süresindeki düşüşle kısmen ilişkili olduğuna düşünülmektedir. Tarımsal tedbirler, büyük mali zarar gören özellikle çiftçiler ve gıda üreticileri için zor bir durumdur. Ayrıca mali tazminat, uzun vadeli koruyucu eylemler içeren tüm durumlar için bir sorun oluşturmaktadır.

8.4. Geçici Yer Değiştirme ve Yeniden İskan

Geçici yer değiştirme, nüfusu etkilenen alandan yaklaşık 7 gün boyunca uzaktutmak gerektiğinde uygulanmakta, yalnız bu durum birkaç aydan fazla sürmemektedir. Bu tedbir, etkilenen nüfusun aldığı dozun ömür boyu maruziyet için belirlenen bir seviyeyi aşması durumunda uygulanmaktadır. Bu tedbirin etkili olması için, geçici ama büyük ölçekli tesislerin etkilenen nüfus için sağlanması gereklidir. Vakti gelince geçici olarak yerleri değiştirilmiş halkın evlerine geri dönmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, gerçekte yaşamda halkın yeniden iskan edilmesi kalıcı da olabilir.

8.5. Tarımsal Tedbirler

Gıdayla alakalı koruyucu eylemler; etkilenen alanda yerel olarak yetiştirilen gıdaların tüketilmesinin hemen yasaklanması; açık su kuyularını kapatılmasını, hayvanları ve hayvan yemlerini korunaklı yerde muhafaza edilerek yerel gıda ve su kaynaklarının korunmasını ve yerel olarak yetiştirilen gıdaların kazayı takip eden aylarda belli aralıklarla radyonüklit kontaminasyonu bakımından test edilmesini kapsamaktadır. Sütün kontaminasyonunun izlenmesi çocukların beslenmesinde önemli bir unsur olduğundan ve iyot ve sezyum gibi önemli radyonüklitleri bünyesinde barındırabildiğinde özellikle önemlidir.

Eğer radyoaktif kontaminasyonun ¹³¹I içermesi beklenirse, ilk alınacak tedbir yerel düzeyde üretilen süt tüketimini ¹³¹I kontaminasyon seviyeleri ölçülene kadar önlemek olmalıdır. Detaylı bilgi ve talimatlar ilgili resmi yetkililer tarafından verilecektir. Bununla birlikte, doğrudan radyoaktif serpentinin bulunduğunuz bölgeye varması zaman alacaksa, aşağıdaki acil önleyici tedbirleri alınmalıdır:

- Bahçe ve tarladaki sebzeleri ve yemleri plastik örtü ile örtün.
- Açık otlaklardan hayvanları ahıra götürün.
- Olgunlaşmış mahsulleri hasat edin ve üzerini örtün.



Doğrudan radyoaktif serpinti sonrasında;

- Yerel üretilen süt veya sebzeleri tüketmeyin (eğer önleyici tedbirler uygulanmamışsa).
- Normalde dışarıda otlayan hayvanları içeri alın ve bu hayvanlara kontamine olmayan yemler verin.
- Avlanmayı, balık tutmayı, mantar toplamayı, sebzelerin tüketilmesini veya yağışlardan elde edilen suyun tüketilmesini yasaklayın.

Olası kontamine alanlarda;

- Suyu sulama amacıyla kullanmayın.
- Gıda ve tarım ürünlerinin doğrudan toz ve yağmur ile kontamine olmasından sakının.
- Yakacak odun dahil olmak üzere bitki parçalarını veya dışarıda depolanmış malzemeleri yakmayın.
- Serpinti sonrası yerde biriken tozu kaldırmayın.

Acil duruma hazırlığın temel amacı, meydana gelebilecek kazaların yerel seviyede tutulması ve kazanın kamu sağlığı ve taşınmaz mallar dahil olmak üzere çevre üzerindeki zararlı etkilerinin en aza indirilmesi olmalıdır.

Acil durum hazırlık planı, acil durum hazırlığının ana ögesidir (Bkz. Ekler, Acil durum planlaması). Etkin acil durum müdahalesine yönelik tüm tedbirlerin belirlenmesi ve açık bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Acil Durum Hazırlık Planında genel halk da dahil olmak üzere ilgili tarafların görev ve sorumlulukları tanımlanmalıdır. Taraflar arasında emir komuta zinciri ve koordinasyonun yanı sıra iletişim yolları ve gerekli teknik, meteorolojik ve tıbbi bilgileri edinme yöntemleri açıkça belirtilmelidir.

9. Nükleer Kaza Durumunda Neler Yapmalıyız?

Önceki bölümlerde, nükleer tehlike hakkında temel bilgiler aldınız; iyonlaştırıcı radyasyonun ne olduğunu, vücudunuzu nasıl etkilediğini, arka plan radyasyonunun ne olduğunu ve radyasyonun sağlık etkilerini öğrendiniz. Radyasyon kaynaklarını, nükleer kazaların ne olduğunu, radyonüklit salınımının etkilerini ve uygun koruma tedbirlerini artık biliyorsunuz. Nükleer kazalarla ilgili herhangi bir bilgiyi anlamak için minimum düzeyde bilgi birikiminiz oluşmuştur. Böylece yetkili makamlar tarafından önerilen herhangi bir koruma tedbirinin nedenini anlayabileceksiniz.



NÜKLEER TEHLİKELER HAKKINDA TEMEL BİLGİLER: ÇERNOBİL VE FUKUŞİMA'DAN ALINAN DERSLER

Nükleer enerjiyle birlikte yaşıyorsanız ve radyolojik risk altındaysanız, nükleer tehlikeler hakkında daha fazla bilgi edinmek sizin sorumluluğunuzdur. Eğer ateş ya da elektrik kullanıyorsanız, bunlarla ilişkili tehlikeleri ve koruma tedbirlerini biliyorsunuzdur. Bu nükleer enerji konusu için de aynıdır. Radyoaktivite, iyot profilaksisi ve maruziyet dozları hakkında bilgi sahibi olmak zorundasınız. Nükleer Güç Santralinin 30 km'lik yakınında bir bölgede yaşıyorsanız, ciddi bir nükleer kaza durumunda, koruma önlemleri hakkında bilgilendirileceğini bilmeniz gerekmektedir. Tahliye, sığınma ve iyot profilaksisi için hazır olmalısınız. Eğer KI haplarının nerede olduğunu hatırlamıyorsanız, birkaç damla sıvı iyotu bir bardak suyla karıştırın ve için. Sonrasında, yetkililer size KI hapi verecektir, ama radyoaktif bulut ulaşmadan önce kararlı iyot alırsanız daha iyi korunursunuz. Ama bunun öncesinde kesinlikle NGS'den radyonüklit salımı hakkında resmi bilgi almalısınız.

Çoğu zaman nükleer kazalar hakkında toplum farkındalığını arttırmak için sıkça sorulan sorular (SSS) ve cevapları yayınlanmaktadır. Şimdi bu önerilerin gerekçelerini ve bunlara nasıl uyacağınızı daha iyi anlayabilirsiniz. Aşağıdaki SSS örneklerine göz atın ve verilen cevaplardaki güvenlik tedbirlerinin gerekçelerini açıklayın.

Soru #1: Eğer bir nükleer kaza olursa, ne yapmalısınız?

Cevap: Medyadan yayınlanacak uyarıları takip edin: (TV, radyo veya acil durum iletişim araçları). Hangi koruma tedbirlerinin uygulanacağını öğrenmek için talimatları dikkatli bir şekilde dinleyin.

Harici maruziyetten vücudu korumak adına, aşağıdaki koruma tedbirleri önerilebilir:

- Mesafe koruması (kaynaktan mümkün olduğunca uzaklaşın).
- Zaman koruması (kaynaktan mümkün olduğunca hızlı uzaklaşın).
- Sığınak koruması (Betondan veya taştan yapılmış güvenli bir binaya girilmesi).

Vücudu dahili maruziyetten korumak için, aşağıdaki koruma tedbirleri önerilebilir:

- Radyonüklit solunumunun önlenmesi: (maske veya ıslak bezle)
- Radyonüklit alımının önlenmesi: (açık kaynaklardan su içilmemesi, salım sonrası dışarıda bulunan meyve ve sebzelerin yenmemesi)
- İyot profilaksisi (talimatlar göre kararlı iyot alınması).



Soru #2: Eğer kapalı alanlara sığınmanız istenirse, ne yapmalısınız?

Cevap: En yakın binaya, eve, kamu binasına vb. girmelisiniz.

- Tüm kapıları ve pencereleri kapatın.
- Eğer dışarda bulduysanız duş alın, ellerinizi, yüzünüzü ve saçınızı yıkayıp kıyafetlerinizi değiştirin.
- Havalandırma fanlarını, fan ısıtıcılarını ve klimayı kapatın.
- Gıdaları kap içerisine koyun ve uygun malzeme ile sarın.
- Bir sonraki hafta boyunca kullanmak üzere içme suyunu kapalı bir kapta muhafaza edin.
- Yerel üretilen süt ve sebzeleri tüketmeyin.
- Normalde dışarıda otlayan hayvanları içeri alın ve bu hayvanlara kontamine olmayan yemler verin.

Soru #3: Eğer tahliye etmeniz istenirse, ne yapmalısınız?

Cevap: Kapalı alanda kalın ve tahliyeye sakince hazırlanın.

- Gaz ve elektriği kapatın, fişleri prizlerden çekin.
- Komşularınızı bilgilendirmek için arayın.
- Engelliler varsa yerel yönetimle iletişime geçerek, tahliye konusunda yardımcı olmalarını sağlayın.
- Ev hayvanlarına mama ve su verin, içeride tutun.
- Evden çıkarken tüm kapıları kapatın.
- Polis veya yetkili makamların talimatlarını tahliyenin ileri safhaları için takip edin.

Umarız kitabımızdaki tüm bu temel bilgiler, acil bir durumda nükleer tehlikelerin gerçek yüzünü anlamanıza ve kendinizi korumaya ve hayatınızı kurtarmaya yardımcı olur.



EKLER

Atomların Yapısı

1911 yılında Ernest Rutherford, bir atomun kütesinin esas olarak çekirdeğinde yoğunlaştığını (%99,9'i) göstermiştir. Çekirdeğin boyu bir atomdan 10.000 kat daha küçüktür (yaklaşık 10^{-10} m.).

Atomun elektrik yükü yoktur. Z çekirdeğinin yükü pozitifdir ve atomik elektronların sayısına eşittir (Elementlerin Periyodik Tablosundaki mevcut kimyasal elementin seri numarası).

Atomun çekirdeği pozitif yüklü protonlar ve nötr halde bulunan nötronlardan oluşmaktadır (ikisine de nükleon adı verilmektedir). Çekirdeğin yükü çekirdekte bulunan proton sayısına eşittir. Çekirdekte bulunan proton ve nötron sayısına atom kütle numarası A denilmektedir.

Atomların kimyasal özellikleri, sadece çekirdekteki proton sayısına bağlıdır. Aynı kimyasal özelliklere sahip ama farklı nötron sayısına sahip atomlar bulunmaktadır. Sonuç olarak, farklı kütle numarasına A'ya sahiptirler ve farklı kimyasal özellikler gösterirler. Bazı atomlar kararsız ya da radyoaktif olabilmektedir.

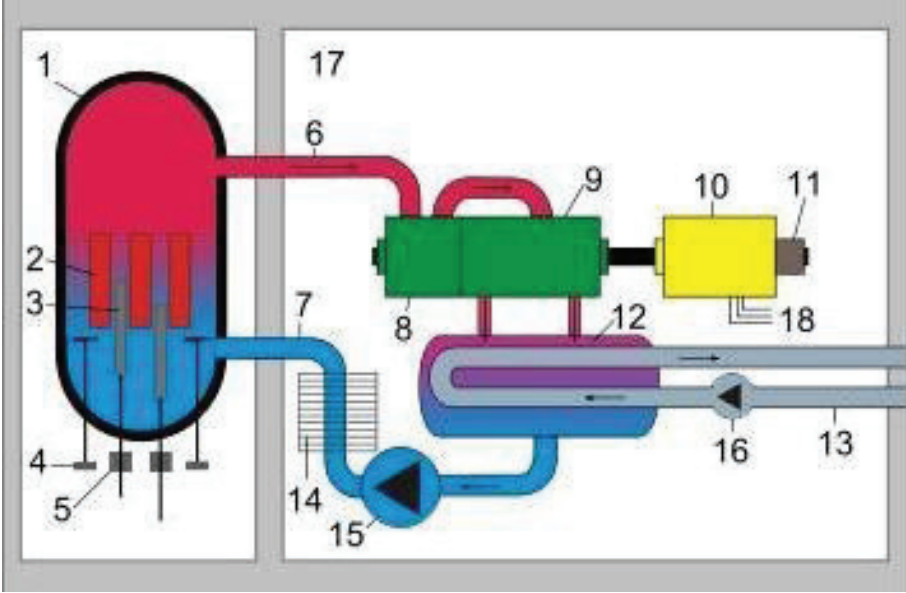
Tablo 1. U-238 ve Th-232 bozunma tabloları.

Uranyum-238			Toryum-232		
Radyonüklit	Yarı ömür	Radyasyon türü	Radyonüklit	Yarı ömür	Radyasyon türü
²³⁸ U	4.5·10 ⁹ yıl	α, γ	²³² Th	14·10 ⁹ yıl	α, γ
²³⁴ Th	24 gün	β, γ	²²⁸ Ra	6.7 yıl	γ, β
²³⁴ Pa	1.2 dk.	β, γ	²²⁸ Ac	6.1 sa.	γ, β
²³⁴ U	2.5·10 ⁵ yıl	α, γ	²²⁸ Th	1.9 yıl	α, γ
²³⁰ Th	8·10 ⁴ yıl	α, γ	²²⁴ Ra	3.6 gün	α, γ
²²⁶ Ra	1620 yıl	α, γ	²²⁰ Rn	55 sn.	α, γ
²²² Rn	3.8 gün	α, γ	²¹⁶ Po	0.16 sn.	α, β
²¹⁸ Po*	3.1 dk.	α, β	²¹² Pb	11 sa.	γ, β
²¹⁴ Pb	27 dk.	β, γ,	²¹² Bi	61 dk.	α, γ, β
²¹⁴ Bi*	20 dk.	α, γ, β	²¹² Po	3·10 ⁻⁷ sn.	α
²¹⁴ Po	1.6·10 ⁻⁴ sn.	α	²⁰⁸ Pb	Kararlı	Yok
²¹⁰ Pb	19 yıl	β, γ			
²¹⁰ Bi*	5 gün	α, γ, β			
²¹⁰ Po	138 gün	α, γ			
²⁰⁶ Pb	Kararlı	Yok			

* Bozunmada sadece ana yollar gösterilmiştir.



Reaktör Şeması



1. Reaktör basınç kabı (RBK)
2. Nükleer yakıt elemanı
3. Kontrol çubukları
4. Dolaşım pompaları
5. Kontrol çubuğu motorları
6. Buhar
7. Besleme suyu
8. Yüksek Basınç Türbini (YBT)
9. Alçak basınç türbini

10. Jeneratör
11. İkaz dinamosu
12. Kondensatör
13. Soğutucu
14. Ön ısıtıcı
15. Besleme suyu pompası
16. Soğuk su pompası
17. Beton çevreleme
18. Elektrik şebekesine bağlantı



Tablo 2. Çernobil 4. ünite nükleer reaktör çekirdeğinin patlama öncesinde ve kaza anından oluşan sızıntı içerisinde bulunan en önemli radyolojik radyonüklitlerin bileşenleri.

26 Nisan 1986'daki reaktör kalbi içeriği			26 Nisan 1986'da ölçülen toplam sızıntı	
Nüklit	Yarı ömür	Aktivite (PBq)	Oran (%)	Aktivite (PBq)
¹³³ Xe	5.3 g	6500	100	6290
¹³¹ I	8.0 g	3200	20	1650
¹³⁴ Cs	2.0 y	180	20	52
¹³⁷ Cs	30.0 y	280	13	85
¹³² Te	78.0 sa	2700	25-60	~1020
⁸⁹ Sr	52.0 g	2300	4-6	93
⁹⁰ Sr	28.0 y	200	4-6	8.1
¹⁴⁰ Ba	12.8 g	4800	4-6	180
⁹⁵ Zr	64.0 g	5600	3.2	155
⁹⁹ Mo	67.0 sa	4800	>3.5	-
¹⁰³ Ru	39.6 g	4800	2.9	170
¹⁰⁶ Ru	1.0 y	2100	2.9	59
¹⁴¹ Ce	33.0 g	5600	2.3.	190
¹⁴⁴ Ce	285.0 g	3300	2.8	137
²³⁹ Np	2.4 g	2700	3	1440
²³⁸ Pu	86.0 y	1	3	0.03
²³⁹ Pu	24400.0 y	0.85	3	0.03
²⁴⁰ Pu	6580.0 y	1.2	3	0.044
²⁴¹ Pu	13.2 y	170	3	5.9
²⁴² Cm	163.0 g	26	3.5	~0.9
TOPLAM		73559		~10933



Kararlı İyot Tabletlerin Alınımı

Önceden veya salımdan hemen sonra alınması şartıyla, kararlı iyot dağıtımı, radyoaktif iyot solunumunun zararlı sonuçlarından koruyucu etkili bir yöntemdir. Ancak, kararlı iyot almak kolay değildir. Örneğin, bazı ülkelerde uygulandığı gibi, iyot stoğu bir merkezi yerde tutuluyorsa, acil durum anında tüm etkilenen kişilere iyot sağlamanın lojistik zorlukları olacaktır. Bu husus; zaman alan, yoğun insan gücü gerektiren ve acil durum personelini fazladan maruziyet altına sokabilen bir durumdur. Kararlı iyotun önceden dağıtımı; raf ömrü geçmeden yenilenmesi, yeni gelenler için dağıtımın güncellenmesi ve değişken nüfusların takibi gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Ayrıca bu koruyucu eylem, her zaman yüksek miktarlarda kararlı iyot stoğunun bulundurulmasını gerektirmektedir.

Kararlı iyotun etkinliği, maruz kalma süresinden sonra alınması halinde azalmaktadır. Kararlı iyotun, tiroit bezini baskılayıcı radyoiyodin alınımından önce ya da hemen sonra alınması, %90'ının üzerinde daha etkilidir. Radyoiyodin maruziyet sonrası kullanılırsa, etkisi hızlıca azalacaktır. Dolayısıyla, halkı yüksek tiroit dozlarından korumak, radyonüklit salımından önce ya da hemen sonra kararlı iyotun alınımını gerektirmektedir. Tiroit baskılayıcı sadece tiroiti korur, reaktör kazalarından kaynaklanan erken ölümlerin büyük çoğunluğu tüm vücudun maruz kaldığı dozdanır. Dolayısıyla, tiroit baskılayıcıları için kararlı iyot dağıtımının, tahliye ve sığınma çalışmalarını geciktirmemesine özen gösterilmelidir.

Ciddi kazalarda, solunumdan kaynaklanan dozlar kazadan 100 km uzaklıktaki mesafelerde bile tiroit baskılayıcı alınımını gerektirebilecek yükseklikte olabilmektedir. Ancak, pratik nedenlerden ötürü, tiroit baskılayıcı için kararlı iyot dağıtımı, en büyük riske sahip olan daha küçük bir alanla sınırlı olabilmektedir. Tiroit baskılayıcı güvenli olarak kabul edilir. Çernobil kazası sonrası yapılan müdahalede, Polonya hükümeti, yaklaşık 18 milyon insana tiroit baskılayıcı dağıtmıştır. Sadece iki ciddi yan etki vakası ile karşılaşılmış ve bunlar da iyot hassasiyeti bilinen yetişkinlerdi.



Tablo 4: Dünya Sağlık Örgütü önerisi üzerine (Nükleer Kazaları takiben İyot Profilaksisi Kılavuzu, Cenevre, 1999) yaş grubuna göre kararlı iyot tek dozajları

Yaş grubu	İyot kütlesi (mg)	KI kütlesi (mg)	KIO ₃ kütlesi (mg)	100 mg tabletin kesitleri
Yetişkinler ve ergenler (12 yaş üzeri)	100	130	170	1
Çocuklar (3-12 yaş)	50	65	85	0.5
Bebekler (1 ay- 3 yaş)	25	32	42	0.25
Yenidoğan (0-1 aylık)	12.5	16	21	0.125



Acil Durum Planlaması

Acil durum planlanması olası bir kazada etkilenecek halka aşağıdaki hususları sağlamalıdır:

- Planlanan yeni veya mevcut nükleer güç santralleriyle ilgili olası kazalar hakkında genel bilgiler sağlanmalıdır. Bu bilgiler radyolojik risklerin doğasını ve kapsamını, ve insan sağlığına; ve/veya çevreye, mülkiyet dahil olası etkilerini içermelidir;
- Radyonüklit veya diğer tehlikeli maddeleri içeren bir kaza durumunda halkın göstermesi gereken uygun davranış ve alınması gereken güvenlik tedbirleri hakkında zamanında bilgi verilmelidir. Kazanın olası etkilerinin doğasını anlamak için radyonüklitler veya ciddi saha dışı zarara sebep olabilecek diğer tehlikeli maddeler hakkında hususlar gibi gerekli olabilecek diğer bilgiler mevcut olmalıdır. Örneğin radyonüklitler veya ciddi saha dışı zarara sebep olabilecek diğer tehlikeli maddeler hakkında bilgi. En önemlisi, tehlikeli tesislerle ilgili kararlara ve toplum acil durum hazırlık planlarının hazırlanmasına etkin bir şekilde halkın katkıda bulunabilmesi konusunda teşvikler sağlanmalıdır.



Radyolojik ve Nükleer Terimler²

Aktiflik

Bir radyonüklitin birim zaman içinde radyoaktif değişmeye uğrayan çekirdek sayısıdır.

Aktivite

Radyoaktif maddenin bozunum hızıdır. Birimi Curie (Ci) veya Becquerel (Bq)'dir.

Akut Radyasyon Işınlanması

Kısa süre içerisinde yüksek miktarda radyasyon soğurulmasıdır.

Akut Radyasyon Sağlık Etkileri

Ciddiyeti doz miktarına göre değişen çok kısa süre içerisinde gözlemlenebilen ani radyasyon etkileridir.

Akut Radyasyon Sendromu

Işınlanmadan saatler veya haftalar sonra görülen klinik sendromların kombinasyonudur.

Alfa Parçacıkları

Bir radyoaktif çekirdeğin bozunumu sırasında yayınlanan pozitif 2 yüklü helyum atomu çekirdekleridir.

Anne Çekirdek

Radyoaktif bozunma sonucu özel bir çekirdek (kız çekirdek) oluşmasını sağlayan radyo-nüklitlerdir.

Araştırma Reaktörü

Temel amacı güç üretimi olmayan, eğitim, araştırma, malzeme testi, deneme veya benzeri amaçlar için kullanılan reaktördür.

Artık Isı

Reaktörün durmasından sonra devam eden fisyon ürünlerinin radyoaktif bozunumuyla ortaya çıkan ısıya ek olarak reaktör ve ilgili bileşenlerde depolanmış olan ısının tümüdür.

²Bu kısım, AFAD tarafından hazırlanan KBRN Terimleri Sözlüğü'nden faydalanılarak hazırlanmıştır. (https://www.afad.gov.tr/upload/Node/26842/xfiles/afad_aciklamali_kbrn_sozlugu.pdf)

**Atom**

Bir elementin kimyasal özelliklerini taşıyan en küçük parçasıdır.

Atom Enerjisi

Nükleer reaksiyonlarda açığa çıkan enerjidir. (Diğer adı : “nükleer enerji”)

Becquerel (Bq)

Aktivitenin özel birimi olup saniyedeki parçalanma sayısıdır.

Beta Parçacıkları

Bir radyoaktif atomun bozunumu sırasında atom çekirdeğinden yayınlanan pozitif veya negatif yüklü elektronlardır.

Bozunum Sabiti

Bir radyonüklitin birim zaman içinde bozunan çekirdek sayısının toplam çekirdek sayısına oranıdır.

Bölünebilir Madde

Kendiliğinden veya nötronlarla reaksiyona girerek çekirdek bölünmesi oluşturan maddedir.

Curie (Ci)

Bir malzemenin radyoaktivitesinin şiddetini tanımlamakta kullanılan temel ölçüm birimidir. 1 Curie, saniyede 37 milyar radyoaktif bozunumu ifade eder. Bu da yaklaşık olarak 1 gram Radyumun bozunma hızına eşittir.

Çekirdek Bölünmesi

Ağır atom çekirdeklerinin, kendiliğinden veya nötronlarla reaksiyona girerek, toplam kütleleri reaksiyondan önceki kütleden daha az olan atom ve parçacıklara bölünmesi ve kaybolan kütlelerin enerjiye dönüşmesidir.

Çekirdek Kaynaşması

Bazı hafif çekirdeklerin uygun ortamlarda kaynaşarak daha ağır çekirdekler oluşması ve enerjinin açığa çıkması olayıdır.

Deterministik Sağlık Etkileri

Doz-sonuç ilişkisi içinde oluşan ve nedene bağlı açıklanabilen etkilerdir. Eşik doz değeri vardır. (Örn: Akut Radyasyon Sendromu, radyolojik yanıklar, vb.)



Dış Koruma Kabı

Bir kaza anında radyoaktif maddelerin çevreye yayılmasını önlemek amacıyla, nükleer reaktörü içine alan yapıdır.

Dışsal Işınlanma

Dışsal ışınlanma radyasyon kaynağının vücudun dışından radyasyona maruz kalmasıdır.

Doğal Radyasyon Işınlanması

Kozmik ışınlar ile yeryüzünde ve insan vücudunda bulunan doğal radyoaktif maddelerin yayınladıkları ışınlar nedeniyle maruz kalınan ışınlanmalardır.

Doğal Uranyum

Doğada normal olarak bulunduğu şekliyle içinde % 0.715 oranında U-235 izotopu, % 99.28 oranında U-238 izotopu ve % 0.0057 oranında U-234 izotopu bulunan elementtir.

Doz Hızı

Birim zamanda alınan radyasyon dozu miktarıdır. (örn: rem/saat, mSv/saat, vb)

Doz Sınırları

Radyasyon görevlilerinin, yakın çevrede yaşayanların ve halkın alabileceği, izin verilen maksimum eşdeğer dozlardır.

Dozimetre

İyonize radyasyon sonucu meydana gelen toplam birikmiş ışınlanmayı ölçen ve kaydeden taşınabilir ölçüm aletidir.

Eşdeğer Doz

Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak hesaplanan, vücutta birim kütlede soğurulan enerji miktarıyla orantılı bir değer olup birimi Sievert'tir (Sv).

Gama Işını

Nükleer reaksiyonlar veya radyoaktif bozunmalar sonucu atom çekirdeklerinden yayınlanan elektromanyetik ışınlardır.



Gray

Soğurulan radyasyon doz birimi olup, 1 kilogram maddede 1 Joule'luk enerji soğurulmasına karşılık olan radyasyon dozu 1 Gray'dir. $1 \text{ Gray} = 1 \text{ Jkg}^{-1} = 100 \text{ raddir}$.

Işınlanma

Kişilerin iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmasıdır.

Işınlama Şiddeti

Birim zamanda meydana getirilen ışınlama olup Joule x kg/saat veya Röntgen/saat gibi birimlerle ölçülür.

İçsel Işınlanma

Radyasyon kaynaklarının vücudun içinden, vücudu ışınlamasıdır. Radyasyon kaynağı vücudun bileşenlerinde olabileceği gibi vücuda dışarıdan da alınmış olabilir. Dışarıdaki bir radyoaktif kaynağın vücuda alınması için iki yol vardır:

- Solunum
- İngesyon (yutma)

İyonizasyon

Radyasyon etkisi ile atomun orbitlerindeki elektronların ayrışması olayıdır.

İyonlaştırıcı Radyasyon

Maddesel bir ortamdan geçerken onunla etkileşerek doğrudan veya dolaylı olarak iyon çiftleri oluşturabilen X veya gamma ışını gibi elektromanyetik ışınlarla, kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli parçacıklardır. Ses dalgalarıyla, elektromanyetik spektrumun mor ötesi ve daha büyük dalga boylu ışınlar bu tanımın kapsamı dışındadır.

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Atomun dış kabuklarından elektronları koparmaya yetecek enerjiye sahip olmayan elektromanyetik radyasyondur. (örn: ultraviyole, görülebilir ışık, kızılötesi ışınlar, mikrodalga, radyo ve televizyon dalgaları, vb)

İzotop

Proton sayıları aynı nötron sayıları farklı olan iki veya daha fazla atomdur. İzotopların kimyasal özellikleri birbirine yakın olmakla birlikte fiziksel özellikleri farklılıklar gösterir. (örn: C-12 ve C-13 kararlı iken C-14 radyoaktiftir.)



Kilo

Temel birimin 1000 ile çarpıldığını ifade eden ön ektir.

Konsantrasyon

Bir kimyasal karışım içerisindeki belli bir madde miktarının toplam hacme bölünmesi sonucu elde edilen değerdir.

Kütle Numarası

Bir atomun çekirdeğindeki proton ve nötronların toplam sayısıdır.

Mikro

Temel birimi 1/1.000.000 ile çarpmayı ifade eden ön ektir.

Mili

Temel birimin 1/1000 ile çarpıldığını ifade eden ön ektir.

Nötron

Hidrojenden daha ağır olan tüm atomların çekirdeklerinde bulunan, kütlesi protondan çok az büyük olan yüksüz temel parçacıktır.

Nötron Zincirleme Reaksiyonu

Bir fisyon olayı sonucu oluşan yeni nötronların başka fisyon olaylarına sebep olması ile oluşan olaydır. 3 çeşidi vardır:

- Devamlılığı olmayan – kritik altı durum
- Devamlılığı olan – kritik durum
- Çoğalarak devam eden – kritik üstü (süper kritik) durum

Nükleer Güç Santrali

Güvenli olarak ısı veya elektrik enerjisi üretmek için yapı, sistem ve bileşenlerin bütününe içeren nükleer reaktör veya reaktörler grubudur.

Nükleer Madde

Herhangi nükleer kaynak madde veya özel bölünebilir maddedir.

Nükleer Patlama

Zincirleme reaksiyonun kontrolsüz olarak meydana gelmesi ile oluşan patlamadır.

**Nükleer Reaktör**

Zincirleme çekirdek bölünmesi (filyon) reaksiyonunun oluşturulup devam ettirildiği ve kontrol edildiği bir sistemler bütünüdür.

Nükleer Silah

Nükleer silah, nükleer reaksiyon ve nükleer filyonun birlikte kullanılmasıyla ya da çok daha kuvvetli bir füzyonla elde edilen yüksek yok etme gücüne sahip silahtır.

Nükleer Yakıt

Reaktörde enerji üretmek için kullanılan, bölünebilir çekirdekler içeren maddedir.

Nüklit

Çekirdeğindeki proton ve nötron sayısı ile belirlenen atom türüdür.

Plütonyum

U-238 in nötron ile ışınlanması sonucu yapay olarak oluşan, 94 atom no.lu normal şartlarda metalik özelliğe sahip bir elementtir.

Prekürsör

Hangi yöntemle olursa olsun, bir kimyasal maddenin üretimi sırasında herhangi bir aşamada rol oynayan başka bir kimyasal maddeyi ifade eder.

Rad

Soğurulan dozun özel birimidir. Bir rad, 100 erg/g veya 0.01 J/kg (0.01 Gy) eşittir.

Radyasyon

Alfa parçacıkları, beta parçacıkları, gama ışınları, x-ışınları, nötronlar, yüksek enerjili elektronlar, yüksek enerjili protonlar ve diğer iyonlaştırıcı etkisi olan parçacıklardır.

Radyasyon Dozu

Belirli bir ortam tarafından soğurulan radyasyon miktarı veya buna tekabül eden enerji eşdeğeridir.

Radyasyon Kaynağı

İyonlaştırıcı radyasyon yayınlayan radyoaktif maddelerle, radyasyon yayınlayıcı veya üretici aygıtlardır.



Radyasyon Kazası

İstenmeyen bir olay sonucu, radyasyon korunması standartlarıyla belirlenen sınırların üzerinde radyasyon dozu alınması ve/veya radyoaktif bulaşma meydana gelmesidir.

Radyasyon Üreten Aygıt

Elektriksel, elektromanyetik veya elektromekanik yöntemlerden biriyle yüklü parçacık veya ağır iyonları hızlandırarak, belirli güvenlik önlemleri içerisinde ve denetim altında iyonlaştırıcı radyasyon üretmek üzere yapılmış röntgen makinaları, betatron, lineer hızlandırıcı, siklotron ve nötron jeneratörü gibi aygıtlardır.

Radyoaktif Bozunum

Kararsız radyonüklitlerin kararlı hale geçmek üzere fazla enerjilerini dışarıya atmak için radyasyon yaymalarıdır.

Radyoaktif Madde

Çözelti veya bileşik olarak, alfa, beta parçacıkları veya gama ışınlarından bir veya birkaçını yayınlamak için kendiliğinden bozunuma uğrayan çekirdeklerden meydana gelen maddelerdir.

Radyoaktivite

Kararsız atom çekirdeklerinin parçacıklı ve/veya elektromanyetik radyasyonlar yayınlamak sureti ile başka atom çekirdeklerine dönüşmesi olup birimi Becquerel'dir

Radyolojik Kaza

Çalışanlar, halk sağlığı, mallar veya çevre için tehlike arz eden radyasyonun veya radyolojik malzemenin kontrolünün kaybedilmesidir.

Reaktör Kalbi

Bir nükleer reaktörün yakıt elemanlarını içeren ve enerjinin üretildiği kısmıdır.

Reaktör Kalbi Erimesi

Reaktör kalbinde bulunan malzemenin erimesi durumudur.

Rem

Eş değer dozu ifade edilen özel ölçüm birimidir. Rem cinsinden eş değer doz, soğurulan dozun (rad) kalite faktörü ile çarpılması ile elde edilir. (1 rem= 0.01 Sv)

**Risk**

Radyasyon ışınlamalarının sonucunda kişilerde zararlı, eşiksiz etkilerin ortaya çıkma ihtimalidir.

Röntgen

Işınlamanın özel birimi olup, 1 kg. kuru havada 2.58E-4Coulomb'luk pozitif veya negatif yük oluşturabilen X veya gama ışını miktarıdır.

Sığınak

Havada radyoaktif bulut içerisinde bulunan veya yeryüzünde depolanmış olan radyasyondan korunmak için kullanılan yapıdır.

Sievert

İnsan vücudu, organ ve dokuları için kullanılan bir biyolojik doz birimi olup, bir doku veya organın 1 kilogramında 1 joule' lük enerji soğurulmasına tekabül eden radyasyon dozudur. 1 Sv = 100 rem'dir.

Soğurma

Bir malzeme içerisine giren foton veya parçacıkların azalması veya bu malzemelerle etkileşim sonucu tamamen yok olması işlemidir.

Soğurulan Doz

İyonlaştırıcı bir radyasyon tarafından birim kütlede maddeye aktarılan enerji miktarı olup birimi Gray Gy'dir. 1 Gy = 1 J/kg dir.

Soğurulan Doz Şiddeti

Birim zamanda soğurulan dozdur.

Soğutucu

Fisyon sonucunda reaktörde açığa çıkan ısıyı almaya yarayan gaz veya sıvı ortamdır.

Soluma Yolu

Kaza bölgesindeki veya rüzgâr yönündeki kişilerin solunum sistemleri yoluyla radyoaktiviteyi vücutlarına almaları olayıdır.



Somatik Etki

Radyasyona maruz kalan bir kişide yaşam süresince görülebilecek bedensel etkilerdir.

Soy Gaz

Diğer elementlerle yeni kimyasal kombinasyonlar yapma yeteneği olmayan gaz formdaki kimyasal elementlerdir. (örn: fisyon gazları)

Stokastik Etkiler

Rastgele ortaya çıkabilecek sağlık etkileridir. Etkinin görülmesi olasılığı (etkinin ciddiyeti dikkate alınmaksızın) bir eşik değeri gözetilmeksizin maruz kalınan dozun doğrusal bir fonksiyonudur.

Tıbbi Işınlanma

Kişilerin tıbbi teşhis ve tedavi amaçları ile maruz kaldıkları ışınlanmalardır.

Yutma yolu

Radyoaktif maddelerin vücuda alımında izlenen rotadır, ayrıca arındırma için de en kolay ulaşılabilir yoldur.

Yüklü Parçacık

Pozitif ve negatif elektrik yük miktarının dengede olmadığı parçacıklara denir.

Zırlama

Radyasyon kaynağı ile kişiler, çalışma alanı veya radyasyona hassas cihazlar arasına soğurucu malzemedan yapılmış bir kalkan konulmasıyla radyasyon şiddetinin azaltılmasıdır.

Zincirleme Reaksiyon

Fisyon sonucunda ortaya çıkan nötronların, ortamda bulunan diğer fisyon yapabilen atom çekirdekleri tarafından yutulurak, onları da aynı reaksiyona sokması ve bunun ardışık olarak tekrarlanmasıdır. Kontrolsüz bir zincirleme reaksiyon, çok kısa bir süre içinde çok büyük bir enerjinin ortaya çıkmasına neden olur. Atom bombasının patlaması bu şekildedir.