

**T.C.  
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**NÜKLEER SERPİNTİ KAYNAKLI  
RADYOİZOTOPLARIN PİLOT BÖLGE ÇEVRESEL  
DAĞILIMLARI, ETKİLERİ VE PİLOT BÖLGEDE  
YAŞAYANLARIN ALDIKLARI DOZA KATKILARININ  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İBRAHİM GÜLBAHÇE**

**HAZİRAN 2016**

**MUĞLA**  
**T.C.**  
**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**NÜKLEER SERPİNTİ KAYNAKLI**  
**RADYOİZOTOPLARIN PİLOT BÖLGE ÇEVRESEL**  
**DAĞILIMLARI, ETKİLERİ VE PİLOT BÖLGEDE**  
**YAŞAYANLARIN ALDIKLARI DOZA KATKILARININ**  
**BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İBRAHİM GÜLBAHÇE**

# HAZİRAN 2016 MUĞLA

## MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

### Fen Bilimleri Enstitüsü

#### TEZ ONAYI

**İBRAHİM GÜLBAHÇE** tarafından hazırlanan **NÜKLEER SERPİNTİ KAYNAKLI RADYOİZOTOPLARIN PİLOT BÖLGE ÇEVRESEL DAĞILIMLARI ETKİLERİ VE PİLOT BÖLGEDE YAŞAYANLARIN TOPLAM DOZA KATKILARININ BELİRLENMESİ** başlıklı tezinin, 15/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

#### TEZ SINAV JÜRİSİ

Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ (**Jüri Başkanı**)  
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza



Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK (**Danışman**)  
Kimya Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza



Yrd. Doç. Dr. Bülent KIRKAN (**Üye**)  
Su Enstitüsü,  
Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

İmza



#### ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Ahmet BALCI  
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Başkanı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza



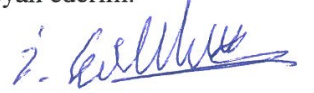
Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK  
Kimya Bölümü,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla  
Savunma Tarihi:

İmza



15/06/201

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuçlar, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yaptığımı da beyan ederim.



İbrahim GÜLBAHÇE

15/06/2016



## ÖZET

# NÜKLEER SERPİNTİ KAYNAKLI RADYOİZOTOPLARIN PİLOT BÖLGE ÇEVRESEL DAĞILIMLARI, ETKİLERİ VE PİLOT BÖLGEDE YAŞAYANLARIN ALDIKLARI TOPLAM DOZA KATKILARIN BELİRLENMESİ

**İbrahim GÜLBAHÇE**

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK

Haziran 2016, 117 sayfa

Nükleer bir bomba (bilinen adıyla atom bombası) atıldığı bölgede yaklaşık %45 basınç-balans, %35 ısı-ışık, %15 kalıcı radyasyon ve %5 ani radyasyon etkisine neden olur. Bu etkiler bomba tipi, gücü ve atıldığı merkeze olan uzaklığa bağlı olarak farklılık gösterir. Nükleer bir bombanın yaratacağı ortalama (15+5) %20 radyasyon serpintisinin çevresel etkilerinin incelenmesi ise radyoizotopların nitel-nicel tayini, aktivitesi ve çevresel etki değerlendirmesini kapsar. Bölgenin radyasyondan mümkün olduğu kadar az zararla etkilenmesi, alınacak önlemlerin (karantinaya almak, bazı gıda maddelerinin tüketilmemesini sağlamak, hayvanların açık havada beslenmesini engellemek... gibi) belirlenmesi, bölgenin temizlenmesi ve bölge halkının alınacak önlemler hakkında bilgilendirilmesi açısından radyoaktif etkilenmenin nitel ve nicel olarak bilinmesi gereklidir. Herhangi bir şekilde nükleer serpintiye maruz kalan bölgenin radyoaktivitesinin belli periyotlarda izlenmesi de bölgede bulunan canlılara verebileceği zararların ve alınacak koruma önlemlerinin değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada bölgemizde bulunan bir yerleşim yerinin nükleer serpintiye maruz kalması durumunda, meteorolojik şartlar ve coğrafi konum da dikkate alınarak radyasyondan etkilenmesi, doz değerlendirmesi, radyasyondan korunma çalışmaları ve alınacak önlemler tartışılmıştır. Literatürde bölgemiz için yapılmış bu şekilde bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak herhangi bir nükleer kaza sonrasında, kaza merkezine uzak veya yakın bölgelerin meteorolojik şartlara göre etkilenme senaryolarının oluşturulduğu bilgisayar programları mevcuttur. Bu çalışmaların bazılarında üretilen senaryo programları ile kaza anından itibaren radyoaktivite dağılım haritalarının çıkarılması mümkün olmaktadır. Çalışmamız laboratuvar ortamındaki deneysel çalışmalara veya bilgisayar programları üretilmesine dayanmamakta, nükleer bomba tipine bağlı olarak çevresel radyoizotopların nükleer, kimyasal ve fiziksel özelliklerine (gaz veya parçacık) ve meteorolojik şartlara göre

Çevrede dağımlarının genel bir teorik değerlendirilmesine dayanmaktadır. Değerlendirmelere bağlı olarak alınacak önlemlerin öngörülmesi ve temizleme ile ilgili yapılması gerekenler de çalışmamız kapsamındadır.

**Anahtar Kelimeler:** NUKEMAP 3D, Nükleer Bomba, Radyasyon, Nükleer Serpinti, evresel Radyoaktivite, Muğla



## ABSTRACT

### ENVIRONMENTAL DISTRIBUTION AND EFFECTS OF NUCLEAR ORIGINATED RADIOISOTOPES AND DETERMINATION OF THEIR CONTRIBUTIONS TO TOTAL DOSE OF POPULATION

İbrahim GÜLBAHÇE

Master of Science (MSc)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ecological Sciences Programme

Supervisor: Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK

June 2016, 117 Pages

A nuclear bomb (more widely known as atomic bomb) causes harmful effects as about 45% of pressure-balance, 35% of heat-light, 15% of permanent radiation and 5% of sudden radiation in the explosion region. These effects vary depending on the type, power of the bomb and explosion distance. The evaluation of environmental impact involves the qualitative and quantitative analysis of radionuclides and investigation of the (15+5) 20% radioactive fallout monitoring. Qualitative and quantitative radioactivity analysis must exactly be known because minimum radio pollution, precautions (quarantine, ensuring of no consumption of some foods, avoiding outdoors feeding of animals etc..), decontamination of the polluted areas and informing the public about all these operations is very related the radioactivity levels. The periodic monitoring of radionuclides in the exposed region is important by the consideration of possible damages to the living creatures and protection measures.

In this study, in case of any nuclear exposure, radiation effects, dose assessment, protection and precaution activities were discussed by considering meteorological conditions and geographical location. In the literature, there is no any study done for this region. However, there are various computer programs presented accident scenarios according to the meteorological conditions and distance to the zero point following a nuclear accident. In some of these studies, it is possible to submit radioactivity distribution maps by using scenario programs prepared following a nuclear accident. Our study is neither based on laboratory experiments nor produced computer programs. It is focused on general theoretical assessment of radioactive fallout depending on bomb type, qualitative and quantitative identifications of radioactive isotopes, chemical and physical properties of radionuclides (gaseous or particles), meteorological conditions. Predicting of precautions for protection and decontamination activities are also part of our study.

**Keywords:** NUKEMAP 3D, Nuclear Bomb, Radiation, Nuclear Fallout, Environmental Radioactivity, Muğla

## ÖNSÖZ

Nükleer serpinti kaynaklı radyoizotopların pilot bölge çevresel dağılımları, etkileri ve pilot bölgede yaşayanların maruz kaldıkları toplam doza katkılarının belirlenmesi çalışmalarını kapsayan bu tez herhangi bir nükleer saldırıyla ilgili olarak toplumu bilgilendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma konusunun seçiminden tamamlanmasına kadar geçen süre boyunca her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım ve değerli hocam Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK'a teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Ayrıca yanımda olduğunu hissettiren birliğimde görevli saygıdeğer amirim Deniz Kıdemli Yüzbaşı Yaşar YAVUZ'ada teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışma sırasında da maddi manevi yanımda olan, sevgi ve desteğini esirgemeyen eşime, kızıma ve beni bugünlere getiren aileme sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>3</b>
2.1. Çalışma Bölgesi – Pilot Bölge MUĞLA.....	3
2.1.1. Demografi ve coğrafi konum.....	3
2.1.2. Tarım, endüstri ve turizm.....	5
2.2. Radyoaktivite.....	5
2.2.1. Radyoaktif bozunma ve radyoaktif bozunma çeşitleri.....	7
2.2.1.1. Radyoaktif bozunma.....	7
2.2.1.2. Alfa( $\alpha$ ) ışınması.....	8
2.2.1.3. Beta ( $\beta$ ) ışınması.....	8
2.2.1.4. Pozitron ( $\beta^+$ ) ışınması.....	8
2.2.1.5. Elektron yakalanması (EC).....	9
2.2.1.6. Nötron ( $n$ ) ışınması.....	9
2.2.2. Radyoaktivite birimleri.....	9
2.2.2.1. Radyoaktivite derişimi birimleri.....	9
2.2.2.2. Işınlama birimleri.....	10
2.2.2.3. Soğurulma doz birimleri.....	10
2.2.2.4. Doz eşdeğer birimleri.....	10
2.2.2.5. Etkin doz birimi.....	11
2.2.3. Radyasyon ve radyasyonun maddeyle etkileşmesi.....	11
2.2.3.1. Yüklü ağır parçacıklar ve alfa ışınlarının maddeyle etkileşmesi.....	13

2.2.3.2. <i>Yüklü hafif parçacıklar ve beta ışınlarının maddeyle etkileşmesi</i> .....	14
2.2.3.3. <i>Nötronların maddeyle etkileşmesi</i> .....	15
2.2.3.4. <i>Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşmesi</i> .....	16
2.2.4. <i>Radyasyon kaynakları</i> .....	17
2.2.4.1. <i>Doğal radyasyon kaynakları</i> .....	17
2.2.4.2. <i>Yapay (antropojenik) radyasyonun kaynakları</i> .....	22
2.2.4.3. <i>Uranyum</i> .....	25
2.2.5. <i>Radyoaktif kirlilik ve radyasyonun etkileri</i> .....	26
2.2.5.1. <i>Radyoaktif kirlenme</i> .....	26
2.2.5.2. <i>İyonlaştırıcı radyasyonun çevresel etkileri</i> .....	26
2.2.5.3. <i>İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkileri</i> .....	27
2.2.5.3.1. <i>İyonlaştırıcı radyasyonun hücre ile etkileşimi</i> .....	27
2.2.5.3.2. <i>İyonlaştırıcı radyasyonun kromozoma verdiği hasarlar ve etki eden faktörler</i> .....	28
2.2.5.3.3. <i>İyonlaştırıcı radyasyonun deterministik ve stokastik etkileri</i> .....	29
2.2.5.3.4. <i>Radyasyonun erken ve geç etkileri</i> .....	32
2.3. <i>Nükleer Enerji</i> .....	37
2.3.1. <i>Nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımı</i> .....	38
2.3.1.1. <i>Nükleer enerjinin tarihsel gelişimi</i> .....	38
2.3.1.2. <i>Nükleer enerjinin Türkiye'deki tarihçesi</i> .....	42
2.3.1.3. <i>Nükleer reaktörler</i> .....	43
2.3.1.4. <i>Nükleer reaktör kazaları</i> .....	44
2.3.2. <i>Nükleer enerjinin barışçıl amaçlar dışında kullanılması</i> .....	46
2.3.2.1. <i>Nükleer denemeler ve nükleer silahlanmanın kronolojisi</i> .....	46
2.3.2.2. <i>Nükleer denemeler ve insan sağlığına yerel etkileri</i> .....	50
2.3.2.3. <i>Nükleer silahlar ve nükleer silahların yapısı</i> .....	57
<b>3. NÜKLEER SALDIRILAR VE ETKİLERİ</b> .....	<b>61</b>
3.1 <i>Hiroşima</i> .....	61
3.2. <i>Nagazaki</i> .....	62

3.3. Neden Hiroşima ve Nagazaki.....	62
3.4. Nükleer Saldırının Hiroşima ve Nagazaki'deki Etkileri.....	63
3.4.1. Ani etkiler.....	63
3.4.1.1. Işık etkisi.....	63
3.4.1.2. Isı etkisi.....	64
3.4.1.3. Ani radyasyon etkisi.....	65
3.4.1.4. Basınç etkisi.....	65
3.4.1.5. Elektromanyetik etkiler.....	66
3.4.2. Kalıntı etkileri (Radyoaktif serpinti).....	66
3.4.3. Radyoaktif serpintiye etkileyen meteorolojik parametreler.....	67
3.4.3.1. Rüzgar.....	67
3.4.3.2. Sıcaklık.....	67
3.4.3.3. Yağmur.....	68
3.4.4. Hibakusha.....	68
<b>4. SİMÜLASYON.....</b>	<b>70</b>
<b>5. RADYASYONDAN KORUNMA.....</b>	<b>90</b>
5.1. Radyasyondan Korunma Yolları.....	90
5.1.1. Radyasyondan korunma temel ilkeleri.....	90
5.1.2. Radyoaktif serpintiye maruz kalma olasılığında yapılması gerekenler.....	92
5.2. Radyasyondan Korunmada Alınacak Önlemler.....	92
5.2.1. Radyasyondan korunmada alınacak kişiler önlemler.....	93
5.2.2. Radyasyondan korunmada yetkililerce alınacak önlemler.....	94
5.2.2.1. Radyasyon düzeyinin tespiti.....	94
5.2.2.2. Korunma.....	94
5.2.2.3. Yiyecek ve içecek maddelerin korunma ve yedeklenmesi.....	96
5.2.2.4. Hayvanların korunması.....	97
5.3. Radyasyondan Korunmada Dekontaminasyon Çalışmaları.....	98
5.3.1. Genel prensipler.....	98
5.3.2. Temizleme maddeleri.....	99
5.3.3. Kişisel dekontaminasyon.....	100

5.3.4.Araç-gereç ve malzemenin dekontaminasyonu .....	101
5.3.5.Çevre ve arazi temizliği.....	102
5.3.6.Kirlenmiş giysi ve araç-gereçlerin toplanması .....	103
5.4. Temizleme Sonrasında Radyoaktif Serpintiden Etkilenme Tayini.....	106
5.4.1.Kişisel etkilenme tayini.....	106
5.4.2.Çevresel etkilenme tayini.....	106
<b>6.SONUÇ.....</b>	<b>108</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>110</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>115</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Radyasyon Ağırlık Faktörleri.....	11
Çizelge 2.2. Radyasyon Çeşitleri.....	11
Çizelge2.3. Doğrusal Enerji Transfer Hızı.....	14
Çizelge 2.4. Nötronların Enerjilerine Göre Sınıflandırılması.....	15
Çizelge 2.5. Değişik Bölgelerde Ölçülen Doğal Radyasyon Seviyeleri.....	22
Çizelge 2.6. Yapay Radyasyon Kaynaklarının Doz Oranları.....	24
Çizelge 2.7. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Doz Değerleri (mSv).....	24
Çizelge 2.8. Günlük Hayatta Radyasyon.....	25
Çizelge 2.9. Radyasyon Çalışanlarının Işınlanma Etkileri.....	33
Çizelge 2.10.Halktan Kişilerin Işınlanma Etkileri.....	33
Çizelge2.11.Radyasyon Çalışanları ve Toplum Üyesi Kişiler İçin Doz Sınırları.....	34
Çizelge 2.12. Maruz Kalınan Doza Bağlı Olarak BRH'larının Klinik Belirtileri ve Başlangıç Zamanları.....	36
Çizelge 2.13. Nükleer Güç Santralleri.....	40
Çizelge 2.14. Ülkelerin Nükleer Denemeleri.....	49
Çizelge 2.15. Büyük Nükleer Denemeler.....	49
Çizelge 2.16. Radyoizotoplar ve Sağlık Etkileri.....	50
Çizelge2.17. Radyoizotop Yarı Ömürleri ve Işımlar.....	51
Çizelge 2.18. Atmosferdeki Nükleer Denemeler ve Nükleer Kazalar nedeniyle Atmosfere Yayılan Önemli Radyoizotoplar ve Aktiviteleri.....	54
Çizelge 3.1. Radyasyona Maruz Kalma Yolu ve Koruyucu Önlem Tablosu.....	95
Çizelge 3.2. İyot Tabletleri Doz Alım Tablosu.....	96
Çizelge 3.3.Sıfır Noktasından İtibaren Çevresel Radyasyon Dozları.....	109

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Muğla'nın Türkiye'deki Konumu.....	3
Şekil 2.2. Muğla'nın İlçeleri.....	4
Şekil 2.3. Muğla Merkez.....	5
Şekil 2.4. Nükleer Kararlılık Eğrisi.....	6
Şekil 2.5. İyonlaştırıcı Elektromanyetik Radyasyon.....	12
Şekil 2.6. Elektromanyetik Radyasyon Spektrumu.....	13
Şekil 2.7. Kozmik Işınlardan Bir Saatte Alınan Radyasyon Dozunun Yüksekliğe Göre Değişimi.....	18
Şekil 2.8. Th-232 Bozunma Serisi.....	19
Şekil 2.9. U-238 Bozunma Serisi.....	20
Şekil 2.10. Doğal Radyasyon Kaynaklarının Doğal Radyasyon Seviyesine Katkıları.....	21
Şekil 2.11. Radyasyonun Hücreye Etkisi.....	28
Şekil 2.12. Parçalanma (Fisyon) Tepkimesi ve Zincirleme Tepkimeler.....	37
Şekil 2.13. Füsyon Tepkimesi.....	37
Şekil 2.14. Basınçlı Su Reaktöründe Elektrik Üretimi.....	43
Şekil 2.15. U-233 (Th -232) Pu-239 (U-238) ve U-235 Radyoaktif Çekirdeklerine Ait Fisyon Ürünleri.....	52
Şekil 2.16. Havadaki Radyoizotopların Radyasyon Dozuna Katkısı.....	52
Şekil2.17. Nükleer Bomba Yapısı.....	58
Şekil 2.18. Nükleer Bomba Yöntemleri.....	58
Şekil2.19. Füsyon Bombası.....	59
Şekil 3.1. Hiroşima'ya Nükleer Bomba Atılmasından Yaklaşık Bir Saat .....Sonra Gökyüzü.....	61
Şekil 3.2. Atom Bombası Saldırısından Önce ve Sonra Nagazaki Kenti.....	62
Şekil 3.3. Nükleer Patlamanın Ardından Işık Etkisi.....	64
Şekil3.4. Atom Bombasının Isı Etkisi.....	64
Şekil3.5.7 Ağustos 1945 te Hiroşima.....	65
Şekil 3.6. 9 Ağustos 1945 te Nagazaki.....	68

Şekil 4.1.a. Patlama Merkezi Olarak Seçilen Muğla Merkez Menteşe İlçesi.....	71
Şekil 4.1.b. Patlama Merkezi Olarak Seçilen Muğla Merkez Menteşe İlçesi.....	71
Şekil 4.1.c. Patlama Merkezi Olarak Seçilen Muğla Merkez Menteşe İlçesi.....	72
Şekil 4.1.d. Patlama Merkezi Olarak Seçilen Muğla Merkez Menteşe İlçesi.....	72
Şekil 4.2. Senaryo 1'e Göre Patlamadan Hemen Sonra Muğla Merkezdeki Durum.....	73
Şekil 4.3. Muğla Merkez Sıfır Noktası Alınarak Yerden 600m Yükseklikte Patlamış Hiroşima Tipi Nükleer Bir Bomba Nedeniyle Bölgesel Etkilenmeler.....	75
Şekil 4.4. Muğla Merkez Sıfır Noktası Alınarak Yeryüzeyinde Patlamış Hiroşima Tipi Nükleer Bir Bomba Nedeniyle Bölgesel Etkilenmeler.....	76
Şekil 4.5. Yeryüzeyindeki Patlamada Maruz Kalınan Radyoaktif Doz Miktarına Göre Etkilenme Sınırları.....	79
Şekil 4.6. Muğla Merkez Sıfır Noktası Alınarak Yerden 600m Yukarıda Patlamış Nagazaki Tipi Nükleer Bir Bomba Nedeniyle Bölgesel Etkilenmeler.....	80
Şekil 4.7. Muğla Merkez Meydanının "sıfır noktası" Olarak Kabul Edilmesi Durumunda Senaryo 3'e Göre Etkilenme Bölgeleri ve Etkilenme Dereceleri.....	82
Şekil 4.8 Muğla Merkez Sıfır Noktası Alınarak Yeryüzeyinde Patlamış Nükleer Bir Bomba Nedeniyle Bölgesel Etkilenmeler.....	83
Şekil 4.9 Yeryüzeyindeki Patlamada Maruz Kalınan Radyoaktif Doz Miktarına Göre Etkilenme Sınırları.....	86
Şekil 4.10. 600m Yükseklikte Patlamış Hiroşima Tipi Nükleer Bombanın Senaryo 5'e Göre Çevresel Etkisi.....	87
Şekil 4.11. Yeryüzeyinde Patlamış Hiroşima Tipi Nükleer Bombanın Senaryo 6'ya Göre Çevresel Etkisi.....	87
Şekil 4.12 600m Yükseklikte Patlamış Nagazaki Tipi Nükleer Bombanın Senaryo 7'ye Göre Çevresel Etkisi.....	88
Şekil 4.13. Yeryüzeyinde Patlamış Nagazaki Tipi Nükleer Bombanın Senaryo 8'ye Göre Çevresel Etkisi.....	89
Şekil 5.1. Radyoaktif Işınlardan Doğadaki Zincir Etkileri.....	90

Şekil 5.2. Farklı Tipte GM Dedektörleri.....	94
Şekil 5.3. Kişisel Korunma Malzemeleri.....	99
Şekil 5.4. Cilt ve Vücut Temizliği.....	101
Şekil 5.5. Motorlu Araçların Temizlenmesi.....	102
Şekil 5.6. Arazinin Yıkanması.....	103
Şekil 5.7. Seyyar Dekontaminasyon Aracı.....	104
Şekil 5.8. Dekontaminasyon Çadırı.....	104
Şekil 5.9. Dekontaminasyon Çadırı.....	105
Şekil 5.10. Dekontaminasyon Çadırı İç Kısmı.....	105

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

keV	Kilo Elektron Volt
MeV	Milyon Elektron Volt
ARS	Akut Radyasyon Sendromları
BRH	Bölgesel Radyasyon Hasarları
UAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
NEA	Nükleer Enerji Ajansı
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
NGS	Nükleer Güç Santrali
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
UNSCEAR	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (The International Commission on Radiological Protection)
Sv	Sievert
mSv	MiliSievert
Ci	Curie
Bq	Becquerel
R	Röntgen
C/kg	Coulomb/kilogram
Gy	Gray
UV	Ultraviöle

## 1. GİRİŞ

Nükleer enerjinin silah olarak kullanılması durumunda nükleer bomba, atıldığı bölgede yaklaşık %45 basınç-balans, %35 ısı-ışık, %15 kalıcı radyasyon ve %5 ani radyasyon etkisine neden olur. Bu etkiler akut ve kronik etkiler olup bombanın tipi, gücü ve bomba atılan merkeze olan uzaklığa göre farklılık gösterir. Akut etkilerden korunma, patlamanın ani olması nedeniyle, mümkün değildir. Pilot bölgeye yapılan nükleer saldırıdan hemen sonra ilk etapta basınç-balans, ısı-ışık ve ani radyasyon nedeniyle oluşan çevresel etkiler dikkate alınır. Daha sonra nükleer bombanın yaratacağı ortalama %15 radyasyon serpintisinin çevresel etkileri incelenir. Bu inceleme radyasyonun akut ve kronik etkilerinin değerlendirilmesi açısından çok önemli olup radyoizotopların nitel-nicel tayini, aktivitesi ve çevresel etki değerlendirmesini kapsar. Bölgenin radyasyondan mümkün olduğu kadar az zararlarla etkilenmesi, alınacak önlemlerin (karantinaya almak, bazı gıda maddelerinin tüketilmemesini istemek, hayvanların açık havada beslenmesini engellemek... gibi) belirlenmesi, bölgenin temizlenmesi ve bölge halkının alınacak önlemler hakkında bilgilendirilmesi açısından radyoaktif izotopların nitelik ve nicelik olarak bilinmesi çok önemlidir. Herhangi bir şekilde nükleer serpintiye maruz kalan bölgenin radyoaktivitesinin belli periyotlarda izlenmesi bölgede bulunan canlılara verebileceği zararların ve alınacak korunma önlemlerinin alınması ve değerlendirilmesi açısından çok önemlidir.

Meteorolojik koşullara bağlı olarak nükleer serpintiden etkilenecek yerler, etkilenmenin nasıl olacağı, korunma tedbirleri, tahliyenin gerekli olup olmayacağı ve temizleme yöntemleri de farklılık gösterebilir.

Çalışmamızda nükleer bir serpintiye maruz kalması durumunda bölgemizin coğrafik ve meteorolojik koşulları da dikkate alınarak uygulanması gereken işlemler tartışılmış ve bu konuda doküman niteliğinde bir tez çalışması tamamlanmıştır. Takip edilmesi gereken işlemler ALARA prensibi çerçevesinde çevrenin ve canlıların nükleer serpintiden mümkün olan en az zararlarla etkilenmesini sağlayacaktır. ALARA,

kelime anlamı olarak “ulaşılabilir en düşük makul doz değeri” anlamına gelen (As Low As Reasonably Achievable) ifadesinin kısaltılmış gösterimidir. Bu prensip herhangi bir radyoaktif kaynaktan yayılan ve maruz kalınan dozun en aza indirilmesi gerekliliğini ifade eder. ALARA sadece bir güvenlik prensibi olmayıp, tüm radyasyon güvenlik programları için sağlanması gerekli mevzuat işlemlerini de içeren bir düzenlemeyi kapsar.

Çevresel izleme için takip edilmesi gereken işlemler etkileneceği öngörülen bölgenin ve etkilenen bölgelerin durumlarına göre değerlendirilmelidir. Bölge halkının konu ve alınacak önlemlerle ilgili olarak bilgilendirilmesi, radyoizotopların nitel ve nicel özelliklerine göre herhangi bir bölge için tahliyenin gerek olup olmadığının değerlendirilmesi, yine radyoizotopların nitel ve nicel özelliklerine göre temizleme işlemlerinin gerekliliği ve gerekliyse nerede, nasıl uygulanacağı, bireylerin maruz kalabileceği doz değerleri ile ilgili öngörüler çalışmamızın ana konusudur.

## 2. GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Çalışma Bölgesi- Pilot Bölge Muğla

Muğla ilinin tarım alanında ülke ekonomisine katkı sağlaması, ulusal ve uluslararası turizm alanında önemli olması nedeniyle buraya yapılacak bir nükleer saldırı sonunda radyasyonun çevresel ve sağlık etkilerinin uzun süre bölgeyi etkisi altına alacağı düşünüldüğünden çalışmamızda pilot bölge olarak Muğla il merkezi (Menteşe) belirlenmiştir.

#### 2.1.1. Demografi ve coğrafi konum

Muğla ili 12974 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü (menteşe ilçesi 1659 km<sup>2</sup>), 670 m rakımı, 2014 sayımına göre Mentese ilçesi (merkez) 102414 nüfus ve ile Türkiye'nin güneybatı bölgesinde bulunur. Kuzeyde Aydın, kuzeydoğusunda Denizli ve Burdur, doğuda Antalya ile komşudur. Güneyinde Akdeniz, batısında ise Ege Denizi ile çevrilidir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Muğla'nın Türkiye'deki konumu



Şekil 2.2. Muğla'nın ilçeleri

En yakın ilçeleri Ula (26 km), Yatağan (28 km), Kavaklıdere (52 km), Marmaris (55 km) ve Köyceğiz (61 km) olup 2014 TÜİK verilerine göre nüfusları sırasıyla 23610, 18366, 10814, 88621 ve 34027'dir.

Muğla, Akdeniz iklimi etkisinde olup Muğla şehrinin içinde bulunduğu Mentеше Yöresi'nde dağlar denize paralel uzanmaktadır. 800 m yüksekliğe kadar olan alanlarda 'asıl Akdeniz iklimi', daha yüksek alanlarda 'Akdeniz dağ iklimi' hissedilir. Maksimum-minimum sıcaklık değerleri, nem, yağış miktarı ve hakim rüzgar yönleri, yerel coğrafi koşullara göre değişmektedir. 1000 mm/m<sup>2</sup>'den fazla yağış alan Muğla, orman oranı bakımından Türkiye'nin en zengin yörelerindedir. Yağışların büyük çoğunluğu kış mevsiminde düşer ve yaz kuraklığı belirgindir.

Muğla ovası, Mentеше kalker platosunda Neojen çağında oluşmuş depresyonların sonradan karstlaşmasıyla oluşmuş çanak şeklindeki çukurluklardan biridir. Muğla ovasına benzer jeolojik yapıya sahip komşu ovalar Yeşilyurt, Ula, Gülağzı, Yerkesik, Akkaya, Çamköy ve Yenice ovalarıdır. Muğla Ovası Karadağ, Kızıldağ, Masadağı ve Hamursuz Dağı ile çevrelenmiştir. Düğerek'in kurulduğu yamaçların gerisinde rakım hızla artar ve Mentеше Dağları silsilesi içinde yer alan Yılanlı Dağı 2000 m ye ulaşır.



Şekil 2.3 Muğla Mentеше ilçesi (merkez)

### 2.1.2. Tarım, endüstri ve turizm

Muğla ili tarımsal ürünlerinin çeşitliliği ile dikkat çeker. Ülkemizde arıcılığın en önemli merkezlerinden biridir. Ortaca, Fethiye, Köyceğiz ve Dalaman ilçelerinde yaygın bir şekilde narenciye tarımı (portakal, limon, mandalina, greylort) yapılmaktadır. Zeytincilik de il genelinde yaygındır. Özellikle Marmaris-Köyceğiz hattına özgü bir diğler önemli ürün de günlük ağacından elde edilen ve parfümeri-eczacılıkta kullanılan sığla ağacıdır.

Endüstriyel üretim çok yetersiz olup ekonomi özellikle turizm ve tarıma dayalıdır. Bölgede enerji ve madencilik üretim tesisleri dışında sanayiye dönük büyük girişimler bulunmamaktadır. Yatağan ve Milas'ta Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy Termik Santralleri olmak üzere toplam 3 termik santral vardır. Bölge linyit, krom ve mermer yatakları bakımından zengindir.

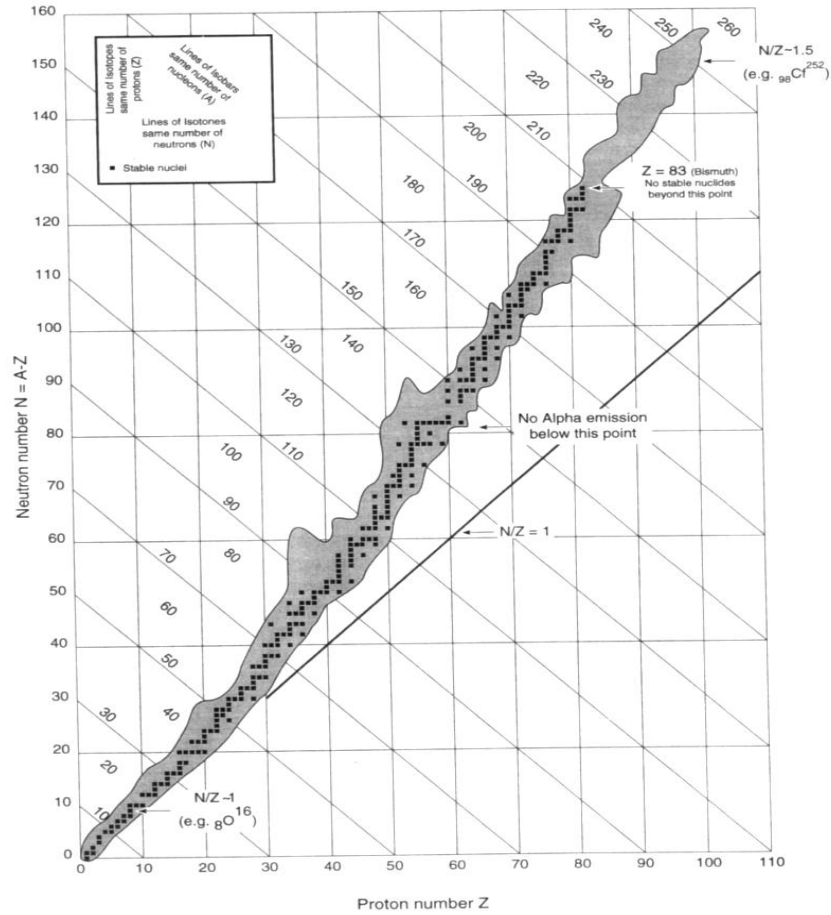
Bodrum, Marmaris, Fethiye, Köyceğiz, Dalaman, Datça ve Milas gibi tatil bölgeleri turizm açısından oldukça önemli ve yoğun yerleşim yerleridir (Vikipedi, 2016).

### 2.2. Radyoaktivite

Bir atoma ait çekirdeğin herhangi bir dış etki olmaksızın kendiliğinden ışın yaymasına veya bozularak daha küçük parçalar salmasına radyoaktivite, bu özelliği gösteren izotoplara da radyoizotop denir. Radyoaktif yapıya sahip atom çekirdeklerine de radyonüklit denir. Kararsız radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya

geçebilmek için dışarı saldıkları parçacık veya elektromanyetik dalga karakterindeki fazla enerjilerine de  **radyasyon**  denir.

Bu anlamda radyoaktivite bir tür enerji aktarım olayıdır. Radyoaktif izotoplar (radyoizotop) bu enerjiyi kendiliklerinden yayar ve bu olayı durdurmak hiçbir şekilde mümkün değildir. 1896 yılında Henri Becquerel'in potasyum uranil sülfatın yaydığı ışınların bazı maddelerden geçip fotoğraf plağını karartmasıyla keşfedilen radyoaktivite, kimyasal veya fiziksel özellik ve çevre şartlarından bağımsız olup sadece çekirdek özelliklerine bağlıdır. Bir atom radyoaktif ise, o atomun oluşturduğu bileşikler de radyoaktiftir. Kimyasal olaylar radyoaktifliği değiştirmez. Atomun çekirdeğinde nükleon adı verilen proton ve nötron temel tanecikleri bulunur. Atom çekirdeğinin kararlılığı nötron ve proton sayısı ile ilgilidir. Doğada bulunan izotopların çekirdeklerinde bulunan nötron sayıları, proton sayılarına göre grafiğe geçirildiğinde (Şekil 2.4.) deki gibi bir değişim elde edilir.



Şekil 2.4. Nükleer kararlılık eğrisi

Şekil 2.4 te, ortadaki gri renkli kararlılık kuşağının dışında kalan çekirdekler kararsız olup radyoaktiftir. Kararlılık kuşağının üst kısmında yer alan ve nötron fazlalığı bulunan kararsız çekirdekler, kararlı duruma gelebilmek için beta ışınması ( $\beta^-$ ) yapar. Kararlılık kuşağının altında kalan ve proton fazlalığı olan kararsız çekirdekler de kararlı duruma gelebilmek için pozitron ışınması ( $\beta^+$ ) veya elektron yakalama (EC) yapar. Kararlılık kuşağı,  $Z=83$ 'de (proton sayısı=83) sona erer.  $Z=83$ 'den sonraki atomların tüm izotopları kararsız olup, kararlılık kuşağına gelebilmeleri için alfa ( $\alpha$ ) ışınması da yapar.

Doğada bulunan izotopların 280 kadarı kararlı, 66 tanesi kararsızdır. Doğal radyoaktif çekirdeklerin hepsinde  $Z=81-92$ 'dir. Bi-209 ( $Z=83$ ) atom ve kütle numarası en yüksek kararlı çekirdektir. Nötron sayısı ne olursa olsun  $Z \geq 93$  olan bütün çekirdekler kararsız olup nükleer çalışmalar sonucu yapay olarak üretilmişlerdir.

Bir atomun kütlesi çekirdekdeki proton ve nötronların kütleleri toplamından küçüktür. Aradaki kütle farkı  $E=mc^2$  şeklinde enerjiye dönüşerek nükleer bağlanma enerjisi denilen ve çekirdekdeki nükleonları bir arada tutan çekirdek enerjisidir. Atom çekirdeklerinde nükleon (temel tanecik) başına düşen bağlanma enerjisi o çekirdeğin kararlılığının ölçüsüdür. Bir çekirdekte nükleon başına düşen ortalama bağlanma enerjisi ne kadar büyükse, çekirdek o kadar kararlı olur.

## 2.2.1. Radyoaktif bozunma ve radyoaktif bozunma çeşitleri

### 2.2.1.1. Radyoaktif bozunma

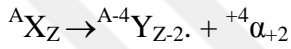
Yapay olarak üretilmiş veya 83 ve daha yüksek atom numaralı elementler kararsız olup kararlı duruma dönebilmek için kendiliğinden parçacık veya elektromanyetik dalga karakterinde radyasyon yayar. Çekirdekten parçacık veya elektromanyetik dalga yayılması “radyoaktif bozunum” olarak adlandırılır. Parçalanmış çekirdek aynı veya farklı bir elementin farklı bir izotopuna dönüşebilir. Radyoaktif bozunma hızı,  $r = -dN / dt = \lambda \cdot N$  şeklinde ifade edilir.  $t=0$  anındaki çekirdek sayısı  $N_0$  ise;

$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$  olur. Burada  $\lambda$  çekirdek bozunma sabiti,  $N$  herhangi bir  $t$  zamanında var olan radyoaktif çekirdek sayısıdır. Bir çekirdek birden fazla yolla bozunabilir. Dalli bozunma denilen bu bozunmalarda toplam bozunma katsayısı  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \dots + \lambda_n$  olur.  $\lambda = 0,693/t_{1/2}$ 'dir. Burada  $t_{1/2}$  radyoaktif çekirdeğin

yarılanma ömrü; radyoaktif çekirdeklerin sayısının yarıya düşmesi için geçen zaman olarak tanımlanır. Radyoaktif bozunma sırasında ortaya çıkan çekirdeklerin var oluş süreleri toplamının, başlangıçtaki radyoaktif çekirdek sayısına oranına da ortalama ömür denir,  $\tau = 1/\lambda$ .

#### 2.2.1.2. Alfa ( $\alpha$ ) ışınması

Atom numarası 83'ten büyük olan elementler, kararlı bir çekirdek yapısına ulaşmak için, atom ve kütle numaralarını azaltarak kararlılık kuşağına girmek için 2 nötron ve 2 protondan oluşan alfa bozunması yaparak kütle numaralarını 4, atom numaralarını 2 azaltır. Alfa ışınları 2 elektronunu kaybetmiş He atomu çekirdeği olup her çekirdek için karakteristik, kesin enerjilidirler.



#### 2.2.1.3. Beta ( $\beta^-$ ) ışınması

Yük ve kütleleri elektron ile aynı olan beta ışınlarının elektrondan farkı çekirdekten yayılmalarıdır. Nötron sayısı fazla olan çekirdekler, nötron sayılarını  $n^0 \rightarrow \beta^- + p + \bar{\nu}$  nükleer tepkimesine göre azaltmak için  $\beta^-$  bozunması yapar. Burada  $\bar{\nu}$ ; antinötrino olup kütlesi çok küçük parçacıklardır.  $\beta^-$ 'ların kesin ve sabit enerjileri yoktur, enerji spektrumları vardır. Bu enerji spektrumunun nedeni  $\beta^-$ 'lar yayınlanırken bir kısım enerjinin antinötrinolar tarafından alınmasıdır. Yani toplam enerji  $\beta^-$  ve nötrino (antinötrinolar) tarafından paylaşılır.

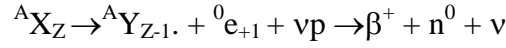
${}^A X_Z$  çekirdeğinin  $\beta^-$  yayması olayı  ${}^A X_Z \rightarrow {}^A Y_{Z+1} + {}^0 e_{-1} + \bar{\nu}$  şeklinde gösterilir.

#### 2.2.1.4. Pozitron ( $\beta^+$ ) ışınması

Çekirdek kararsızlığının nedeni çekirdekte bulunan proton sayısının fazla olması durumunda; fazla protonundan kurtulmak için çekirdek  $\beta^+$  bozunması yapar.  ${}^A X_Z$  çekirdeğinin  $\beta^+$  yayması olayı:

Beta ve pozitron ışınlarında yayınlanan nötrino ve antinötrinolar beta bozunma olaylarındaki doğrusal ve spin açıl momentumun korunmasını sağlar ve kesin bir

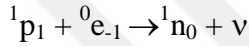
enerji değerleri yoktur. Bu nedenle de beta ve pozitron ışımaları karakteristik, sabit enerjili değillerdir.



şeklinde gösterilir. Burada  $\nu$ ; nötrino olup kütlesi çok küçük parçacıklardır.

#### 2.2.1.5. Elektron yakalanması(EC)

Elektron yakalanması olayı da çekirdekte bulunan proton sayısının fazla olduğu durumlarda gerçekleşir. Çekirdekte proton fazlalığının olması durumunda çekirdek, kendisine en yakın yörüngeden bir elektron yakalar. Sonuç olarak  $\beta^+$  yayınlanmasına benzeyen bu olayda çekirdeğin nötron sayısı 1 artarken, proton sayısı 1 azalır.



#### 2.2.1.6. Nötron ( $n$ ) ışınması

Nötronlar kütleleri protona yakın, yüksüz parçacıklardır. Nötron ışınması normal radyoaktif bozunma sonucu meydana gelmeyip fisyon olayı ile çekirdeğin parçalanması veya çekirdeğin tanecik veya dalga karakterindeki herhangi bir bombardımana maruz kalması sonucu ortaya çıkar.

### 2.2.2. Radyoaktivite birimleri

#### 2.2.2.1. Radyoaktivite deşişimi birimleri

Radyoaktif bir kaynağın aktivitesini veren birimdir.

Özel Birim; Curie (Ci). 1 gram radyumun parçalanması sonucu 1 saniyede yaydığı alfa taneciklerinin sayısı kadar bozunan madde aktivitesi olarak tanımlanır ( $3.7 \times 10^{10}$  bozunma).

SI Birim: Becquerel (Bq): Birim zamandaki (1 Saniye) parçalanma sayısıdır.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

#### 2.2.2.2. Işınlama birimleri

Havada iyonlaştırma yapan radyasyon miktarı olup;

Özel Birim; Röntgen (R). Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında  $2.58 \times 10^{-4}$  C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır.

SI Birimi: Coulomb/kg (C/kg)

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3.88 \times 10^3 \text{ R}$$

#### 2.2.2.3. Soğurulma doz birimleri

Ortamda depolanan enerjinin ölçüsüdür.

Özel Birim; Rad. Işınlanan maddenin 1 kg'ına  $10^{-2}$  jul'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton karakterinde olabilir.

SI Birimi: Gray (Gy). Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 jul'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

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

#### 2.2.2.4. Doz eşdeğer birimleri

Soğurulan dozun radyasyonun tipi ve enerjisine göre biyolojik etkinliğin ifadesi olan ağırlık faktörüyle çarpımıyla elde edilen birimlerdir (Soğurulan Doz x Radyasyon Ağırlık Faktörü). Enerjileri eşit olsa bile, farklı tip radyasyonların biyolojik etkileri farklı olabilir.

Özel Birim: Rem

SI Birimi: Sievert (Sv). 1 Gray'lık X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv} \quad 1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem}$$

Radyasyondan Korunma çalışmalarında düşük doz ve doz hızlarında genellikle mSv kullanılır.

#### 2.2.2.5. Etkin doz birimi

Vücuttaki tüm doku ve organların eşdeğer dozunun, doku ağırlık faktörü ( $W_R$ ) ile çarpımı sonucunda elde edilen değerlerin toplamı etkin doz (E) değerini verir, birimi Sieverttir (Sv).

**Çizelge 2.1. Radyasyon ağırlık faktörleri**

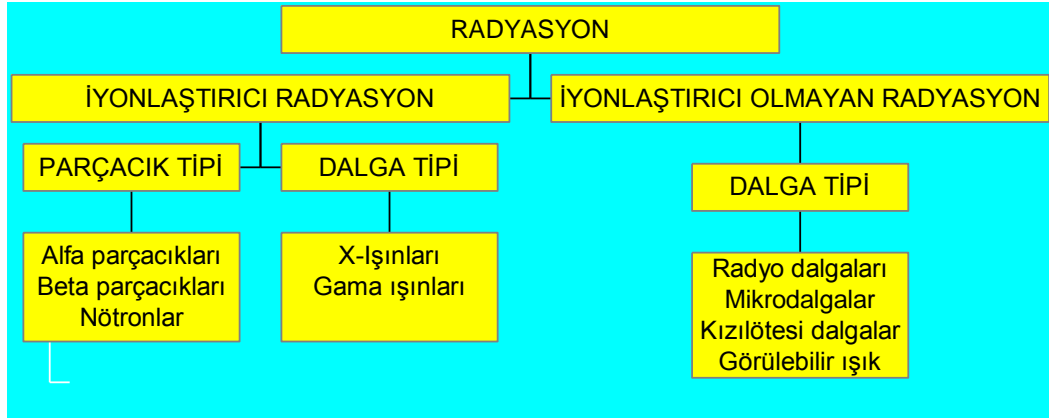
Radyasyonun tipi	$W_R$
Beta	1
Alfa	20
X-ışınları	1
Gama ışınları	1
Nötron <10keV	5
Nötron (10 keV-100 keV )	10
Nötron (100 keV-2 MeV)	20
Nötron (2MeV-20 MeV)	10
Nötron >20 MeV	5

#### 2.2.3. Radyasyon ve radyasyonun maddeyle etkileşmesi

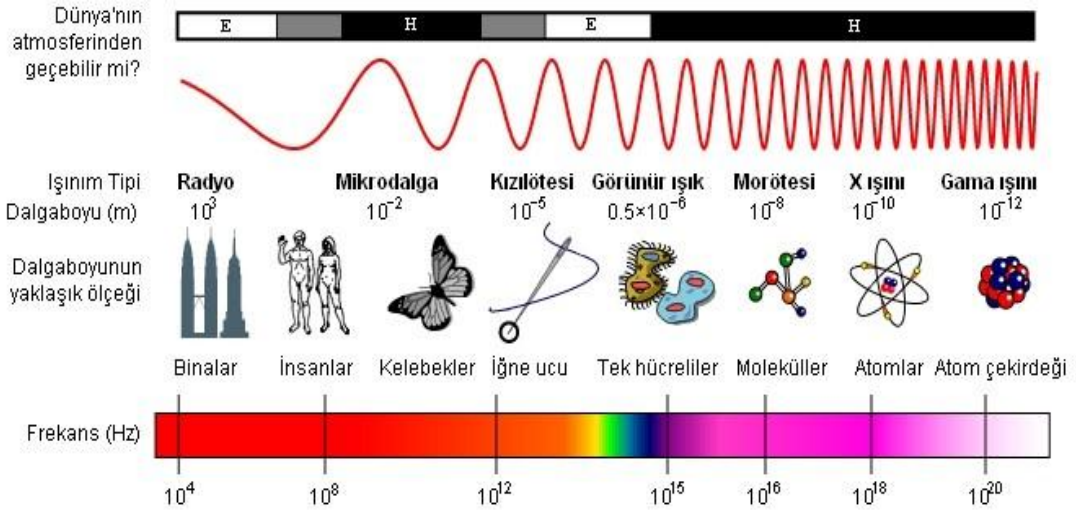
Radyasyon, enerjisine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan; kütlesine göre tanecik ve dalga karakterinde radyasyon olarak gruplandırılabilir.

Bunun dışında kaynağına göre doğal ve yapay radyasyon olarak da iki ayrı grupta toplanır (Çizelge 2.2.).

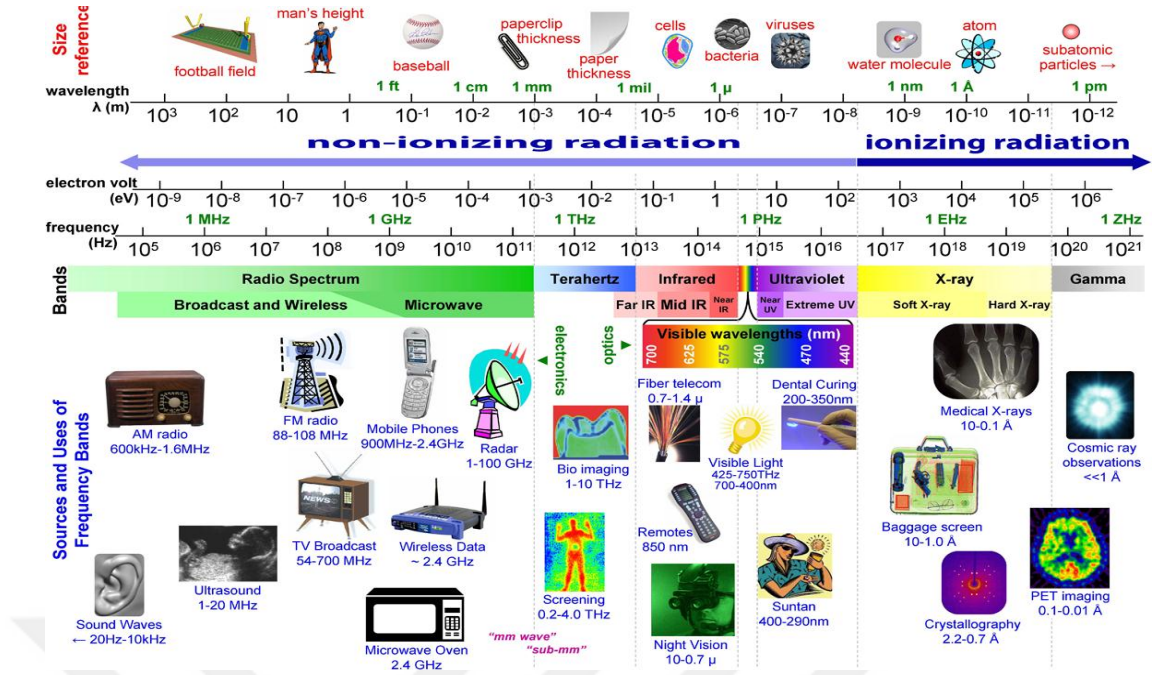
Çizelge 2.2. Radyasyon çeşitleri



Bir atomdan bir elektron koparırsa atom, pozitif yüklü iyon, bir elektron verilirse negatif yüklü iyonla dönüşür. Atomdan elektron koparılmasına yetecek kadar yüksek enerjili radyasyon, atom veya moleküllerde iyonlaşmaya neden olduğundan iyonlaştırıcı radyasyon adını alır. Parçacık karakterindeki alfa ve beta ışınları iyonlaştırıcı radyasyon sınıfına girer. UV bölgesinden daha yüksek frekans bölgesinde bulunan elektromanyetik radyasyon (EM), etkileşime girdiği atomun yörüngelerinden elektron koparabilmek için yeterli enerjiye sahip olduğundan iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon sınıfındadır.



Şekil 2.5. İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon



Şekil 2.6. Elektromanyetik radyasyon spektrumu (Anonim1, 2016)

Tanecik veya dalga karakterindeki radyasyonun tanımlanması sadece maddeyle etkileşmelerinden yararlanılarak yapılabilir. Radyasyon madde içinden geçerken maddeyi oluşturan atomlarla etkileşir. Radyasyonun maddeyle etkileşimi uyurma veya iyonlaşmaya neden olur. Ancak radyasyonun tip ve enerjisine bağlı olarak arada farklı basamaklar da oluşabilir.

### 2.2.3.1. Yüklü ağır parçacıklar ve alfa ışınlarının maddeyle etkileşmesi

Radyasyonun maddeyle etkileşmesi, iki bilye gibi çarpışması anlamına gelmez. Yüklü taneciklerde etkileşim büyük ölçüde Coulomb etkileşmesi şeklinde olur ve yüklü parçacık çekirdek merkezinden  $10^{-5}$  cm uzaklıkta iken etkileşime girebilir. Alfa, trityum, döteryum gibi yüklü, ağır parçacıklar madde içinden geçerken parçacığın yük ve kütlesine bağlı olarak enerjilerini kaybeder.

Alfa parçacıkları 2 elektronunu kaybetmiş He atomu çekirdeği olup maddeyle etkileşimlerinde enerjilerini atom elektronlarına aktararak esnek ve esnek olmayan çarpışma yapar. Bu çarpışmalar sonucunda atom veya moleküllerde iyonlaşma, uyurma ve gaz moleküllerinin parçalanmasına neden olarak enerjilerini kaybeder.

Yüksek iyonlaştırıcı özellikleri nedeniyle maddeyle çok fazla etkileşimlerinden gircilikleri azdır. Işının herhangi bir madde içinde alabileceği uzaklığa ulaşma uzaklığı veya menzil denir. Aynı enerjili alfa ışınlarının aynı madde içindeki menzilleri de aynıdır. **Lineer (Doğrusal) Enerji Transfer (LET) hızı:** Radyasyonun madde içinden geçerken yol boyunca enerji kaybetme hızıdır, keV/ $\mu$  (Çizelge 2.3.).

**Çizelge 2.3 Doğrusal enerji transfer hızı**

	Alfa enerjisi, MeV	15 <sup>0</sup> C, 760mm havadaki menzil, cm	Sudaki menzil, $\mu$	Suda LET, keV/ $\mu$
Ra-226	4,80	3,3	33	145
Po-210	5,30	3,8	38,9	136
Rn-222	5,49	4,0	41,1	134

#### 2.2.3.2. *Yüklü hafif parçacıklar ve beta ışınlarının maddeyle etkileşmesi*

$\beta^-$ 'lerin maddeyle etkileşiminin önemi büyük ölçüde gelen taneciğin enerjisine ve soğurucu madde özelliklerine bağlıdır.  $\beta^-$ 'ler da madde içinden geçerken diğer yüklü parçacıklar gibi etkileşime girdikleri maddede iyonlaşma ve uyarılmaya neden olur.  $\beta^-$  enerjisini önemli ölçüde kaybederek tamamen yavaşlayınca madde içindeki elektron popülasyonuna katılır,

$\beta^+$  ışınlarının davranışları da  $\beta^-$  ışınlarına benzer ancak  $\beta^+$  ışınları ortamda bol miktarda bulunan elektronlarla birleşerek annihilasyon olayı sonucu parçacık özelliklerini yitirerek elektromanyetik dalgaya dönüşür.

Yaptıkları ilk çarpışmada enerjilerinin büyük kısmını kaybederek yollarından sapmaları nedeniyle  $\beta^-$ 'lerin herhangi bir madde içindeki yolları doğrusal değildir ve kesin bir menzilleri yoktur. Başlangıçta monoenerjetik olan bir elektron demeti, madde içinde saçılma ve enerji kaybı nedeniyle monoenerjetikliğini kaybeder.

Elektronun enerjisi arttıkça menzili de artar ancak kesin, belli bir ulaşma uzaklıkları yoktur.

### 2.2.3.3. Nötronların maddeyle etkileşmesi

Nötronlar serbest haldeyken kararlı değildirler. Çekirdek tarafından yakalanınca ortalama 13 dakikalık bir yarı ömürle elektron ve protona bozunarak ani tepkime verirler. Nötronlar yüksüz olduklarından kütleleri yaklaşık olmasına rağmen madde içinden geçerken protonlardan çok farklı davranır. Coulomb kuvvetlerinden etkilenmediklerinden madde içinde doğrudan iyonlaşmaya neden olmazlar. Nötronlar atomun elektronları ile çok zayıf etkileşir ve bu çarpışma etkileşimlerinde önemli bir momentum aktarımı olmaz. Hızlı ve yavaş nötronların madde içindeki davranışları farklıdır. Hızlı nötronlar madde tarafından soğurulabilir, tanecik yayımına neden olarak çekirdeği uyarılmış durumda bırakarak daha düşük enerjiyle yoluna devam edebilir. Yavaş nötronlarda ise sadece nötron yakalanması-soğurulması, ardından gama yayılması olur. Nötronlar enerjilerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Çizelge 2.4.).

**Çizelge 2.4. Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması**

Soğuk Nötronlar	0 – 0,01eV
Termal Nötronlar	0,025eV
Sıcak Nötronlar	0,01 – 0,3eV
Yavaş Nötronlar	0-1000 eV
Rezonans Nötronlar	1 – 100eV
Epitermal Nötronlar	300eV – 10keV
Hızlı Nötronlar	10keV – 10MeV
Göreceli Nötronlar	>10MeV

#### 2.2.3.4. Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşmesi

Gama ışınması, alfa veya beta ışınlarının yayılmasından sonra uyarılmış halde kalan çekirdeğin kararlı hale dönmesi sırasında üzerinde bulunan fazla enerjisini dalga karakterinde yayması olayıdır. Gama ışınları elektromanyetik dalgalar halinde olup dalga boyları,  $\lambda \cong 10^{-10}$  cm'dir. Yüksüz olduklarından elektriksel ve manyetik alanda sapmazlar.

X-ışınları da gama ışınları gibi elektromanyetik dalga karakterindedir ancak X-ışınları atomik elektronların uyarılmasından yani çekirdek dışında olan olaylardan; gama ışınları ise çekirdekten kaynaklanır. Gama ışınları daha yüksek enerjili, daha giricidir.

Gama ışınları yüksüz olduklarından Coulomb etkileşimi yapmaz, maddenin atomuyla çarpışma yaparlar. Bu çarpışmalar sırasında enerjilerinin bir kısmı veya tamamı ortam atomları (elektron-çekirdek) tarafından soğurulur veya saçılır. Gama ışınlarının madde ile etkileşiminin temeli, en önemli soğurulma ve saçılma olayları olan fotoelektrik, Compton saçılması ve çift oluşumudur.

**Fotoelektrik olayda** gama ışını tüm enerjisini tek bir atomun iç yörüngesindeki bir elektrona aktarır. Enerjisi artan elektron orbitalden fırlatılır gama ışını da tamamen yok olur. Fotoelektronun fırlatılmasını takiben, bir üst yörüngedeki bir elektron boşluk bulunan alt yörüngeye geçer ve bu geçişle ilgili olarak karakteristik bir X-ışını yayımlanır. Bu nedenle de fotoelektrik olayı daima bir X-ışınması izler.

**Compton olayı** Orta enerjili fotonlar için geçerlidir. Gama ışını atomun en dış yörüngesindeki bir elektrona çarpar, enerjisinin bir kısmını bu elektrona aktararak elektronu yerinden fırlatır. Kendisi de azalmış enerjisiyle geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda yoluna devam ederek, yani saçılarak, yeni etkileşimler yapar.

**Çift oluşumu**, gama ışını enerjisinin 1022 keV'den büyük olduğu durumlarda atom çekirdeğinin yakınından geçerken çekirdeğin elektriksel alanın etkisiyle negatif ve pozitif yüklü parçacık karakterli elektron-pozitron çiftine dönüşür.

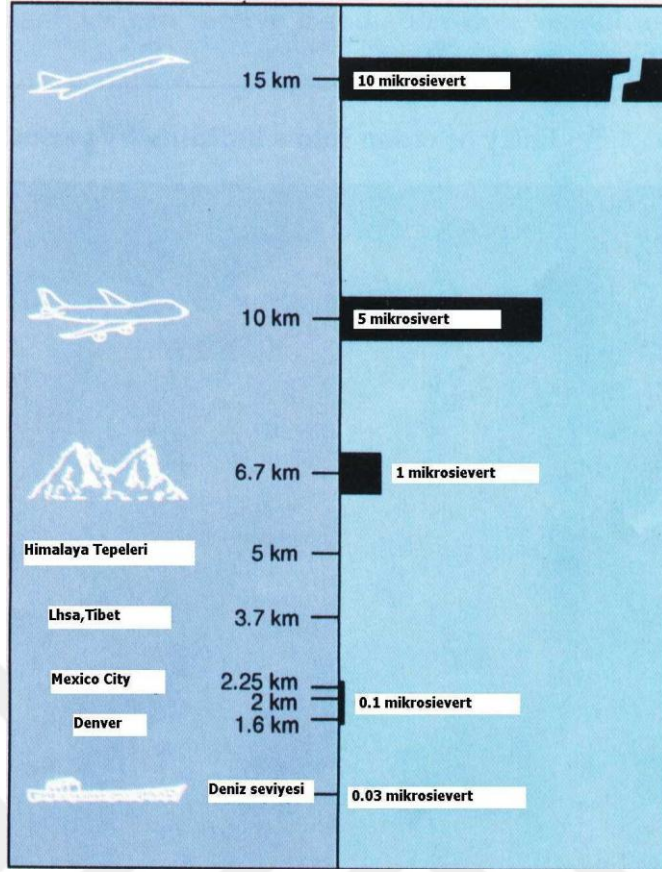
#### 2.2.4. Radyasyon kaynakları

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte doğada var olan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuştur. Son 50 yıldır nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bu doğal düzey önemli ölçüde artmıştır. Orijinlerine göre radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

##### 2.2.4.1. Doğal radyasyon kaynakları

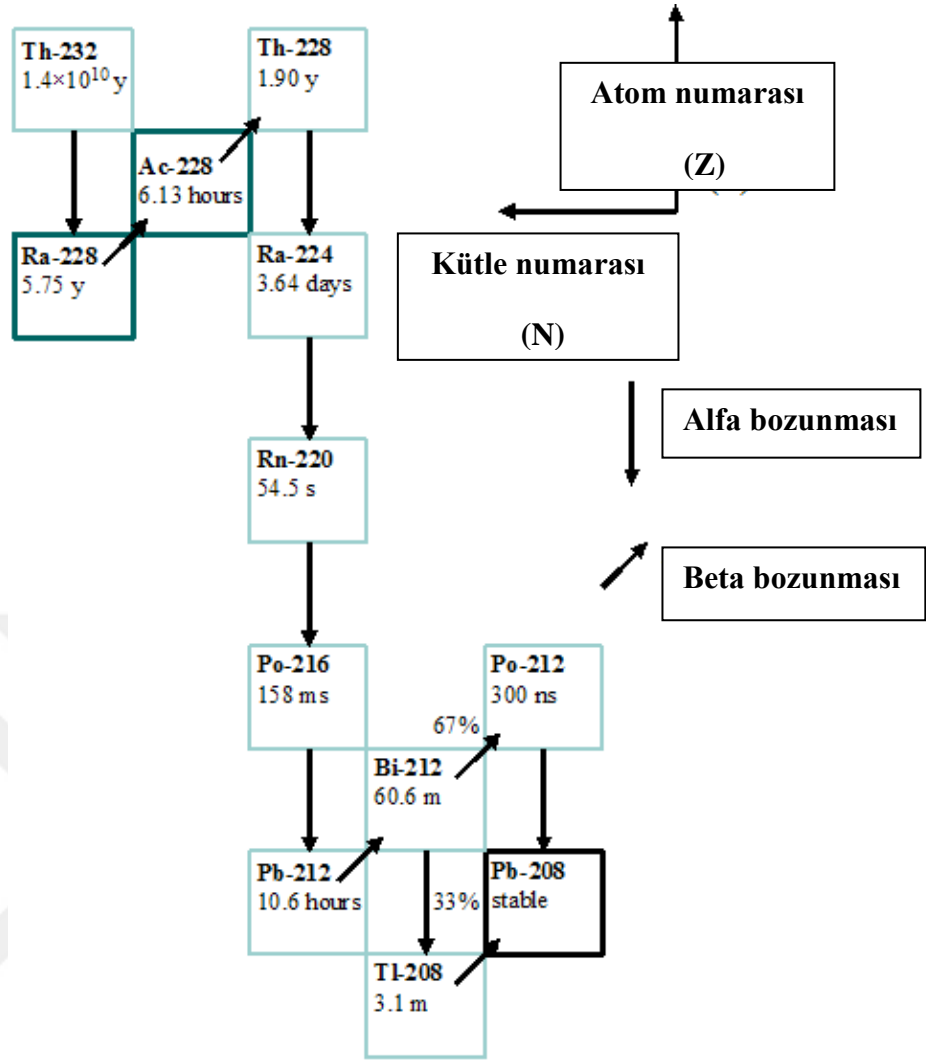
UNSCEAR raporuna (UNSCEAR-2000) göre doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık doz ortalaması 2.4 mSv'dir. Doğal radyasyon kaynakları da orijinlerine bağlı olarak karasal ve kozmik radyasyon olmak üzere iki grupta toplanır.

**Kozmik radyasyon**, güneş sisteminden gelen yüksek enerjili fotonların öncelikle atmosferin üst seviyesinde çok az olarak da yeryüzünde azot, oksijen ve argon ile nükleer tepkimeleri sonucu oluşan radyoizotoplardan kaynaklanır. Güneş sisteminden gelen yüksek enerjili primer kozmik ışınlar (foton veya muonlar) atmosferin üst tabakalarındaki atomlarla etkileşerek radyoaktif izotoplar ve gama ışınları meydana getirir. Bu kozmojenik radyoizotoplara örnek olarak Na-24, Mg-28, S-38, Cl-38, Cl-39, Ar-40 gibi kısa yarı ömürlü ve Be-7, H-3, C-14, Na-22, Kr-81 gibi daha uzun ömürlü izotoplar verilebilir. Kozmik ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulur, çok az bir oranı da yeryüzüne ulaşarak doğada birikir. Deniz seviyesinden yükseldikçe kozmik radyasyonun etkisi de artar. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kalınan ortalama radyasyon dozu 0.26 mSv/yıl dır.

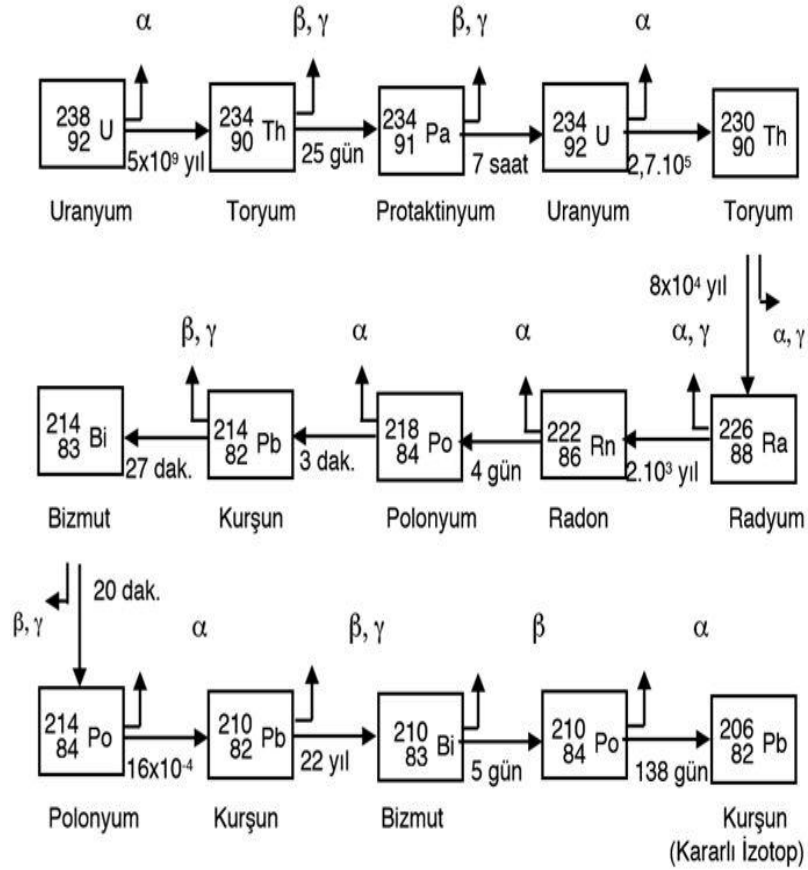


Şekil 2.7. Kozmik ışıklardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi

**Karasal Radyasyon**, evrenin oluşumu sırasında oluşan ve halen yerkürede var olan uzun yarı ömürlü radyoizotoplardan kaynaklanır. Yer kabuğundaki üç radyoaktif serinin ana izotopları olan U-235, U-238 ve Th-232 gibi radyoaktif izotoplar ve bozunma ürünleri olan radon, radyum, polonyum, plütonyum, talyum, aktinyum gibi elementlerin radyoizotoplarıdır. Bu radyoaktif serilerin ürünleri dışında K-40, Rb-87, La-138, Sm-147 ve Lu-176 izotoplar da karasal radyoizotoplardır.



Şekil 2.8. Th-232 Bozunma serisi



Şekil 2.9. U-238 Bozunma serisi

Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli etmenlerden biri yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra-226) bozunması sırasında salınan “radon gazı”dır. Bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken gaz halindeki radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Radon gazı, yayılmalar sonucu seyrelirse herhangi bir sorun oluşturmaz. Radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan yapılardaki zemin çatlakları, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat-boru boşlukları, duvar arası boşlukları radon gazının giriş noktalarıdır. İyi bir havalandırma sistemiyle binalarda radon gazının zararlı etkileri azaltılabilir ancak havalandırmanın yetersiz olduğu durumlarda binaların içindeki radon gazı derişimi dışarıdakinin yüzlerce kat fazlası olabilecektir. Radon gazı nedeniyle dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv/yıl’dır (TAEK, 2016).

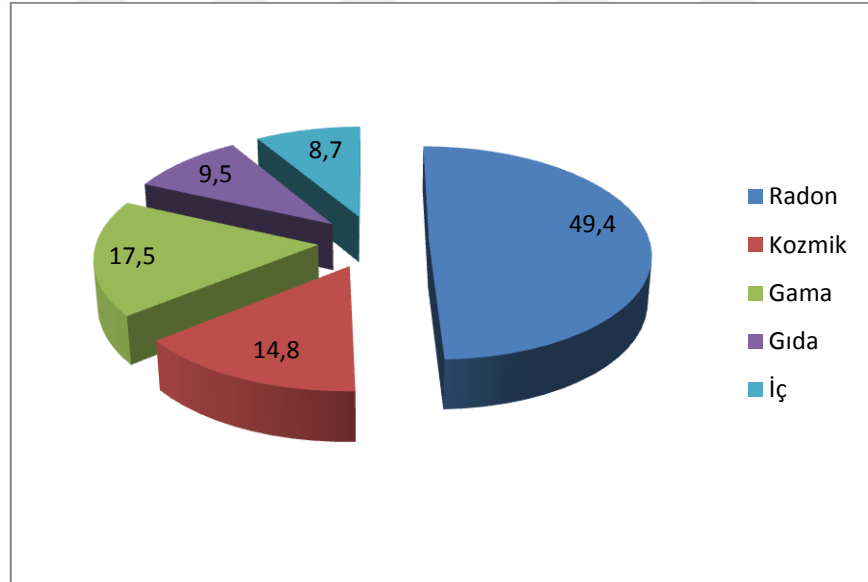
Doğada mevcut kısa ömürlü radyoizotopların yaydığı ışınların da katkısıyla topraktan maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46mSv/yıl'dır. Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi yoktur.

Teknolojik olarak zenginleştirilmiş doğal radyoizotoplar da yaşamımızda önemli yer tutar. Örnek olarak, fosfat yataklarından fosfat üretimi ve fosil yakıtların yanması sırasında zenginleştirilen doğal radyoizotoplar gösterilebilir. Fosil yakıtlar doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerir. Bu tür elementler yakıt içinde iken derişimleri düşük olduğundan radyoaktif tehlike yaratmaz.

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (K-40, C-14) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalınır. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kalınan iç radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv civarındadır (TAEK-2016).

Gıda maddeleri, su ve solunum yoluyla maruz kalınan dünya doz ortalaması ise yaklaşık 0.25 mSv/yıl'dır (TAEK, 2016).

Şekil 2.10.'da Doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir. Çizelge 2.5.'de değişik bölgelerde ölçülen doğal radyasyon seviyeleri verilmektedir.



Şekil 2.10. Doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları

**Çizelge 2.5. Değişik bölgelerde ölçülen doğal radyasyon seviyeleri**

Mersin (Akkuyu)	0,53 mSv/yıl
Ankara	0,44 mSv/yıl
Iğdır (Alican)	0,88 mSv/yıl
Çanakkale	1,23 mSv/yıl
Kars (Digor)	1,58 mSv/yıl
Hindistan (Kerela)	15,80 mSv/yıl
İran(Ramsar)	148,92 mSv/yıl
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788,40 mSv/yıl

#### 2.2.4.2. Yapay (antropojenik) radyasyon kaynakları

Teknolojik gelişiminin gereği olarak, gelişmiş endüstriyel ekonomiler ve yüksek yaşam standartları, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme gereğini doğurmuştur. Bu kaynaklar, bazı sorunların çözümünün daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir.

Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olur. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir. Bilinen başlıca yapay radyoaktif izotoplar U-236, Np-237, Pu-239-240, Am-241, Sr-90, Tc-99, I-129, Cs-137, Tl-210, Co-60, I-131..vb'dir.

Radyasyonun teşhis ve tedavi amaçlı tıbbi uygulamaları en çok radyasyon dozuna maruz kalınan yapay radyasyon kaynağını oluşturur. Üniversite ve araştırma merkezlerinde radyofarmasotik çalışmalarda da yapay radyoizotoplar araştırma amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tıbbi uygulamalar sonucu maruz kalınan yıllık ortalama radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.3 mSv'tir.

Radyoaktif izotoplar ve radyasyon endüstriyel alanda da tahribatsız testler, seviye ve yoğunluk ölçümü ve araştırma amaçlı olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılır.

Örneğin, X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamları vs.) herhangi bir çatlak-hata içerip içermediği tespit edilebilir. Bu işlemler X ışını üreten veya gama yayıcı radyoizotop içeren cihazlarla yapılmakta olup radyografi olarak da adlandırılır. Radyografi çalışmalarının yanısıra yine birçok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kağıt, plastik, çimento, şeker, vs.) üretim aşamasındaki seviye, nem, homojenlik ve yoğunluk ölçümleri radyoaktif izotoplar kullanılarak yapılmaktadır. Akarsularda debi ölçümü, barajlarda su kaçaklarının tespiti, yeraltı sularının hareketlerinin takibi gibi diğer endüstriyel uygulamalar da radyoaktif izotoplar sayesinde hem daha ucuz hem de kolay bir şekilde yapılmaktadır.

Tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin özel tesislerde radyasyonla sterilizasyonu, klasik sterilizasyon yöntemleriyle kıyaslanmayacak derecede başarılı ve çok daha güvenilir olarak gerçekleştirilmektedir. Yine benzer tesislerde yapılan ışınlamalar ile gıda maddelerinin daha uzun süre dayanmaları sağlanmaktadır.

Radyasyonun tarım ve hayvancılık alanlarında kullanılması da oldukça yaygın bir uygulamadır. Örneğin, radyasyondan yardımıyla mutasyona uğratarak ıslah edilen tohumlar daha verimli ve dayanıklı hale getirilir.

Bunun dışında nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler de yapay radyasyon kaynağıdır. Televizyon, duman dedektörü, fosforlu saatler, paratonerler gibi bazı tüketici ürünleri de az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içerir. Bu tür kaynaklardan maruz kalınan yıllık dozun dünya ortalaması 0,0005 mSv'tir.

Radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun %88'i doğal, %12'si yapay radyasyon kaynaklarıdır. Çizelge 2.6.'de yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.6. Yapay radyasyon kaynaklarının doz oranları (TAEK, 2016)**

Tıbbi uygulamalar	% 97
Radyoaktif serpinti	% 2,25
Tüketici ürünleri	% 0,64
Mesleki	% 0,32
Nükleer santraller	% 0,16

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun (mSv), radyasyon kaynaklarına göre dağılımı ise ( çizelge 2.7 .) da gösterilmiştir

**Çizelge 2.7. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon doz değerleri (mSv) (TAEK, 2016)**

Kozmik	0,39	Serpinti	0,007
Gama	0,46	Mesleki	0,002
İç	0,23	Atıklar	0,001
Radon	1,30	Tüketici Ürünleri	0,0005
Tıbbi	0,30		

**Çizelge 2.8.Günlük hayatta radyasyon(Anonim2, 2016)**

Radyasyon kaynağı	Miktar	Süre	Karşılaştırma
Pilot ve uçuş personeli	9 mSv	Bir yılda	180 katı
Bilgisayarlı tomografi	1,1 mSv	Tek seferde	55 katı
Günde 1 paket sigara içme	0,2 mSv	Bir yılda	4 katı
Göğüs röntgeni çekirmek	0,06 mSv	Tek seferde	Aynı
Nükleer santral çevresi	<0,05 msv	Bir yılda	

#### 2.2.4.3. Uranyum

Karasal doğal radyoaktif elementler içinde en önemlisi olan uranyum 1789 yılında Martin Heinrich Klaaproth tarafından keşfedilmiş ve 1896 yılında Mendelejev'in çalışmaları sonucunda da tüm izotoplarının radyoaktif olduğu kanıtlanmıştır. Doğal uranyum elementinde U-238 izotopunun bulunma oranı %99,28; U-235 izotopunun bulunma oranı da %0,72'dir. Gerek silah gerekse barışçıl amaçlarla nükleer enerjisinden yararlanmak için U-235 kullanılması durumunda %0,72 oranının artırılması gerekir. Bu işleme uranyumun zenginleştirilmesi denir.

**Az** zenginleştirilmiş uranyumda U-235 derişimi oranı %0,9 - %2,0 olup ağır su (döteryum) ile çalışan güç ve araştırma reaktörlerde kullanılır.

**Orta** zenginleştirilmiş uranyumda U-235 derişimi oranı %2 - %20 olup normal su ile çalışan güç ve araştırma reaktörlerinde kullanılır

**Yüksek** zenginleştirilmiş uranyumda U-235 derişimi oranı %20 ve üzeri olup nükleer silahlarda (%85 ve üzeri derişimlerde), uçak gemisi ve denizaltı reaktörlerinde kullanılır.

## **2.2.5.Radyoaktif kirlilik ve radyasyonun etkileri**

### *2.2.5.1. Radyoaktif kirlenme*

Radyoaktif veya radyolojik kirlenme katı, sıvı veya gaz ortamlarda (insan vücudu dahil), varlığının bulunması amaçlanmayan yerlerde radyoaktif maddelerin bulunması ya da bu duruma sebebiyet veren süreçtir. Radyoaktif maddenin bir yüzey veya yüzeydeki bir birimde etkinliğini ifade etmek amacıyla da kullanılır. Nükleer tepkimeler sonucu oluşan ve radyoaktif madde içeren esas veya yan ürünlerin çevre ve yerleşim alanlarını etkilemesi sonucu radyoaktif kirlilik oluşur. Radyoaktif kirlenmenin başlıca kaynakları nükleer enerji santralleri, nükleer silâh üretim tesisleri, yakıt yeniden işleme tesisleri, nükleer denemeler, radyoaktif madde ve malzeme artıklarıdır. Radyoaktif maddeler hava, su, toprak, bitki besin zinciri yoluyla ve et, balık, süt, vb. gibi hayvansal ürünler yoluyla veya doğrudan insan ve diğer canlılara taşınabilir. Nükleer tepkimeler sonucu oluşan radyoaktif ürünlerin zararlı bileşenleri yeterli titizlikte etkisizleştirilmezse çevresel kirlenmeye neden olabilir.

Radyasyonun bir atomun elektronunu kopararak atomu iyonlaştıracak kadar güçlü bir enerji taşıması, iyonlaştırıcı radyasyonunun etkilerinin daha zararlı olacağı anlamına gelir. İyonlaştırıcı radyasyon canlı bir organizmanın vücuduna girse vücutta bulunan atom veya molekülleri iyonlaştırır. Bu durum, vücutta hayati fonksiyonu olan bileşenlerle etkileşime girebilecek miktarda iyon ve serbest radikal oluşumuna sebep olduğundan bu bölgelerde yeni bileşenler oluşarak bazı hayati fonksiyonlar etkisiz hale gelebilir.

### *2.2.5.2. İyonlaştırıcı radyasyonun çevresel etkileri*

Radyoaktif maddeler toprağa karışınca, topraktan yetişen bitkilere de geçerek bitkide genetik mutasyona neden olabilir. Sonuç olarak radyoaktif kirlenmiş bir bitkinin tüketilmesi sağlık sorunları yaratabilir. Bitkiler besin zincirinin en alt tabakasında olduğundan kirlenmeleri tüm besin ağında radyoaktif kirliliğe yol açabilir. Benzer şekilde radyoaktif bulaşma bir su kaynağında olursa, su ile etkileşimde bulunan tüm ürünler de radyoaktiviteden etkilenebilir. İnsanlar besin

zincirinin en üstünde bulunduğundan en büyük zararı insanın görmesi söz konusu olabilir.

### *2.2.5.3. İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkileri*

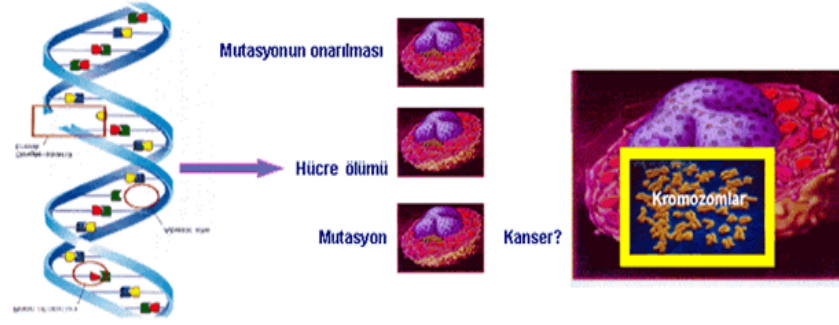
Bilim insanları 70 yıldan fazla bir süredir, radyasyonun insan sağlığına etkileri üzerinde çalışmaktadır. Bu çalışmaların deneysel ortamı olmadığından tıbbi ve endüstriyel uygulamalar, radyasyon ve nükleer kazalar, Hiroşima ile Nagazaki'ye atılan atom bombalarından maruz kalınan radyasyonun etkileri araştırılarak sonuç çıkarılmaya çalışılmaktadır. Bunların yanısıra denek olarak kullanılan hayvanlar üzerindeki çalışmalarla da radyasyon etkileriyle ilgili araştırmalar yapılmaktadır.

Radyoaktif kirliliğin insanlar üzerindeki etkileri hafif düzeyden ölümcül düzeye kadar geniş bir yelpazede derecelendirilebilir. Etkinin büyüklüğü radyasyona maruz kalma süresi ve radyasyonun enerji ve şiddetine göre değişir. Düşük radyasyon seviyelerinde bölgesel maruz kalma sonucu yüzeysel bir etki ile cilt tahrişi olabileceği gibi uzun süreli ve yüksek dozda radyasyona maruz kalma durumlarında çok daha ciddi sağlık sorunlar ortaya çıkabilir.

#### *2.2.5.3.1. İyonlaştırıcı radyasyonun hücre ile etkileşmesi*

Tüm canlılar organlardan, organlar dokulardan ve dokular da biyolojik sistemin temel yapı taşı olan hücrelerden meydana gelir. Hücre kabaca, bir çekirdek, çekirdeği çevreleyen jelimsi yapıdaki stoplazma ve en dışta bunları saran bir zardan oluşur. Çekirdeğin içinde hücre davranışlarıyla ilgili şifre bilgileri içeren ve görevi bunları bir sonraki nesillere değiştirmeden aktarmak olan kromozomlar bulunur. Kromozomlar, histon denilen proteinler ile DNA zincirlerinden oluşur. Hücrenin yapı ve işlevleri DNA tarafından kontrol edilir.

İyonlaştırıcı radyasyonun bir canlıda biyolojik bir etki yaratabilmesi için radyasyon enerjisinin hücre tarafından soğurularak hedef moleküllerde iyonlaşma ve uyarılmalar meydana getirmesi gerekir.



Şekil 2.11. Radyasyonun hücreye etkisi

#### 2.2.5.3.2. İyonlaştırıcı radyasyonun kromozoma verdiği hasarlar ve etki eden faktörler

İyonlaştırıcı radyasyonun hücre tarafından soğurularak hedef moleküllerde iyonlaştırma yapması, hücrenin genetik bilgilerini taşıyan DNA zincirlerinde kırılmalara ve hücre içerisinde kimyasal toksinlerin üremesine neden olabilir. Hasar çok büyük değilse DNAda meydana gelen kırılmalar, kırılmaların hemen ardından onarılabilir. Ancak hasarlı DNA düzgün onarılmadığı takdirde hücre, onarma sırasında bağlanma hataları nedeniyle, sağ kalabilir, zedelenebilir veya ölebilir. DNAnın radyasyondan etkilenme süreci saniyenin çok küçük bir diliminde gerçekleşeceği gibi yıllar da alabilir.

İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkileme mekanizması doğrudan ve dolaylı olabilir. **Doğrudan etkileme**, iyonlaştırıcı radyasyonun DNA ile doğrudan etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan DNA hasarıdır. **Dolaylı etkileme** ise vücutta bulunan moleküllerin, özellikle de su moleküllerinin, iyonlaşması sonucu oluşan serbest radikallerin hücre molekülleri ile etkileşimi nedeniyle ortaya çıkan hasarlardır.

Radyasyonun ve ışınlanan hedef bölgenin özelliklerine bağlı olarak kromozomda farklı tipte hasarlar oluşabilir.

## **Radyasyonun Özelliklerine Bağlı Faktörler**

Hasarın büyüklüğüne etki eden en önemli özellik radyasyonun tür ve enerjisidir. Vücutta soğurulan herhangi iki radyasyon türünden enerjileri aynı ancak iyonlaştırma yeteneği daha fazla olanı veya iyonlaştırma yetenekleri aynı ancak enerjisi daha büyük olanı DNA 'da daha büyük hasar oluşturabilir.

Bir diğer önemli radyasyon özelliği de doz hızıdır. Eşit dozdaki radyasyonların yüksek doz hızlarında uygulanmasıyla oluşacak hasar, düşük doz hızlarında uygulanmasına oranla oluşacak hasardan daha büyük olacaktır. Örneğin 1 Gy'lik bir dozun bir saatte alınması sonucu oluşacak hasar, aynı dozun bir hafta boyunca alınması sonucu oluşacak hasardan büyük olacaktır.

Radyasyon dozuna maruz kalış süresi de hasarın büyüklüğüne etki eden faktörlerdendir. Radyasyon kaynağına maruz kalma süresi arttıkça etkilenme miktarı da artacaktır.

## **Hedefin Özelliklerine Bağlı Faktörler**

Farklı doku hücreleri radyasyona karşı farklı duyarlılık gösterir. Oksijen derişimi yüksek dokular ile sık bölünen, metabolik aktivitesi düşük ve bölünme safhasında olan hücrelerin radyasyona karşı duyarlılığı fazladır. Radyasyona maruz kalan bölge ve bölgenin büyüklüğü de biyolojik hasarı etkileyen önemli faktörlerdendir. Yaş, cinsiyet ve organizmanın sağlığı da radyasyondan etkilenmede öne çıkan faktörlerdendir.

### *2.2.5.3.3. İyonlaştırıcı radyasyonun deterministik ve stokastik etkileri*

İlerde bahsedilecek olan sınırların altında radyasyona maruz kalınması durumunda vücuttaki pek çok organ ve doku, önemli sayıda hücre kaybına rağmen, faaliyetlerini normal bir şekilde sürdürebilir. Çok yüksek radyasyon dozuna maruz kalınması durumunda hücre kaybı belli bir düzeyin üzerine çıkabilir ve organ veya dokularda, dolayısıyla ışınlanan kişilerde gözlenebilir hasarlar meydana gelebilir. Radyasyonun etkileri deterministik ve stokastik olarak iki grupta incelenebilir.

## **Deterministik Etkiler**

Etki eşiğini aşan ani doz almış kişilerde ortaya çıkan ve maruz kalınan doza bağlı olarak cilt yanıklarından ölüme kadar değişebilen hasarlara deterministik etkiler denir. Bu tür etkiler ancak doz ve doz hızının bir eşik değerini aşması durumunda meydana gelir. Etkinin şiddeti doz ve doz hızının artmasıyla artar. Örneğin, 5 Gy veya daha fazla dozun aniden alınması uygun tedavi yapılmadığı takdirde kemik iliği ve sindirim sistemi hasarları nedeniyle ölüme neden olabilir. 5 Gy'e kadar olan dozlarda uygun tedavi yapıldığı takdirde kişilerin hayatı kurtarılabilir. Ancak 50 Gy'lik doz alınması halinde tıbbi tedavi yapılsa bile ölüm kesinlikle gerçekleşir.

Tüm vücudun değil de vücudun belirli bir bölgesinin çok yüksek doz alması halinde ölüm olmasa da ışınlanan bölgede erken etkiler görülebilir. Örneğin cildin 5 Gy'lik dozu aniden alınması halinde ciltte bir hafta içinde eritem (kızarıklık) ortaya çıkar. Benzer dozun üreme organları tarafından alınması halinde kısırlık meydana gelebilir. Bazı durumlarda deterministik etkiler ışınlanmadan uzun bir süre sonra da ortaya çıkabilir. Bu etkiler genellikle öldürücü değildir ancak vücudun belirli kısımlarının fonksiyon kaybına veya bazı kötü olmayan değişikliklere neden olabilir. En iyi bilinen örnekleri gözde katarakt oluşması ve cilt hasarlarıdır. Bir defada erkeklerde 3,5-6 Gy, kadınlarda 2,5-6 Gy dozun alınması kısırlık yapması veya bir defada alınan 5 Gy dozun gözde katarakt yapması da radyasyonun deterministik etkilerine örnektir (TAEK 2016).

## **Stokastik (Tesadüfi) Etkiler**

Uzun süre düşük dozlara maruz kalınması durumunda ortaya çıkması olası etkilerdir. Etkinin ortaya çıkması için bir eşik değer söz konusu değildir. Stokastik etkilerin meydana gelme olasılığı doz ile artar. Ancak etkinin derecesi doz ile artmaz, doz hızının risk üzerinde az da olsa etkisi olabilir. Stokastik etkilerin, kanser için birkaç yıllık, kalıtsal etkiler için ise daha uzun sürebilecek belirtisiz geçen bir periyotları vardır. Düşük dozlar için stokastik etkilerin ortaya çıkması olasılığı yüksek doz almış kişilerle ilgili çalışmalar ve hayvan deneylerinin sonuçlarına dayanılarak tahmin

edilmektedir. Stokastik etkilere tek bir hücrede meydana gelen hasarlar neden olur. Maruz kalınan doz arttıkça daha fazla sayıda hücre hasar görebileceğinden stokastik etkilerin meydana gelme ihtimali de artabilir. Işınlanan kişinin etkilenen hücreleri nedeniyle çocuklarına genetik bilgilerin aktarılmasıyla ilgili kalıtsal bozukluklar da meydana gelebilir. Stokastik etkiler nedeniyle kanser olma olasılığı da artabilir ancak bu olasılığın saptanmasında belirsizlikler vardır. Radyasyonun sebep olabileceği kanseri, başka bir etmenin sebep olduğu kanserden ayırt etmek mümkün değildir. Düşük dozlara maruz kalmış kişilerde kanser ortaya çıkması halinde, bunun radyasyon nedeni ile olup olmadığını belirlemek mümkün değildir. Bunu ortaya koyacak somut veriler yoktur. Bu nedenle de radyasyonun sebep olduğu kanserle ilgili çalışmalar ancak ortalama doğal radyasyon seviyesinden çok daha fazla bir doza maruz kaldıkları tespit edilmiş kanserli hasta grupları üzerinde sürdürülebilir. Kişisel olarak maruz kaldıkları dozlar yaklaşık olarak tahmin edilebilen bu gruplardan elde edilen verilerle risk değerlendirmesi yapılması mümkün olabilir. Söz konusu bu gruplar atom bombasından sağ kalanları, tıbbi ışınlamaya maruz kalan hastaları, mesleği gereği ışınlananları, çevreye yayılan atıklardan etkilenenleri ve çok yüksek rakımlarda yaşayanları kapsamaktadır.

Birleşmiş Milletlerin radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir kuruluşu olan UNSCEAR (UNSCEAR, 2016), radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili mevcut verilere dayanarak radyasyon kaynaklı kanser için bazı risk tahminleri üretmiştir. Bu tahminlere göre, 1 Sv'lik (düşük LET değerli) akut doza maruz kalmış her yaşta ve her cinsiyetten insanların oluşturduğu bir grup için kanser nedeniyle ölüm riskinin erkeklerde %9 kadınlarda %13 olduğu belirtilmiştir. Kronik ışınlanmalar için bu tahminler %50 oranında azaltılabilir.

Stokastik etkilerle ilgili belirsizliklere bir yaklaşım getirmek için etkin doz birimi başına ölüm ihtimali katsayısı belirlenmiştir. Örneğin, 1 Sv'lik doz nedeniyle kanser olma olasılığı katsayısı  $5 \times 10^{-2}$  olarak kabul edilmiştir. Halkın her yıl almasına izin verilen doz düzeyinin 1 mSv olduğu düşünülürse, 1 mSv doz nedeniyle kanser olma olasılığı  $5/100\ 000$  yani  $5 \times 10^{-5}$ 'dir.

### **1/1000000 olasılıkla ölüme neden olan bazı risklerin karşılaştırılması**

- Nükleer tıp laboratuvarında 10 gün çalışmak
- Günde 1-4 adet sigara içmek
- Hava kirliliği olan bir yerde 2 gün geçirmek
- Arabayla 480 km yolculuk yapmak
- 1600 km uçak yolculuğu yapmak
- Sigara içilen bir ortamda 2 ay kalmak
- 30 kutu diyet içecek içmek (TAEK, 2016)

#### *2.2.5.3.4. Radyasyonun erken ve geç etkileri*

Radyasyonun hücre ile etkileşmesi sonucunda kromozomda meydana gelen hasarlar bedensel ve kalıtsal etkiler bir takım biyolojik etkilerin oluşmasına yol açabilir. Işınlanan kişinin kendi bedeninde meydana gelebilecek hasarlar bedensel etkiler, kendisinden sonraki nesillerde çıkabilecek hasarlar ise kalıtsal etkiler olarak adlandırılır. Bedensel ve kalıtsal etkiler de erken ve gecikmiş etkiler olarak iki farklı kategoride incelenebilir. Erken etkiler (akut ışınlanma etkileri), kısa bir süre içinde ve bir defada yüksek dozlara maruz kalınması sonucunda kısa bir zaman aralığında ortaya çıkabilecek hasarlardır. Gecikmiş etkiler (kronik ışınlanma etkileri) ise uzun süre, aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalınması sonucu ortaya çıkar.

#### **Radyasyonun Gecikmiş (Kronik Işınlanma) Etkileri**

Işınlanan kişinin etkilenen hücreleri nedeniyle çocuklarına genetik bilgilerin aktarılmasıyla kendilerinden sonraki nesillerinde kalıtsal bozukluklar meydana gelebilir.

Radyasyon, mizah dergileri ve bilimkurgu filmlerde sembolize edildiği gibi bir mutasyona asla neden olmaz. Radyasyonun neden olduğu genetik bozukluklar, diğer etmenlerin neden olduğu genetik bozukluklarla aynıdır. Yapılan araştırmalar sonucunda radyasyonun genetik bozukluk sayısını arttırdığı, ancak doğal olarak var olan genetik bozukluklardan farklı bir bozukluğun meydana gelmediği tespit edilmiştir (UNSCEAR, 2016).

**ICRP** verilerine göre radyasyon çalışanlarının 18-64 yaş arası 47 yıllık çalışma yaşamı boyunca yıllık **10, 20, 30 ve 50 mSv**'lik dozlara, halktan kişilerin ise ortalama 70 yıllık bir yaşam süresi boyunca toplam **0.5, 1, 1.4, ve 2.4 Sv**'lik dozlara maruz kalmaları halinde ortaya çıkabilecek sonuçlar Çizelge 2.9., Çizelge 2.10.'da ayrıca radyasyon çalışanları ve toplum üyesi kişiler için doz sınırları Çizelge 2.11'de sırasıyla özetlenmiştir (UNSCEAR, 2016).

**Çizelge 2.9. Radyasyon çalışanlarının ışınlama etkileri**

Yıllık Etkin Doz (mSv)	10	20	30	50
Yaklaşık Ömür Dozu (Sv)	0,5	1	1,4	2,4
Ölümlerle Sonuçlanma Olasılığı (%)	1,8	3,6	5,3	8,6
Ölümcül Olmayan Kansere Katkısı (%)	0,36	0,72	1,06	1,72
Kalıtımsal Etkilerin Katkısı (%)	0,36	0,72	1,06	1,72
<b>TOPLAM</b>	<b>2.5</b>	<b>5</b>	<b>7,4</b>	<b>12</b>
Ölüme Bağlı Ömür Kaybı (yıl)	13	13	13	13
18 Yaşından İtibaren Tahmini Ortalama Yaşam Süresi Kaybı (yıl)	0,2	0,5	0,7	1,1

**Çizelge 2.10. Halktan kişilerin ışınlama etkileri**

Yıllık Etkin Doz (mSv)	1	2	3	5
Yaklaşık Ömür Dozu (mSv)	70	140	210	350
Ölümlerle Sonuçlanma Olasılığı (%)	0,4	0,8	1,1	2
Ölümcül Olmayan Kansere Katkısı (%)	0,08	0,16	0,22	0,40
Kalıtımsal Etkilerin Katkısı (%)	0,11	0,21	0,29	0,53
<b>TOPLAM</b>	<b>0,59</b>	<b>1,17</b>	<b>1,61</b>	<b>2,93</b>
Ölüme Bağlı Ömür Kaybı (yıl)	13	13	13	13
Doğumdan İtibaren Tahmini Ortalama Yaşam Süresi Kaybı (yıl)	0,05	0,11	0,16	0,3

**Çizelge 2.11. Radyasyon çalışanları ve toplum üyesi kişiler için doz sınırları**

		Radyasyon Çalışanları	Halk
Etkin Doz Sınırı	Ardışık 5 yılın ortalaması	20 msv	1 mSv
	Herhangi bir yılda	50 mSv	5 mSv
Yıllık Organ Eşdeğer Doz Sınırı	Göz merceği	150 mSv	15 mSv
	Deri (cm <sup>2</sup> )	500 mSv	50 mSv
	Eller ve ayaklar	500 mSv	50 mSv
Hamile bir Radyasyon Çalışanının Abdomen (Karın) Eşdeğer Dozu		Hamileliğin bildirilmesinden sonra 2 mSv	-

### **Radyasyonun Erken (Akut Işınlanma) Etkileri**

Akut ışınlanma etkileri vücudun belli bir bölgesinin tamamının veya büyük bir kısmının kısa zamanda aşırı bir radyasyon dozuna maruz kalması durumunda ortaya çıkabilecek hasarlardır. Kişiden kişiye değişmekle birlikte genel olarak birkaç gün ile birkaç hafta içerisinde şiddetli hasar, hastalıklar ve hatta ölüm meydana gelebilir.

Akut ışınlanmalar bir kaza sonucu meydana gelen istem dışı ışınlanmalardır. Kazaların ana nedeni radyasyon kaynaklarının kaybedilmesi, çalınması veya başka bir yolla kontrol dışı kalmalarıdır. Literatüre göre 1945 ile 1997 yılları arasında dünya genelinde araştırma, tıp, nükleer ve diğer endüstriyel alanlarda radyasyon çalışanlarının yanısıra halktan kişileri de kapsayan 140'ı ölümcül (28'i Çernobil kurbanı) olmak üzere yüzlerce kişinin yaralandığı 137 radyasyon kazası meydana gelmiştir (TAEK, 2016).

Akut ışınlanmalar sonucu meydana gelebilecek etkiler de genel olarak, akut radyasyon sendromları (ARS) ve bölgesel radyasyon hasarları (BRH) olarak sınıflandırılır.

### **Akut Radyasyon Sendromları (ARS)**

Vücudun tamamının veya büyük bir bölümünün akut bir ışınlamaya maruz kalması sonucu ortaya çıkan ARS iyonlaştırıcı radyasyonun en önemli deterministik etkisidir. Gövdenin maruz kalabileceği 1 Sv veya daha az miktarlardaki radyasyon dozu fark

edilebilir ciddi bir hastalık belirtisi oluşturmaz. Doz arttıkça, ışınlamadan sonraki ilk birkaç saat içinde mide bulantısı, kusma, ishal, baş ağrısı, ateş, bilinç kaybı ve kan hücreleri sayısında azalma gibi belirtiler oluşabilir. İki veya üç hafta sonra saç dökülmesi, iştahsızlık, genel halsizlik, kendini kötü hissetme, iç kanama, yüksek ateş, katarakt ve erkeklerde geçici kısırlık gibi belirtiler de görülebilir. Tüm vücut, birkaç gün veya daha az bir süre 7 Sv'i aşan bir radyasyon dozuna maruz kalmışsa kan hücreleri üreten kemik ilikleri hasar görebilir, yeterli hücre üretemez duruma gelebilir. Ve büyük ihtimalle birkaç hafta içerisinde ölüm olayı gerçekleşebilir.

İşinlanmadan itibaren saat mertebesinden haftalar mertebesine kadar uzanan bir zaman dilimi boyunca, maruz kalınan dozun şiddetine de bağlı olarak başlangıç, gizlenme, kritik ve iyileşme (veya ölüm) evreleri vardır. İlk belirtilerin gözlemlendiği başlangıç evresi, ışınlamadan hemen sonraki ilk birkaç saati kapsar. Bu evrenin karakteristik belirtileri iştahsızlık, mide bulantısı ve kusmadır. Doza bağlı olarak 1-3 hafta arasında değişen gizlenme evresi görece belirtisizdir. Gizlenme evresini, belirtilerin ortaya çıktığı kritik evre izler. Kritik evrede kan değerlerinde önemli değişiklikler olur, mide ve barsaklarda hasar belirtileri belirginleşir. 20 Gy aşıldığında sinir ve damar sistemi sendromu ortaya çıkar ve bir iki gün içinde kan damarlarının büzülmesi veya genişlemesi sonucu dolaşım sistemi çökerek ölüme yol açacak şiddetli belirtiler ortaya çıkabilir.

Akut işinlanma etkileri ürkütücü gözükse de bir kaza sonucu meydana gelen yüksek dozlu işinlanmalar çok nadirdir. Radyasyona en fazla maruz kalan radyasyon çalışanlarının kontrollü olarak aldıkları düşük dozların bu tür etkileri yoktur. Ancak bu kişilerin uzunca bir süre içinde aralıklarla düşük dozlara maruz kalması yani kronik olarak işinlanması sonucu meydana gelebilecek etkiler yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bunun nedeni de doz düşük dahi olsa tekrarlanan işinlanmalarda organizmanın bir sonraki işinlamaya kadar hasarı onaramaması ve hasarın gittikçe artmasıdır. Kronik olarak işinlanan kişilerde yıllar sonra katarakt ve kanser vakaları görülebileceği gibi doğal ömür sürelerinde de bir kısalma söz konusu olabilir.

### **Bölgesel Radyasyon Hasarları (BRH)**

Vücudun belli bir bölgesinin, genellikle bir kaza sonucu, bir defada ve kısa sürede yüksek dozlara maruz kalması sonucu görülen etkilerdir. Bu tür kazalarda genellikle

el ve parmaklar, nadiren de vücudun diğer kısımları etkilenir. Bölgesel ışınlanmalar sonucu meydana gelen hasarlar, akut radyasyon sendromlarına göre daha sık karşılaşılan olaylardır. Hasarın şiddeti radyasyonun cinsine, enerjisine, doz şiddetine, maruz kalınan bölgeye ve bölgenin büyüklüğüne göre değişir. Çizelge 2.12.'de gama veya yüksek enerjili X ışınlarına maruz kalınması sonucu meydana gelebilecek bölgesel radyasyon hasarları gösterilmektedir.

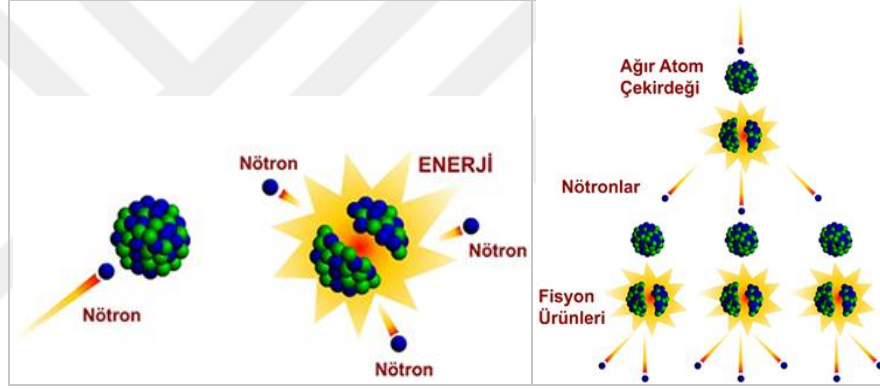
**Çizelge 2.12. Maruz kalınan doza bağlı olarak brh'larının klinik belirtileri ve başlangıç zamanları**

Safha/Belirti	Doz Aralığı (Gy)	Belirginleşme Zamanı (Gün)
Eritem	3-10	14-21
Epilasyon	>3	14-18
Kuru Deri Dökülmesi	8-12	25-30
Yaş Deri Dökülmesi	15-20	20-28
Su Kabarcığı Oluşumu	15-25	15-25
Ülser (Açık yaralar)	>20	14-21
Nekroz (Doku ölümü)	>25	>21

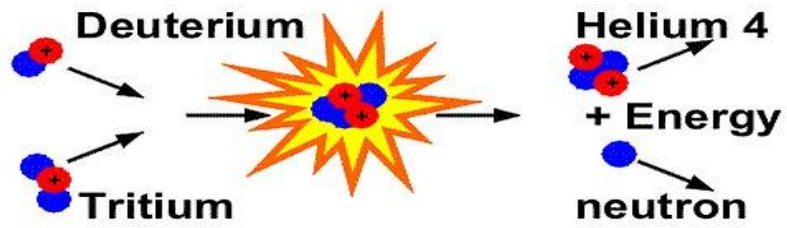
Hamilelikte radyasyon etkisi fetüsün gelişim evresine bağlıdır. Hamile kalındıktan itibaren 0-8 gün içindeki ışınlanmalar bebeğin doğum öncesi ölümüne, 8-56 gün içindeki ışınlanmalar bebeğin büyümesinin gecikmesine, 14-105 gün arasındaki ışınlanmalar bebekte nörolojik etkilerin (kafatası küçüklüğü, şiddetli zihinsel gerilik, akli eksiklik, felç) oluşmasına neden olabilir (TAEK 2016). Göz merceği de radyasyona karşı çok duyarlıdır. Bir defada maruz kalınacak 0,5-2 Sv arasındaki radyasyon dozu fark edilebilir saydamlık kaybına neden olabilirken 5 Sv'lik bir doz katarakt oluşumuna yol açabilir.

### 2.3. Nükleer Enerji

Ağır atom çekirdeklerinin daha küçük atomlara parçalanması olayına fisyon, hafif atom çekirdeklerinin çok yüksek sıcaklıkta kaynaşarak daha ağır atomları meydana getirdiği nükleer tepkimelere de füsyon tepkimesi denir. Fisyon ve füsyon tepkimeleri sonucunda ortaya çıkan büyük miktardaki enerjiye de nükleer enerji denir. Füsyon tepkimesi sonucunda açığa çıkan enerji fisyon tepkimelerinden daha fazladır. Nükleer santral ve atom bombası teknolojileri fisyon (Şekil 2.12.), güneş patlamaları füsyon (Şekil 2.13.) tepkimelerine dayanmaktadır.



Şekil 2.12. Parçalanma (fisyon) tepkimesi



Şekil 2.13. Kaynaşma (füsyon) tepkimesi

### 2.3.1. Nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımı

#### 2.3.1.1. Nükleer enerjinin tarihsel gelişimi

1896 yılında Fransız fizikçi Antoine Henri Becquerel, Marie ve Pierre Curie ile yaptıkları çalışmalarda uranyum içeren cevherin fotoğraf plakada kararmaya neden olduğunu gözleyerek bu kararmanın cevherden çıkan beta ve alfa ışınlarından kaynaklandığını göstermiştir. 1898 yılında Marie ve Pierre Curie Uranyum cevheri üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda uranyumun bozunma ürünü olan Polonyum ve Radyum elementlerini bulmuşlardır. 1905 yılında, Albert Einstein madde-enerji arasındaki  $E=mc^2$  eşitliğini açıklayarak maddenin enerjiye dönüşümüyle çok büyük miktarlarda enerji elde etmenin mümkün olabileceğini belirtmiştir. 1911 yılında Niels Bohr ve Ernest Rutherford atomun artı yüklü bir çekirdek ve etrafında dolaşan eksi yüklü elektronlardan oluştuğunu kanıtladılar. 1932 yılında İngiliz Fizikçi James Chadwick nötronu keşfetti. 1934 yılında Enrico Fermi, uranyum gibi ağır elementlerin nötronlarla bombalanmasıyla yüksek enerjili beta parçacıklarının yayıldığını bulmuştur.

1938'de Otto Hahn ve Fritz Strassman, aynı konuda yaptıkları deneylerle, nötron bombardımanı sonucunda beta parçacığı yayılmasına ek olarak uranyumdan daha hafif atomların oluşabileceğini de gözlemlemiştir. 1939 yılında Lise Meitner ve Otto Frisch, uranyum çekirdeğinin nötron yakaladıktan sonra çok kararsız olduğunu, kararsız olan bu çekirdeğin parçalanarak iki yeni çekirdeğe dönüştüğünü, bu dönüşüm sırasında oluşan yeni çekirdeklerin kütleleri toplamının ana çekirdeğe göre daha az olduğunu, aradaki kütle farkının enerjiye dönüştüğünü ispatladılar. Böylece Einstein'ın teorisi 33 yıl sonra doğrulanmış oldu. Daha sonra Hahn ve Strassman tarafından gerçekleştirilen deneylerde uranyumun nötron bombardımanına tutulmasıyla daha küçük atom numaralı yeni elementler ve enerji açığa çıkmasının yanı sıra kuramsal olarak ortalama 2,5 adet yeni nötron oluştuğu, oluşan bu nötronların başka uranyum atomlarıyla yeniden fisyon tepkimesine yol açabildiği bulunmuştur. 1939 yılında Niels Bohr, Einstein, Hahn, Strassman, Meitner ve Enrico Fermi ABD'de düzenlenen bir konferansta biraraya gelerek kontrollü bir ortamda kendini uzun bir süre aktif tutabilecek sürdürülebilir bir zincirleme tepkimesinin

olabileceğini ve bu tepkime sonucunda atomun çok büyük miktarda enerji açığa çıkararak bölünebileceğini açıkladılar. Uygun şekilde tasarlanan bir sistemde tepkime sonucu açığa çıkan nötronlar da kullanılarak parçalanma tepkimesinin sürekliliğinin sağlanabileceğini (zincirleme tepkime) ifade ettiler (Şekil 2.12 ). Bu tarihten itibaren de nükleer parçalanma ile ilgili çok sayıda çalışma başlamıştır.

Aynı yıl Albert Einstein, Amerikan Başkanı Franklin D. Roosevelt'e "Son 4 ay boyunca, Fransa'daki Joliot ve Amerika Birleşik Devletlerindeki Fermi ve Szilard'ın çalışmaları sonucunda büyük miktarda uranyum kullanarak bir zincirleme nükleer tepkime başlatmanın mümkün olabileceği görülmüştür. Bu durum bomba yapımı ile de sonuçlanabilir. Bu tip bir bomba bir liman üzerinde patlatılacak olursa, bütün limanı ve çevresindeki alanları yok edebilecek güçte olacaktır..." ifadelerini içeren bir mektup yazdı. Einstein mektubunda Franklin D. Roosevelt'i hiç vakit kaybetmeden bir nükleer program başlatmaya ikna etmeye çalıştı. Daha sonraki yıllarda Einstein bu mektupta nükleer silah yapımını ile ilgili söylediklerini, hayatta yaptığı en büyük hata, olarak nitelendirmiştir.

1941 yılında Enrico Fermi ve Leo Szilard olası bir uranyum reaktörünün tasarımını ortaya koydu. Bu tasarım grafit içine yerleştirilmiş uranyum ve kadmiyum kontrol çubuklarından oluşan kübik bir yapı şeklindeydi.1942 yılının Kasım ayında Fermi ve arkadaşları dünyanın ilk nükleer reaktörü Chicago-1'i Chicago Üniversitesi atletizm stadyumunda inşa ettiler. 2 Aralık 1942 tarihinde çalıştırılan reaktörde Fermi, kontrol çubuklarını birkaç saat boyunca çekili tutarak nükleer tepkimenin kendi-kendine sürdürülebilir hale geldiğini gösterdi. Böylece Fermi ve arkadaşları bilimsel teorilerini teknolojik olarak ispatlamış ve nükleer teknoloji kullanılmaya başlanmış oldu.1942 yılından itibaren fisyon ve nükleer enerji konusundaki çalışmalar nükleer silah yapımına odaklandı. ABD'de Manhattan Projesi altında nükleer-askeri amaçlı çalışmalar başlatıldı.

Savaşın sona ermesiyle Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı kuruldu ve 1950'lerin ortalarında en temel amaç nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanılması ve ticari amaçla elektrik üretilmesi oldu. Nükleer enerjiden elektrik üretilmesi ilk kez 20 Aralık 1951'de ABD Arco' da kurulan EBR-I nükleer santralinde gerçekleşti. Ticari amaçlı ilk nükleer santral ABD-Shippingport'da kurulan hafif su tipinde oldu ve tasarlanan güce 1957 tarihinde ulaşıldı. (Anonim3, 2016).

30 Mart 1953'te ilk nükleer denizaltı olan Nautilus hizmete girdi. 1954'de SSCB tarafından Obninsk'de küçük bir nükleer santral çalıştırılmaya başlandı. Bu yıllardan sonra diğer ülkelerde nükleer santral çalışmalarına hız vermiştir.

Günümüzde birçok ülkenin nükleer güç santrallerinden (NGS) vazgeçtiği doğru değildir. Bazı nedenlerle son yıllarda yeni yapılan NGS sayısı eski yıllara göre azalmış ancak tamamen durmamıştır. Bu olgunun nedenleri arasında, gelişmiş ülkelerin planlı gelişmesi, yoğun enerji kullanan ağır sanayinin başka ülkelere kaydırılması, doğalgazın enerji piyasasına girmesi ve anti nükleer lobilerin halkı kışkırtması sayılabilir.

Amerika ve Ukrayna'daki kazalar nedeniyle 1990'lı yıllardan sonra dünyanın nükleer enerjiden vazgeçtiği söylene de asıl etken dünya ekonomisindeki yavaşlama ve doğalgazın enerji piyasasına girmesidir. Ünelere göre nükleer güç santralleri dağılımı Çizelge 2.13.'de görülmektedir.

**Çizelge 2.13. Nükleer güç santralleri (Anonim4, 2016)**

Ülkeler	Nükleer Elektrik Üretimi		İşletmedeki Santraller		İnşa Halindeki Santraller		Planlanan Santraller	
	Milyar kWsa	%	Adet	MWe	Adet	MWe	Adet	MWe
ABD	796,7	20,2	104	100683	1	1165	9	11800
Almanya	127,7	28,6	17	20490	0	0	0	0
Arjantin	7,6	7	2	935	1	692	0	0
BAE	0	0	0	0	0	0	4	5600
Belçika	44,9	51,7	7	5934	0	0	0	0
Beyaz Rusya	0	0	0	0	0	0	2	2000
Brezilya	12,9	2,9	2	1884	1	1245	3	3300
Bulgaristan	15,3	35,9	2	1906	2	1906	0	0
Çek Cum.	25,7	33,8	6	3678	0	0	2	2400
Çin	70,1	1,9	12	9438	23	23620	33	36910
Endonezya	0	0	0	0	0	0	2	2000
Ermenistan	2,3	44,9	1	375	0	0	1	1060
Finlandiya	22,6	32,9	4	2696	1	1600	0	0

Fransa	390	75,2	58	63130	1	1600	1	1630
G.Afrika	11,6	4,8	2	1800	0	0	3	3565
Hindistan	14,7	2,2	19	4189	4	2506	20	16740
Hollanda	4	3,7	1	487	0	0	0	0
İngiltere	62,9	17,9	19	10137	0	0	4	6600
İran	0	0	0	0	1	915	2	1900
İspanya	50,5	17,5	8	7516	0	0	0	0
İsveç	50	37,4	10	9303	0	0	0	0
İsviçre	26,3	39,5	5	3238	0	0	0	0
Japonya	263,1	29,2	54	46823	2	2650	12	1532
Kanada	85,3	14,8	18	12569	0	0	4	4400
Kazakistan	0	0	0	0	0	0	2	600
Kore (Güney)	141,1	34,8	20	17705	6	6520	6	8190
Kore (Kuzey)	0	0	0	0	0	0	1	950
Litvanya	10	76,2	0	0	0	0	0	0
Macaristan	14,6	42,9	4	1889	0	0	0	0
Meksika	10,1	4,8	2	1300	0	0	0	0
Mısır	0	0	0	0	0	0	1	1000
Pakistan	2,6	2,7	2	425	1	300	2	600
Romanya	10,8	20,6	2	1300	0	0	2	1310
Rusya	153	17,8	32	22693	11	9153	14	16000
Slovakya	13,1	53,5	4	1762	2	782	0	0
Slovenya	5,5	37,8	1	666	0	0	0	0
Tayland	0	0	0	0	0	0	2	2000
Tayvan (Çin)			6	4980	2	2600	0	0
Ukrayna	77,8	48,6	15	13107	2	1900	2	1900
Vietnam	0	0	0	0	0	0	4	4000
Toplam	2522,8	21,04	439	373038	61	59 154	135	149687

Çizelgede 2.13.'ün incelenmesinden Kanada, Çin, Hindistan, Japonya, Güney Kore, Brezilya ve Rusya Federasyonu gibi ülkelerin yüksek sayıda NGS'yi yapmakta ya da yapmayı planladıkları anlaşılmaktadır.

### 2.3.1.2. Nükleer enerjinin türkiye'deki tarihçesi

1955 yılında Atom Enerjisinin Barışçıl Amaçlarla Kullanılması amacıyla toplanan 1.Cenevre Konferansından sonra Türkiye'de de 1956 yılında Başbakanlığa bağlı Atom Enerjisi Komisyonu kuruldu. Türkiye 1957'de Birleşmiş Milletlerin bir kuruluşu olan Uluslararası Atom enerjisi Ajansı'nın üyesi oldu. 1962'de İstanbul'da Küçükçekmece gölü kıyısında kurulan 1 MW'lık TR-1 araştırma reaktörüyle Türkiye de nükleer alandaki çalışmalara katıldı ancak elektrik üretimi amacıyla kurulması tasarlanan nükleer santrallerle ilgili ilk etütler 1967-1970 yılları arasında yapılabildi. 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumunun (TEK) kurulmasının ardından 1972 yılı başında TEK'e bağlı olarak Nükleer Santraller Dairesi kuruldu.

11 Mart 1979'da "Training Research Isotope Production General Atomic" sözcüklerinin baş harflerinden adını alan İTÜ TRIGA MARK-II nükleer reaktörü işletmeye açıldı.

1984 yılında gücü 5 MW'a çıkarılarak TR-2 adını alan Çekmece TR-1 araştırma reaktöründe radyoizotop üretimi ve çekirdek fiziği-kimyası araştırma-çalışmaları yapılmaktadır.

Elektrik üretimi amacıyla Türkiye'de kurulması tasarlanan nükleer santrallerle ilgili olarak 1970'li yılların başlarında, nükleer santral sahası için fizibilite ve yer araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında, nükleer santralin maliyet/fayda açısından kurulabileceği en uygun yerler olarak; Mersin-Akkuyu, Sinop-İnceburun ve Kırklareli-İğneada sahaları belirlenmiştir. Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu 1976 yılında Akkuyu Sahası için "yer lisansı" vermiş, 1980 yılında da Türkiye, nükleer silah üretmeyeceği ve bunların yayılmasına aracı olmayacağını taahhüt ettiği anlaşmayı imzalamıştır.

1984 yılında OECD Nükleer Enerji Ajansına üye olan Türkiye'de 1986'da meydana gelen Çernobil nükleer santral kazasının yarattığı olumsuz ortam nedeniyle nükleer santrallerle ilgili çalışmalar askıya alınmış, 1988 yılında da TEK Nükleer Santraller Daire Başkanlığı kapatılmıştır

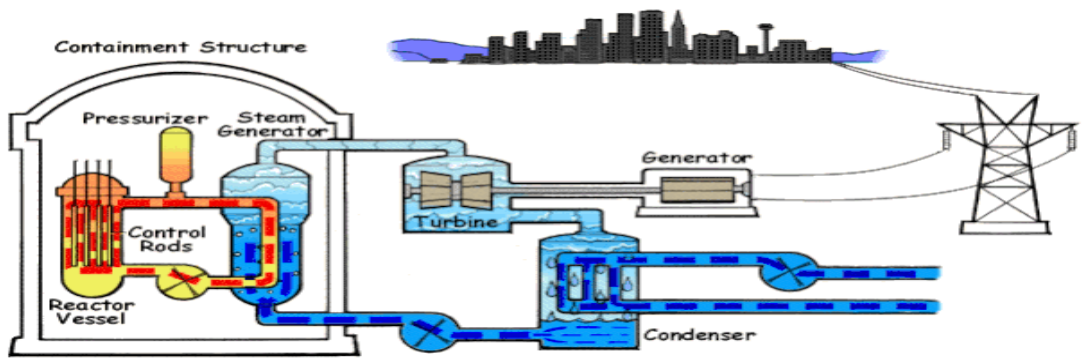
1990'ların sonuna doğru elektrik enerjisi üretmek üzere Nükleer güç santrali yapımı çalışmaları yeniden hız kazanmış ve Ocak-1993 tarihinde Akkuyu Nükleer Santrali Projesi Resmi Gazete'de yayınlanarak tekrar yatırım programına alınmıştır. Kasım 2004'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından inşasına 2007 yılında

başlanacak, toplam 5000 MWe'lik üç nükleer reaktör yapılacağını açıklanmış, 18 Mart 2008'de Enerji Bakanlığı tarafından hazırlanan Nükleer Güç Santrallerinin Kurulmasına dair yönetmelik Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Halen Mersin-Akkuyu'da ilk nükleer enerji santrali çalışmaları sürdürülmektedir. Sinop'ta da nükleer santral kurulmasına yönelik anlaşma da 2013 yılı içinde imzalanmış, 1 Nisan 2015 TBMM'den onay alınmıştır.

### 2.3.1.3. Nükleer reaktörler

Nükleer veya yakıt olarak kömür, doğalgaz kullanılan termik santraller, termodinamik açıdan aynı çalışma prensibine dayanır. Açığa çıkan ısı enerjisi kapalı döngüdeki su ile çekilerek elde edilen yüksek enerjili buhar türbinleri döndürür. Böylece elektrik enerjisine çevrilir. Santraller arasındaki fark kullanılan yakıt ve çıkan enerjinin büyüklüğüdür. Nükleer santralde çekirdek tepkimeleri sonucu çok yüksek miktarda ısı enerjisi açığa çıkarken termik santrallerde kimyasal tepkimelerden kaynaklanan ısı enerjisi çok daha düşüktür.

Bir nükleer santralde reaktörün kalbi, nükleer tepkimelerin gerçekleştiği ve nükleer enerjinin elde edildiği yerdir. Reaktör kalbinde, içerisinde uranyum (U-238, U-235) yakıt kapsülleri bulunan yakıt çubukları ve zincirleme fisyon tepkimesinin kontrollu olarak yürütülmesini sağlayan nötron tutucu kontrol çubukları bulunur. Yakıt çubuklarındaki uranyum izotoplarının zincirleme fisyon tepkimeleri sonucu ısı enerjisi üretilir (Şekil 2.14.).



Şekil 2.14. Basınçlı su reaktöründe elektrik üretimi

Nükleer reaktörlerle ilgili en önemli sorun kullanılmış radyoaktif yakıtların depolanmasıdır. 1000 MW'lık bir nükleer santralde yılda ortalama 25 ton kullanılmış atık yakıt çıkar. Reaktörlerde kullanılmış yakıt çubukları reaktörden çıkarıldıktan sonra santral alanında özel inşa edilmiş ve 50 yıllık atık yakıtı depolayabilecek kapasitedeki su havuzlarına bırakılır. Kısa yarı ömürlü radyoizotopların tükenmesinden sonra uzun yarı ömürlü kullanılmış yakıtlar havuzlardan alınarak yeniden işleme tesislerinde yeniden kazanılırlar. Yakıtların yeniden işlenemeyecek kısımları da su ve diğer çözücülerde çözünüp doğaya karışmalarını engellenmek amacıyla camlaştırılarak yerleşim yerlerinden uzakta hazırlanmış özel depolarda saklanır.

#### *2.3.1.4. Nükleer reaktör kazaları*

Uranyumdan oluşan nükleer santral yakıtının madenciliği, işlenmesi, santralde kullanılması ve atık haline geldikten sonra depolanması esnasında çevreye çok az miktarda radyoaktif madde salınır. Santralde kullanılan yakıt tipi ve yapılan işleme bağlı olarak katı, sıvı veya gaz halindeki bu salınımlardan maruz kalınan yıllık ortalama dozun dünya ortalaması 0,008 mSv'dir. Normal çalışma periyotlarında belli bir bölgesel kirliliğe neden olmayan nükleer santraller, meydana gelebilecek kazalar sonucunda çevreye radyoaktif madde salımına neden olabilir. Dünyada bugüne kadar önemli nükleer santral kazaları aşağıda verilmiştir.

**Windscale Kazası (İngiltere):** 05.10.1957'de gerçekleşen kazada kapalı sistem reaktörde kaçak tespit edilememiştir. Bu kaza nedeniyle yetişkinlerin maruz kaldığı radyasyon dozu 1 mSv civarında kalırken, bölgede yaşayan ve yetişkinlere göre daha fazla süt tüketen çocukların 6 mSv civarında radyasyon dozuna maruz kaldıkları tespit edilmiştir (TAEK 2016).

**Three Mile Island Kazası (ABD):** 28.03.1979'da Three Mile Island reaktöründe meydana gelen kazada kapalı sistem reaktörde kaçak tespit edilmemiştir. Bu kazada halkın maruz kaldığı en yüksek doz 1 mSv'i geçmemiştir (TAEK 2016)

**Chernobyl Kazası (Ukrayna):** 26.04.1986'da eski Sovyetler Birliği'ndeki Çernobil nükleer reaktöründe meydana gelen kaza, çevresel etkisi en fazla olan kazadır.

Ukrayna'nın bağı Pripyat bölgesinde bazı alanlarda 10000 yıl boyunca radyasyon etkisinin devam edeceği raporlanmıştır. Bu kazada salınan radyoaktif maddeler az veya çok, bütün kuzey yarım küreyi etkilemiştir. Reaktörü çevreleyen 30km'lik alan içerisinde yaşayanlar yüzlerce mSv'lik radyasyon dozuna maruz kalmış ve 100000'den fazla insan ilk üç hafta içerisinde bölgeden tahliye edilmiştir. Reaktörden çıkan radyoaktif bulut ülkemize de ulaşmış ve kazadan sonraki ilk yıl içinde ortalama olarak yetişkinler 0,5mSv, 0-1 yaş arası bebekler 0,147mSv'lik radyasyon dozuna maruz kalmıştır. Trakya bölgesinde Edirne ve civarı ile Doğu Karadenizin bazı kesimleri radyoaktif bulutun geçişi süresince fazla yağmur aldıklarından bu bölgede yaşayan yetişkinlerin 0,6mSv ve 0-1 yaş arası bebeklerin ise 0,350 mSv'lik ortalama radyasyon dozuna maruz kaldıkları tespit edilmiştir (TAEK. 2016).

**Fukushima Kazası (Japonya):** 11.03.2011'de Rihter ölçeğine göre 9,0'luk Tōhoku depremi ve tsunamisi sonrasında altı adet kaynayan su reaktörü bulunan Fukushima Santralinde kapalı sistem reaktörlerden atmosfer ve denize radyasyon sızması olmuştur. Uzmanların Çernobil felaketinden sonra en büyük ikinci nükleer kaza olarak niteledikleri kaza sırasında 3 reaktörün bakım nedeniyle kapalı olması zararın etkilerini azaltmıştır. Tsunami nedeniyle meydana gelen su baskınlarının yardımı zorlaştırdığı kazada 37 fiziksel yaralanma, 3 radyasyona maruz yaralanma ve 2 ölüm ile sonuçlanmış gözükse de etkileri halen devam etmektedir.

Bunun dışında nükleer santral kazası olmasa da SSCB'de 1946 da Ural dağlarının güneyinde kurulan **Mayak-Plütonyum Üretim Tesislerinde** 1949-1951 yılları arasında radyoaktif atıkların Techa nehrine sızdığı belirlenmiştir. 1956'da anlaşılıp, ortaya çıkarılan bu olay nedeniyle nehir kıyısında 50 km boyunca bulunan yerleşim yerleri boşaltılmıştır. İrmaktaki radyoaktif kirlenme çeşitli barajlarla kontrol altına alınmaya çalışıldıysa da yaklaşık 30.000 kişinin bu kirlenmeden etkilendiği sanılmaktadır. Bu konudaki çalışmalar bugün de sürmekte olup, özellikle düşük radyasyon dozu ile uzun süre yaşamının etkilerinin anlaşılması açısından buralardaki popülasyonla ilgili bilimsel çalışmalar önemli bir veri tabanı oluşturmaktadır.

### 2.3.2. Nükleer enerjinin barışçıl amaçlar dışında kullanılması

20. yüzyıl teknolojik ilerleme sonucu geliştirilen silahlar bakımından da önemlidir. Birkaç saat hatta bir an'da insanoğlunun tümünü yok edebilecek güçte nükleer silahların geliştirilmesi, medeniyet ve tehdit kavramlarını hiçbir noktada birbirine bu kadar yaklaştırmamıştır.

Ünlü fizikçi Albert Einstein Ağustos 1939'da ABD Başkanı Franklin D. Roosevelt'e bir mektup göndererek, Alman araştırmacılarının atom bombası üzerinde çalıştıkları uyarısını yapmasından sonra Roosevelt, atom bombasının askeri içeriğini, olabilecek etkilerini incelemek için özel komisyon kurdu. Aralık 1941'deki Pearl Harbor saldırısından sonra ABD II. Dünya Savaşına girmiş ve Eylül 1942'de de Almanlardan önce nükleer silah üretmek amacıyla Manhattan projesi hayata geçirmiş ve nükleer silahlanma yarışı başlamıştır (Vikipedi, 2016).

#### 2.3.2.1. Nükleer denemeler ve nükleer silahlanmanın kronolojisi

Atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler en önemli radyoaktif kirlilik kaynağıdır. Radyoaktif serpintilerden maruz kalınan yıllık ortalama dozun dünya ortalaması 0,007mSv'dir. Yer üstü ve yer altında yapılan bu tür denemeler bölgesel kirliliğe de neden olmuştur. Nükleer denemelerin yeraltında yarattığı sarsıntıların depremleri tetiklediği veya doğrudan neden olduğu da sanılmaktadır. Örneğin, 1997 yılında Fransa'nın Hint Okyanusu'ndaki Mercan Adalarında gerçekleştirdiği yeraltı nükleer denemelerinin ardından peş peşe çok sayıda yer sarsıntıları meydana gelmiştir. Yakın zamanda Afganistan'da meydana gelen depremlere de Hindistan'ın yaptığı nükleer denemelerin yol açtığı tartışılmaktadır (Vikipedi, 2016).

Dünyada ilk nükleer deneme ABD tarafından 16 Temmuz 1945'de Alamogadro'da (New Mexico) yapılmıştır. Bu deneme, ilk nükleer silah (Trinity) denemesi olup iç patlamalı plütinyum bomba kullanılmıştır. Trinity patlamasının gücü 20 kiloton TNT'nin oluşturduğu şiddete eşittir. Trinity patlamasından 0,016 saniye sonra görüntülenen mantar bulutunun en yüksek noktası yaklaşık 200m yüksekliğindedir. Bu denemeden birkaç hafta sonra Ağustos 1945'de Trinity ile aynı tipte tasarlanmış olan Fat Man ve Little Boy isimli bombalar üç gün arayla Japonya'da Hiroshima ve Nagasaki'ye atılmıştır. Hesaplama ve raporlara göre meydana gelen şiddetli patlama

ve oluşan esinti nedeniyle 110000 kişi hayatını hemen kaybetmiştir. Atom bombasının atılmasından birkaç gün sonra Japonya teslim olmuş ve II. Dünya Savaşı sona ermiştir.

ABD nükleer silah denemelerine 1 Temmuz 1946'da Able ve 25 Temmuz 1946'da da Baker denemeleri ile devam etmiştir. Sovyetler Birliği, Ağustos 1949'da ilk atom bombası denemesini Semipalatinsk poligonunda gerçekleştirerek Amerika'nın nükleer tekeli bitirmiş ve nükleer silahlanma yarışına katılmıştır. Eylül 1957'de Amerika Birleşik Devletleri, Las Vegas çölü yanında ilk yeraltı nükleer denemesini gerçekleştirmiştir. Eylül 1961'de nükleer saldırılardan korunmak için ilk sığınak tasarımı yapılmış ve uygulamaya başlanmıştır. Ekim 1961'de Sovyetler Birliği o güne dek yapılan en büyük nükleer denemeyi gerçekleştirmiştir. 57 megaton TNT gücünde olan nükleer bomba II. Dünya Savaşı sırasında kullanılan tüm patlayıcılardan daha fazla güce sahiptir. Ağustos 1963'de ABD, İngiltere ve Sovyetler Birliği atmosfer, sualtı ve karada yasaklanan Sınırlanmış Nükleer Deneme Anlaşmasını imzalamıştır. 1963 yılından bu yana 100'den fazla ülke bu anlaşmaya imza atmıştır. Ekim 1964'de Çin Halk Cumhuriyeti ilk nükleer bomba denemesini yapmıştır. Ocak 1966'da ABD'ye ait B-52 tipi bomba uçağı, taşıdığı üç hidrojen bombası ile birlikte, İspanya körfezinde yere çakılmıştır. Bombalardan biri Akdeniz'e düşmüş, şans eseri bombalardan hiçbiri patlamamış ancak İspanya toprakları üzerine nükleer serpintiye neden olmuştur. Temizleme çalışmaları ABD tarafından büyük oranda yürütülen bu olay ABD tarafından itiraf edilen tek olaydır.

Temmuz 1968'de İngiltere, ABD ve Sovyetler Birliği, Nükleer Silahların Yayılmasını Önleme Anlaşması'nı imzalar. Anlaşmada bulundukları nükleer güçleri başka devletlere vermeme ve başka devletlere nükleer program gelişiminde yardım sağlamama şartını getirirler. Anlaşma 1970 yılında yürürlüğe girmiş ve 1986 yılında 186'dan fazla ülke imzalamıştır.

Ekim 1969'da SALT (Strategic Arms Limitation Treaty) Stratejik Silahların Sınırlanması Antlaşması görüşmelerinin ilki Finlandiya'nın başkenti Helsinki'de düzenlenmiştir. Bu görüşmeler sonunda 1972 Mayıs'ında SALT-I Anlaşması imzalanmıştır. Mayıs 1974'de Hindistan 10-15 tonluk ilk nükleer bomba denemesini Rajastan çölü altında gerçekleştirmiştir. Ekim 1974'de ABD ve Sovyetler Birliği, Vladivostok görüşmelerinde, nükleer silah cephanelerinin sınırlanmalarında

mutabakata varmış, ve 2400'den fazla stratejik füzeler (saldırı füzeleri, bombalar vb.) ve 1300 den fazla savaş başlığının bulundurulmaması yönünde anlaşmışlardır.

Ağustos 1985'de Sovyetler Birliği nükleer deneme moratoryumunu açıklamıştır. Aralık 1987'de Sovyetler Birliği Cumhurbaşkanı Mikhael Gorbachov ve ABD Başkanı Reagan tarafından Orta Menzilli Nükleer Kuvvetler Antlaşması imzalanmıştır. Anlaşmanın önemi aynı zamanda Moskova ve Washington arasında gerçekleştirilen ilk askeri mutabakat olmasıdır. 1982 yılında başlayan Stratejik Silahların Azaltılması Görüşmeleri Antlaşması, ABD ve Sovyetler Birliği devlet başkanları tarafından Temmuz 1991 tarihinde imzalanmıştır. Bu anlaşma ileriye dönük nükleer silahların azaltılmasını öngörmektedir. Eski Sovyetler birliği devletlerinden olan Beyaz Rusya, Kazakistan ve Ukrayna da antlaşmanın prensiplerine katılarak bir yıl sonra anlaşmayı imzalamışlardır. Nükleer genişleme programı yürüttüğünden şüphe duyulan Kuzey Kore, 1993 yılında Nükleer Silahları Sınırlandırma Antlaşması görüşmelerinden çekildiklerini duyurmuş ancak daha sonra görüşmelere tekrar katılma kararı alarak imzalanan çerçeve antlaşması ile Kuzey Kore nükleer silah geliştirme programından vazgeçmiştir. Mayıs 1995'de Çin, iki yeraltı denemesinin ilkinin gerçekleştirmiştir. Ağustos 1995'de ABD nükleer silah denemelerine tamamen son verdiğini açıklamıştır. Eylül 1995'de uluslararası protesto ve tepkilere rağmen Fransa Güney Pasifik'te nükleer silah denemelerine devam etmiştir. Eylül 1996'da Birleşmiş Milletler, 164 ülkenin imzaladığı ve Fransa, İngiltere ve Rusya'nın da aralarında bulunduğu 89 ülkenin parlamentolarına onaylattığı, laboratuvar denemeleri dışındaki nükleer deneme patlamalarını yasaklayan Kapsamlı Deneme Yasağı Antlaşması'nı onaylar. Bu anlaşma ABD Başkanı Clinton tarafından imzalanmış olduğu halde, 1999 yılında ABD Senatosu tarafından reddedilir. Nükleer silahlara ya da nükleer enerji programlarına sahip ülkeler arasında bulunduğu halde anlaşmayı parlamentolarına onaylatmayan 13 ülkenin biri ABD'dir. Hindistan kusurlu olarak anlaşmayı reddeder. Pakistan da Hindistan imzalamadıkça anlaşmayı imzalamayacağını söyler.

Mayıs 1998'de Hindistan beş adet yeraltı nükleer denemesi gerçekleştirir. Birkaç gün sonra Pakistan yönetimi de iki denemeye Nükleer denemeci ülkeler arasına katılır.

Ekim 2002'de Kuzey Kore, Amerika'yla mutabakatını gölgeleyecek biçimde, Amerika'nın gizli nükleer silah programının varlığını açığa vurur.

SSCB, İngiltere, Fransa ve Çin'in de nükleer silah yarışmasına katılmasıyla 1945 ile 1983 yılları arasında atmosferde 500'den fazla nükleer deneme yapılmıştır. ABD, eski SSCB, Fransa, İngiltere, Çin ve daha sonra katılan Hindistan ve Pakistan 1945 - 1998 arasında toplam 2 bin 52 nükleer deneme gerçekleştirilmiştir (Hakim, 1995). Çizelge 2.14.'de nükleer denemeler sayısı, Çizelge 2.15.'de de büyük nükleer denemeler verilmiştir.

**Çizelge 2.14 Ülkelerin nükleer denemeleri**

ABD	1030
SSCB	715
Fransa	210
İngiltere	45
Çin	45
Hindistan	4
Pakistan	2
Genel Toplam	2052

**Çizelge 2.15 Büyük nükleer denemeler**

İsim	Ülke ve Tarih	Güç
Grable	ABD 1948	15 kiloton tnt
Little Boy	ABD 1945	16 kiloton tnt
Fatman	ABD 1945	20 kiloton tnt
Trinity	ABD 1945	20 kiloton tnt
Baker	ABD 1946	23 kiloton tnt
Yoke	ABD 1948	49 kiloton tnt
Cherokee	ABD 1946	3,8 megaton tnt
Mike	ABD 1952	12 megaton tnt
Castle Bravo	ABD 1954	15 megaton tnt
Tsar	SSCB 1961	50-58 megaton tnt

### 2.3.2.2 Nükleer denemeler ve insan sağlığına yerel etkileri

Nükleer denemeler esas olarak atmosferik, üst atmosferik, yeraltı ve sualtı denemeleri olmak üzere 4 grupta toplanabilir. En çok uygulanan atmosferik denemeler olduğundan ve bir bölgeye herhangi bir nükleer bomba atılması havadan gerçekleştirileceğinden çalışmalarımızda sadece atmosferik denemeler dikkate alınmıştır. Atmosferik nükleer denemeler sonunda karşılaşılan en önemli radyoizotoplar ve sağlık etkileri Çizelge 2.16.'da verilmiştir ( Anonim 5, 2016).

**Çizelge 2.16. Atmosferik nükleer denemeler sonunda karşılaşılan en önemli radyoizotoplar ve sağlık etkileri**

#### RADYOİZOTOPLARIN ETKİLERİ

Radyoizotop	Yarılanma ömrü	Sağlık Tehlikeleri
Xenon-133	6.7saat	Aşırı miktarda solunması baş dönmesi, bulantı, kusma, bilinç kaybı ve hatta ölüme neden olabilir. Düşük oksijenli ortamlarda, bilinç kaybı ve ölüm uyarı olmadan saniyeler içinde ortaya çıkabilir.
Amerisyum-241	432 yıl	Kemiklerde depolanarak kemik kanserine neden olabilir.
Iyot-131	8 gün	Tiroid bezinde birikerek tiroidlerin zarar görmesine neden olabilir. Tiroid kanseri oluşabilir.
Sezyum-137	30 yıl	Kas dokusu ve kemiklerde birikir, genetik hasara neden olabilir
Kripton-85	10.76 yıl	Solunum yoluyla aşırı miktarda alınması baş dönmesi, bulantı, kusma, bilinç kaybı ve hatta ölüme neden olabilir.
Stronsiyum-90	28 yıl	Kemik, kemik iliği, kan ve yumuşak dokularda birikir. Lösemi, Kemik kanseri ve kemik yakınlarındaki dokularda kanserli oluşumlara neden olabilir.
Plutonyum-239	24400 yıl	Çok az bir miktarının sindirim yoluyla alınması ciddi sağlık etkisi yaratabilir, akciğer, kemik ve karaciğer kanserlerine neden olabilir.
Tritiyum	12 yıl	Solunum veya deri yoluyla alınması durumunda yumuşak dokuda birikir. Akciğer kanserine neden olabilir.

Nükleer denemelerde kullanılan silahlar genelde fisyon olayına dayanır. Nükleer silahın tasarımı ve patlatılan yerin özelliklerine bağlı olarak radyoaktif serpinti bileşimi ve etkileri de değişir.

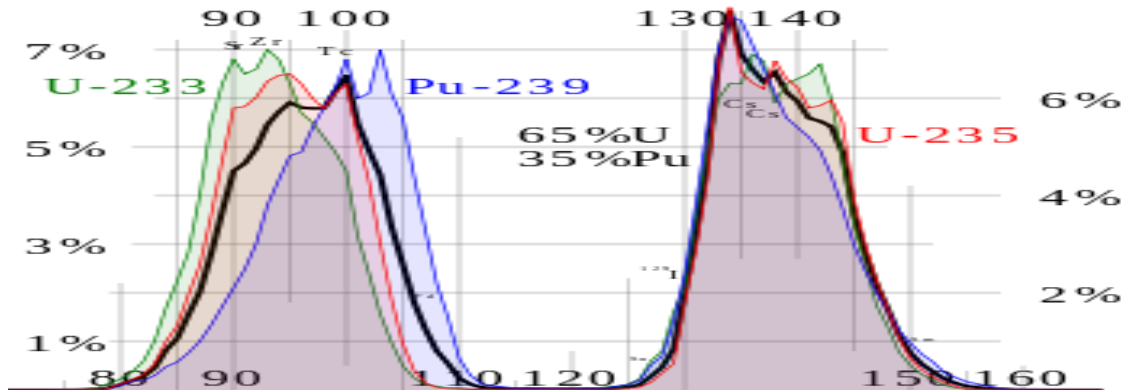
Nükleer silahlardan kaynaklanan radyoaktif serpinti esas olarak, fisyonla uğrayan izotopun kullanıldığı diğer fisyon kaynaklarından yayılan radyoaktif serpinti ile aynıdır. Bununla beraber nükleer tepkimenin çok kısa bir zaman dilimi içinde ve kontrolsüz sıcaklıkta gerçekleşmesi nükleer patlamayla oluşan izotopların oranlarında farklılık yaratabilir. Örneğin Cs-134/Cs-137 oranı, fisyon ürünlerinin nükleer silahtan mı, nükleer güç santralinden mi kaynaklandığı hakkında çok belirgin bir ipucudur. Nükleer silahtan kaynaklanan radyoaktif serpintide Cs-134 izotopu bulunmazken, nükleer güç santrali kazalarından kaynaklanan radyoaktif izotoplarda Cs-134 izotopu önemli ölçüde bulunur. Nükleer silah kaynaklı radyoaktif serpintide en çok rastlananlar I-131 ve Ba-140 gibi kısa yarı ömürlü izotoplardır. İlerleyen 4 ay içinde Ce-141, Zr-95/Nb-95 ve Sr-89 gibi radyoaktif izotoplar da daha yüksek oranlarda bulunmaya başlar. Sonraki 2-3 yıl içinde radyoaktif yığın içinde Ce-144/Pr-144, Ru-106/Rh-106 ve Pm-147 radyoaktif izotopları daha yüksek oranda bulunur. Daha sonraki yıllarda ise Sr-90 ve Cs-137 izotopları baskın olarak bulunur. Ancak bu izotopların çözünürlükleri herhangi bir ortamda soğurulmalarını önemli ölçüde etkiler (Anonim 6, 2016).

Fisyon olayı sonunda açığa çıkan radyoizotoplar, yarı ömürleri ve radyoaktif ışınmaları, Çizelge 2.17.'de verilmiştir (Anonim 7, 2016).

Çizelge 2.17. Filyon radyoizotopları yarı ömürleri ve ışımlar

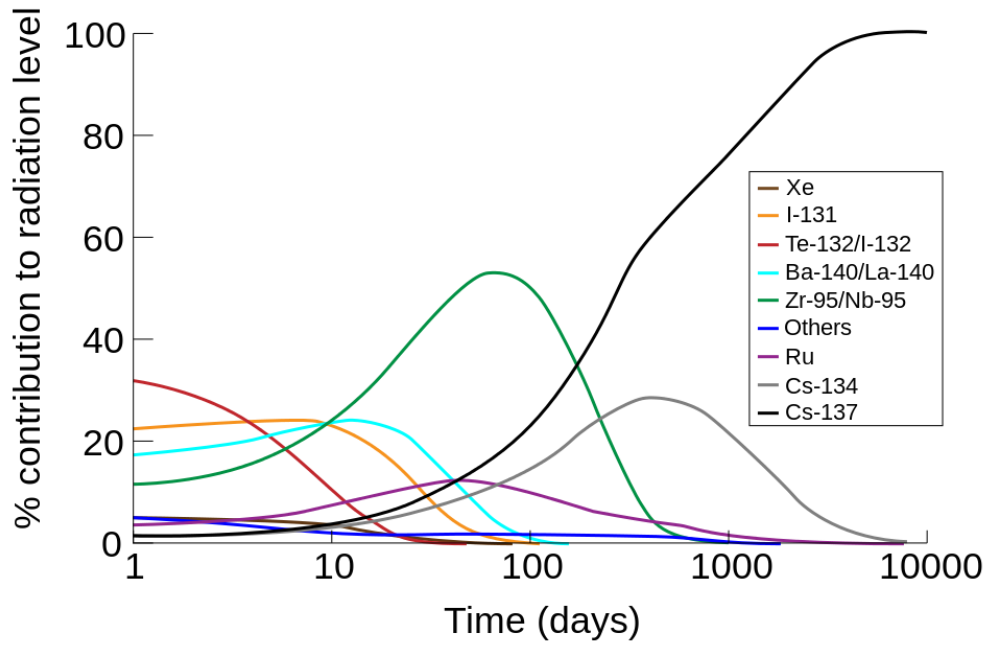
Izotop	Radyasyon	Yarılanma ömrü
Stronsiyum-90/Yitriyum-90	$\beta$	28 yıl
Sezyum-137	$\beta, \gamma$	30 yıl
Prometyum-147	$\beta$	2.6 yıl
Seryum-144	$\beta, \gamma$	285 gün
Rutenyum-106/rodyum-106	$\beta, \gamma$	1.0 yıl
Zirkonyum-95	$\beta, \gamma$	65 gün
Stronsiyum-89	$\beta$	51 gün
Rutenyum-103	$\beta, \gamma$	39,7 gün
Niobyum-95	$\beta, \gamma$	35 gün
Seryum-141	$\beta, \gamma$	33 gün
Baryum-140/lantanyum-140	$\beta, \gamma$	12,8 gün
İyot-131	$\beta, \gamma$	8,05 gün
Tritiyum	$\beta$	13 yıl

U-235, Pu-239 (U-238) ve U-233 (Th-232) ana radyoaktif çekirdeklerine ait filyon ürünleri Şekil 2.15.'de grafik olarak gösterilmiştir. Nükleer bozunmalar istatistiksel olaylar olduğundan filyon ürünlerinin ancak yaklaşık % değerleri öngörülebilir.



Şekil 2.15. U-233 (Th -232 ) Pu-239 ( U-238 ) U-235 Radyoaktif çekirdeklerine ait filyon ürünleri

Çernobil kazasından sonra havadaki izotopların toplam radyasyon dozuna katkısının zamanla değişimi Şekil 2.16.'da verilmiştir (Anonim 8, 2016 ).



**Şekil 2.16. Havadaki izotopların radyasyon dozuna katkısı**

Radyasyonun insan sağlığına etkileriyle ilgili çalışmalar ilk yıllarda, radyasyonun kalıtsal etkilerinde yoğunlaşmıştır. Hiroşima ve Nagazaki bombalarından kaynaklanan doğal radyasyonun bir kaç katı radyasyon doz maruziyeti bomba merkezinden 4 km öteye ulaşmamıştır. Bu nedenle Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan bombalar nedeniyle ışınlananlar ile takip eden üç kuşağı kapsayan radyo-epidemiolojik çalışmalarda radyasyonun kalıtsal etkileri ile ilgili kesin yargıya varılamamıştır. Radyasyonun bitki ve hayvanlarda doza bağlı olarak kalıtsal değişikliklere neden olduğu gözlemlendiği için insanların da diğer canlılardan farklı olmayacağı düşünülerek, kuramsal bazı modellemelerle olası kalıtsal etkiler sayısal olarak öngörülmüştür. Örneğin, doğal radyasyonun bin katı mertebesinde radyasyon dozu alındığında, olası kalıtsal bozukluklardaki artış miktarının % 0,04 olabileceği teorik olarak hesaplanmıştır. Oysa bugün refah düzeyi oldukça yüksek ülkelerde dahi doğal nedenlerle gözlenen kalıtsal bozuklukların oranı %2'dir. Yani, her 100 çocuktan 2 tanesi kalıtsal bozukluklarla doğmaktadır. Kalıtsal bozuklukların radyasyon dışında pek çok başka nedeni vardır. Örneğin Türkiye'de bu oran akraba evlilikleri, olumsuz çevre şartları, sosyal ve ekonomik nedenlerden dolayı gelişmiş ülkelerde gözlenen oranın iki katıdır (Anonim9, 2016).

Atom bombası denilen ancak atom çekirdeğinin parçalanmasına dayanan nükleer bombanın patlamasıyla, bombanın tahrip gücünün yanı sıra ana çekirdek dışında çok sayıda farklı radyoaktif çekirdekler meydana gelir ve atmosfere yayılır. Atmosferde dağılan radyoaktif parçacıklar yeryüzünde zamanla radyoaktif birikime (fallout) neden olur. Yeryüzünde biriken bu radyoaktif parçacıklar çeşitli yollarla insana ulaşır. Bu çekirdekler içinde 30 ve 28 yıllık yarılanma ömürleriyle sırasıyla Cs-137 ve Sr-90 en tehlikeli radyoizotoplardır. Cs ve Sr atomları vücutta bol miktarda bulunan potasyum ve kalsiyum atomları ile yer değiştirerek vücudun farklı bölgelerinde birikebilir. Atmosferde yapılan nükleer denemeler ve Çernobil kazası nedeniyle atmosfere dağılan, insan sağlığı açısından önemli izotopların aktivitesi Çizelge 2.18.'de gösterilmiştir. Görüleceği gibi, küresel boyutta atmosfere yayılan ve insan sağlığı açısından en önemli izotoplardan olan Cs-137'nin toplam aktivitesi  $9,50 \times 10^{17}$  Bq olup, tüm dünyaya dağılan Cs-137 madde miktarı ise 200 kg kadardır. Homojen olarak dağıldığı düşünülürse yeryüzünde bir metreküp toprakta bulunabilecek radyoaktif Cs-137 atomlarının sayısı 10 tanedir. Gelişmiş nükleer analiz teknikleriyle bu miktarın ölçülmesi mümkündür. Oysa bilinen zehirli ve kanserojen maddelerin tayin edilebilmesi için derişimlerinin  $10^{15}$  atom/kg örnek civarında olması gereklidir.

**Çizelge 2.18 Atmosferdeki nükleer denemeler ve nükleer kazalar nedeniyle atmosfere yayılan önemli radyoizotoplar ve aktiviteleri**

	<sup>137</sup> Cs 10 <sup>15</sup> Bq	<sup>131</sup> I 10 <sup>15</sup> Bq	<sup>90</sup> Sr 10 <sup>15</sup> Bq	<sup>239+240</sup> Pu 10 <sup>15</sup> Bq
Atmosferdeki tüm nükleer denemeler	950	675000	620	< 10
Semipalatinsk deneme alanı (100 deneme)	6,6	4500	3.5	< 0.5
Çernobil kazası	85	1760	1	< 0.1
Techa Nehri	10 4,6 (1993)	90	10 4,3 (1993)	< 1
Hanford kazası	-	27	-	-
Windscale kazası	< 0.02	0,74	-	-

Çizelge 2.18.'de görüldüğü gibi Çernobil kazasının çevreye yaydığı radyoizotopların miktarı nükleer bomba denemelerinin yanında önemsiz kalmaktadır. Ancak yöresel

etkileri atmosferde yapılan nükleer testlerin etkisinden farklı olup pek çok radyo-epidemiolojik araştırmaya konu olmuş ve de olmaya devam etmektedir. Bu araştırmalardan çıkılarak bazı önemli nükleer denemeler ve Çernobil kazasının insan sağlığına yerel etkileri şöyle özetlenebilir.

### **Marshall Adaları Test Alanı Denemeleri**

ABD, Marshall Adalar topluluğundaki Bikini adasında, 1946-1954 yılları arasında 65 deneme yapmıştır. Denemelere başlamadan evvel Bikini adasının 135 kişilik halkı başka adalara göç ettirilmiştir 1954 yılında fisyon ve füsyon tepkimelerinin bir arada kullanımına dayalı bir deneme sırasında rüzgarın aniden yön değiştirmesi ve bomba verimliliğinin beklenilenin çok üstünde olması (17 Megaton TNT'ye eşdeğer) bölgedeki üç adada yaşayan 400 kişi ve 23 Japon balıkçının çok yüksek dozlara maruz kalmasına (2,0–6,0 Sv) neden olmuştur. Radyasyonun ani etkilerinin gözlendiği Rongelap, Ailinginae ve Utrik adaları hakkında daha sonra yapılan hayat boyu izleme çalışmaları, radyasyon dozu ile risk arasındaki ilişkiyi anlamak açısından önemli olmuştur. Ancak Marshall adalarında sürdürölen çalışmaların, radyasyonun ani etkileri gözlenmiş olsa dahi, radyasyon doz değerlerinin yeterli duyarlılıkta bilinmemesi nedeniyle radyasyon risk katsayılarının saptanması açısından bir katkısı olmamıştır. Bu olay, radyasyonun doğrudan etkileriyle ilgili önemli veri ve kanıtların toplanmasıyla, atmosferde yapılan nükleer denemeleri durdurabilmek için önemli adımlar atılmasına fırsat olmuştur. Denemelerden en çok etkilenen üç ada ve çevredeki diğer adaları da içine alan yaşam boyu izleme çalışmalarından, bu üç adanın dışında radyasyonla ilişkilendirilebilecek kanser olayı saptanmamıştır.

### **Nevada Test Alanı Denemeleri**

1951-1962 yıllarında, ABD-Nevada'da da 3500km<sup>2</sup> büyüklüğündeki alanda 65 atmosferik nükleer deneme yapılmıştır. Bunların küresel ölçekte insan sağlığına etkisi az olsa da denemelerin yapıldığı test alanı etrafında yaşayan 250000 kişiyi kapsamına alan radyoepidemiolojik araştırmalar sonucunda, deneme alanı çevresindeki halkın aldığı tiroit bezi dozunun 0,12 Gy-1,4 Gy olduğu ve tiroit bezi

kanserlerinde artma olduğu saptanmıştır. Ancak lösemi olaylarında radyasyona bağlı bir artma gözlenmemiştir. 1993 de Amerikan Ulusal Kanser Araştırma Merkezi tarafından Nevada nükleer denemeleri sonucu çevre halkının almış olduğu dozların saptanabilmesi için çok kapsamlı yazılımlar geliştirilmiştir. Bu programlar yardımıyla 1951 den sonra doğan her kişi için, o kişiye ait verilerden yararlanarak aldığı doz hesaplanabilmektedir. Bu konuda çok olumlu bir gelişme de TAEK'in, Türkiye'de çay tüketimine bağlı olarak bir kişinin almış olduğu radyasyon dozunu hesaplayabilmesidir ( Anonim10, 2016).

### **Semipalatinsk Test Alanı Denemeleri**

1949-1962 yılları arasında SSCB, Semipalatinsk'de bugünkü Rusya ile Kazakistan sınırları arasında kalan yaklaşık 18000 km<sup>2</sup>'lik alanda 88 atmosferik, 30 yer üstü nükleer deneme yapmıştır. Çevre halkının en fazla etkilendiği denemeler 1949-1953 yılları arasında yapılmıştır, Deneme alanı çevresindeki nüfus yoğunluğunun çok az olması nedeniyle yıllardır sürdürölen radyo-epidemiolojik çalışmalardan anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Nükleer denemeler sonucu atmosfere yayılan serpintilerin etkili olduğu yerleşim bölgelerinde yaşayan 8000 kişiyi kapsayan ve uluslararası araştırma merkezlerince yapılan geriye dönük çalışmalar sonunda, yağışlardan en fazla etkilenen 19 yerleşim yerinde 50 yıl boyunca alınan toplam radyasyon dozunun 0,05-0,5 Sv arasında olduğu saptanmıştır. Gerek etkilenen insan sayısı gerek ortalama dozların çok düşük olması nedeniyle bu bölgede yapılan araştırmaların da bilinen radyasyon risk katsayılarının değişmesine yol açacak bir katkısı olmamıştır. Sovyetlerin 1946 yılında başlattıkları plütonyum üretme çabaları sonunda geniş alanların etkilendiği Güney Ural Dağları ve Techa nehri boyunca yaşayan halkın sağlığı ile ilgili çalışmalar son yıllarda yeniden hız kazanmıştır. 2005 yılında bölgede ABD, AB ve Rusya'nın da katılımıyla çok kapsamlı bir radyoepidemioloji projesi başlatılmıştır. Techa nehri kıyı boyunca yaşamış olan gruba ait dünyanın hiçbir yerinde olmayan ayrıntılı sağlık kayıtları bulunduğundan bu bölgede yapılacak radyoepidemiolojik araştırmaların, radyasyonun uzun süreli ve düşük dozlardaki etkisinin anlaşılması açısından çok önemli bir veri tabanı oluşturacağı sanılmaktadır. Sonuç olarak, radyasyonun sanıldığı kadar kanserojen olmadığı ancak iyonlaştırıcı

radasyon ile olası kanser riski arasındaki bağlantının, kanser yapan (kanserojen) pek çok başka maddenin etkilerinden çok daha iyi bilindiği anlaşılmaktadır.

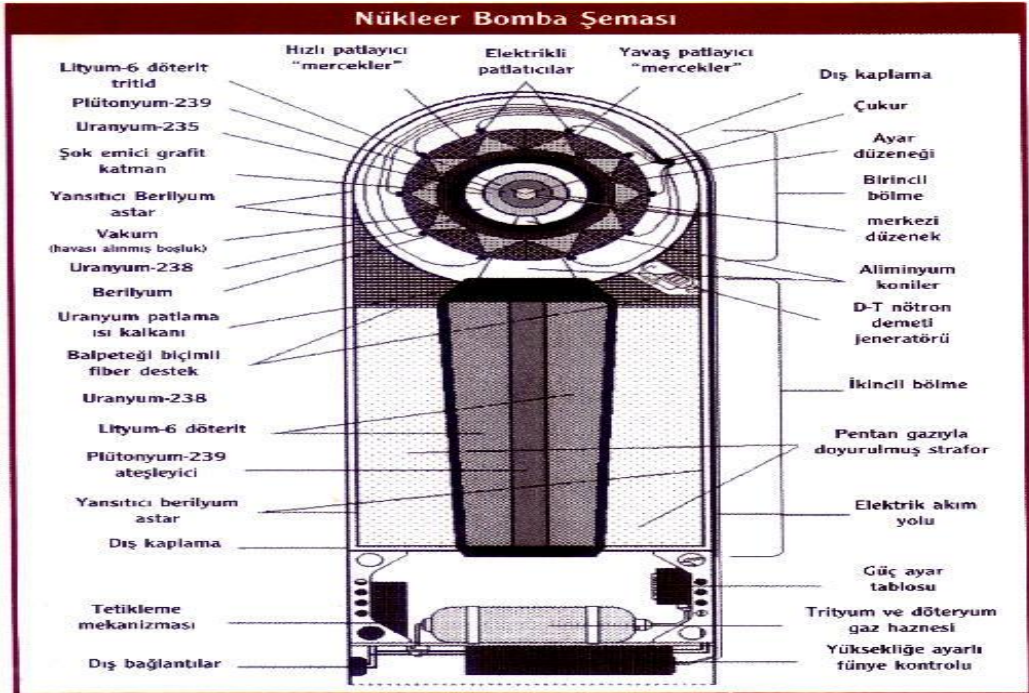
Radyasyonun düşük dozlardaki etkisi ile kanser riski arasındaki ilişki konusunda bilgilerin temeli, nükleer denemelerin yapıldığı alanlara yakın bölgelerde yaşayanlar, Nagazaki ve Hiroşima'ya atılan bombalardan hayatta kalanları kapsayan 50 yıldır süregelen epidemiyolojik çalışmalar ve her yıl meslekleri nedeniyle doğal radyasyonun 10 katına kadar doz almalarına müsaade edilen 5 milyon radyasyon çalışanıyla ilgili verilere dayanır. Bu verilerden anlaşıldığı kadarıyla radyoaktif yağışlar küresel olarak ele alındığında gerek nükleer bomba denemeleri gerekse Çernobil kazası nedeniyle toplumun maruz kaldığı ortalama radyasyon dozu, doğal ve özellikle de sağlık nedeniyle alınan radyasyon dozu yanında ihmal edilecek kadar azdır (Anonim11, 2016).

Bugün ülkemizde yaşayan ortalama bir insanın bir seanslık bilgisayarlı tomografik incelenmede aldığı radyasyon dozu, yıllık doğal radyasyonun 10 katı, küresel yağış ve Çernobil kazalarından aldığı dozun yüz katıdır. Ancak yıllardır sürdürülen çalışmalar ve toplanan bilimsel sonuçlara rağmen radyasyonun en büyük tehlike olduğu saplantısı aşılamamıştır. Çernobil kazası her ne kadar çağımızın en büyük nükleer kazası ise de bir radyasyon felaketi değil sosyal, psikolojik ve ekonomik bir felakettir.

### *2.3.2.3. Nükleer silahlar ve nükleer silahların yapısı*

Nükleer silahlar çekirdek parçalanması (filyon) ya da çekirdek kaynaşması (füsyon) sonucu nükleer enerjinin, büyük miktarlarda ve ani denilebilecek kısa sürelerde, kontrolsüz olarak açığa çıkmasına dayanır. Filyon olayında U-235 gibi parçalanabilir (filyon) bir çekirdek, nötronlarla bombardıman edildiğinde kendinden daha hafif iki farklı çekirdek ve ortalama 2,5 nötron oluşumuna neden olur. Açığa çıkan nötronlar ortam dışına kaçabilir, ilgisiz çekirdekler tarafından yutulmuş etkisizleştirilebilir veya diğer U-235 çekirdekleri tarafından soğurularak yeni filyonlara yol açabilir. Uranyum kütlesinde filyona yol açan her bir nötron başına açığa çıkan nötronların sırasıyla birden fazlası, biri ya da birden daha azı tekrar filyona yol açabiliyorsa, o uranyum kütlesi süperkritik, kritik ya da kritik altı olarak adlandırılır. Geometri ve kimyasal bileşimine bağlı olarak, olası en küçük

kritik kütle 7-8 kg seviyesinde olup böyle bir kütlede fisyon sonucu açığa çıkan her nötron bir başka fisyon olayı oluşturur. Zincirleme nükleer tepkime aynı hız ve enerji üretimiyle devam eder. Süperkritik kütlede, her fisyon birden fazla yeni fisyonu yol açacağından fisyon sayısı artar ve büyüyen bir zincirleme tepkime oluşur. Kritik altı kütle durumunda çıkan nötronlar yeni fisyon olayı başlatamayacaklarından enerji çıkışı olmaz. Fisil malzeme elde edildikten sonra süperkritik özellik gösterecek kritik altı iki uranyum kütlesi bir topun namlusuna yerleştirilip, biri diğerine doğru ateşlenerek nükleer bomba hazırlanır. Patlamaya yol açan süperkritik kütle ve bu durumda açığa çıkan toplam enerjiye ‘bomba verimi-gücü’ denir. Hiroşima’ya atılmış olan bomba bu tip bir düzenekten oluşmuştur. Bir diğer bomba tipi de top yöntemine göre hazırlanmış silahlardır. Bu tip silahlarda süperkritik fisil malzeme küresi etrafına simetrik olarak güçlü patlayıcılar yerleştirilir. Bu patlayıcılar eşzamanlı olarak patlatılarak küre homojen bir şekilde, çok daha süperkritik daha küçük bir küreye “göçertilir”. Bu tip bir “göçertme” aygıtında Pu-239 tercih edilmekle birlikte U-235 de kullanılabilir. Yöntemin, fisil malzeme sağlamadan sonraki en zor tarafı, patlamaların eş zamanlılığını sağlayan elektronik devre sisteminin kurulmasıdır. Bu tip bir nükleer bomba, veriminin yüksek olmasının yanı sıra daha küçük hacim ve kütlede (Şekil 2.17.). Ayrıca nükleer bomba yöntemleri tipleri Şekil 2.18.’de gösterilmiştir.

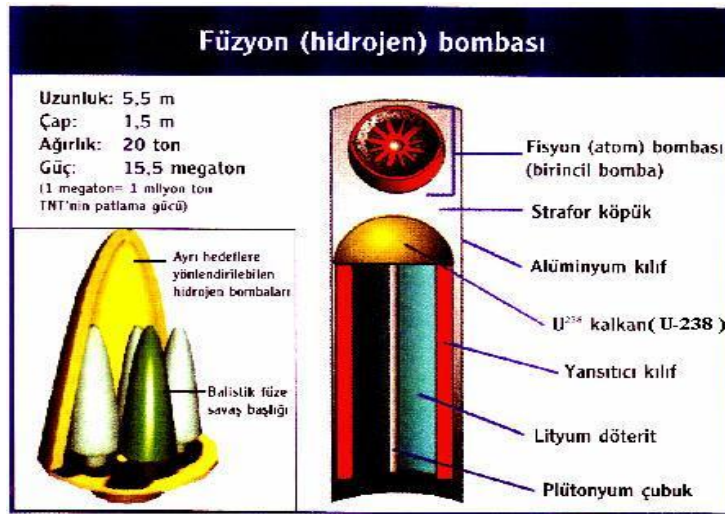


Şekil 2.17. Nükleer bomba yapısı



Şekil 2.18. Nükleer bomba yöntemleri tipleri

Füzyon olayı, hidrojen ya da hidrojenin izotopları olan döteryum (H-2) ve trityum (H-3) gibi hafif çekirdeklerin kaynaşarak birleşmesine dayanır. Çekirdek kaynaşması ile birim kütle başına açığa çıkan enerji fisyon olayından daha fazladır. Ancak çekirdeklerin kaynaştırılabilmeleri için çok yüksek sıcaklık ve basınçta, çok yüksek hızlarla çarpıştırılmaları gerekir. Güneşin merkezindeki 15 milyon dereceyi bulan sıcaklığın kaynağı buradaki hidrojen ve döteryum gibi hafif çekirdeklerin füsyona uğramasıdır.



Şekil.2.19. Füzyon bombası

Şekil 2.19.'da gösterilen füsyon bombasının çalışma esası döteryum ve Li-6 izotopunun beraberce nötron bombardımanına tabi tutularak helyum ve trityuma parçalanmasına dayanır. Ancak normal şartlarda trityum uçucu bir gaz ve yarılanma ömrü de kısa olduğundan önceden üretilip depolanmaz, kullanım anında üretilir. Bu amaçla döteryum lityumla karıştırılır ve ikisi birlikte strafor ambalaj malzemesiyle kaplanır. Patlatma anında lityum, nötron bombardımanına tabi tutularak trityum üretilir. Üretilen trityum da kap içindeki döteryumla çarpışarak füsyon tepkimesi oluşturulur. Lityum bombardımanı için nötron, füsyon tepkimesi için de çok yüksek sıcaklık gerekir. Bu şartlar, “birincil” denilen bir uranyum ya da plütonyum bombasının patlatılmasıyla oluşur. Birincil bombanın ürettiği enerjiyle oluşan termal şok nedeniyle düzeneğin dağılmaması straforun emme özelliği ile sağlanır. Birincil bombanın basınç şoku füsyon karışımını dışardan ve her yandan homojen şekilde sıkıştırır. Birincil bombadan yayılan nötronlar lityumu parçalayarak trityum oluşumunu sağlar. Karışım sıcaklığı 100 milyon derecenin üstüne çıktığında “ikincil” bomba olan füsyon tepkimesi devreye girmiştir.

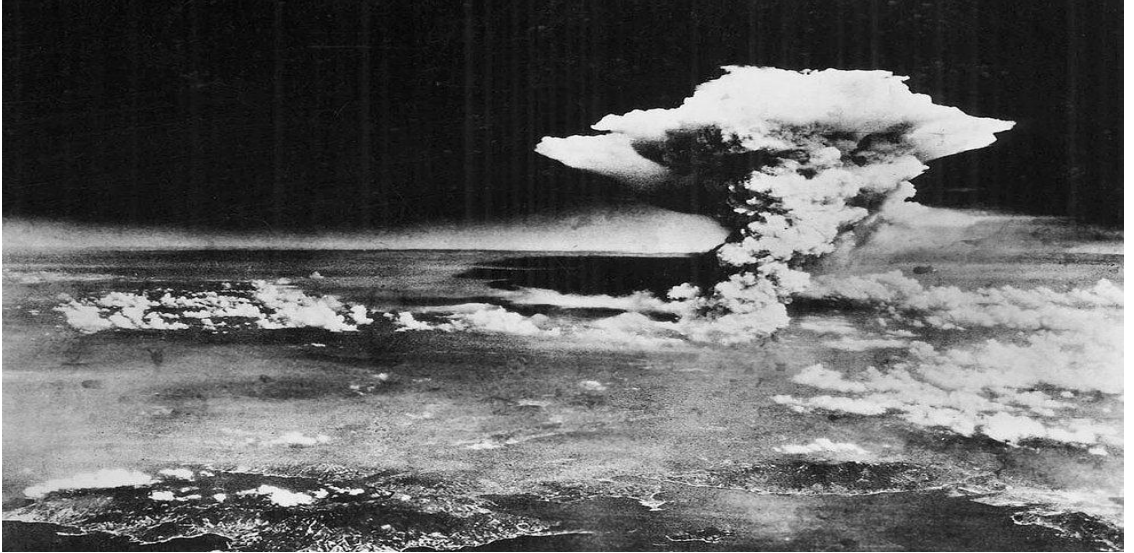
Nötron bombası, küçük bir hidrojen bombasıdır. Diğer nükleer silahlardan farkı, asıl öldürücü etkisinin yaydığı nötronların yol açacağı radyasyon hasarından kaynaklanmasıdır. Bu özelliğiyle “güçlendirilmiş radyasyon silahı” olarak da adlandırılır. Patlamasının yol açacağı basınç ve ısı etkisi düşük olacak şekilde tasarlandığından çevredeki bina, tesis gibi fiziksel yapılar patlamadan çok etkilenmez (Vural, 2003).

### 3. NÜKLEER SALDIRILAR VE ETKİLERİ

#### 3.1. Hiroşima

6 Ağustos 1945 tarihinde ABD, uranyum-235 yakıtlı atom bombası ile askeri alandaki ilk nükleer saldırıyı gerçekleştirmiştir. Saldırı saati olarak bölge yoğunluğunun hayat ve hareket tarzları araştırılarak çoğunluğun dışarıda olduğu sabah 08:15 seçilmiştir. "Little Boy" kod adlı 4000 kg'lık nükleer bombanın 9400 metre yükseklikten bırakılmasıyla bombada bulunan 64 kg uranyumun sadece 0,7 kilogramı parçalanmış ve nükleer tepkime sonucu bu miktarın 600 miligramı enerjiye dönüşmüştür.

Saniyelerle ölçülebilecek bir zaman diliminde Hiroşimayı yok eden bu korkunç patlamanın bilançosu ilk anlarda yaklaşık 80000 ölü ve 100000 yaralı olarak belirlenmiştir. 1950 yılının sonuna kadar Hiroşima'da atom bombası saldırısı nedeniyle yaralanma ve radyasyondan toplam 140000 kişi hayatını kaybetmiştir (Paperbackver, 2002).



Şekil 3.1. Hiroşima'ya nükleer bomba atılmasından yaklaşık bir saat sonra gökyüzü

### 3.2. Nagazaki

Amerika Birleşik Devletleri Hiroşima'daki saldırısından sadece 3 gün sonra 9 Ağustos 1945 saat 11:02'de Nagazaki'de Plütonyum-239 yakıtlı atom bombası "Fat Man-Mark III" ile ikinci saldırıyı gerçekleştirmiştir. Bu katliam ile Nagazaki'de bulunan toplam 240.000 kişiden yaklaşık 74.000 kişi hayatını kaybetmiş, binaların yüzde 36'sı tamamen yok olmuştur, (Şekil 3.4.) Resmi kayıtlara göre Nagazaki katliamında saldırının gerçekleştiği anda 39000 kişi yaşamını yitirmiş, 25000 kişi de yaralanmıştır. 1950 yılının sonuna kadar Nagazaki'de atom bombası saldırısı nedeniyle yaralanma ve radyasyondan toplam 143.124 kişi hayatını kaybetmiştir (Anonim 12, 2016).



Şekil 3.2. Atom bombası saldırısından önce ve sonra Nagazaki kenti

### 3.3. Neden Hiroşima ve Nagazaki?

12 Nisan 1945'te ABD Başkanı Franklin Delano Roosevelt'in ölümüyle yerine geçen Truman, atom bombası saldırılarının zaman ve mekânını seçme işlemlerini başlatmıştır. Başlıca hedef seçimi, kent merkezi çapının 4,8 kilometreden fazla ve merkez etrafında yerleşim bölgelerinin varolmasıydı. Bir diğer seçimde de Tokyo ile Nagazaki arasında bir şehir olmasıydı. Daha önceki saldırılarda imha edilen kentlerin

hedef seçimi dışında tutulmasıyla aday seçilen 17 kent; Kantō bölgesinden Tokyo Körfezi, Kawasaki ve Yokohama; Tōkai bölgesinden Nagoya; Kansai bölgesinden Kobe ve Kyoto; Chūgoku bölgesinden Hiroşima, Kure, Shimonoseki ve Yamaguchi; Kyūşū Bölgesinden Yahata, Kokura, Kumamoto, Nagasaki ve Sasebo kentleri olmuştur.

Hedef seçimi olarak “Patlama rüzgârının etkisinin ölçülebileceği” coğrafik özelliklere sahip olma şartı da eklenerek Niigata, Hiroşima, Yokohama ve Kokura kentleri 11 Mayıs1945'te Hedef Tetkik Komitesi tarafından hedef kentler olarak seçilmiştir.

Kullanılacak atom bombasının etkisinin ölçülebilmesi amacıyla seçilen kentlere hava saldırısı yasaklanmış, o bölgelere hava saldırısının olmayacağı söylentileri yaydırılmıştır. Böylece o şehirlere yoğun göçün önü açılmıştır. 14 Haziran1945'de Kyoto ve Yokohama hedef adaylığından düşürülerek yerine Nagazaki seçilmiştir (T.C. Cartwright, 1998).

### **3.4. Nükleer Saldırının Hiroşima ve Nagazaki'deki Etkileri**

Nükleer bomba etkileri ani ve kalıntı etkileri olarak iki ana grupta incelenebilir. Ani etkiler; ısı, ışık, basınç, yüksek dozda ani radyasyon ve elektromanyetik etkiler olup patlamadan sonraki ilk 1 dakika içerisinde etkin olur. Kalıntı etkileri radyoaktif serpinti etkisi olup bomba patladıktan 30-60 dakika sonra etkili olmaya başlar. Nükleer patlamanın bütün etkileri 100 olarak kabul edilirse %45 basınç-balans, %35 ısı-ışık, %15 kalıntı (radyoaktif serpinti) ve %5 ani radyasyon etkisidir.

#### **3.4.1. Ani etkiler**

##### *3.4.1.1. Işık etkisi*

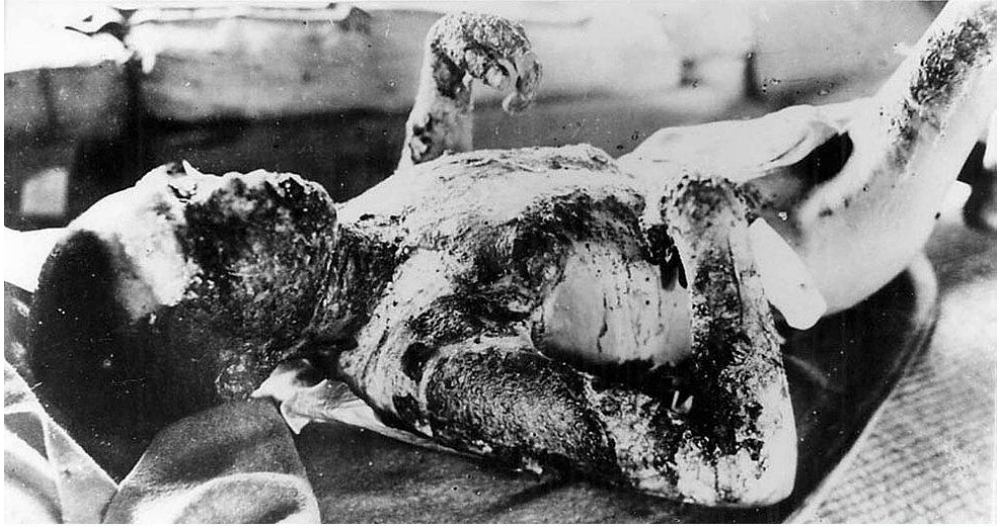
Nükleer şimşek adı da verilen bu ışık güneşten birkaç defa parlak olduğundan güneşli bir günde bile farkedilebilecek niteliktedir. Patlamaya belli mesafeden daha yakın olma durumunda çıplak göze doğrudan ulaştığı takdirde 15-45 dakika süren geçici körlüğe neden olabilir. Nükleer şimşekten korunmak için saydam olmayan her çeşit koruyucu kullanılabilir ( Şekil 3.3.).



**Şekil 3.3. Nükleer patlamanın ardından ışık etkisi nedeniyle Hiroşima yakınlarındaki köprü korkuluklarının oluşturduğu kalıcı gölgeler**

#### *3.4.1.2. Isı etkisi*

Patlama sonucu nükleer şimşekle beraber yoğun bir sıcaklık artışı olur. Bu sıcaklık artışı açıkta ve belirli bir mesafede çok tehlikeli olur. Çevre sıcaklığı aniden ve hızla yükseldiğinden geniş çapta yangınlara, canlılarda ağır yanıklara neden olur (Şekil 3.4.).



**Şekil 3.4. Atom bombasının ısı etkisiyle yanık oluşumu (Ap photo, Hiroshima 1945)**

#### 3.4.1.3. Ani radyasyon etkisi

Yüksek dozda alfa, beta, nötron ve gama ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalınması halinde ölüme yol açabilecek etkilenmeler olur. Bombardıman ve hemen sonrasında nötron ve gama ışınlarından korunmak için zırhlama malzemesi temini çok zordur.

#### 3.4.1.4. Basınç etkisi

Ateş topundan yayılan yoğun ısının genişleyerek havayı itmesiyle oluşan basınç etkisi, patlama yerinde oluşan hava boşluğuna dışarıdan soğuk havanın da hücum etmesi nedeniyle iki yönlü etkili olur. İlk tesir sırasında tamamen yıkılmayan binaların, emme safhası da denilen ikinci safhada yıkılmaları bu nedendir. Genel etki tablosunda %45 olarak gösterilen basınç etkisi, bina ve köprülerin yıkılmasına, dolaylı yoldan yangınlara yol açar. Silahların gücüne göre devamlılık süresi değişen basınç etkisi ses hızında yayılabilir (340 m/s). Bu yavaş gidiş, özellikle açık alanda bulunanların diğer tesirlerinden zarar görmemeleri halinde basınçtan korunma için zaman kazanmak mümkündür. Işık hızında hareket eden nükleer şimşek uyarı görevi yapacak ve insanlar korunacak bir yer bulabileceklerdir. Bina ve köprüleri yıkar diye kısaca ifade edilmesinin sebebi büyük bir yıkma ve parçalama gücünün varlığını göstermektedir. 20 kilotonluk bir bombanın patlaması halinde killi toprak yüzeyinde 90 metre yarıçapı ve 12 metre derinliğinde bir kuyu açılabilir. Nükleer bombanın 10 megaton olduğu düşünülürse açılacak kraterin derinliği 51 m, yarıçapı 660 m olacaktır. Böyle bir basıncın harap edeceği binalarda elektrik kontağı, havagazı patlaması ve mevcut ateşin dağılması sonucu dolaylı yangınlar da çıkabilir.



Şekil 3.5 . 7 Ağustos 1945'te Hiroşima

#### 3.4.1.5. Elektromanyetik etkiler

Elektromanyetik etkiler, elektronik devreler kullanan cihazları, cihazlardan çıkan elektromanyetik dalga karakterindeki sinyalleri (tv, telefon, radar, telsiz..vs) etkileyerek hasara neden olur.

#### 3.4.2. Kalıntı etkileri (Radyoaktif serpinti)

Nükleer silahların en uzun süreli etkisi “kalıntı etkileri” veya "radyoaktif serpinti" olarak da bilinen ve nükleer patlama ile oluşan radyoaktif izotopların dağılmasıdır. Bu etkinin meydana gelebilmesi için nükleer bombanın yerde veya yere yakın infilak ettirilmesi şarttır. Örneğin 20 kilotonluk bir nükleer bomba için serpinti oluşturabilecek maksimum yükseklik 180 metredir. Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan 20'şer kilotonluk nükleer bombalar 305 metre yükseklikte patladıkları için havada infilak etmiş olarak kabul edilmiş ve radyoaktif serpinti etkisi çok az olmuştur. Sonuç olarak nükleer silahlar güçlerine bağlı olarak belli bir yüksekliğin üzerinde patlatılırsa radyoaktif serpinti tehlikesi meydana getirmezler. Her silah için farklı olan bu yüksekliğe “Kritik Yükseklik” denir. Bu yükseklikten başlamak üzere daha aşağılara inildikçe serpinti tehlikesi artacak ve yüzeydeki bir patlamada radyoaktif serpinti tehlikesi yüksek seviyede olacaktır. Bunun nedeni, yüzey patlamalarında yeryüzeyinde bulunan taş, toprak, tuğla vb. gibi maddelerle kalay, nikel, demir, bakır, alüminyum ve çok sayıda madde ve/veya minerallerin nötron etkisine daha fazla maruz kalarak radyoaktif hale gelebilmesidir. Radyoaktif hale gelen bu parçacıklar kısmen ateş topu içinde eriyerek hatta buharlaşarak radyasyon bulutu oluşturacak ve atmosferde (bazı durumlarda troposferin bittiği 30000 metreye kadar) yükselebileceklerdir. Ateş topu ile birlikte yükselen bu parçacıkların yerçekimi etkisiyle yeniden yeryüzeyine dağılması veya düşmesi olayına Radyoaktif Serpinti (Fallout) denir. Kalıntı tehlikesi, patlamanın olduğu sıfır noktası ve çevresini etkileyen radyoaktif serpintiden ibaret değildir. Patlama yerinde meydana gelen çukur (krater) ve çukurun etrafında radyoaktif hale gelmiş ancak kütleleri veya yerden kopamamaları nedeniyle yükselerek radyoaktif serpinti oluşturamamış maddelerin varlığı bazı durumlarda o bölgeyi yaşanmaz duruma getirebilir. Kütleleri

nedeniyle çok yükselemeyen maddeler de sıfır noktası civarına serpilecektir. Fisyonla uğramayan veya fisyon artışı kritik maddeler de sıfır noktasına yakın yerlerde en üst düzeyde bulunacaktır. Daha hafif olan radyoaktif toz ve zerreciler, radyoaktif bulutun çıkabildiği yükseklikte rüzgarın şiddeti ve yönüne göre bir taraftan sürüklenirken bir taraftan da serpinti olarak yeryüzeyine inmeye devam edecektir. Bu sürükleniş ve dökülüş nedeniyle yeryüzeyinde elips şeklinde bir bölge radyoaktif serpintiden etkilenecektir. 10 megatonluk bir bomba için etkili rüzgarların yön ve şiddetine bağlı olarak elips şeklindeki bu bölgenin alanı  $80 \times 1600 \text{ km}^2$  veya  $160 \times 800 \text{ km}^2$ 'ye ulaşabilecektir. Maruz kalınan radyasyon dozu da uzaklığa bağlı olarak patlama noktasından 1,5 km uzaklıkta 250 Sv, 3 km uzaklıkta 0,4 Sv'e ulaşabilir.

### **3.4.3. Radyoaktif serpintiyi etkileyen meteorolojik parametreler**

#### *3.4.3.1. Rüzgar*

Büyük bir kentin ortasına düşen 1 megatonluk bir atom bombası hemen bütün şehri yok edecek güçtedir. Patlamanın etkisiyle oluşan 750 km/saat hızındaki rüzgar, bombanın düştüğü yerden 3 km uzaklığa kadar bütün bina ve köprüleri yerle bir edebilir, bu alandaki bütün canlı varlıkları öldürecek güç etkisi yaratabilir. Patlama merkezinden 3–5 km uzaklıkta rüzgarın hızı 470 km/saat olacaktır. Bu alandaki bütün bina ve köprüler de hasar görecektir, canlılar yanarak ölecektir. Patlama merkezinden 5–7 km ötede rüzgarın hızı saatte 260 km olacak, yangın ve radyasyon seviyesi hala önemli düzeyde olacaktır. Patlama merkezinden 7–12 km uzaklıkta rüzgar hızı 50–150 km/saat olacak, telefon telleri kopacak, elektrik direkleri hasar görecektir.

#### *3.4.3.2. Sıcaklık*

Patlamanın ardından oluşan ısı etkisi nedeniyle sıcaklık  $4000^\circ\text{C}$ 'ye kadar çıkacağından yaklaşık 3 km çapındaki alanda her şey kavrulacaktır. Patlamanın etkisiyle başlayan ve saatte 1800 km ile esen alev rüzgarı da çevredeki tüm yükseltileri dümdüz edecektir (Şekil 3.6.).



**Şekil 3.6. 9 Ağustos 1945'te Nagazaki'ye atılan nükleer bombanın ardından ısı ve rüzgar etkisi**

#### *3.4.3.3. Yağmur*

Radyoaktif serpininin asıl kalıcı etkisi patlamadan sonraki yağışlarla olur. Tüm radyoaktif serpinti yağışlarla yeryüzüne inerek bölgede kalıcı bir radyoaktif kirliliğe neden olur. Doğal kaynak ve içme sularına karışabilir. Toprak, bitki örtüsü ve açıkta bulunan yiyeceklerde etkilenebilir.

#### **3.4.4. Hibakusha**

Patlamalardan kurtulanlara "patlamadan etkilenmiş insanlar" anlamına gelen hibakusha denir. Bombalamanın sebep olduğu acı Japonya'yı, nükleer silahsız bir dünya amacıyla en iyi nükleer silahsızlanma politikasına sahip ülke olmasını sağlamıştır. Japon hükümeti 31 Mart 2008 itibariyle çoğu Japonya'da yaşayan 250 bin civarında hibakusha'yı resmen tanımıştır. Bunların %1'inin radyasyondan kaynaklanan hastalıkları olduğu kabul edilmiştir. Hiroşima ve Nagazaki'deki anıtlarda nükleer saldırı nedeniyle hayatını kaybeden tüm hibakusha'ların isimleri yazılıdır. Her yıl dönümünde bu isimler güncellenir.

24 Mart 2009'da Japon hükümeti Tsutomu Yamaguchi'yi çift hibakusha olarak tanımıştır. Yamaguchi, Hiroşima'daki patlamada bir iş gezisi nedeniyle sıfır noktasından 3 kilometre uzakta olduğunu belgelemiştir. Sol tarafında ciddi yanıklar

oluşan Yamaguchi, geceyi Hiroşima'da geçirdikten sonra ikinci bomba atılmadan bir gün önce, yani 8 Ağustos'ta Nagazaki'deki evine dönmüştür. Burada gerçekleşen patlamada çok ciddi radyasyona maruz kalarak çift kazazede olmuştur. Önemli nokta, çift kazazede olmasına rağmen 2010 yılına kadar yaşaması, kazadan sonra 65 yıl daha yaşayarak 93 yaşında hayatını kaybetmesidir (Anonim13, 2016).



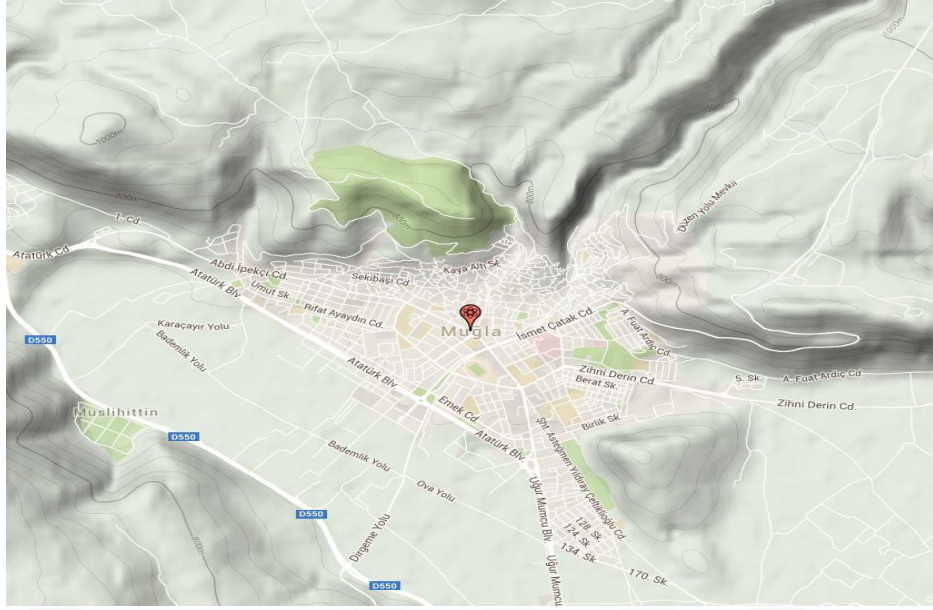
## 4. SİMÜLASYON

Muğla üzerinde patlayacak farklı tipteki nükleer bombaların yaratacağı etkileri izlemek amacıyla Google Earth esas alınarak hazırlanmış NUKEMAP3D nükleer silah etkileri simülasyon programı kullanılmıştır. NUKEMAP3D nükleer silah etkileri simülasyon programı “Stevens Institute for Technology” desteğiyle Alex Wellerstein tarafından geliştirilmiştir. İlk sürümü 2012 yılında oluşturulan simülasyon programı 2013 yılında nükleer silahların cinsi, gücü ve patlama yüksekliği de dikkate alınarak modifiye edilmiştir (Wellerstein, Alex.2013) Son olarak da 2014 yılında USA-National Science Foundation tarafından görsel olarak da geliştirilmiştir. NUKEMAP3D programı nükleer patlamayla oluşan mantar bulutunun gerçek ortam boyutlarındaki etkisini çok genel olarak göstermekte, değişen şartlara göre kullanım esnekliği sağlamaktadır.

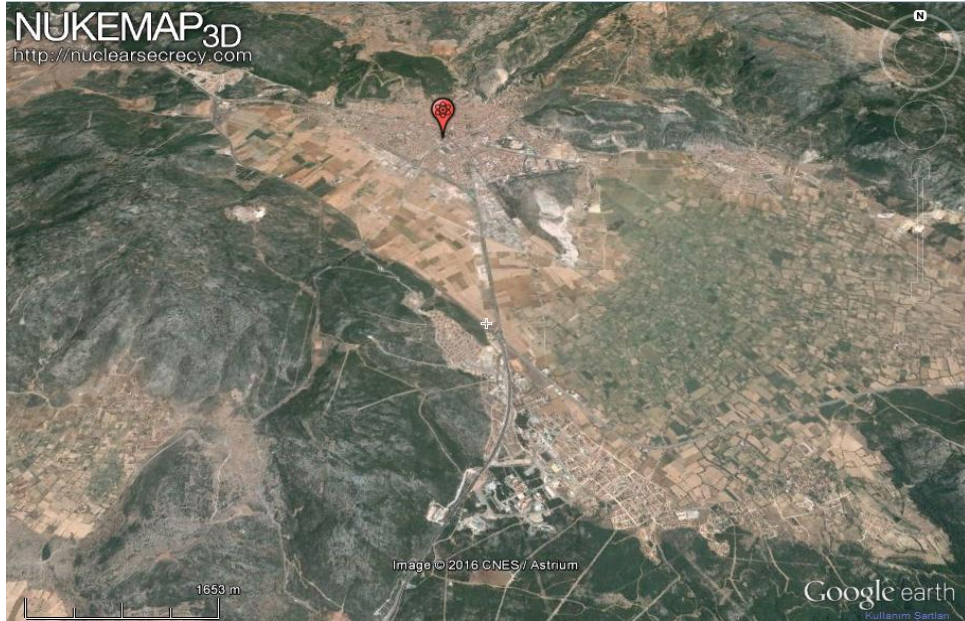
Patlama merkezi (Ground Zero) olarak Menteşe ilçe merkezinin seçilmesinden sonra bomba tipi ve patlayıcı verimi (yakıt, kiloton) seçilmiştir. Bomba tipi olarak Hiroşima’da kullanılan uranyum-235 yakıtlı 15 kilotonluk “little boy” ve Nagazaki’de kullanılan plutonyum 239 yakıtlı 20 kilotonluk “fat man” tiplerinde iki farklı tip nükleer bomba seçilmiş ve simülasyon senaryoları elde edilmiştir.

Havada veya yeryüzeyinde patlatılma seçeneklerine bağlı olarak bomba etkisi farklı olacağından her bir seçeneğin ayrı ayrı incelenmesi uygun bulunmuştur. Bu amaçla 8 farklı simülasyon senaryosu hazırlanmıştır.

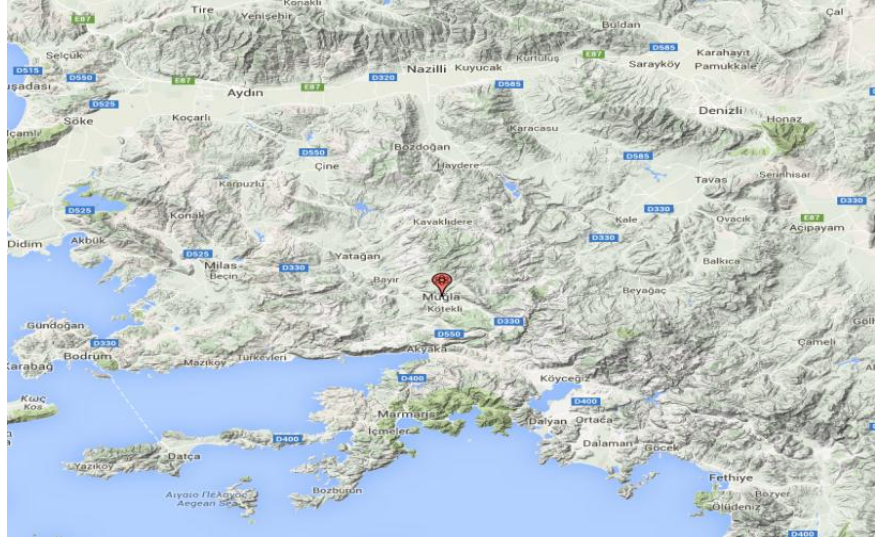
Patlama merkezi olarak seçilen Muğla merkez Menteşe ilçesi ve çevresine ait haritalar Şekil 4.1.a-d’de gösterilmiştir.



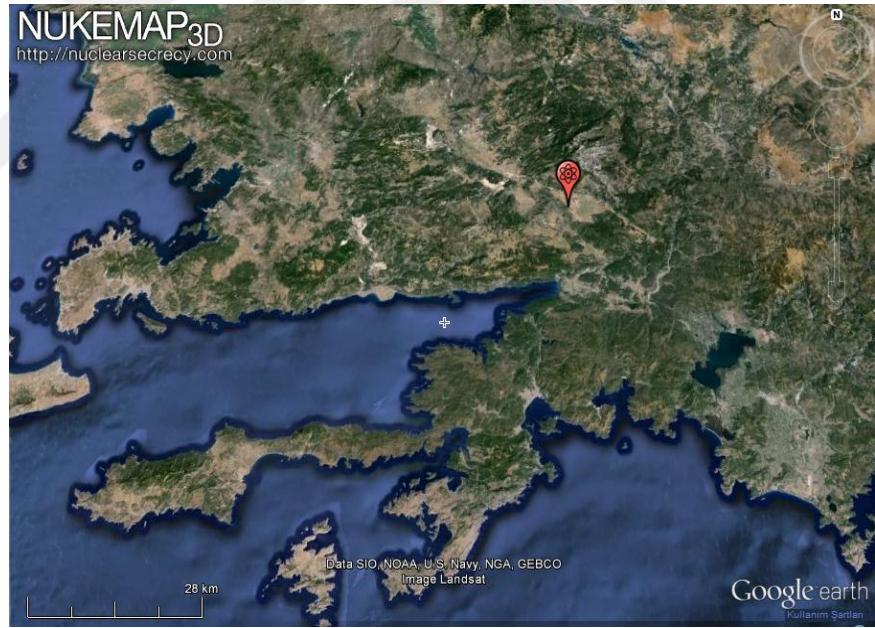
Şekil 4.1a



Şekil 4.1.b



Şekil 4.1.c



Şekil 4.1.d

Şekil 4.1.a.b.c.d. Patlama merkezi olarak seçilen muğla merkez menteşe ilçesi ve çevresi

### SENARYO 1:

Bomba tipi: Uranyum-235 yakıtlı 15 kilotonluk Hiroşima tipi

Patlatılma anındaki hava aracının yüksekliği: 9470 m (31060 feet)

Bombanın patlama yüksekliği: 600 m

Patlama sonucu oluşan mantar bulutu tepe noktası: 6580 m

Mantar bulut kafa yüksekliği: 3030 m

Mantar bulutu kafa çapı: 4580 m

Fisyon tepkimesi gerçekleşme oranı: %100 (varsayım)

Rüzgar hızı: 15 mil/saat

Rüzgar yönü 260° kuzey,

Senaryo 1'e göre patlamadan hemen sonra Muğla merkez meydanının "sıfır noktası" olarak kabul edilmesi durumunda etkilenme bölgeleri ve etkilenme dereceleri Şekil 4.2.'de gösterilmiştir



Şekil 4.2. Senaryo 1'e göre patlamadan hemen sonra Muğla merkezdeki durum

NUKEMAP verilerine göre patlama anında, patlamadan en çok etkilenen, en az 1 psi'lik ilave basınç altında (1 psi=0,0680 Atmosfer) kalacak şekilde etkilenen bölgede 48475 kişinin olduğu varsayılmaktadır.

Bu durumda NUKEMAP senaryosuna göre bölgede tahmini ölüm 26960, yaralanma

12610 kişi olarak saptanmıştır. Bu değerler tamamen teorik hesaplamalar sonucu öngörülen değerler olup patlama sonrasında ulaşılması kesin değerler değildir. Coğrafi özellikler, bina özellikleri, olayın meydana geliş zamanı (geceyarısı, gün ortası) gibi özellikler dikkate alınmamıştır. Bu değerlere radyoaktif serpintiden etkilenmeler dahil edilmemiştir.

Nükleer bombanın içten dışa doğru genişleyen yarıçaplardaki etkisi aşağıda özetlenmiştir. Verilen bu değerler havada, yerden 600m yükseklikte infilak ettirilmiş nükleer bir bomba etkilerine ait olası değerlerdir.

#### **Ateştopu**

0-180 m (0,1km<sup>2</sup>). Bu bölgenin yarıçapı patlamanın yüksekliğine bağlı olarak değişir. 600 m yükseklikteki bir patlama için 180 m yarıçaplı bölge, patlamanın etkisinin en fazla hissedildiği alandır. Patlama yüksekliği azaldıkça (yüzeğe yaklaşıldıkça) radyoaktif serpinti miktarı da önemli ölçüde artacaktır. Bu bölgede, basınç etkisi yanında ihmal edilebilir bir radyoaktif serpinti etkisi için minimum yükseklik 160 m dir. Yani 160 m den daha yukarıdaki patlamalarda bu bölge için radyoaktif serpinti etkisi ihmal edilebilir düzeyde olacaktır.

#### **Basınç Etkisi**

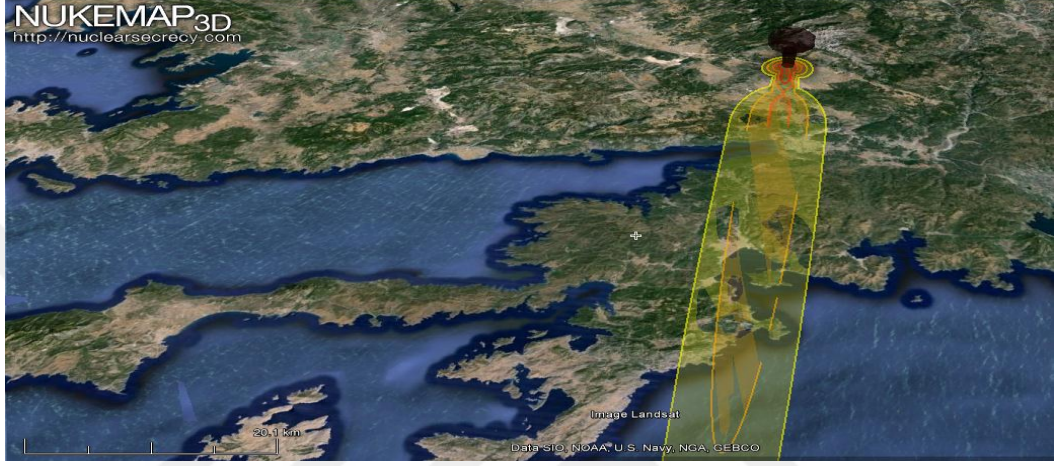
180 m-340 m (0,36km<sup>2</sup>)'lik bölgede 20 psi'lik ilave basınç nedeniyle ağır betonarme yapılar önemli ölçüde hasar görür veya yıkılır. Bu bölgede basınç etkisi nedeniyle ölüm oranı yaklaşık %100'dür. 1200 m-1670 m (8,78 km<sup>2</sup>)'lik bölgede 5 psi'lik ilave basınç nedeniyle binalar çöker, yaygın yaralanma ve ölümler görülür. Bu etkiler patlama yüksekliği 450 metreden aşağıya inildikçe artar.

#### **Radyasyon Etkisi**

340 m-1200 m (4,51 km<sup>2</sup>)'lik bölgede ortalama 500 rem radyasyon dozuna maruz kalınır. 15 kilotonluk bir bomba için seçmiş olduğumuz 600 m patlatma yüksekliği önemli ölçüde yerel radyoaktif serpinti oluşturmayacak kadar yüksektir. Radyoaktif serpintinin etkili olmaya başladığı patlama yüksekliği 160 m dir. Bu bölgede tıbbi müdahale yapılmazsa sadece radyasyonun akut etkileri nedeniyle ölüm oranı % 50-90 arasındadır. Ölümler ilk birkaç saat ve sonrasındaki birkaç hafta içinde olur. Ancak, Şekil 4.3'de görüldüğü gibi radyoaktif serpinti meteorolojik şartlara da bağlı olarak gittikçe azalan oranlarda Akyaka, Gökçe, Marmaris hatta Rodos adasına kadar ulaşır.

**Termal Radyasyon:** 1670 m-1910 m (11,4 km<sup>2</sup>)'lik bölgede aşırı sıcaklık nedeniyle

yangınlar başlayabilir. Yaklaşık  $8,7 \text{ cal/cm}^2$ 'lik ısı nedeniyle canlı vücutlarında %100 olasılıkla üçüncü derece yanıklar oluşur. Ancak yangın, ağrı sinirlerini de etkilediğinden bu yanıklar nedeniyle herhangi bir acı-ağrı hissedilmez. Yüksek sıcaklık nedeniyle sakatlanmalar ve ampütasyon (organların yerinden alınması) gereken durumlar oluşabilir.



**Şekil 4.3. Muğla merkez sıfır noktası alınarak yerden 600m yükseklikte patlamış Hiroşima tipi nükleer bir bomba nedeniyle bölgesel etkilenme**

## **SENARYO: 2**

Bomba tipi: Uranyum-235 yakıtlı 15 kilotonluk Hiroşima

Patlatılma anındaki hava aracının yüksekliği: 9470 m

Bombanın patlama yüksekliği: sıfır metre, yer yüzeyinde patlama.

Fisyon tepkimesi gerçekleşme oranı: %100 (varsayım)

Rüzgar hızı: 15 mil/saat

Rüzgar yönü  $260^\circ$  kuzey

NUKEMAP verilerine göre patlama anında, patlamadan en çok etkilenen, en az 1 psi'lik ilave basınç altında ( $1 \text{ psi}=0,0680 \text{ Atmosfer}$ ) kalmak suretiyle etkilenen bölgede 48475 kişinin olduğu varsayılmaktadır.

Bu durumda NUKEMAP senaryosuna göre bölgede tahmini ölüm 17260, yaralanma



### **Radyasyon Etkisi**

1130 m-1340 m (5,64 km<sup>2</sup>)'lik bölgede ortalama 500 rem radyasyon dozuna maruz kalınır. Bu bölgede tıbbi müdahale yapılmazsa sadece radyasyonun akut etkileri nedeniyle ölüm oranı %50-90 arasındadır. Ölümler ilk birkaç saat ve sonrasındaki birkaç hafta içinde olur. Ancak Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi radyoaktif serpinti meteorolojik şartlara da bağlı olarak, gittikçe azalan oranlarda Akyaka, Gökçe, Marmaris hatta Rodos adasına kadar ulaşmaktadır.

### **Termal Radyasyon**

1340 m-1680 m (8,92 km<sup>2</sup>)'lik bölgede aşırı sıcaklık nedeniyle yangınlar başlayabilir. Yaklaşık 8,7 cal/cm<sup>2</sup>'lik ısı nedeniyle canlı vücutlarında %100 olasılıkla üçüncü derece yanıklar oluşur. Ancak yangın, ağrı sinirlerini de etkilediğinden bu yanıklar nedeniyle herhangi bir acı-ağrı hissedilmez. Yüksek sıcaklık nedeniyle sakatlanmalar ve amputasyon (organların yerinden alınması) gereken durumlar oluşabilir.

Yeryüzeyindeki patlamada, sıfır noktasında radyoaktif serpinti önemlidir. Maruz kalınan radyoaktif doz miktarına göre etkilenme sınırları Şekil 4.5.'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'e göre yeryüzeyindeki patlamada maruz kalınan radyoaktif doz miktarı içten dışa doğru olan aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Radyoaktif serpinti nedeniyle 10000 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 1,7 km<sup>2</sup>'lik alanı kapsar. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 390 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 3.07 km'dir. Seçilen bu doz değeri bu özellikteki bir nükleer silah için çok yüksek bir değer olup haritada gösterilemeyecek kadar küçük bir alanı kapsamaktadır. Bu verimdeki nükleer bir bomba için etkilenme alanını tam doğru olarak gösterebilmek için doz miktarının 350 rad/saat olması gereklidir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 5000 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 3,33 km<sup>2</sup>'lik alanı kapsar. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 590 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 3.69 km'dir. Seçilen bu doz değeri bu özellikteki bir nükleer silah için çok yüksek bir değer olup haritada gösterilemeyecek kadar küçük bir alanı kapsamaktadır.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 1000 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 9,13 km<sup>2</sup>'lik alanı kapsar. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak

radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 1060 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 5,13 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 500 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 12,5 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 1270 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 5.75 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 250 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 56,4 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 620 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 16,7 km'dir.

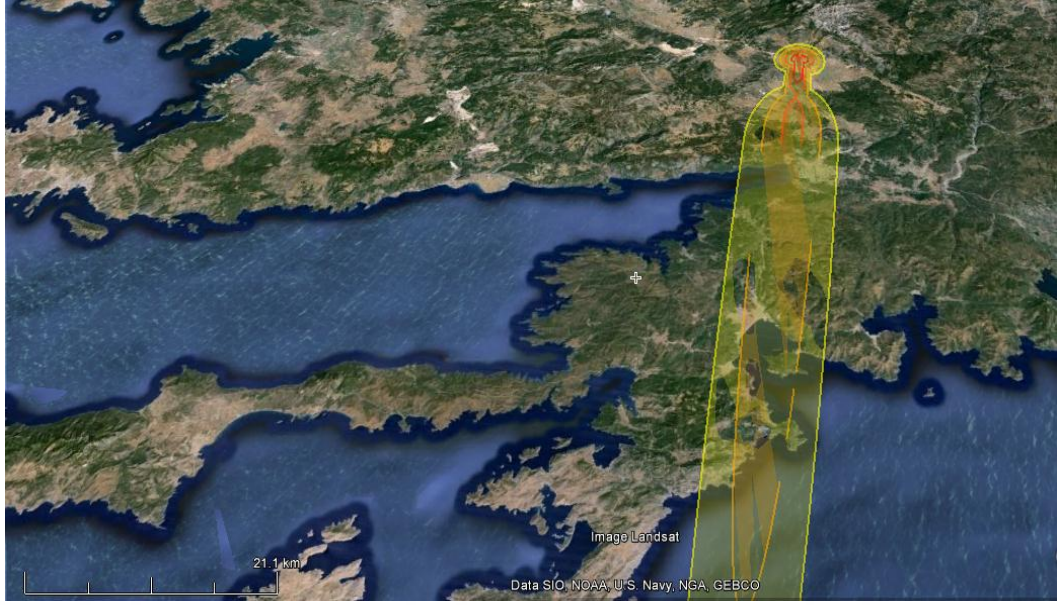
Radyoaktif serpinti nedeniyle 100 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 148 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 2300 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 32,5 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 50 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 246 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 3570 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 44,5 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 10 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 564 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 6530 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 72,4 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 5 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 740 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 7800 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 84,4 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 1 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 1240 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlesinin blok olarak genişliği maksimum 10800 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 112 km'dir.



**Şekil 4.5. Yeryüzeyindeki patlamada maruz kalınan radyoaktif doz miktarına göre etkilenme sınırları**

### **SENARYO 3**

Bomba tipi: Plutonyum-239 yakıtlı 20 kilotonluk Nagasaki tipi

Patlatılma anındaki hava aracının yüksekliği: 9470 m

Bombanın patlama yüksekliği: 600 m

Patlatma sonucu oluşan mantar bulutu tepe noktası: 7210 m

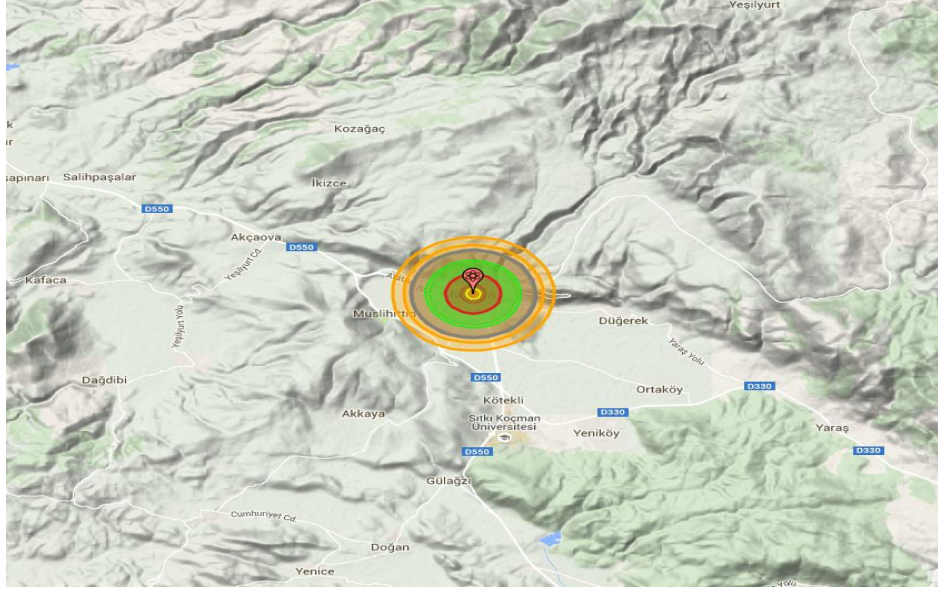
Mantar bulut kafa yüksekliği: 3380 m

Mantar bulutu kafa çapı: 5190 m

Fisyon tepkimesi gerçekleşme oranı: %100 (varsayım)

Rüzgar hızı: 15 mil/saat

Rüzgar yönü 260° kuzey,



**Şekil 4.6. Muğla merkez sıfır noktası alınarak yerden 600m yukarıda patlamış Nagazaki tipi nükleer bir bomba nedeniyle bölgesel etkilenmeler**

NUKEMAP verilerine göre patlama anında, patlamadan en çok etkilenen, en az 1 psi'lik ilave basınç altında (1 psi=0,0680 Atmosfer) kalınacak şekilde etkilenen bölgede, 48630 kişinin olduğu varsayılmaktadır.

Bu durumda NUKEMAP senaryosuna göre bölgede tahmini ölüm 28610, yaralanma 11650 kişi olarak saptanmıştır. Bu değerler tamamen teorik hesaplamalar sonucu öngörülen değerler olup, patlama sonrasında ulaşılması kesin değerler değildir. Coğrafi özellikler, bina özellikleri, olayın meydana geliş zamanı (geceyarısı, gün ortası) gibi özellikler dikkate alınmamıştır. Bu değerlere radyoaktif serpintiden etkilenmeler dahil edilmemiştir.

Muğla merkez sıfır noktası alınarak yerden 600 m yükseklikte patlamış Nagazaki tipi nükleer bir bomba nedeniyle bölgesel etkilenmeler, nükleer bombanın içten dışa doğru genişleyen yarıçaplardaki etkisi aşağıda özetlenmiştir. Verilen bu değerler havada, yerden 600 m yükseklikte infilak ettirilmiş Nagazaki tipi nükleer bir bomba etkilerine ait olası değerlerdir.

#### **Ateştopu**

0-200 m (0,13 km<sup>2</sup>)'lik bölge yarıçapı patlamanın yüksekliğine bağlı olarak değişir. 600 m yükseklikteki bir patlama için 200 m yarıçaplı bu bölge patlamanın etkisinin en fazla hissedildiği alandır. Patlama yüksekliği azaldıkça (yüzeğe yaklaşıldıkça)

radioaktif serpinti miktarı da önemli ölçüde artacaktır. Bu bölgede, basınç etkisi yanında ihmal edilebilir bir radioaktif serpinti etkisi için minimum yükseklik 180 m dir. Yani 180 m den daha yukarıdaki patlamalarda bu bölge için radioaktif serpinti etkisi ihmal edilebilir düzeyde olacaktır.

### **Basınç Etkisi**

200 m-760 m (1,82 km<sup>2</sup>)'lik bölgede 20 psi'lik ilave basınç nedeniyle ağır betonarme yapılar önemli ölçüde hasar görür veya yıkılır. Bu bölgede basınç etkisi nedeniyle ölüm oranı yaklaşık% 100'dür. Bu etkilerin maksimumlaşmaya başladığı patlama yüksekliği 490 m dir. 1310 m-1720 m (9,26 km<sup>2</sup>)'lik bölgede 5 psi'lik ilave basınç nedeniyle binalar çöker, yaygın yaralanma ve ölümler görülür.

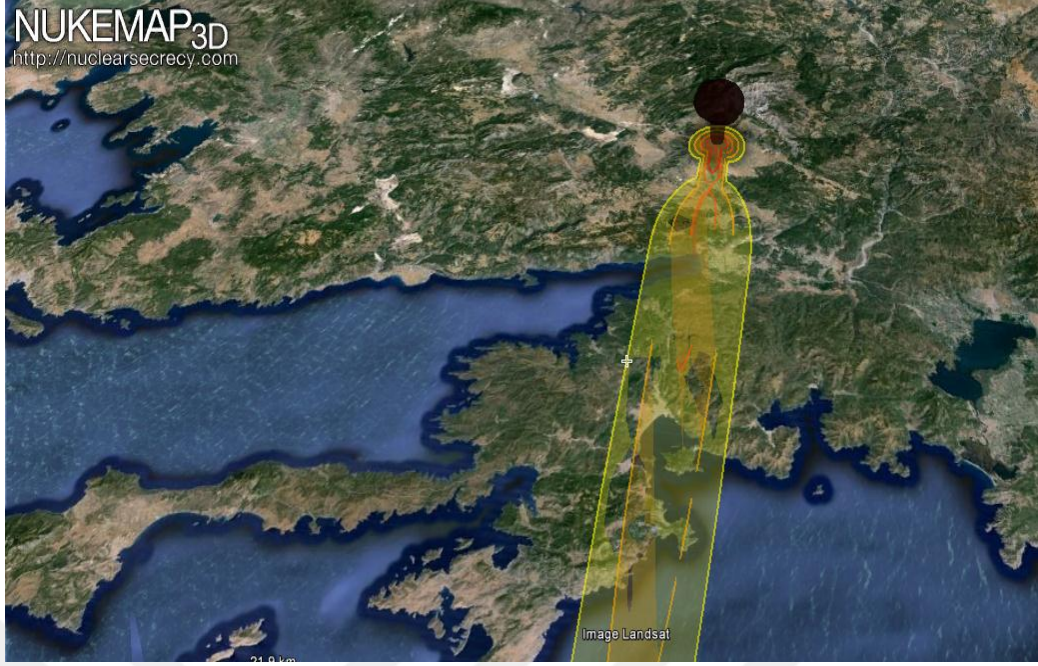
### **Radyasyon Etkisi**

760 m-1310 m (5,42 km<sup>2</sup>)'lik bölgede ortalama 500 rem radyasyon dozuna maruz kalınır. 20 kilotonluk bir bomba için seçmiş olduğumuz 600 m patlatma yüksekliği önemli ölçüde yerel radioaktif serpinti oluşturmayacak kadar yüksektir. Radioaktif serpentinin etkili olmaya başladığı patlama yüksekliği 180 m dir. Bu bölgede tıbbi müdahale yapılmazsa sadece radyasyonun akut etkileri nedeniyle ölüm oranı % 50-90 arasındadır. Ölümler ilk birkaç saat ve sonrasındaki birkaç hafta içinde olur. Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi radioaktif serpinti meteorolojik şartlara da bağlı olarak, gittikçe azalan oranlarda Akyaka, Gökçe, Marmaris hatta Rodos adasına kadar ulaşmaktadır.

### **Termal Radyasyon**

1720 m-2210 m (15,4 km<sup>2</sup>)'lik bölgede aşırı sıcaklık nedeniyle yangınlar başlayabilir. Yaklaşık 8,9 cal/cm<sup>2</sup>'lik ısı nedeniyle canlı vücutlarında %100 olasılıkla üçüncü derece yanıklar oluşur. Ancak yangın, ağrı sinirlerini de etkilediğinden bu yanıklar nedeniyle herhangi bir acı-ağrı hissedilmez. Yüksek sıcaklık nedeniyle sakatlanmalar ve amputasyon (organların yerinden alınması) gereken durumlar oluşabilir.

Muğla merkez meydanının “sıfır noktası” olarak kabul edilmesi durumunda etkilenme bölgeleri ve etkilenme dereceleri Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Muğla merkez meydanının “sıfır noktası” olarak kabul edilmesi durumunda senaryo 3’e göre etkilenme bölgeleri ve etkilenme dereceleri

#### **SENARYO: 4**

Bomba tipi: Plutonyum-239 yakıtlı 20 kilotonluk Nagazaki tipi

Bombanın patlama yüksekliği: sıfır metre, yer yüzeyinde patlama.

Fisyon tepkimesi gerçekleşme oranı: %100 (varsayım)

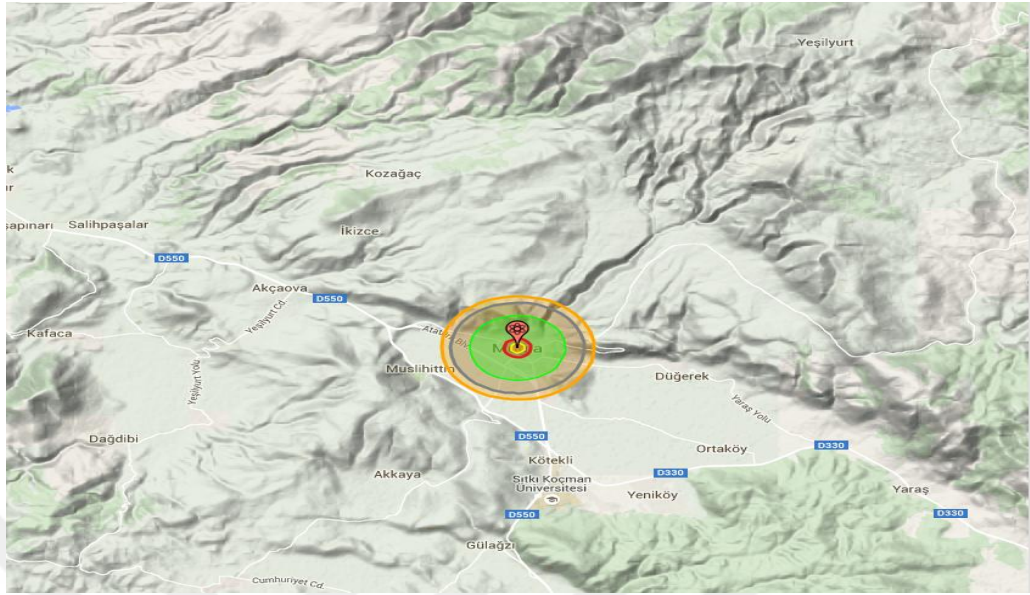
Rüzgar hızı: 15 mil/saat

Rüzgar yönü 260° kuzey

NUKEMAP verilerine göre patlama anında, patlamadan en çok etkilenen, en az 1 psi’lik ilave basınç altında (1 Psi=0,0680 Atmosfer) kalmak suretiyle etkilenen bölgede, 46201 kişinin olduğu varsayılmaktadır.

Bu durumda NUKEMAP senaryosuna göre bölgede tahmini ölüm 20470, yaralanma 13480 kişi olarak saptanmıştır. Bu değerler tamamen teorik hesaplamalar sonucu öngörülen değerler olup, patlama sonrasında ulaşılması kesin değerler değildir. Coğrafi özellikler, bina özellikleri, olayın meydana geliş zamanı (geceyarısı, gün ortası) gibi özellikler dikkate alınmamıştır. Bu değerlere radyoaktif serpintiden etkilenmeler dahil edilmemiştir. Muğla merkez meydanının “sıfır noktası” olarak kabul edilmesi durumunda etkilenme bölgeleri ve etkilenme dereceleri (Şekil 4.8.)

aşağıdaki şekilde özetlenebilir.



**Şekil 4.8. Muğla merkez sıfır noktası alınarak yeryüzeyinde patlamış nükleer bir bomba nedeniyle bölgesel etkilenmeler**

Nükleer bombanın içten dışa doğru genişleyen yarıçaplardaki etkisi aşağıda özetlenmiştir. Verilen bu değerler havada, yeryüzeyinde infilak ettirilmiş nükleer bir bomba etkilerine ait olası değerlerdir.

#### **Ateştopu**

0-260 m (0,22 km<sup>2</sup>). Yüzeyledeki bir patlama için 260 m yarıçaplı bu bölge patlamanın etkisinin en fazla hissedildiği alandır. Patlama yüksekliği azaldıkça (yüzeyle yaklaşıldıkça) radyoaktif serpinti miktarı ve etkisi önemli ölçüde artmaktadır.

#### **Basınç Etkisi**

260 m-770 m (1,84 km<sup>2</sup>)'lik bölgede 20 psi'lik ilave basınç nedeniyle ağır betonarme yapılar önemli ölçüde hasar görür veya yıkılır. Bu bölgede basınç etkisi nedeniyle ölüm oranı yaklaşık % 100'dür. 1410 m-1890 m (11,2 km<sup>2</sup>)'lik bölgede 5 psi'lik ilave basınç nedeniyle binalar çöker, yaygın yaralanma ve ölümler görülür.

#### **Radyasyon Etkisi**

770 m-1410 m (6,22 km<sup>2</sup>)'lik bölgede ortalama 500 rem radyasyon dozuna maruz kalınır. Bu bölgede tıbbi müdahale yapılmazsa sadece radyasyonun akut etkileri nedeniyle ölüm oranı %50-90 arasındadır. Ölümler ilk birkaç saat ve sonrasındaki

birkaç hafta içinde olur. Ancak, Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi radyoaktif serpinti meteorolojik şartlara da bağlı olarak, gittikçe azalan oranlarda Akyaka, Gökçe, Marmaris hatta Rodos adasına kadar ulaşmaktadır.

### **Termal Radyasyon**

1890 m-2450 m (18,9 km<sup>2</sup>)'lik bölgede aşırı sıcaklık nedeniyle yangınlar başlayabilir. Yaklaşık 8,9 cal/cm<sup>2</sup>'lik ısı nedeniyle canlı vücutlarında %100 olasılıkla üçüncü derece yanıklar oluşur. Ancak yangın, ağrı sinirleri de etkilediğinden bu yanıklar nedeniyle herhangi bir acı-ağrı hissedilmez. Yüksek sıcaklık ciddi ölçüde oluşumlara neden olabilir. Sakatlanmalar ve ampütasyon (organların yerinden alınması) gereken durumlar oluşabilir.

Yeryüzeyindeki patlamada, sıfır noktasında radyoaktif serpinti önemlidir. Maruz kalınan radyoaktif doz miktarına göre etkilenme sınırları Şekil 4.9' da gösterilmiştir. Şekil 4.9'a göre yeryüzeyindeki patlamada maruz kalınan radyoaktif doz miktarı içten dışa doğru olan aşağıdaki gibi olacaktır.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 10000 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 3,07 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 540 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 3,77 km'dir. Seçilen bu doz değeri bu özellikteki bir nükleer silah için çok yüksek bir değer olup haritada gösterilemeyecek kadar küçük bir alanı kapsamaktadır. Bu verimdeki nükleer bir bomba için etkilenme alanını tam doğru olarak gösterebilmek için doz miktarının 376 rad/saat olması gereklidir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 5000 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 5,42 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 760 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 4,44 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 1000 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 13,3 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 1270 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 5,99 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 500 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 17,7 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum

1490 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 6,65km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 250 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 73,1 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 820 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 20,4 km'dir.

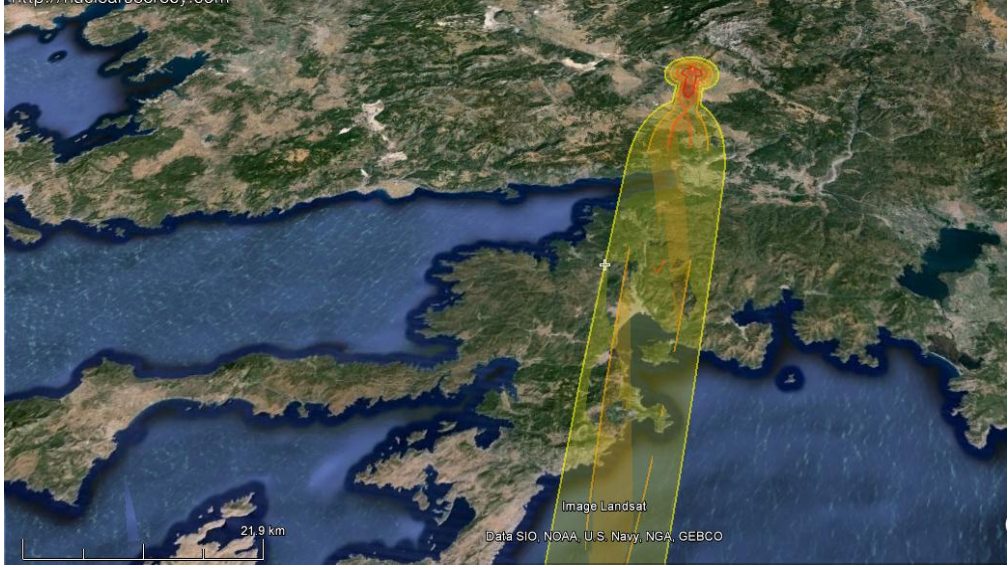
Radyoaktif serpinti nedeniyle 100 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 182 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 2650 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 37,4 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 50 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 297 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 4030 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 50,3 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 10 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 671 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 7240 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 80,2 km'dir. Bu sınırdan itibaren maruz kalınan ilave basınç 0 psi, termal radyasyon değeri <0,8 cal/cm<sup>2</sup>'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 5 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 879 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 8630 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 93 km'dir.

Radyoaktif serpinti nedeniyle 1 rad/saat doza maruz kalınan bölge sıfır noktasından itibaren 1470 km<sup>2</sup>'lik alan içinde kalacak olan bölgedir. Rüzgar yönü ve hızına bağlı olarak radyoaktif bulut kütlelerinin blok olarak genişliği maksimum 11800 m, ulaşabileceği maksimum uzaklık 123 km'dir.



**Şekil 4.9. Yeryüzeyindeki patlamada maruz kalınan radyoaktif doz miktarına göre etkilenme sınırları**

Rüzgar yön ve şiddetine bağlı olarak değişen durumlar için de farklı simülasyonla elde edilmiştir.

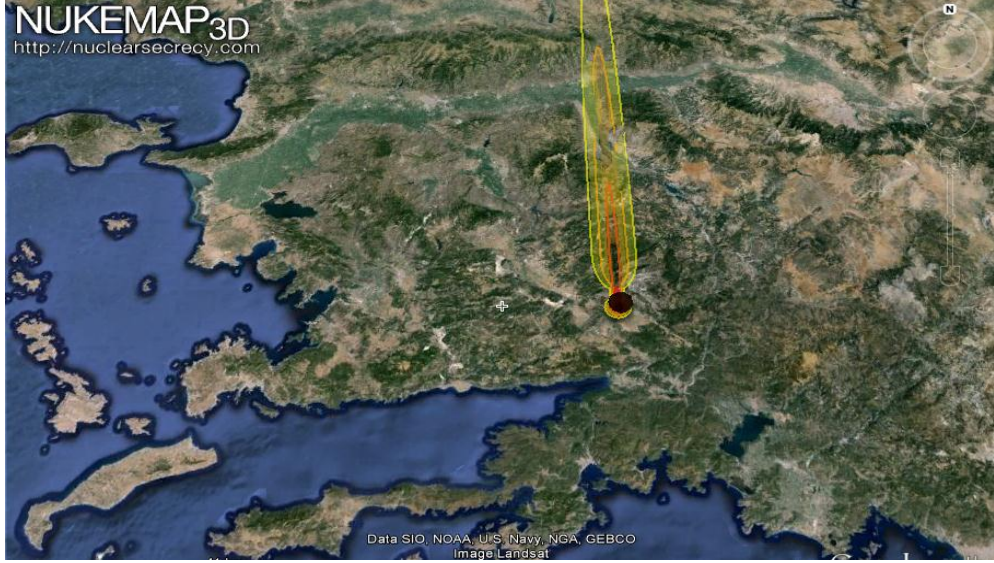
#### **SENARYO: 5**

Senaryo 1 ile aynı özellikte olup sadece bölgedeki hakim rüzgarın yönü ve hızının değişmesi durumundaki simülasyon sonuçlarıdır.

Rüzgar hızı: 30 mil/saat

Rüzgar yönü 90° kuzey

Bu durumda nükleer bomba radyasyon serpintisinin Kavaklıdere, Haydare, Bozdoğan ve Çine bölgelerini etkileyeceği görülmektedir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. 600m Yükseklikte patlamış hiroşima tipi nükleer bombanın senaryo 5'e göre çevresel etkisi

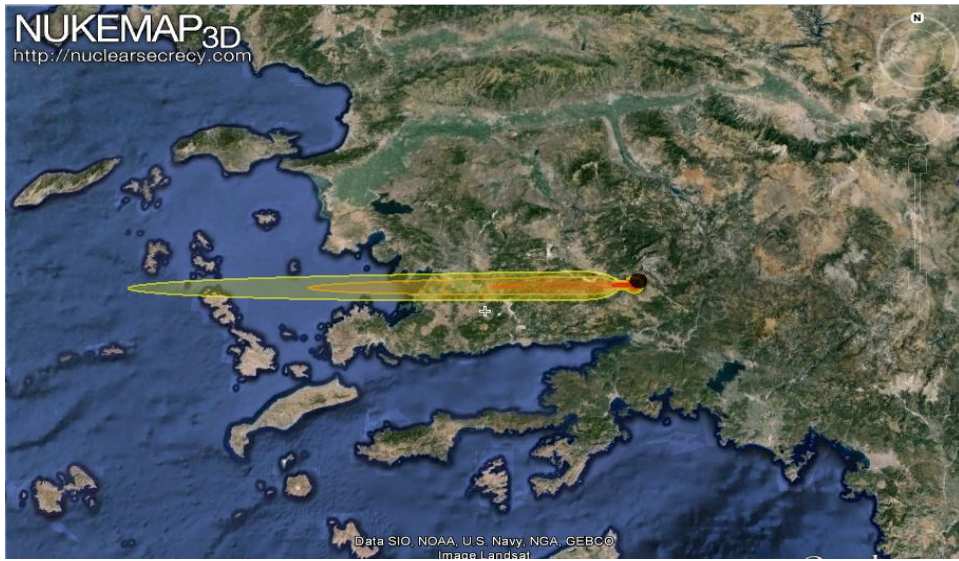
#### SENARYO: 6

Senaryo 2 ile aynı özellikte olup sadece bölgedeki hakim rüzgarın yönü ve hızının değişmesi durumundaki simülasyon sonuçlarıdır.

Rüzgar hızı: 45 mil/saat

Rüzgar yönü 180° kuzey

Bu durumda nükleer bomba radyasyon serpintisinin Bayır, Yatağan, Milas, Bodrum, Kos adasını etkileyeceği görülmektedir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Yeryüzeyinde patlamış hiroşima tipi nükleer bombanın senaryo 6'ya göre çevresel etkisi

### SENARYO: 7

Senaryo 3 ile aynı özellikte olup sadece bölgedeki hakim rüzgarın yönü ve hızının değişmesi durumundaki simülasyon sonuçlarıdır.

Rüzgar hızı: 10 mil/saat

Rüzgar yönü 320° kuzey

Bu durumda nükleer bomba radyasyon serpintisinin Köyceğiz, Ortaca, Dalaman, Göcek, Fethiye, Bozyer ve Ölüdenizi etkileyeceği görülmektedir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. 600m Yükseklikte patlamış nagazaki tipi nükleer bombanın senaryo 7'ye göre çevresel etkisi

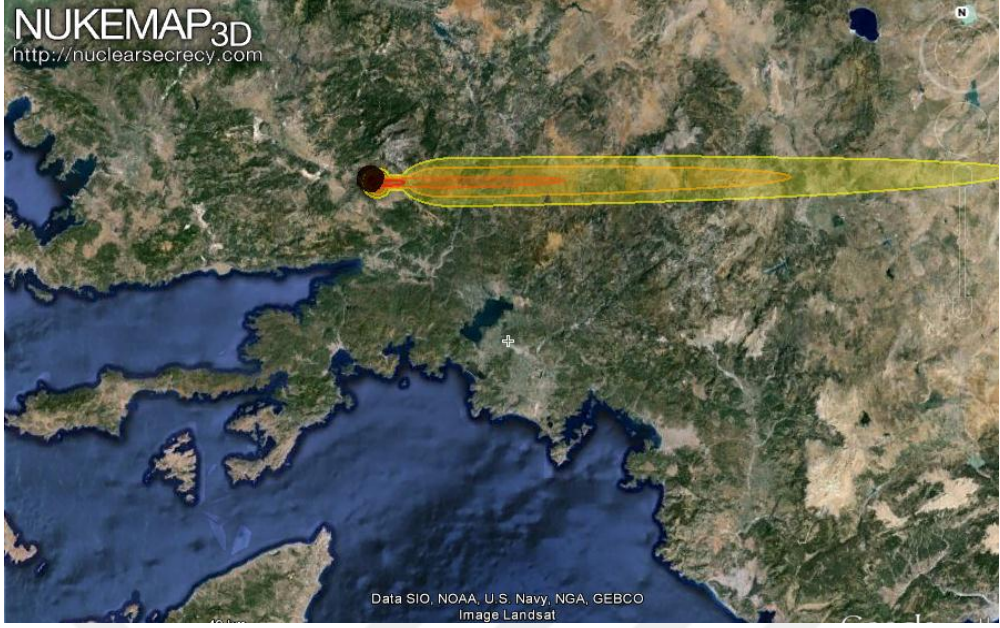
### SENARYO: 8

Senaryo 4 ile aynı özellikte olup sadece bölgedeki hakim rüzgarın yönü ve hızının değişmesi durumundaki simülasyon sonuçlarıdır.

Rüzgar hızı: 30 mil/saat

Rüzgar yönü 360° kuzey

Bu durumda nükleer bomba radyasyon serpintisinin Beyağaç, Baklaca ve Acıpayam etkileyeceği görülmektedir (Şekil 4.13.).



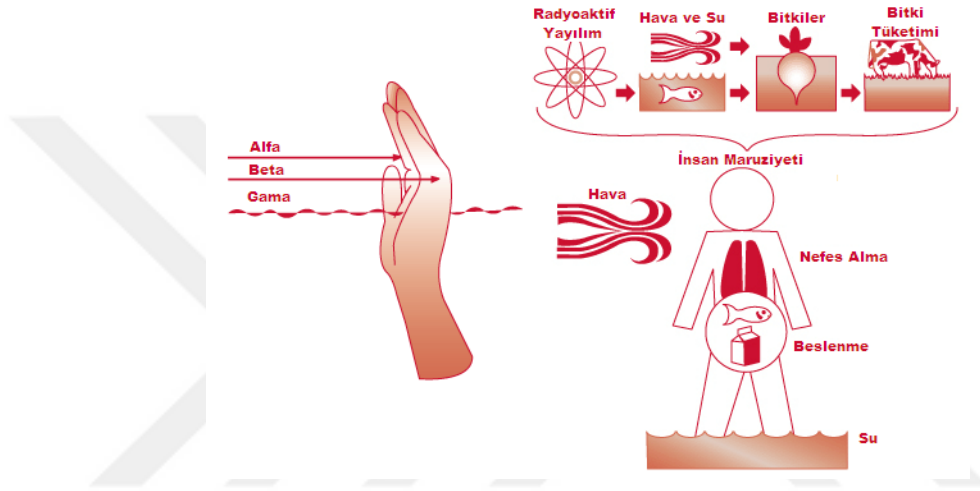
**Şekil 4.13. Yeryüzeyinde patlamış nagazaki tipi nükleer bombanın Senaryo 8'ye göre çevresel etkisi**

Sonuç olarak, nükleer bir saldırıda kullanılan atom bombasının atıldığı bölgede %45 basınç-balans, %35 ısı-ışık, %15 kalıcı radyasyon, %5 ani radyasyona neden olacağı öngörülmektedir. Yukarıda belirtilen senaryolarda bomba patladıktan sonra meteorolojik verilere göre (hava, rüzgar, ısı) kalıcı radyasyonun hangi bölgeleri ne şekilde etkilediği gösterilmiştir. Senaryo sonuçlarından anlaşılacağı gibi bomba tipi, coğrafi ve meteorolojik koşullara göre bölgede maruz kalınan radyoaktif serpinti ve serpintiye karşı alınacak önlemler, korunma yöntemleri de önem kazanmaktadır (Wellerstein, Alex.2013).

## 5. RADYASYONDAN KORUNMA VE ALINACAK ÖNLEMLER

### 5.1. Radyasyondan Korunma

#### 5.1.1. Radyasyondan korunmada temel ilkeler



Şekil 5.1 Radyoaktif ışınların doğadaki zincir etkileri

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarıyla iç içe yaşamaktayız. Kozmik ışınlar, vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler, yaşadığımız binaların yapı malzemelerinin içerdiği doğal radyoizotoplarının parçalanmasıyla ortaya çıkan radyoaktif gazlar, yiyecek ve içeceklerdeki radyoizotoplar, ısınmak için kullanılan fosil yakıtlar nedeniyle maruz kalınan radyoizotoplar, hastalıkların teşhis ve tedavisinde kullanılan radyoaktif maddeler veya radyoizotop içeren ve/veya radyasyon üreten cihazlar, nükleer bomba denemeleri ve nükleer tesisler nedeniyle radyasyon hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır.

Bu durumda radyasyondan tamamen arındırılmış bir ortamda yaşamamız ve radyasyondan tümüyle korunmamız şimdilik mümkün görünmemektedir. Ancak bazı önlemler alınarak maruz kalınabilecek radyasyon miktarı en aza indirilebilir.

Radyasyondan korunma ulusal ve uluslararası yasalarla sağlanmaktadır. Her ülkenin radyasyon çalışanları ve toplum üyeleri için oluşturduğu radyasyon güvenliğini sağlayıcı yasa, tüzük ve yönetmelikleri vardır. Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonunun (ICRP) radyasyon ve biyolojik etkileri üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarına dayanarak radyasyon korunmasının daha etkin yapılması amacıyla zaman zaman yayınladığı öneriler ışığında ulusal yasa, tüzük ve yönetmelikler de güncellenmektedir.

Ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, ICRP önerilerini de göz önüne alarak hazırladığı radyasyon güvenliğine ilişkin ilke, önlem ve hukuki sorumluluk sınırlarını belirleyen tüzük ve yönetmelikler hazırlamakta, uygulamalarını denetlemektedir. Ülkemizde uygulanan Radyasyon Güvenliği Tüzük ve Yönetmelikleri ICRP'nin radyasyon korunması bakımından ortaya koyduğu 3 temel ilkeye dayanmaktadır. Bu ilkeler:

- Net bir fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilemez.
- Ekonomik ve sosyal faktörler göz önüne alınarak radyasyon uygulamalarında maruz kalınacak dozun mümkün olduğu kadar düşük tutulması için gerekli önlemler alınır.
- Mesleği gereği radyasyonlarla çalışanlar ve halk için yılda alınmasına izin verilen doz sınırları aşılamaz.

Doğal radyoaktivite dışındaki kaynaklar nedeniyle toplum üyesi kişilerin maruz kalacağı radyasyon dozları, çevreye radyasyon ve radyoaktif madde sızıntılarını önleyen yönetmeliklerle kontrol edilmektedir. Normal şartlarda, sızıntılar nedeniyle toplum üyeleri için öngörülen doz sınırı yıllık 1 mSv olarak kabul edilmiştir. Bu değere doğal radyasyonlardan alınan dozlar ile tıbbi uygulamalardan (teşhis ve tedavi) alınan dozlar dâhil değildir. Yapılan ölçümlerden nükleer tesisler, radyoaktif serpinti ve diğer yapay radyasyon kaynaklarından alınabilecek toplam dozun bu sınırın çok altında olduğu anlaşılmıştır.

Radyasyondan Korunmanın temeli ALARA PRENSİP'ine dayanır. ALARA prensibi radyasyondan korunmada, bütün faktörlerin değerlendirilerek mümkün olan en düşük dozun alınmasının sağlanmasını açıklamak için geliştirilmiş bir kavramdır. Bunlar da minimum zaman, maksimum mesafe ve zırhlama olarak özetlenebilir. Radyoaktif

kaynaklardan mümkün olduğunca uzakta, kısa süre kalınmalı ve kaynak ile araya engelleyici bir zırh malzemesi konmalıdır

### **5.1.2.Radyoaktif serpintiye maruz kalınması durumunda yapılması gerekenler**

Radyoaktif serpintiye maruz kalınması durumunda radyolojik güvenliğin sağlanması için öncelikle ortamın radyasyon düzeyi ile gıda maddelerindeki radyoaktif kirlenmenin tespit edilmesi gereklidir. Bu tespitlerin sonucunda radyasyon düzeyinin ve radyoaktif kirlenmenin derecesine göre çiğ sebze ve meyvelerin yıkanmadan tüketilmemesi gibi hafif önlemlerle başlayıp halka iyot tableti dağıtılması, radyoaktif kirlenmeye uğrayan gıda maddelerinin tüketiminin yasaklanması ve hatta bölgenin boşaltılarak iskâna geçici veya sürekli kapatılmasına kadar varan ciddi önlemler alınır (TAEK, 2016).

## **5.2. Radyasyondan Korunmada Alınacak Önlemler**

Herhangi bir nükleer saldırı senaryosuna göre gerçekleşen tehlike durumunda tehlike ikaz ve alarm işaretleri radyo, tv, belediye anons sistemleri ile bölge halkının gri veya siyah ikaz alarmı ile uyarılması sağlanır.

### **Gri veya siyah ikaz alarmı**

Radyoaktif serpinti tehlikesini ikaz eden 3 dakika süren kesik kesik, siren sesidir. Bu ikaz duyulunca kapı ve pencereler kapatılıp derhal önceden hazırlanmış olan sığınak malzemeleri alınarak sığınak ve sığınma yerlerine gidilir, yapılacak uyarılara hazırlıklı olunur. Dışarıda bulunulması durumunda ikaz haberini takiben derhal sığınabileceğiniz bir sığınak veya sağlam bir bodrum, duvar dibi veya çukura girilir. Hemen ulaşılması mümkünse kapalı bir alana gidilir.

### **Sığınak malzemeleri**

varsa maske filtre, ilk yardım çantası (gazlı bez, steril pansuman, hazır pansuman, flaster ve lüzumlu sürekli alınan ilaçlar), pilli-transistörlü radyo, el-gemici feneri, gaz ocağı, paketli gıdalar, tabak, bardak, çatal, kaşık, içme-kullanma suyu ve mevsime göre giyeceklerdir.

### **5.2.1. Radyasyondan korunmada alınacak kişisel önlemler**

Ortamın, giysilerin ve cildin radyoaktif madde ile bulaşmasını, radyoaktif maddenin gıda ve solunum yoluyla vücuda girmesini önleyecek tedbirleri öncelikle bireylerin kendilerinin alması gereklidir.

#### **Acil Önlemler**

Derhal yüzüstü yere yatılır, Gözler kapatılır, El ve kollar vücudun altına veya yanına konarak ısıya karşı açıkta bulunan yerler korunur. Blast dalgası geçinceye ve patlama sonucundaki taş ve toprak parçalarının saçılması (serpinti) duruncaya kadar yüzüstü kalınır.

Kapalı mekanlarda kalınır. Tüm havalandırma sistemleri, pencere ve kapılar kapatılır. Havalandırma boşluk ve sistemleri ile pencere ve kapıların hava alabilecek kısımları naylon örtü ve ambalaj bandı ile sıkıca kaplanır.

Mümkün olduğu kadar binaların iç kesimlerine geçilir. Uygun ve korumalı ise bodrum katları tercih edilir ve tehlike geçti duyurusuna kadar içeride kalınır. Dışarıda bulunulması durumunda veya dışarı çıkmak zorunda kalınırsa; vücutta açık yer kalmayacak şekilde el ve yüz kapatılır, ağız ve burun ıslatılmış havlu, pamuklu kumaş veya mendil ile kapatılır. Dışarıdan içeriye girmeden önce giysi ve ayakkabılar çıkarılarak poşet veya çantaya konur, yetkililerce kontrol edilene kadar kullanmaz. Dışarıda iken vücudun açıkta kalmış kısımları bol su ile yıkanır. Yiyecekler mutlaka buzdolabı gibi kapalı yerlerde saklanır. Açıkta kalmış hiçbir şey yenmez, içilmez. Taze sebze ve meyveler temiz su ile yıkanmadığı sürece yenmez. Radyo ve televizyon devamlı açık tutulur. Yetkililer tarafından yapılacak açıklama ve anonslara uyulur. Açık su kaynakları, meralar ve tarım arazileri, yağmur suları kullanılmaz.

Yetkililerce tahliye veya sığınaklara gidilmesi duyurulmuş ise, vücutta açık yer bırakmayacak şekilde giyinerek dışarı çıkılır. Ve gösterilen yöne süratle hareket edilir. Bu esnada ağız ve burun ıslak havlu veya mendille kapatılır. Tehlike geçti uyarısından sonra dahi açıkta bırakılan su ve gıdalar, yetkililerce güvenli olduğu açıklanana kadar, tüketilmez.

Radyasyon bulaşmış olabileceğinden, kirli bölgede sigara içilmez, yemek yenmez (ÖZTÜRK, 2016).

## 5.2.2. Radyasyondan korunmada yetkililerce alınacak önlemler

### 5.2.2.1. Radyasyon düzeyinin tespiti

Alarm ikazlarından sonra yetkililer tarafından karantinaya alınan bölgelerde radyasyon ölçümleri yapılır. Bölgenin ne kadarı kirlendiği tespit edilir. Bu çalışmalarda radyasyon ölçümü için Geiger Mueller (GM) sayacı kullanılır. GM sayacı iyonlaştırıcı radyasyonu ölçen gazlı bir dedektördür. Cihaza adını veren GM tüpü içindeki düşük basınçlı gaz içinde radyasyon tarafından oluşturulan iyonlaşma nedeniyle radyasyonun varlığı tespit edilir. Taşınabilir olması nedeniyle radyasyon tespitinde yaygın olarak kullanılır.



Şekil 5.2 Farklı tipte GM dedektörleri

GM dedektöründe sayım veya radyasyon dozu okunabilir. Sayım gösterimi en basit olanıdır ve "birim zamandaki bozunma sayısını" veya belli bir zaman üzerinden bozunma sayılarının toplamı şeklindedir. Radyasyon doz oranının gösterimi daha karmaşıktır ve doz miktarı sievert (Sv) olarak gösterilir. GM tüpü sadece radyasyonun varlığını tespit eder, enerjisini veya tipini tespit edemez (Glenn F Knoll, 2000).

### 5.2.2.2. Korunma

Ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra karantinaya alınmış bölgelerde

yetkililer veya yetki verilmiş kişilerce koruyucu önlemler alınır, gerekiyorsa temizleme işlemleri yapılır. Koruyucu önlemlerin alınmasında radyasyona maruz kalma yolu önemli olup dikkate alınması gerekir.

**Çizelge 3.1. Radyasyona maruz kalma yolu ve koruyucu önlem tablosu**

<b>Radyasyona Maruz Kalma Yolu</b>	<b>Koruyucu Önlem</b>
Tesis Veya Buluttan Dış Işınlama	Sığınma, Tahliye, Giriş-Çıkış Kontrolü
Buluttan Solunum Yoluyla İç Işınlama	Sığınma, İyot Tableti Dağıtımı, Tahliye, Giriş-Çıkış Kontrolü
Elbise ve Cildin Bulaşması	Sığınma, Tahliye, Kişilerde Bulaşmanın Giderilmesi
Topraktan Dış Işınlama	Sığınma, Tahliye, Çevrede Bulaşmanın Giderilmesi
Topraktaki Radyoizotopların Havaya Karışması ve Solunum Yoluyla İç Işınlama	Tahliye, Çevrede Bulaşmanın Giderilmesi
Bulaşmış Gıda ve Sular Yoluyla İç Işınlama	Gıda ve Suların Kontrolü

Yetkililerce yapılacak çevresel radyoaktivite ölçüm değerlerine göre radyoaktif serpintiye duyarlı özel maskeler dağıtılır. Özel maskeler 20 dakika süre ile korur ve sıcak bölgenin terkedilmesine imkan tanır. Siviller için en uygun KBRN (kimyasal-biyolojik-radyoaktif-nükleer) koruyucu malzemesidir.

Radyoaktif serpintiye takiben yine yetkililerce yapılacak çevresel radyoaktivite ölçüm değerleri ve radyasyon uzmanlarının kararına göre bölge halkına iyot tabletleri dağıtılır. Bu tabletlerin alımıyla vücuttaki tiroid bezlerinin iyot ile doldurulması sağlanır ve radyoaktif iyotun tiroid bezlerinde birikmesi/vücuda zarar vermesi önlenir. Çizelge 3.2.'de kişisel özelliklere göre verilmesi gereken iyot tablet dozları görülmektedir.

Çizelge 3.2. İyot tabletlerin doz alım tablosu

Grup	Miktar	
18 Yaşından Büyüklere	1 Tablet	130 mg
12-18 Yaş Grubundaki	1 Tablet	130 mg
68 kg'dan Ağır Çocuklara	1 Tablet	130 mg
68 kg'dan Hafif Çocuklara	1 / 2 Tablet	65 mg
03-12 Yaş Grubundaki Çocuklara	1 / 2 Tablet	65 mg
1 Ay - 03 Yaş Grubundaki Çocuklara	1 / 4 Tablet	32,5 mg
1 Aylıktan Küçük Bebeklere	1 / 8 Tablet	16,25 mg

Tabletler mümkünse aç karnına yutularak alınır. Bebek, küçük çocuk veya yutma zorluğu olanlara toz haline getirilip süt, bebek maması veya suya karıştırılarak verilir. Tabletlerin maksimum toplam dozu 1 gramı geçmemeli, günde 1 dozdan yüksek miktarda alınmamalıdır. Tabletler 24 saat süreyle koruma sağlamakla birlikte radyoaktiviteye maruz kalınmadan 6 saat öncesinde alındığında maksimum korunma sağlar. Radyasyona maruz kalındıktan itibaren 10 saatten sonra alınması durumunda hiçbir etkisi olmaz.

Nükleer serpentinin ilk aşamasında gıda maddelerinin radyoaktif kirlenmesini engellemek veya asgari düzeye indirmek için de önlemler alınır. Önemli ölçüde bulaşıklık olduğu doğrulanan alanlarda ise kısa, orta ve uzun vadeli ilave önlemlerin alınması sağlanır.

#### 5.2.2.3. Yiyecek ve içecek maddelerinin korunma ve yedeklenmesi

Yiyecek ve içecek maddelerinin radyoaktif serpintiye karşı korunmasında esas, radyoaktif serpentinin yiyecek ve içecek maddelerine bulaşmaması ve dolayısıyla vücudumuza girmemesi için önlemler alınmasıdır. Bu önlemler de aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

#### **Stok maddeler**

Radyoaktif serpintiden etkilenen bölgelerdeki hububat, bakliyat ve çok tüketilen gıda

maddeleri stokları, tahrip ve yangın tesirleri de dikkate alınarak, güvenli depolarda saklanır. Üretici veya tüketici tarafından depolanan hububat, bakliyat gibi gıda maddeleri stokları; olağanüstü halden itibaren, üstü toprakla örtülü mahzen ve kuyularda saklanır veya mümkün olduğu kadar kapalı ve kalın duvarlı yerlerde bulundurulur. Açıktaki hububat, bakliyat, ot ve saman yığınları radyoaktif serpinti veya bulaşmanın olmaması için iyice sıkıştırılmış kümeler halinde bulundurulur. Üzerleri kalın muşamba ve benzeri malzemeyle örtülür.

Üzerleri açık yığınların, serpentinin bulaşmış olduğu dış kısımları ayıklanmak ve imha edilmek suretiyle diğer kısımları kullanılabilir. Serpintiye maruz kalmış yiyecek maddeleri, radyoizotopların yarı ömürleri dikkate alınarak, radyoaktivitenin etkisi geçinceye kadar bekletildikten sonra kullanılabilir.

Radyoaktif serpintiye takiben, radyasyondan korunma uzmanlarının görüşü alınmadan ürün hasadı yapılmaması gereklidir.

#### **Ev ve satış yerlerindeki maddeler**

Olağanüstü bir durumda ev, market ve diğer satış yerlerindeki gıda maddelerinin korunması için kapakları sıkıca kapanan kutu, varil veya bidon, dolap, sandık, şişe, sürahi, plâstik kaplar vb. kullanılır.

Kasap, fırın ve lokantalardaki gıda maddeleri olağanüstü bir durumdan itibaren kesinlikle açıkta bırakılmaz. Yukarıda belirtildiği şekilde saklanmaları sağlanır. Açıkta kalarak radyoaktif serpintiye maruz kalan gıda maddeleri ancak radyoaktivite seviyelerinin zararsızlığı tespit edilince kullanılır. Zararlı olmasından şüphelenilen gıda maddeleri yetkililere bildirilir.

Radyoaktif serpinti tehlikesi geçtikten sonra gıda maddeleri dikkatle gözden geçirilir. Sağlam ve sıkı kapalı dolap, kap veya ambalaj içindekiler dış yüzeylerindeki radyoaktif bulaşmanın giderilmesi için su ile iyice yıkandıktan sonra açılarak yenebilir. Kapaklarında arıza görülen veya bulaşmış olmalarından şüphelenilen gıda maddeleri kesinlikle tüketilmez. Kaynatmak radyoaktiviteyi gidermez.

#### *5.2.2.4. Hayvanların korunması*

Hayvanlar, özellikle et ve süt verenlerin radyoaktif serpintiye karşı korunmaları gerekir. Bölgedeki hayvanların serpinti etkilerine karşı korunmaları amacıyla barındıkları yerlerin de takviye edilmesi, pencere ve diğer deliklerin kapatılması,

yangın önleyici tedbirlerin alınması gerekir.

Radyoaktif serpinti tehlikesinde hayvanların, serpinti başlamadan önce bütün delik ve aralıkları kapatılmış ahır veya diğer uygun kapalı yerlere alınmaları gerekir. Burada kalacakları süre için yeteri kadar yem ve su bulundurulur. Kapalı yerlere alınması mümkün olmayan hayvan toplulukları, mümkün olduğu kadar küçük alanlar üzerinde sıkı bir şekilde bir arada toplanır. Radyoaktif serpinti geçtikten sonra açık havada su ile tüylerinin içi de karıştırılmak suretiyle iyice yıkamak faydalı olur. Ancak insanlara bulaşmaması için lâstik eldiven ve muşamba kullanılması gerekir.

Yerel olarak üretilen sütlerin tüketilmemesi, radyoizotopların yarılanma ömürleri dikkate alınarak peynir yapılması gerekir. Sebzelerin iyice yıkanması, mantar veya yapraklı bitkilerin tüketiminden kaçınılması gerekir.

Radyoaktif bulaşık yemle beslenen tavukların etinin tüketilmemesi gerekebilir. Ancak radyoaktivitenin büyük kısmının kabuğunda toplanması nedeniyle yumurta tüketiminde sakınca yoktur. (Afad, 2016)

### **5.3. Radyasyondan Korunmada Temizleme (Dekontaminasyon) Çalışmaları**

Radyoaktif kirlenme çoğunlukla serpinti olarak ortaya çıkan radyoaktif toz ve kirlenmiş malzemeler ile yayılır. Çevreyi etkilemiş olan radyoaktif serpinti kaynaklı kirlenmenin nötralizasyon ve eliminasyon gibi farklı yöntemlerle zararsız duruma getirilmesi, kişi ve ortamdan uzaklaştırılması gerekir.

#### **5.3.1. Genel prensipler**

- Radyoaktif serpentinin dekontaminasyon çalışmalarında temizleme işlemlerinin bilinçli ve tam koruyucu malzeme kullanılarak yapılması gereklidir (koruyucu elbise, maske, bot, eldiven).
- Temizleme işlemi çabuk yapılmalıdır.
- Sadece gerekli olan nesne ve ortamlar temizlenmelidir.
- Kirlenmeyi yaymadan temizlik yapılmalı, temizlenecek malzeme, araç-gereç temizlik bölgesinde temizlenmelidir.

- Temizlik işlemleri öncelik sırasına göre yapılır. Öncelik daima el-yüz ve cilt temizliğidir.

Bu prensipler çerçevesinde temizleme işlemi kişisel temizlik, kısmi (bölgesel) temizlik ve genel temizlik olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilir. Her seviyede temizlik yaparken uyulması gereken kurallar vardır. Örneğin bölgedeki hava durumu ve hakim rüzgar yönü önemlidir. Kirli bölgeye girilirken rüzgar üzerinde kalınır veya rüzgar arkaya alınır. Kirli bölgeye yaklaşırken kişisel korunma malzemeleri (koruyucu elbise, maske, bot, eldiven) giyilir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Kişisel korunma malzemeleri

### 5.3.2. Temizleme maddeleri

Temizlik (dekontaminasyon), eğitimli personel ve etkili madde-malzeme kullanılarak gerçekleştirilir. Bilinen temizleme maddeleri ve hangi kirliliğe karşı nasıl kullanılacakları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

#### **Standart Temizlik Maddeleri**

Sabun ve deterjanlardır. Karışım; 3,7 litre suya 453 gram sabun veya deterjan karıştırılarak hazırlanır. Kimyasal kirlenmeye maruz kalmış yüzeyler ovalanarak sıcak sabunlu su ve deterjanlı çözeltilerle temizlenir. Küçük parçalar çözeltilere daldırılarak temizlenir, su ile durulanır.

### **Özel Temizlik Maddeleri**

- Okside edici temizleme maddeleri
  - Potasyum permanganat
  - Potasyum ve sodyum dikromat
  - Nitrik asit

Bu kimyasal maddeler eriyik halinde hazırlanır. Bulaşık ortamlara sürülerek deterjanlı su ile ve arkasından temiz su ile durulanır. Paslandırıcıdır.

### **Doğal Temizlik Maddeleri**

En önemli temizlik malzemesi “su”dur. Sıcak su her zaman için soğuk suya nazaran daha etkilidir. Su, bazı kimyasal maddeleri hidrolize etmesine, gözenekli ve yağlı yüzeylerde pek etkili olmamasına rağmen, fiziksel temizlikte başarılıdır. Kimyasal temizlemede istenen etkiyi sağlayamaz.

Kirlenmenin fiziksel olarak kaldırılmasında “buhar” da etkilidir. Buharın kirli yüzeyler üzerinde fırçalayarak kullanımı sadece buhar kullanımından daha etkilidir.

### **5.3.3. Kişisel dekontaminasyon**

Uygun koruyucu donanım olmaksızın radyoaktif serpintiye maruz kalınması durumunda derhal kişisel temizlik yapılmalıdır. Bu amaçla,

- Kirli bölgeden çıkılır.
- Kirlenmenin sadece deri üzerinde olması durumunda bıçak, tahta..vs ile maruz kalındığı düşünülen radyoaktif serpinti deriden sıyrılır, emici maddeler kullanarak emdirme işlemi yapılır.
- Radyoaktif kirlenmiş deriden çıkarıldıktan sonra giysiler çıkarılır. Çıkarma işlemi baştan yapılmak zorunda ise mutlaka keserek çıkartılır. Giysiler her durumda vücuttan uzağa doğru ve kirlilik içeride kalacak şekilde sıyrılarak çıkarılmalıdır. Özel temizlik kiti varsa onunla yoksa kimyasal temizleyici veya sabunlu su kullanarak usulüne uygun dekontaminasyon yapılır. Mümkünse su püskürtülerek temizlenir, herhangi bir emici malzemeyle kirlenmiş su emilir.
- Üzerinizde bulunan takı ve cihazlar (işitme cihazı, gözlük, mücevherat, saat, peruk vb.) çıkarılır,
- Temiz giysi giyilir.

- Cilt Temizliği yapılır. Cilt temizliğinde boğaz altındaki lekelerden başlayarak vucudun diğer b6lgelelerine doğru temizleme yapılır. Bu sırada kullanılan malzeme deriye bastırılmadan uygulanır. %0,5'lik hipoklorit 6zeltisiyle, yoksa ılık sabunlu suyla yıkanır, ılık suyla durulanır. Yıkamaya mutlaka baş ve ellerden başlanır, diğer b6lgelelerle devam edilir (şekil 5.4.).



şekil 5.4 Cilt ve vucut temizliği

#### 5.3.4 Araç-gereç ve malzemenin dekontaminasyonu

Araç, gereç ve malzemeler su ile yıkama, ovma uygulanarak temizlenir. Radyoaktif serpintiye maruz kalmış motorlu araçlar da şekil 5.5.'de g6r6ld6đu gibi su ve buharla temizlenir.



Şekil 5.5 Motorlu araçların temizlenmesi

### **Koruyucu Maskelerin Temizlenmesi**

Toplu bakım ve temizlik dışında herkes kendi maskesini temizler. Radyoaktif maddelerle kirlenen maskeler sıcak sabunlu su ile temizlendikten sonra temiz su ile durulanır. Maske yıkanırken süzgeç çıkarılmalı veya su kaçmayacak şekilde yukarıda tutulmalıdır.

### **5.3.5. Çevre ve arazi temizliği**

Çevre yani yapı, cadde ve bitki örtüsünün temizliği oldukça zordur. Radyoaktif kirlilik, çevre elemanları ve arazinin girintili yüzeylerince tutulur ve uzun süre etkisini devam ettirir. Dekontaminasyon için çok miktarda temizlik madde-malzemesine gerek duyulur. Bu nedenle havalandırma, yıkama, örtme, kazıma ve yakma gibi yöntemler uygulanabilir.

**Yıkama:** Tüm kirlenmelere karşı etkili yöntemdir. Sıcak su ve sabun temizliğin etkisini artırır. Atıkların bir yere biriktirilip, hacim küçülmesinden sonra gömülmesi gerekir. Fırçalama işlemi ile birlikte uygulanması tavsiye edilir. Bu yöntemde standart temizlik maddeleri kullanılabilir.( Şekil 5.6.).



Şekil 5.6 Arazinin yıkanması

**Örtme:** Radyoaktif bulaşmanın olduğu yerlerde örtme işlemleri için su, hava geçirmeyen malzeme ve toprak kullanılabilir. Örtme yöntemi tehlikeyi bir süre ertelemektir. Bu nedenle güvenli bir yöntem değildir. Geçici güvenlik sağlar.

**Kazıma:** Hizmetin gerektirdiği alanı açmak amacıyla kısmi temizlik olarak uygulanır. 5-10 cm kadar derinlikte kazımak suretiyle kirlenmeden kurtulmak mümkün olabilir. Tam güvenli değildir.

### 5.3.6. Kirlenmiş giysi ve araç-gereçlerin toplanması

Kirlenmiş giysi ve araç-gereçler, rüzgar altı ve dekontaminasyon bölgesine belli bir mesafede toprağa gömülme üzere sızdırmaz kap veya torbalara konur. Bu yer planda belirtilir. Şekil 5.7.'de seyyar dekontaminasyon aracı, Şekil 5.8-10.'da ise dekontaminasyon çadırları gösterilmiştir (Anonim14, 2012).



Şekil 5.7. Seyyar Dekontaminasyon aracı



Şekil 5.8. Dekontaminasyon çadırı



Şekil 5.9. Dekontaminasyon çadırı



Şekil 5.10. Dekontaminasyon çadırı iç kısmı

## **5.4. Temizleme Sonrasında Radyoaktif Serpintiden Etkilenmenin Tayini**

### **5.4.1. Kişisel etkilenme tayini**

Pilot bölge ve çevresinde temizleme (dekontaminasyon) işlemleri tamamlandıktan sonra bölge halkı temizlenmiş bölgeye alınarak tüm vücut yükü sayım sisteminde tüm vücut sayımları yapılır ve maruz kalınan doz miktarları saptanır. Gezici sistem içerisine dikey bir şekilde zırhın ön yüzüne monte edilmiş iki adet NaI(Tl) ve hareketli iki adet HPGe dedektörden oluşan farklı iki sayım sistemi ve programlanabilir bir motor yardımıyla hareket eden dedektörler tüm vücudu tarayarak kişisel etkilenmeler belirlenir.

### **5.4.2. Çevresel etkilenme tayini**

Nükleer serpintiye maruz kalmadan önce bölgenin hava, su, toprak ve çok tüketilen gıda maddelerine ait radyoaktivite değerlerinin ölçülmüş ve biliniyor olması önemlidir. Bölge, deniz veya göl kıyısında ise radyoaktif olarak kirlenmiş toprakların erozyonla taşınması bu ortamların kirlenmesinde etkili olabilir. Sulu ortama girmiş radyoizotopların eriyik veya asılı halde kaldıktan sonra dibe çökmesi veya organizmalar tarafından alınması nedeniyle radyoaktif kirleticiler su, sediment ve organizma arasında sürekli bir döngüye uğrayabilir. Bu nedenle deniz, göl suyu ve sedimentleri ile deniz organizmalarının da ön-ölçülmesinin yapılmış, biliniyor olması gerekir.

Çevresel etkilenme ölçümleri hava, su, toprak ve diğer çevresel ortamlarda bulunan radyoaktif izotoplardan yayınlanan gama radyasyonunun  $\mu\text{R/saat}$  cinsinden ölçülen doz hızı değeridir. Radyoaktif bir serpintide en önemli radyoizotoplar I-131, Cs-137, Sr-90 olarak sayılabilir. Patlamadan sonraki yaklaşık 40 gün içinde I-131 önemli miktarda azalacağından bu süreden sonraki ölçümlerde uzun yarılanma ömürleri nedeniyle Cs-137 ve Sr-90 ön plana çıkar.

Havada bulunan radyoizotopların nitel ve nicel tayini, yerden en az bir metre yükseklikte bulunan pompa ile günde yaklaşık  $80 \text{ m}^3$  hava emişi yapılarak filtre kağıdına alınan örneklerde yapılır. Toprak örneklerinde kazadan hemen sonraki dönemde toprak yüzeyinden 0-5 cm derinliğinde örnekleri alınarak radyoizotopik

analizler yapılır. Bitki ve gıda maddelerindeki radyoaktif izotopların ölçülmesi işlemleri de her bir örnek grubu için özel örnekleme-ölçümler yapılarak tamamlanır. Gıda maddelerinin radyoaktif serpintiden etkilenmeleri açıkta bulunmalarından kaynaklanır. Acil durumdan daha önce dağıtımı yapılmış veya ambalajlanmış gıda maddeleri radyoaktif serpintiden etkilenmediğinden tüketilmelerine öncelik verilir. Radyoaktif serpinti meyve ve sebze yüzeylerinde, ot vs gibi hayvan yemlerinde birikebilir. Bunun dışında, radyoizotopların zamanla topraktan bitki veya hayvanlara geçmesiyle de gıda maddeleri kirlenebilir.

Radyoaktif kirlenme düzeyleri, insan sağlığına doğrudan tehdit oluşturabilecek düzeylerden daha düşük olsa bile topraktan bitki ve hayvanlara geçişler nedeniyle gıdalarda kabul edilebilir radyoaktivite limitlerine yönelik standartlar, bulaşık gıdaların uzun bir süre yenilebileceği ve kümülatif bir doz oluşturabileceği gözönüne alınarak hazırlanır ( TAEK Çernobil, 2016) .

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada pilot bölge olarak seçilen Muğla ilinin herhangi bir nükleer saldırıya uğraması durumunda, kullanılan nükleer bomba tipine göre basınç-balans, ısı-ışık, kalıcı ve ani radyasyon bakımından etkilenmesi incelenmiştir. Bununla ilgili olarak NUKEMAP-3D simülasyon programından yararlanılmıştır. Simülasyon çalışmalarımızda Hiroşima ve Nagazaki’de kullanılan nükleer bomba tiplerinin farklı patlatılma yüksekliği ve meteorolojik şartlara göre etkilemeleri verilmiştir. NUKEMAP-3D simülasyon programına göre patlamayı takiben oluşacak basınç, ısı, ışık, ani ve kalıcı radyasyon etkileri ve etkilenenlerin şiddeti gösterilmiştir.

Muğla Menteşe ilçe merkezinde patlama anında, patlama nedeniyle en az 1 psi’lik ilave basınç altında kalacak şekilde etkilenen bölgede NUKEMAP-3D verilerine göre 48475 kişinin olduğu varsayılmıştır. Bu durumda, Uranyum-235 yakıtlı 15 kilotonluk Hiroşima tipi bombanın 600 m yükseklikte patlatılmasıyla ölü sayısı 26960, yaralı sayısı 12610 kişi, yerde (sıfır) metre yüksekliğinde patlatılması durumunda ise ölü sayısı 17260, yaralı sayısı da 14010 kişi olacağı öngörülmüştür. Sıcaklığın 4000°C’ye ulaştığı **ateş topu** bölgesi yarıçapı, bombanın 600 m yükseklikte patlatılmasında 180 m olurken, sıfır metrede patlatılması durumunda 230 m’ye çıkmaktadır. Maruz kalınan radyasyon dozu açısından bakıldığında ise bombanın 600 m yükseklikte patlamasıyla sıfır noktasından itibaren 4,51 km<sup>2</sup>’lik bir alan içinde 500 rem’lik radyasyon dozuna maruz kalınırken, bombanın yerde patlaması durumunda aynı doz değeri 5,64km<sup>2</sup>’lik alan içinde etkin olmaktadır.

Plutonyum-239 yakıtlı 20 kilotonluk Nagazaki tipi bombanın 600 m yükseklikte patlatılmasıyla ölü sayısı 28610, yaralı sayısı 11650 kişi, yerde (sıfır) metre yüksekliğinde patlatılması durumunda ise ölü sayısı 20470, yaralı sayısı da 13480 kişi olarak öngörülmüştür. Sıcaklığın 4000°C’ye ulaştığı **ateş topu** bölgesi yarıçapı, bombanın 600 m yükseklikte patlatılmasında 200 m olurken, sıfır metrede patlatılması durumunda 260 m’ye çıkmaktadır. Maruz kalınan radyasyon dozu açısından bakıldığında ise bombanın 600 m yükseklikte patlamasıyla sıfır noktasından itibaren 5,42 km<sup>2</sup>’lik bir alan içinde 500 rem’lik radyasyon dozuna maruz kalınırken, bombanın yerde patlaması durumunda aynı doz değeri 6,22 km<sup>2</sup>’lik alan içinde etkin olmaktadır.

Sonuç olarak, bombanın yakıt tipi ve gücünden bağımsız olarak yerde patlatılması

durumunda, toprağın bomba gücünü ve etkisini azaltması nedeniyle ölü ve yaralı sayıları ile radyasyon etkileri, havada patlatılmasına nazaran farklılık göstermektedir. Nükleer bombanın yakıt tipi ve gücüne bağlı olmaksızın 600 m’de patlatılmasıyla ölüm sayısının arttığı ancak ani radyasyonun daha dar bir alanı etkilediği; yerde patlatıldığı zaman ise ölüm sayısının daha az olmasına rağmen yaralı sayısının ve ani radyasyonun etki alanının arttığı görülmüştür.

Çalışmamızın ana konusu olan radyoaktif serpinti etkileri de ani ve kalıcı etkiler olarak incelenmiştir. Radyoaktif serpintiden etkilenmede, patlama noktası merkez kabul edilerek, nükleer bomba tipi, patlatılma yüksekliği ve meteorolojik şartlar dikkate alınarak radyasyon bulutunun merkezden itibaren hareketliliği incelenmiştir. Nükleer bombanın yerde patlaması durumunda, bomba tipi ve gücüne göre olası radyasyon doz değerleri de sıfır noktasından itibaren genişleyen yarıçaplarda gittikçe azalarak etkisini yitirmektedir. Aşağıdaki çizelgede bomba tipi ve gücüne göre merkezden itibaren genişleyen yarıçaplı alanlarda radyasyon doz hızı değerleri özetlenmiştir.

**Çizelge 3.3. Sıfır Noktasından İtibaren Çevresel Radyasyon Dozları**

Doz hızı, rad/saat	Eki alanı, km <sup>2</sup>	
	Hiroşima, U-235, 15 kton	Nagasaki, Pu-239, 20 kton
10000	1,71	3,07
5000	3,33	5,42
1000	9,13	13,3
500	12,5	17,7
250	56,4	73,1
100	148	182
50	246	297
10	564	671
5	740	879
1	1240	1470

Bu tez çalışması, radyasyon serpintisi nedeniyle ortaya çıkan radyoizotoplar, radyoaktif maruziyeti en aza indirmek için radyoaktif kirlilik yaratan radyoizotoplardan korunma yolları, alınması gereken önlemler ve temizleme çalışmalarını da kapsamaktadır.

## KAYNAKLAR

AP Photo/, (1945) The Association of the Photographers of the Atomic Bomb  
Destruction of Hiroshima, Yotsugi Kawahara

Anonim1, (2016 ) [www.sura.org](http://www.sura.org) 2005, Erişim Tarihi:23.02.2016

Anonim 2, (2016) <http://onedio.com>, Erişim Tarihi:23.02.2016

Anonim 3, (2016) [Nuclear.gen.tr](http://Nuclear.gen.tr), Erişim Tarihi:24.02.2016

Anonim 4, (2016) [Akkuyungs.net](http://Akkuyungs.net), Erişim Tarihi:26.02.2016

Anonim5, (2016) <https://www.ctbto.org/nuclear-testing/the-effects-of-nuclear-testing/general-overview-of-the-effects-of-nuclear-testing/>,  
Erişim Tarihi:23.04.2016

Anonim6, (2016) <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/h/half-life-effective.htm> Erişim Tarihi:23.02.2016

Anonim7,(2016) [https://books.google.com/books?id=4HOGwg0YqwMC&pg=PA35dq=radioactive+falloout+particles+zirconium&lr=&num=50&as\\_brr=3&cd29#v=onepage&q=radioactive%20falloout%20particles%20zirconium&f=false](https://books.google.com/books?id=4HOGwg0YqwMC&pg=PA35dq=radioactive+falloout+particles+zirconium&lr=&num=50&as_brr=3&cd29#v=onepage&q=radioactive%20falloout%20particles%20zirconium&f=false), Erişim Tarihi:23.02.2016

Anonim 8, (2016 )(OECD report, the second edition of the radiochemical man  
<http://atom.kaeri.re.kr/> , Erişim Tarihi:25.03.2016

Anonim 9, (2016) referans (Genetik Hastalıklar, <http://www.e-saglik.net/genetikxst.htm> , Erişim Tarihi:25.03.2016

Anonim 10, (2016) <http://www.taek.gov.tr/> , Erişim Tarihi:21.04.2016

Anonim 11, (2016) <http://ntsi.131.nci.nih.gov>, Erişim Tarihi:21.04.2016

Anonim 12, (2016) <http://www1.city.nagazaki> , Erişim Tarihi:21.04.2016

Anonim13,(2016)[http://www.breitbart.com/article.php?id=D8QT3S3G0&show\\_article=1&cat=0](http://www.breitbart.com/article.php?id=D8QT3S3G0&show_article=1&cat=0) , Erişim Tarihi:22.05.2016

Anonim14, (2012)<https://decontamination.wordpress.com/2012/02/.../>  
Erişim Tarihi:22.05.2016

Bailiff IK, Stepanenko VF, Göksu HY, Boetter-Jensen L, Brodsky L, Chumack V, Correcher V, Delgado A, Golikov V, Jungner H, Khamidova LG, Kolizshenkov TV, Likhtarev I, Meckbach R, Petrov SA, Sholom S (2003) Comparison of retrospective luminescence dosimetry with

computational modelling in two highly contaminated settlements down wind of the Chernobyl NPP. Health Phys. 86: 25-41

Bailiff IK, Stepanenko VF, Göksu HY, Jungner H, Balmukanov SB, Balmukanov TS, Khamidova LG, Kisilev VI, Kolyadao, IB, Kolizshenkov TV and Shoikhet Y N (2004) The application of retrospective luminescence dosimetry in areas affected by fallout from the Semipalatinsk Nuclear Test Site: an evaluation of potential. Health Phys. 87, 625-641.

Bouville A, Simon SL, Miller CW, Beck HL, Anspaugh LR, Bennett BG. (2002) Estimates of doses from Global fallout. Health Phys. 82: 690-705.

Geiger Müller Tüpleri, 1nci baskı” Centronics Ltd. tarafından yayınlanan Kılavuzluk notları

Glenn F Knoll. *Radiation Detection and Measurement*, third edition 2000. John Wiley and sons, ISBN 0-471-07338-5

Gilbert ES, Land CE, Simon SL (2002) Health effects from fallout. Health Phys. 82: 726-735.

Göksu, HY, Stepanenko VF, Bailiff IK, and Junger H (2006) Intercomparison of luminescence measurements of bricks from Dolon’ village: Experimental methodology and results of European study group. J. Radiation Research 47 Suppl A-29-A-37.

Göksu, HY, Bailiff IK. (2006) Dose reconstruction using building material and Personal objects Radiation Measurements, 119, 413-420.

Göksu, HY (2005) Anılarla Çernobil kazası sonrası: İzleri Bilim ve Teknik 52-55.

Göksu, HY, Degteva MO, Bougrov NG, Haskell E, Bailiff IK, Bøtter-Jensen L, Jungner H. and Jacob P (2002) First International intercomparison of luminescence techniques and validation of external dose assessment for the Muslyumovo-Techa river residence. Health Phys. 82, 94-101.

Hakim, Joy (1995). *A History of Us: War, Peace and all that Jazz*. New York: Oxford University Press. ISBN 0-19-509514-6 Ekim 2015).

Her Nükleer Santral Bir Çernobil, Ekolojik Eylem/Nükleer Karşıtı Platform-İstanbul, 1996.

Ilyn LA. *Chernobyl: Myth and Reality* Moscow, Megapolis Translated from Russian, ISBN 5- 86640-004-9(1995)

İsmail Hakkı Uzunçarşılı, *Anadolu Kitabeleri 2. Kitap Afyonkarahisar, Sandıklı, Bolvadin, Çay, İsaklı, Manisa, Birgi, Muğla, Milas, Peçin, Denizli, Isparta, Atabey ve Eğridir*, İstanbul 1929, s.150

- Jacob P, Göksu HY, Taranenko V, Meckbach R, Bougrov NG, Degteva MO and Vorobiova MI (2003) On an evaluation of external dose values in the Techa River Dosimetry System (TRDS-2000). *Radiat. Environ. Biophys.* 42, 169-174.
- Jacob P, Bogdanova TI, Buglova E, Chepurniy M, Demidchik Y, Gavrilin Y, Kenigsberg J, Meckbach R, Schotola C, Shinkarev S, Tronko MD, Ulanovski A, Vavilov S and Walsh L. (2006) Thyroid Cancer Risk in Areas of Ukraine and Belarus affected by the Chernobyl Accident. *Radiat. Res.* 165: 1-8.
- James D. Navratil (2003). *Radioactivity, Ionizing Radiation, and Nuclear Energy.* Brno: Konvoj. ISBN 80-7302-053-X.].
- Köleniz Atom, Henry Dunlap ve Hans N. Tuch, Nebioğlu Yaynevi, 1957. 6. Nükleer Bilimler Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- L. Walsh, W. Rühm, A. M. Kellerer. Cancer risk estimates for gamma-rays with regard to organ-specific doses. Part I: All solid cancers combined. *Radiation and Environmental Biophysics*, 43, 145-151, 2004.
- L. Walsh, W. Rühm, A. M. Kellerer. Cancer risk estimates for gamma-rays with regard to organ-specific doses. Part II: Site-specific solid cancers. *Radiation and Environmental Biophysics*, 43, 225-231, 2004.
- Lucky T D (1980) "Hormesis with Ionizing Radiation." CRC Press, Boca Raton, FL
- Lucky T D (1982) Physiological benefits from low levels of ionizing radiation. *Health Phys.* 43: 771-789
- Marie Curie, Özkaynak Yayınları, 1996.
- Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>
- ÖZTÜRK (2016). (Dr.ilhan ÖZTÜRK KBRN uzmanı) (Gümüşhane üniversitesi)
- Paperback Ver. A Date With the Lonesome Lady: A Hiroshima POW Returns, Eakin Press, April 2002.
- Preston DL, Pierce DA, Shimizu Y, Cullings HM, Fujita S, Funamoto S, and Kodama K (2004) Effects of recent changes in Atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimated. *Radiat Res* 162:377-389
- Preston DL, Ron E, Tokuako S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K (2007) Solid cancer incidents in Atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res* 168:1-64 77-389

- Prof. Dr. Tolga Yarman, Esin Yayinevi, Geçmişte ve Bugün Nükleer Enerji Tartışması, 1995.
- Ralph E L (1958) The voyage of the Lucky Dragon, Haper &Brothers Publishers, pp.
- Robert Manoff, 'American Victims of Hiroshima', New York Times Magazine, 12.2.1984, p. 67+ The New York Times Magazine
- Radioaktive von Himmel und Erde, IPPNW Wissenschaftliche Reihe Band 2, Handsheim, Almanya.
- Roesch WC (1987) US-Japan Joint Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. Final Report (Ed. W.C. Roesch) 1/2, The Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan.
- Simon SL, Bouville A.(2002) Radiation dose to local populations near nuclear test sites worldwide. Health Phys. 82: 706-725.
- Simon SL, Baverstok KF, Lindholm C. (2003) A summary of evidence on radiation exposures received near to Semipalatinsk nuclear weapons test site in Kazakhstan. Health Phys. 84: 718-725.
- TAEK, "RESA 2000 Yılı Verileri", Şubat 2000, RESA/TAEK
- TAEK, Yaşar, S: "Radyasyon ve Radyasyondan Korunmak", ÇNAEM/TAEK, 1999
- TAEK (2006) 20. yılında Çernobil, Türkiye'de Çernobil sonrası radyasyon ve radyoaktif ölçümler, TAEK yayınları, Nurol matbaacılık, Ankara/TR
- T. C. Artwright, A Date with the Lonesome Lady, Erişim tarihi: 31 Temmuz 2008
- T. C. Cartwright, A Date with the Lonesome Lady: Recollections about experiences during July and August, 1945, s.n., 1998.
- Türkiye İstatistik Kurumu"2013 genel nüfus sayımı verileri" (html).. 15 Şubat 2014 tarihinde özgün kaynağından arşivlendi.  
<http://www.webcitation.org/6NPVAiR9c>. Erişim tarihi: 15 Şubat 2014.
- Tuncer AM edit. (2006) Cancer Control in Turkey, Onur Matbaacılık Ltd.Şti. Ankara/TR
- Uyan Dergisi, sayfa 8, 8 Haziran 1998.
- UNSCEAR (1958) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to General Assembly, Annex F, New York, United Nations Publishing.

UNSCEAR (2000) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of ionizing radiation, Vol. 1: Sources of radiation Vol. II: Effects of radiation; New York, United Nations Publishing.

UNSCEAR (2000) Exposures and effects of the Chernobyl Accident (2000)

UNSCEAR (2001) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to General Assembly Hereditary effects of radiation, New York, United Nations Publishing.

UNSCEAR (2006) Summary report of Chernobyl Forum 2003-2005, Second revision, New York, United Nations Publishing.

UNSCEAR (2006) Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to General Assembly Annex A-Epidemiological studies of radiation and cancer; and Annex B-Epidemiological evaluation of cardiovascular disease and other non-cancer diseases following radiation exposure. Volume 2 Annex C-Non-targeted and delayed effects of exposure to ionizing radiation; Annex D-Effects of ionizing radiation on the immune system; and Annex E-Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces, New York, United Nations Publishing.

Wahnwitz Atomkraft - vom Anfang in Berlin bis heute", Eine Broschüre der IPPNW zum 50. Jahrestag des Atombombenabwurfs auf Hiroshima und Nagasaki, Berlin 1995.

W. Rühm, L. Walsh. 2007 Current risk estimates based on the A-bomb survivors data a discussion in terms of the ICRP recommendations on the neutron weighting factor. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 126, No. 1-4, pp. 423-431,

Wellerstein, Alex.(2013) "So Long, Mom, I'm Off to Drop the Bomb: A Case Study Usage of an Educational Tool". WMD Junction. Retrieved 2013-08-04].

Nuclear Weapons,(2014) Data Visualization Reaches Finals of National Science Foundation's "Vizzies" Award". Stevens Institute of Technology. November 11, 2014. Retrieved 2016-01-01].

Vural,(2003) Prof. Dr.Vural Altın / Bilim ve Teknik -Sayı:423-Şubat 2003-(Genetik Hastalıklar, <http://www.e-saglik.net/genetikhst.htm>)

Zekai Mete, "Muğla", DİA, s.337

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İbrahim GÜLBAHÇE  
Uyruk : T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir-Ayvalık / 23.04.1975  
Medeni Hali : Evli  
Telefon : 0 505 275 28 98  
E-posta : gulbahce.i@hotmail.com

### Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
İlkokul	Gazi İ.Ö. Okulu	1981-1986
Ortaokul	Ayvalık Lisesi Orta Kısım	1986-1989
Lise	Ayvalık Endüstri Meslek Lisesi	1989-1992
Önlisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi	1993-1995
Lisans	Eskişehir Anadolu Üniversitesi	2009-2013
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2014-2016

## Mesleki Deneyim

Çalışılan Kurum	Görevi	Çalışma Süresi
Deniz Kuvvetleri Komutanlığı	Elk. Astsubay	1997-devam

## Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma		X	
Anlama		X	
Okuma		X	

## Poster Sunum

Gülbahçe. İ, ve Ayçık, G.A. (2015) Nükleer Serpinti Kaynaklı Radyoizotopların Pilot Bölge Çevresel Dağılımları Etkileri ve Pilot Bölgede Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkıların Belirlenmesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Araştırma Sempozyumu, Muğla.

## **Kurslar**

1. Yangın ve Yarasavunma Kursu (İzmir 2001)
2. Emniyet ve Kaza Önleme Kursu (Derince 2003)
3. KBRN (Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer) Savunma (Gölcük 2003)
4. D/G (Manyetizma ve Manyetizmadan Korunma Prensipleri) (Derince 2007)
5. İlk Yardım ve Sağlık Kursu (Karamürsel 2012)
6. KBRN (Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer) Eğitici Personel Kursu  
( Konya 2014)
7. EKAT (Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri) (İzmir 2016)

## **Hobileri**

1. Motorsiklet sürmek,
2. Klarnet çalmak,
3. Futbol,
4. Su Sporları ve Balık Tutmak.