

YAPILARDA  
RADYASYON KALKANI OLARAK KULLANILAN  
BARİT AGREGALI AĞIR BETON ELEMANLARIN  
ZİRH KALINLIK HESAPLARININ  
BELİRLENMESİ

Ayşe KAÇAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ISPARTA 2006

T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA RADYASYON KALKANI OLARAK KULLANILAN  
BARİT AGREGALI AĞIR BETON ELEMANLARIN  
ZİRH KALINLIK HESAPLARININ  
BELİRLENMESİ

AYŞE KAÇAR

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ISPARTA, 2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma jürimiz tarafından YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEKLİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT (Danışman)

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN

ONAY

Bu tez 23.01.2006 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

**Prof.Dr. Çiğdem SAVAŞKAN**

Enstitü Müdürü

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER DİZİNİ .....	ix
1.GİRİŞ .....	1
1.1.Radyasyonun Tanımı ve Bozunum Türleri .....	2
1.2.Radyasyon kaynakları .....	8
1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları .....	9
1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları .....	10
1.3. Radyasyonun Kullanım Alanları .....	12
1.4. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri .....	16
1.4.1. Radyasyonun Somatik Etkileri .....	17
1.4.1.1. Erken Dönem Etkileri.....	17
1.4.1.2. Geç Dönem Etkileri.....	18
1.4.2. Radyasyonun Genetik Etkileri.....	19
1.5 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi .....	19
1.5.1 Fotoelektrik Olay .....	20
1.5.2 Compton Saçılımı .....	21
1.5.3 Çift Oluşumu .....	23
1.6. Radyasyondan Korunma Yöntemleri .....	23
1.6.1. Zaman Kuralı .....	24
1.6.2. Mesafe Kuralı .....	24
1.6.3. Zırhlama Kuralı .....	26
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	30
3.1 Materyal .....	30
3.1.1. Cobalt 60 Radyoaktif Kaynağın Genel Özellikleri .....	30
3.1.2 Zırh Malzemesi Olarak Kullanılan Başlıca Yapı Malzemeleri ve Özellikleri .....	31
3.1.2.1 Ağır betonlar .....	33

3.1.2.2. Barit Agregalı Betonların Özellikleri .....	33
3.2. YÖNTEM .....	34
3.2.1. Zırlamanın Teorisi .....	34
3.2.2. Zırlama Esasları .....	36
3.2.3 Zırh hesabı programı .....	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	48
4.1 Zırh Hesabı Programı Uygulamas.....	48
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	53
6. KAYNAKLAR .....	55

**ÖZET****YAPILARDA RADYASYON KALKANI OLARAK KULLANILAN BARİT  
AGREGALI AĞIR BETON ELEMANLARIN ZIRH KALINLIK HESAPLARININ  
BELİRLENMESİ**

Gelişen teknoloji ile radyasyon, tıp alanında teşhis ve tedavi amaçlı enerji üretimi gibi pek çok kullanım alanına sahip olmuştur. Radyasyondan vazgeçmek mümkün olamayacağına göre zararlı etkilerini azaltacak korunma önlemleri alınmalıdır. Zaman, mesafe ve zırlama kuralı. Zırlama radyasyon dozunu kabul edilebilir seviyelere azaltmak amacı ile radyasyon kaynağı ile birey arasına koyulan engellere denir. Zırh malzemesi seçiminde rol alan etkenler radyasyon kaynağının çeşidi ve enerji seviyesi, malzemenin atom numarasının büyük olması, bünyesinde hidrojen iyonu içermesi ve ekonomik, yapımı kolay olan malzemelerden oluşmasıdır. Zırh malzemesi olarak kullanılan başlıca yapı malzemeleri beton ve kurşundur. Kurşun radyasyon zırlamasında radyasyon çeşidine göre, beton ise düşük yoğunluğa sahip olmasından ötürü zırh malzemesi olarak eksik kalabilir. Bu nedenle hem hidrojen iyonu içeren hem de yüksek yoğunluğa sahip ağır betonlar kullanılır. Ağır betonların yüksek yoğunluğa sahip olmaları, agregasının ağır agregalardan oluşmasıdır. Zırh kalınlığı tasarımında zırhlanacak mekânların özellikleri de önemlidir. Zırh malzemelerinin zırh kalınlıklarını belirlemek için o malzemenin enerji aralığına göre onuncu tabaka kalınlıkları bilinmelidir.

Bu amaçla Delphi programlama dili kullanılarak zırh kalınlıkları hesap programı geliştirilmiştir. Uygulanan zırh kalınlığı hesaplama programında kurşun barit agregalı ağır beton ve normal betondan oluşan zırhlar içerisinde gerek kullanım kolaylığı ve ekonomikliği gerekse radyasyon tutuculuk özellikleri ile barit agregalı ağır betonlar önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon, Ağır Beton, Zırlama, Zırh Tasarımı

**ABSTRACT****INVESTIGATION OF THE CALCULATIONS SHIELDING THICKNESS OF HEAVYWEIGHT CONCRETE MEMBERS' WITH BARITE AGGREGATES USAGE RADIATION SHIELDING IN STRUCTURES**

There are many kinds of radiation so that its effect on lives and interactions with materials are being diversified. common technology bring lots of usage field to radiation like in medicine and nuclear power for this reason without living radiation unthinkable so must being taken some protection precaution for reducing harmful effects to permissible doses. There are three basic rules in radiation protection. Time, distance and shielding. For reducing radiation harmful effects to permissible doses, are being put some barriers between radiation source and individuals is determined as shielding. Kind of radiation source, energy level, materials z number size, hydrogen component, cheap labour and easy making materials are affected main roles in choosing shielding materials. Lead and concrete be able to use on radiation shielding. lead has high density and concrete has hydrogen in components and easy making and cheap but no high density but if condition changes these materials are defective in to this end heavyweight concrete is able to use. So both high density and hydrogen content can provide. It is important that shielding areas properties in shielding thickness determination and must be knew materials tenth value layers according to radiation energy levels

In this study a model for calculating shielding thickness program with using delphi programming language at the end of this study it is using heavyweight concrete recommendatory for radiation shielding.

**Key Words:** Radiation, Heavyweight Concrete, Shielding, Shielding Design

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmada , radyasyon zırhlama problemlerinin çözümüne yardımcı olmak amacıyla bilgisayar ortamında zırh kalınlığı hesabı yapılmıştır. Radyasyonun bugün ve yarın hayatımızda hep var olacağını kabul ederek gerekli korunma önlemlerinin alınması gerekmektedir.

Bu tez çalışması, Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenen 848-YL-04 no'lu “Yapılarda Zırh Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlıklarının Hesabının Belirlenmesi” adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu Proje kapsamında bana yardımcı olan SDÜ BAP personeline,

Tez çalışmamın hazırlanması için gerekli ortamın sağlanması, çalışmanın sonuçlandırılması ve karşılaşılan hertürlü güçlüklerin aşılmasında yön gösteren, her zaman ilgi ve teşviklerini esirgemeyen tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT'e,

Tez çalışmam süresince bilgilerini benimle paylaşan, yönlendiren sayın Yrd.Doç.Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN'a,

Nükleer fizik konusunda bana yardımcı olan sayın Doç. Dr. İskender AKKURT'a ,

Bütün çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen Bölüm Başkanımız sayın Prof. Dr. Mümin FİLİZ'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah KADAYIFÇI'ya

Tez süresince desteklerini esirgemeyen ve sorularıma gösterikleri tahammüller için sayın Yrd. Doç. Dr. Serdal TERZİ' ye, Sayın Yrd. Doç. Dr. Özlem TERZİ' ye, Sayın Arş. Gör. Melda ALKAN ÇAKIROĞLU'na ve Sayın Arş. Gör. Cengiz ÖZEL'e

Bugünlere gelmemde emeği geçen Yapı Eğitimi bölümü bütün hocalarıma,

Tez süresince bana yardımcı olan sevgili arkadaşım Ömer Özgür AKKAŞ'a ve yetişmemde maddi manevi bütün sevgilerini hissettiğim sevgili AİLEME içtenlikle teşekkür ederim.



<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	Sayfa
Şekil1.1 Elektromanyetik Spektrum.....	3
Şekil1.2 Alfa Bozunumu.....	4
Şekil1.3 Beta-eksi ( $\beta^-$ ) Bozunumu.....	6
Şekil1.4 Beta-artı $\beta^+$ Bozunumu.....	7
Şekil15 Elektron Yakalama.....	7
Şekil1.6 Gama Bozunumu.....	8
Şekil1.7 Radyasyon kaynakları.....	9
Şekil1.8 Doğal Radyasyonun Dağılım Oranları.....	9
Şekil1.9 Yapay Radyasyonun Dağılım Oranları.....	11
Şekil1.10 Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarının Küresel Radyasyona Katkıları.....	11
Şekil1.11 X ışını Radyografisi.....	12
Şekil1.12 Radyoterapi Uygulamaları.....	13
Şekil1.13 Radyoterapi Uygulamaları.....	13
Şekil1.14. Bir Tıbbi Ürünler Sterilizasyon Tesisi.....	14
Şekil 1.15 Nükleer Güç Santrali.....	14
Şekil1.16 Radyasyonun Endüstriyel Alanlarda Uygulaması.....	15
Şekil 1.17 Fotoelektrik olay.....	20
Şekil 1.18 Compton saçılması.....	22
Şekil 1.19 Çift Oluşumu.....	23
Şekil 1 20 Ters Kare Kanunu.....	24
Şekil 1.21 Dozun Mesafe ile İlişkisi.....	25
Şekil 3.1 Co-60'ın bozunum şeması.....	31
Şekil 3.2 Değişik radyasyon türlerinin zırh malzemelerine gircilikleri.....	32
Şekil 3.3 fotonun madde ile Etkileşmesinin Foton Enerjisine ve Z Sayısına Bağlı Olarak Değişim...	32
Şekil 3.4 Radyasyon Şiddeti Yoğunluğunun X Kalınlığındaki Madde İçerisindeki Zayıflaması.....	35
Şekil 3.5 Birincil Bariyer ve İkincil Bariyer Işınları ile Yapı Elemanları.....	37
Şekil 3.6 Radyasyon Zırh Kalınlığı Programı Açılış Penceresi.....	42

Şekil 3.7 Zırhlanacak mekanın Planı.....	43
Şekil 3.8 Birincil Bariyer Hesabı Verileri Penceresi.....	44
Şekil 3.9 İkincil Bariyer Hesabı Verileri Penceresi.....	44
Şekil 3.10 Zırh Kalınlığının Hesap Verilerini Gösteren Pencere.....	45
Şekil 3.11 Zırh Kalınlığını Gösteren Pencere.....	46
Şekil 3.12 Çıktı sayfası penceresi.....	47
Şekil 4.1 Röntgen Odası Kesiti.....	48
Şekil 4.2 Hesap Kriterleri Seçimi.....	49
Şekil 4.3 Birincil Bariyer Hesabı Veri Girişi .....	49
Şekil 4.4 Zırh Kalınlığı Hesap Kriterleri.....	50
Şekil 4.5 Zırh Kalınlığı Sonuç Değeri.....	51

**ÇİZELGELER LİSTESİ**

Çizelge 1.1 Radyasyonun Canlılar üzerine etkileri.....	17
Çizelge 3.1 Meşguliyet Faktörü.....	39
Çizelge 3.2 Kullanım Faktörü.....	39
Çizelge 3.3 Kullanılan zırh malzemelerinin enerji değişimine göre OTK Değerle.....	40
Çizelge 4.1 Zırh Malzemelerinin Zırh Kalınlığı Değişimleri.....	52

**SİMGELER DİZİNİ**

$\lambda$  : Dalga Boyu

$\nu$  : Frekans

$E$  : Enerji

$c$  : ışık Hızı ( $3 \times 10^8$  m/sn)

$I$  : Işık Şiddeti

$h$  : Planck Sabiti ( $6.62 \times 10^{-34}$  J.sn)

$T$  : Kinetik Enerji

$m$  : Kütle

$\mu$  : Lineer Zayıflama Katsayısı

$\mu/\rho$  : Kütleli radyasyon zayıflatma katsayısı

$e$  : Elektron Yüğü ( $1.6 \times 10^{-19}$  C)

$\rho$  : Yoğunluk

$\bar{\nu}$  : Antinötrino

$e^-$  : Elektron

$e^+$  : Pozitron

$\alpha$  : Alfa Parçacığı

$\beta$  : Beta Parçacığı

$\gamma$  : Gama Işıması

$\tau$  : Fotoelektrik Katsayısı

$\sigma$  : Compton Katsayısı

$\kappa$  : Çift Üretim Katsayısı

## 1.GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji ile birlikte insan sağlığını tehdit eden pek çok faktör de ortaya çıkmıştır. Bunlardan birisi de radyasyondur. Canlıların radyasyona maruz kalmaları insanlığın başlangıcından beri devam etmektedir. Tıpta teşhis ve tedaviden nükleer santraller aracılığı ile elektrik enerjisi elde edilmesine kadar çok geniş kullanım alanına sahip olan, radyasyon ve nükleer enerjinin zararlı biyolojik etkileri ilk keşiflerinden itibaren bilinmektedir. Enerji ve tıp alanlarının dışında radyasyonun, tarımda daha iyi verim sağlayan ürünlerin yetiştirilmesinde ve çeşitli zararlılarla savaşta insanlığın hizmetinde olduğu, endüstride kalite kontrollerinde yarar sağladığı bilinmektedir. Bütün canlılar yeryüzünde mevcut halde bulunan radyasyon ile karşı karşıyadır (TAEK,1999). Çünkü radyasyon, hava gibi her yerde ve her zaman var olan bir enerjidir. Bu nedenle yalnızca radyasyon ile uğraşan, onunla çalışan kişiler değil, sokakta dolaşan, evinde oturan herkes hiç farkında olmadan radyasyon ile sürekli olarak, bir arada yaşamakta ve ondan etkilenmektedir. Radyasyonun insanlar için her geçen gün artan bir tehlike durumuna gelmesinin gerekçesi radyasyon ilkesine dayalı silahların geliştirilmesi ve dünyanın her geçen gün artan enerji gereksinmesini karşılamak amacı ile kurulan nükleer santrallerin hızlı bir şekilde artmasıdır. Radyasyonun doğurabileceği tehlikeler herkes tarafından bilinmektedir. Ancak bütün bu kötü etkilerine rağmen özellikle tıpta kanser tedavisinde ve bazı biyolojik sorunların çözümlenmesinde de büyük faydalar sağlamaktadır. Bütün bu iyi ve kötü örnekler nükleer enerjinin diğer bir ifadeyle radyasyonun, insanlar için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Hayatımızdan radyasyon riskini atamayacağımız için, radyasyon tehlikesini en aza indirecek korunma önlemleri almamız gerekmektedir. Radyasyonun canlılar da tahripkâr bir etkiye yol açabilmesi için, biyolojik yapıda iyonizasyon olayını meydana getirmesi, yani enerjisini yapıya aktarması gerekmektedir. Bu nedenle, özellikle iyonizan karakterli radyasyonlar korunmayı gerektirirler. Radyasyondan korunmada, tolerans dozu karşılığı olan ve radyasyon ile çalışmayan diğer tüm canlıları da içine alan, maksimum müsaade edilen doz tespit edilmiştir ( Kahya,1985). Maksimum müsaade edilen dozlar, özel şekilde tarif edilmiş bazı şartlar altında radyasyon işçilerinin ve bunların dışındaki insanların maruz kalabilecekleri ve zarar görmeyecekleri azami doz miktarını gösterir. Maruz kalınan radyasyon, doza bağlı olarak hiçbir biyolojik etki göstermeyebileceği gibi ölüme kadar varabilen etkilere de neden olabilir. Önemli

olan, hangi iyonlaşma dozunun canlı hücrede iyonlaşması sonucu, hücresel hasara ve kansere neden olabileceğinin belirlenmesidir. Maksimum müsaade edilen doz düzeyleri üzerindeki radyasyonların, canlılarda zararlı etkiler meydana getireceği kesinlikle bilindiğinden, özellikle tıpta teşhis ve tedavide kullanılan radyasyon kaynaklarının bulunduğu yerlerin planlama ve zırhlanmaları, radyasyon ile çalışanlarını ve halkı radyasyondan koruma bakımından mutlaka gereklidir.

Radyasyona maruz kalan yapılarda bölme elemanları, belirli bir kalınlıkta olmalı ve zırh görevi görebilecek malzemelerden oluşturulmalı ya da kaplanmalıdır (Önen,1993). Zırh bölmelerin kalınlıklarının düşük tutulması için genellikle kurşun ve ağır beton kullanılır.

### 1.1 Radyasyonun Tanımı ve Bozunum Türleri

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Bu enerji, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınır.

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon )
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Alfa ( $\alpha$ ) ve Beta ( $\beta$ ) ışınları bu tür radyasyona örnektir (Önen,1997).

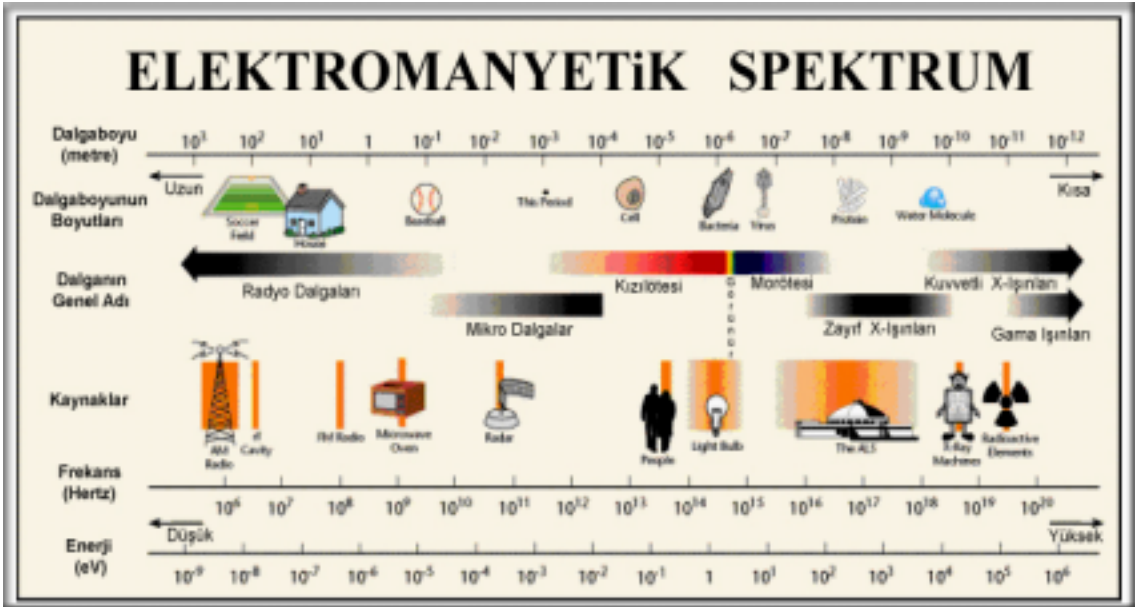
Elektromanyetik tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Yayılmaları sırasında belirli bir ortama ihtiyaç göstermeyen ve yolları üzerinde bir cisme çarpmadıkları sürece enerjilerinden bir şey kaybetmeyen elektromanyetik dalgalar boşlukta yayılmaları sırasında aynı hıza sahiptir ( $3 \times 10^8$  m/saniye). Ancak elektromanyetik radyasyonlar yolları üzerinde bir cisimle çarpıştıklarında enerji transferi gerçekleşir ve çarpışma sonrası ikinci bir

elektromanyetik dalga oluştuğunda, ikinci dalganın enerjisi birinciye göre farklılık gösterir. Bütün elektromanyetik dalgalar aynı hıza sahip olmakla beraber frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılı olan enerji seviyelerine göre bir spektruma sahiptirler. (Şekil1.1)

Elektromanyetik spektrumu oluşturan bütün radyasyonlarda (Şekil 1.1) enerji, yüksüz ve kütsüz fotonlar tarafından taşınmaktadır.

Bu dizilimde dalga boyu en yüksekten en düşüğe ya da enerji seviyesi en düşükten en yükseğe doğru elektrik dalgaları > radyo dalgaları > mikro dalgalar> kızıl ötesi(infrared) > görülebilir ışık> mor ötesi(ültraviyole) >X-ışınları>gamma ışınları yer almaktadır. Spektrum içinde gamma ışınları, atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyasyona örnek teşkil ederken, X-ışını ile kızılötesi ışık grupları arasındaki atomun yörüngelerinden kaynaklanan radyasyonlara örnektir.

Şekil 1.1 de X ve gamma ışınları iyonlaştırıcı radyasyon oluştururken spektrumdaki diğer dalgalar iyonlaşma yeteneğinden yoksun zayıf enerjili radyasyon etkisi yaratırlar (TAEK, 1999).



Şekil1.1. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu.

Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Bunlar: Gama ve X-Işınları'dır.

Eğer iyonize edici elektromanyetik radyasyon çekirdekten yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa x ışını adını alır.

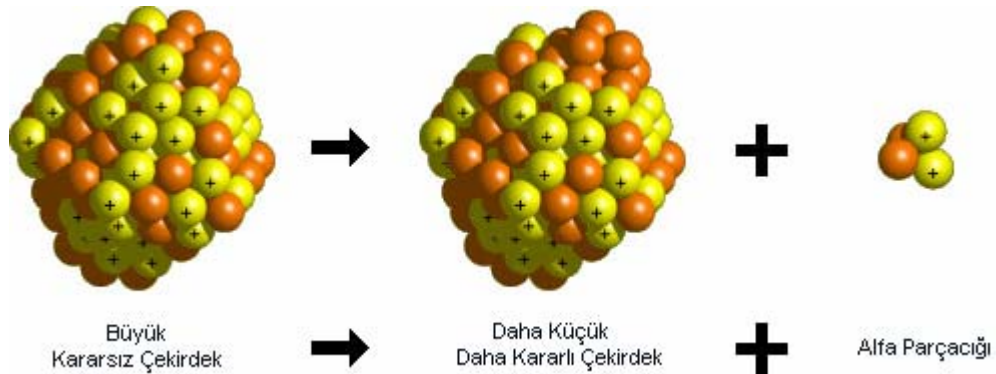
İnsan sağlığı bakımından tehlikeli olabilecek çeşitli radyasyonlardan, x ve gama ışınları elektromanyetik radyasyon, alfa, beta ve nötronlar parçacıklı radyasyon grubuna girmektedir (Johns, 1983).

Düşük enerjili ya da iyonize olmayan radyasyon ise etkileştiği materyal içindeki atomları yeteri kadar enerjisi olmadığı için iyonize edemez ve sadece uyarmakla yetinir. Mikrodalgalar, görünür ışık, radyo dalgaları, kızılötesi ve (çok kısa dalga boyluları hariç olmak üzere) morötesi ışık iyonize olmayan radyasyona örnektir. Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Radyoaktif bozunma olayında, radyoaktif atomların sayısının yarıya inmesi için geçen zaman "yarılanma süresi" olarak ifade edilir ve her bir radyoaktif atom için bu süre farklıdır (Evans, 1955).

Bu süreç üç şekilde gerçekleşebilir.

- **Alfa Bozunumu**

Çekirdeğin kararsızlığı hem nötron hem de proton fazlalığından meydana geliyor ise iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak daha küçük ve kararlı bir çekirdeğe bozunur. Bu nükleer bozunum eşitlik 1 ile ifade edilir



Şekil 1.2 Alfa Bozunumu





Eşitliğe göre  ${}_Z X^A$ , kararsız halde bulunan ana çekirdek  ${}_{Z-2} Y^{A-4}$ , kararlı olan ürün çekirdek  ${}_2 \text{He}^4 (\alpha)$ , alfa parçacığı ve Q ise parçalanma enerjisidir (Soyberk,2003).

Alfa parçacığı iki elektronunu kaybetmiş bir Helyum atomudur. Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, momentumun korunumu kanununca küçük kütleyle sahip olan alfa parçacığı alır. Alfalar yüksek enerjiye sahip olsa da ağır kütlesi nedeni ile menzilleri çok kısadır. Fakat havada yoğun iyonlaşmaya sebep olurlar.

- **Beta Bozunumu**

İkinci grubu oluşturan radyasyon çeşitlerine giren betalar iyonlayıcı nitelikleri daha az ancak alfa ışınlarından daha fazla giriciliğe sahiptirler.

Beta bozunumu üç grupta ele alınır.

- $\beta^-$  Bozunumu
- $\beta^+$  Bozunumu
- Elektron yakalaması

- $\beta^-$  Bozunumu**

Çekirdeğin kararsızlığı nötron fazlalığından ileri geliyor ise, çekirdek içinde bir nötronun bozumuna uğrayarak bir protona bir elektrona ve ayrıca kütlesi sıfır olan antinötrinoya dönüşür.

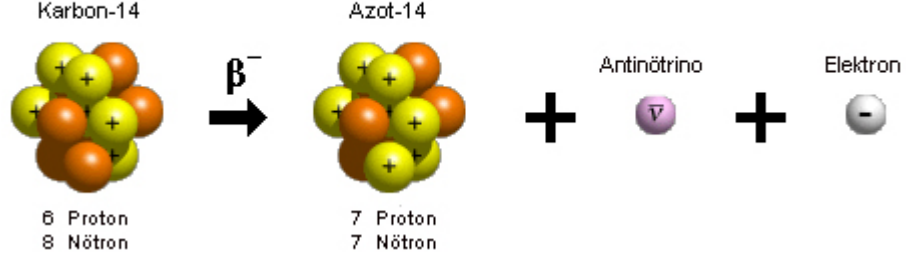
Antinötrino, bozunum sırasında enerjinin, momentumun ve açısal momentumun korunumu sağlar haline dönüştürür.



veya,



Eşitlik (1.2)'de  $n$ , nötronu  $p$ , protonu  $\bar{\nu}$ , antinötronu eşitlik (1.3) de ise  ${}_zX^A$ , kararsız ana çekirdeği  ${}_{z+1}Y^A$ , ise karalı ürün çekirdeği ifade eder.



Şekil 1.3. Beta (-) bozunumu.

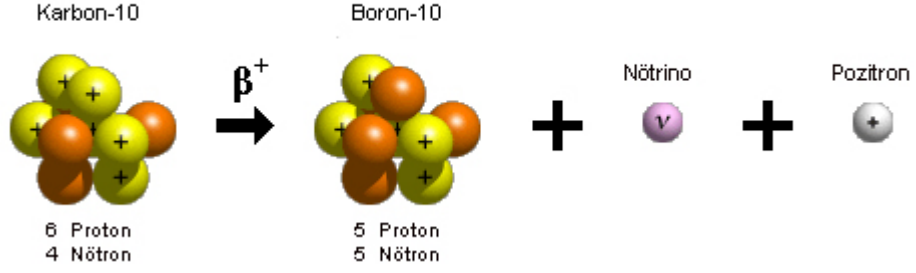
### b) $\beta^+$ Bozunumu

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona dönüşür.



Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan çekirdeğin proton sayısı bir eksilerek kendinden bir önceki elementin atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez.

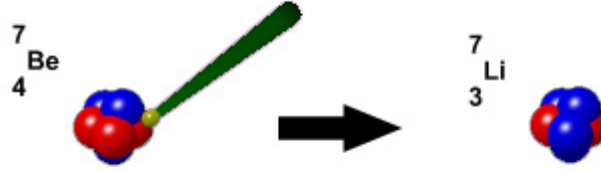




Şekil 1.4.  $\beta^+$  bozunumu.

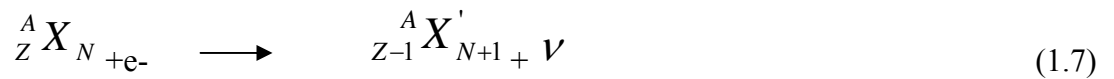
### c) Elektron Yakalama

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır.



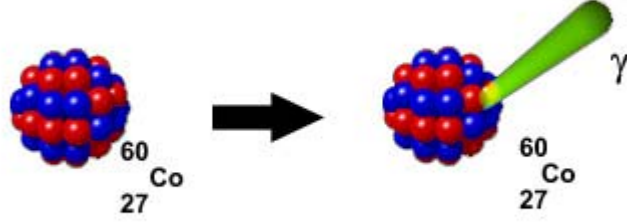
Şekil 1.5. Elektron yakalama olayına bir örnek ( ${}^7\text{Be}$ ).

Elektron ile bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür (Eşitlik 1.6). Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır (Eşitlik 1.7). Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve bremmstrahlung (frenleme) radyasyonu adı verilen x ışınları yayılır.



- **Gama Bozunumu**

Çekirdekdeki enerji fazlalığı dolayısıyla veya nüklid bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra çok defa hemen kararlı (temel enerji seviyesi) durumuna geçemez, bozunmada oluşan nüklid hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini hemen elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde yayımlar (Şekil 1.6). Bu şekilde bozunan yarı kararlı nüklidin atom ve kütle sayılarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmiştir.

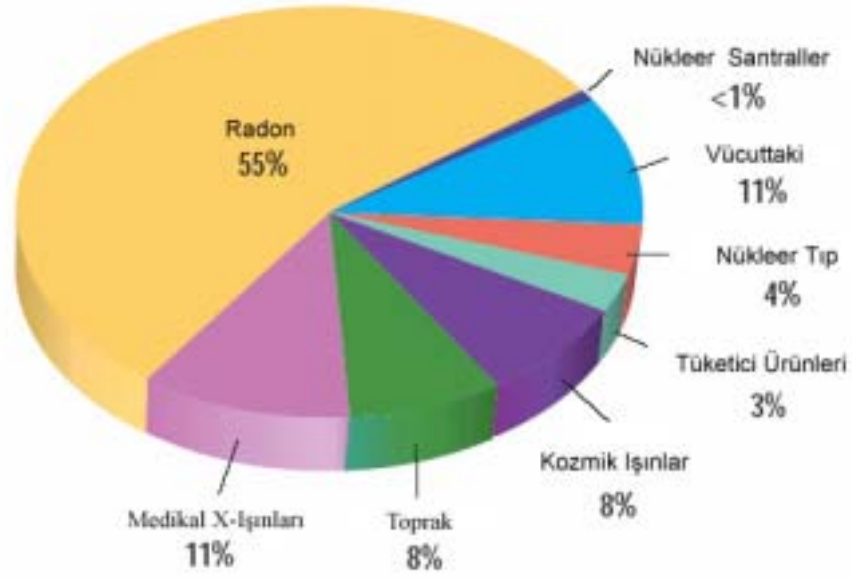


Şekil 1.6. Gama bozunumu.

Gama yayınlamasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle  $10^{-9}$  saniyeden daha küçüktür, ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlaması da vardır. Enerji spektrumları ise kesiklidir(Soyberk,2003).

## 1.2.Radyasyon kaynakları

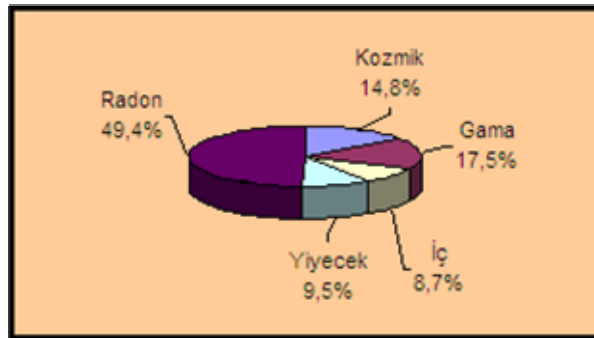
Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada suda toprakta ve hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her an ışınımına maruz kalmaktadırlar (TAEK,1999).



Şekil 1.7. Radyasyon kaynakları.

### 1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir.



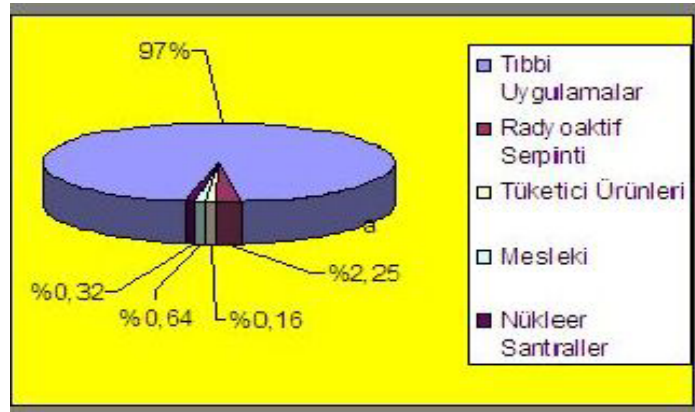
Şekil 1.8. Doğal Radyasyonun Dağılım Oranları

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 mSv / yıl'dır (ICRP, 1991). Fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olurlar maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46 mSv/yıl dır .Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dâhili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv kadardır (IAEA 1996). Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0.25 mSv/yıl'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar. Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin ( $Ra^{226}$ ) bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken maalesef radon toprak yüzeyine doğru yükselir.

### 1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

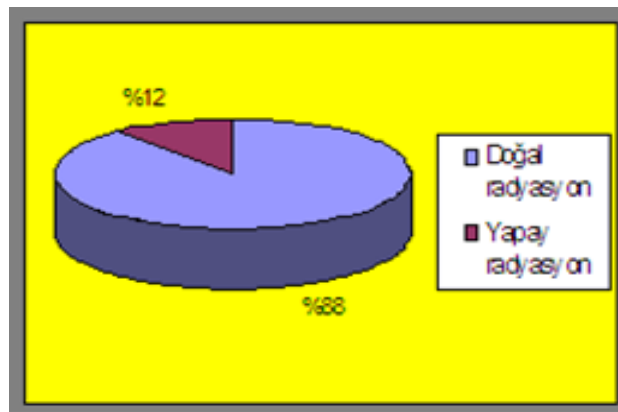
İnsanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir. Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. 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.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Şekil1.4'de yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir. (IAEA 1996)



Şekil 1.9. Yapay radyasyonun dağılım oranları

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır( IAEA 1996).



Şekil1.10. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları.

### 1.3. Radyasyonun Kullanım Alanları

- **Sağlık Alanında Kullanım**

Tıbbi alandaki radyasyon uygulamaları, radyasyonla görüntü elde edilmesi ve radyasyonun hücre veya tümörleri yok edebilme yeteneğine sahip olması temeline dayanır. Bu iki özelliğinden dolayı radyasyon hastalıkların;

a) Teşhis

b) Tedavisinde kullanılmaktadır.

Radyasyonun tıbbi alanda en eski kullanımı ve her geçen gün geliştirilen çeşidi X-ışınları olup teşhiste kullanılır. Bu alanla uğraşan dala radyoloji denir.

X-ışınları yaygın şekilde kullanılmakta ve her yıl milyonlarca kişi X-ışınlarıyla muayene edilmektedir. Bu tetkikler sırasında da hastalar değişik seviyede doz almaktadır.



Şekil1.11. X ışını Radyografisi

Vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere teşhis ve tedavide bazı radyoizotoplar kullanılır. Bu yöntemle yapılan çalışmalar nükleer tıp



olarak adlandırılır. Gama kameralar yardımıyla yapılan tanısal amaçlı nükleer tıp uygulamalarında hastaların maruz kaldığı dozlar uygulanan işleme göre değişiklik göstermektedir.



Şekil1.12. Radyoterapi Uygulamaları

Radyasyonun tıptaki bir diğer kullanım alanı kanserli hücreleri tedavi etme çalışmaları yani radyoterapi'dir. Yüksek enerjili X veya gama ışınları ile tümör dokusunun tahribi amaçlanmaktadır.



Şekil1.13. Radyoterapi uygulamaları

Bunun dışında çeşitli tıbbi malzemenin sterilizasyonu amacıyla radyasyondan yararlanılabilmektedir. Özellikle ısıya hassas ilaçların, tüm tıbbi malzemelerin,

kozmetiklerin, çeşitli ilaç ve kozmetik hammadelerinin sterilizasyonu bu yolla yapılmaktadır. Son ambalajında sterilizasyon olanağı en önemli avantajlarından biridir.



Şekil1.14. Bir Tıbbi Ürünler Sterilizasyon Tesisi

- **Enerji Üretiminde Kullanımı**

Günümüzde nükleer enerji pek çok ülkede başlıca enerji kaynağıdır. Dünyanın çeşitli ülkelerindeki enerji üreten nükleer reaktör sayısı 434 dolayındadır. Günümüzde dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin %13'ü nükleer santrallerden sağlanmaktadır ve bu miktar bazı ülkelerde %70 ve daha üzeri değerlere ulaşmaktadır, örneğin: Fransa'da %78,2'dir. Avrupa Birliği'nde bu oran %30'lar dolayındadır. Halen 14 ülkede 35 nükleer santral inşa halindedir.



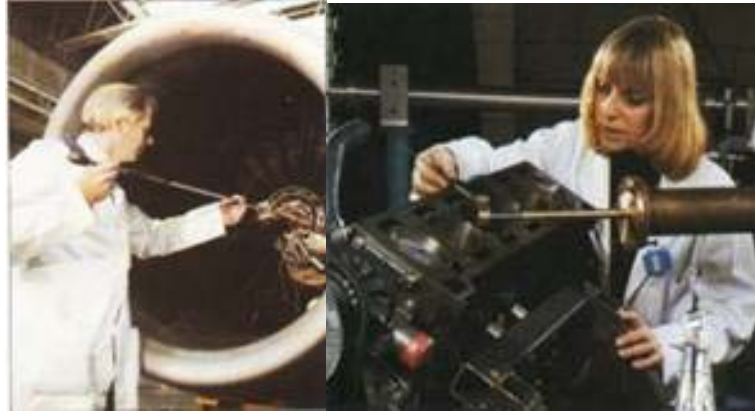
Şekil 1.15 Nükleer Güç Santrali

- **Endüstride Kullanımı**

X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamaları, vs.) herhangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu işlemler, özel olarak imal edilmiş X ışını üreten veya gama ışını yayan radyoizotop içeren cihazlarla yapılmaktadır. X ışını ile yapılan çalışmalar X ışını grafi, gama ışınları ile yapılan çalışmalar ise gama grafi olarak, her ikisi birden radyografi olarak adlandırılırlar.

Radyografi çalışmalarının yanı sıra yine birçok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kağıt, plastik, çimento, şeker, vs.) üretim aşamasındaki seviye, nem ve yoğunluk ölçümleri radyasyondan yararlanılarak yapılmaktadır.

Hava alanları ve çeşitli güvenlik noktalarında X-ışını cihazları kullanılmaktadır



Şekil1.16. Radyasyonun Endüstriyel Alanlarda Uygulaması

- **Tarımda Kullanımı**

Çeşitli tohumların radyasyona maruz bırakılmasıyla mutasyonlar sağlanır. Bunların bir kısmı yararlı olabilir ve daha nitelikli ürün elde edilebilir yani tohum ıslahında kullanılmaktadır. Son yıllarda gama ışınları baharatların, drogların ve besinlerin dekontaminasyonu amacıyla da kullanılmaktadır.

- **Silâh Olarak Kullanımı**

Radyoizotoplar çeşitli nükleer silahların, nükleer başlıklı füzelerin, bombaların yapımında kullanılmaktadır.

- **Tüketici Ürünleri**

Televizyonlar, duman detektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi ürünler de radyasyonun kullanıldığı ürünler olarak karşımıza çıkmaktadır.

- **Diğer Kullanım Alanları**

Çeşitli arkeolojik buluntuların yaşlarının tayini, adli tıpta çeşitli suç delillerinin saptanmasında, akarsularda debi ölçümü, barajlarda kaçak su tespiti, yeraltı su hareketlerinin takibinde radyasyondan yararlanılır

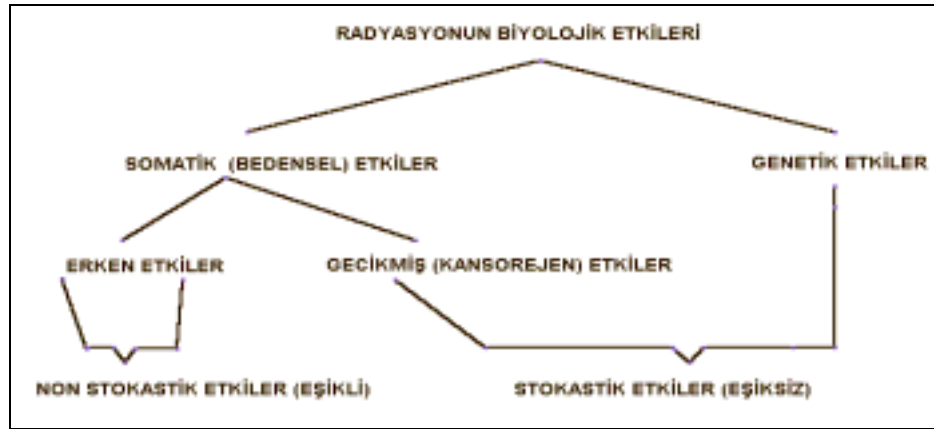
Ayrıca haberleşme uyduları ve uzay roketleri için gerekli uzun ömürlü pillerin yapımında da radyasyondan yararlanılmaktadır

#### **1.4. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri**

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde yaratabileceği zararlı etkiler uzun zamandır bilinmektedir. Plütonyum, Tritiyum, İyot 129 ve Sezyum 137 gibi radyoaktif elementler tıpkı Kobalt 60 gibi nükleer reaktörlerin çalışması sırasında nükleer atık olarak ortaya çıkar. Hepsinin ortak özelliği yaydıkları ışınlarla canlılarda somatik (bedensel) veya genetik etkilere yol açabilirler.

Vücuttaki atom ve moleküllerin radyasyonla etkileşmesi sırasında organizma meydana tarafından soğurulan enerji yeteri kadar büyükse zararlı etkiler ışınlanan kişide meydana gelir. Bu etkilere iyonlayıcı radyasyonun Somatik etkileri denir. Alınan radyasyon dozu somatik etkilere ilave olarak üreme hücrelerini etkileyebilir ve radyasyona maruz kalan kişilerin nesillerinde görülebilir. Buna iyonlayıcı radyasyonun Genetik etkisi adı verilir.

Çizelge 1.1 Radyasyonun Canlılar üzerine etkileri (Yülek, 1992)



### 1.4.1. Radyasyonun Somatik Etkileri

Somatik etkiler erken dönem etkiler ve geç dönem etkiler olmak üzere ikiye ayrılır.

#### 1.4.1.1. Erken Dönem Etkileri

Büyük bir radyasyon dozuna bir kerede maruz kalma sonucu ortaya çıkan biyolojik etkiler kişiden kişiye ölçüde değişmekle birlikte şöyle özetleyebiliriz (Cangüzel, 1981).

**0-0,25 (sievert) :**Gözlenebilir bir hasar yoktur.

**0,25-0,5 (sv):** Kanda geçici hafif değişiklikler ile gecikmiş etkiler olabilir. Sağlıklı bir kişide ciddi hasar olacağı çok azdır.

**0,5-1 (sv):** Mide bulantısı ve kusma, kanda daha sonra iyileşen değişiklik olur. Normal yaşam süresinde kısalma olasılığı vardır.

**1-2 (sv):** 24 saat içinde bulantı ve kusma, belirtisizlik bir haftadan sonra saç dökülmesi, ishal, kan tablosunda orta derecede değişiklikler olur, kan yapan organlar dışında birkaç haftada iyileşme mümkündür.

**4-2 (sv):** 1-2 saat içinde ağız ve boğazda ciddi enfeksiyonla birlikte kan tablosunda değişiklikler, saç dökülmesi, ishal ve hızlı kilo kaybı olup 2-6 hafta içinde bazı ölümler, sonunda ışınlananların %50'sinde ölüm olasılığı vardır.

**4-6 (sv)** : 1 saat içinde bulantı ve kusma, 1 hafta sonunda ishal, -ağız ve boğazda enfeksiyon, ateş, iç kanama, saç dökülmesi, kan tablosunda ciddi değişiklikler, hızlı zayıflama olur ve ışınlananların %80-100'ünün 2 ay içinde ölümü, sağ kalanların çok uzun sürede iyileşmesi.

#### **1.4.1.2. Geç Dönem Etkileri**

Genel olarak bir tümör, normal vücut dokularında meydana gelen değişikliklerden meydana gelen anormal bir doku kütesidir. Tümör etrafındaki dokulardan bağımsız büyür. Bir tümör kanser ya da habis olması için yanındaki dokulara etkin etmesi ve onları tahrip etmesi gerekir.

Radyasyon, kansere sebep olan faktörlerden biri olmakla beraber kanseri tedavi eden bir unsurdur. Çoğalan hücrelerin radyasyona olan duyarlılığı fazladır. Bu sebeple tedavide kanserli ve sağlam dokular birlikte ışınlandıklarında kanserli hücreler devamlı çoğaldıklarından radyasyondan daha fazla etkilenirler.

Radyasyonlar başlıca üç yoldan kansere neden olurlar, bunlar;

- 1) Doğrudan etki
- 2) Kansere yardımcı olmak
- 3) Uzak etki

Şeklindedir. Radyasyona maruz kalmış bir doku veya organda kanser olması radyasyonun doğrudan etkisidir. Çok az bir radyasyona maruz kalmış bir organ veya dokuda kanserin görülmesi bu organ veya dokuda zaten kanser yapıcı faktörlerin mevcut olduğu ancak radyasyonun bu faktörlere yardımcı olduğu kabul edilir. Vücudun bir kısmının ışınlanmasından sonra başka bir kısmında kanser ortaya çıkması, ışınlanmış dokuda meydana gelmiş özel hücreler ve kimyasal maddelerin kan dolaşım yoluyla vücuda yayılmasından ileri gelir ki bu da radyasyonun uzak etkisidir. Radyasyonun meydana getirdiği kanser en fazla kan,;cilt, akciğer, kemik ve-kemikliğinde meydana gelir.

### 1.4.2. Radyasyonun Genetik Etkileri

Genetik etkiler, üreme hücrelerinin ışınlanması ile olup etkiler radyasyona maruz kalan kişiden türeyen nesillerde görülür. Radyasyon üreme hücrelerinin ya genlerinden birisinin yapısı değiştirilebilir veya kromozomların bir veya birkaç yerinden kırılmasına sebep olabilirler. Kınlan kromozomlar birleşebilir; birleşmeyip hücre ölebilir veya aslında farklı birleşerek yeni kromozomlar düzenlenebilir. Yeni kromozomlar yeni kuşaklarda değişikliğe uğramış hücrelerin devam etmesine neden olacaktır. Mutasyonlar bir defa olunca kalıcıdır. Gözlenen mutasyonların büyük bir kısmı sağlığa zararlıdır.

Radyasyonların genetik materyaller üzerinde meydana getirdiği geriye dönüştürülmeyen değişiklikler gen seviyesinde veya kromozom anormallikleri şeklinde görülür. Gen seviyesindeki değişiklikler mikroskopla tespit edilemezler, kromozom anormallikleri ışık mikroskobu yardımı ile teşhis edilebilir. Deney hayvanları üzerinde yapılan araştırmalardan radyasyon dozu ile meydana gelen değişiklikler arasında lineer bir bağlantı olduğu tespit edilmiştir. Verilen radyasyon dozu arttıkça meydana gelen mutasyon sayısının da arttığı görülmüştür. Radyasyondan kaynaklanan mutasyon sayısı radyasyonun doz hızına da bağlıdır. Doz hızı düştükçe meydana gelebilecek değişiklikler azalmaktadır.(Yülek, 1992)

Radyasyonun insanlarda oluşturduğu genetik etkiler henüz tam olarak bilinmemektedir. Ancak Uluslar arası Radyasyon Korunması Komisyonu, kendiliğinden spontan mutasyonların oranının iki katına çıkaran radyasyon dozunu insanlar için 50 rem olarak kabul etmiştir. Genetik açıdan etkili olabilecek çevre radyasyon dozu 0.120 rem olarak hesaplanmıştır.

### 1.5. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Gama ve X ışını gibi bütün elektromanyetik radyasyonlar birçok olayda parçacıklara benzer davranış gösterdiği için radyasyonların birim elemanına foton adı verilmiştir. Radyasyonun belli bir frekansı için bütün paketlerde taşınan enerji aynıdır ve

$$E=h.v \quad (1.8)$$

gibi ifade edilir.

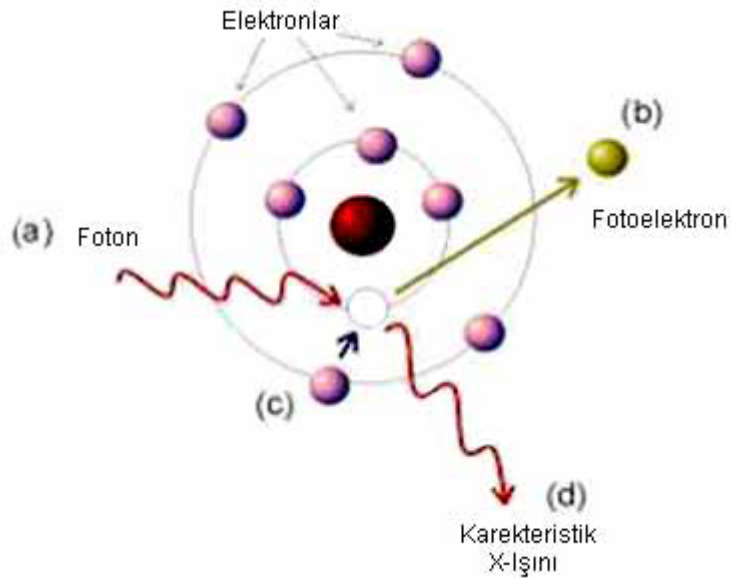
Fotonlar, içinden geçtikleri ortamın (maddenin) atomları ile rastgele yaptıkları karşılıklı etkileşimler sonucunda ortama enerji bırakarak absorblanabileceği gibi saçılıma da uğrayabilirler. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşiminde rol oynayan en önemli üç olay

- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılımı
- Çift oluşumu

Olaylarıdır.

### 1.5.1. Fotoelektrik Olay

Düşük enerjili bir foton genellikle içinden geçtiği ortamdaki atomların K veya L yörüngesindeki bir elektrona bütün enerjisini vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarır. Dışarıya fırlatılan bu elektrona fotoelektron denir. Bu olay neticesinde oluşan elektron boşluğu dış yörüngedeki başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu sırada x ışını yayımlanır. 0,5 MeV'den daha küçük enerjili fotonların ağır elementler tarafından soğurulmasında bu olay oldukça önemlidir.



Şekil 1.17. Fotoelektrik Olay.



Bu olay sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu bağılı olduğu atomdan koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır (Eşitlik 1.9).

$$h\nu = E_{\text{Bağlanma}} + E_{\text{Kinetik}} \quad (1.9)$$

Kurşun için foto-elektrik olay, 1 MeV'e kadar olan fotonlarla oluşabilir. Foton elektron çarpışmaları düşük enerjilerde dış, yüksek enerjilerde iç yörüngelerde görülür

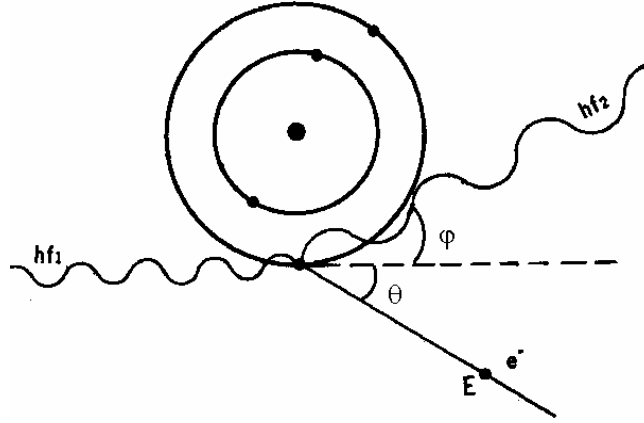
### 1.5.2. Compton Saçılımı

Gelen fotonun enerjisi 0.5 MeV'den büyük ise, etkileştiği maddenin zayıf bağılı veya serbest elektronlarıyla etkileşir. Yüksek enerjili X ışınları fotonun, bir atomun elektronlarına çarparak, onu bir doğrultuda fırlatırken kendisinin de herhangi bir doğrultuda saçılır. Foton, elektronla elastik çarpışma yaparak enerjisinin ve momentumunun bir kısmını elektrona verir ve daha düşük enerjili yeni bir foton olarak başka doğrultuda yol alır. Böylece meydana gelen elektrona Compton elektronu, bu olaya da Compton olayı denir. (Şekil 1.18). Elektron kütleli bir parçacık olduğu için fotonun bütün enerjisini absorblaması momentumun korunumu gereği mümkün değildir. Dolayısıyla foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarıp saçılıma uğrayarak yoluna devam eder. Foton ile elektron arasında oluşan açı fotonun enerjisine bağlıdır.

Gelen fotonun dalgaboyu ile saçılan fotonun dalgaboyu arasındaki fark,

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) \quad (1.10)$$

eşitliği yazılır. Burada  $\lambda'$  ve  $\lambda$  sırasıyla gelen ve çıkan fotonların dalga boyları,  $m_0$  elektronun durgun kütlesi,  $c$  ışık hızı,  $\theta$  saçılma açısıdır.



Şekil 1.18. Compton saçılması.

Yüksek enerjili fotonlar enerjileri belirli bir seviyeye düşene kadar Compton saçılımına uğrarlar bu andan sonra da fotoelektrik olayla absorblanırlar. Çünkü sadece Compton saçılımı ile fotonlar tamamen soğurulamazlar. Bu çarpışmada momentum korunur.

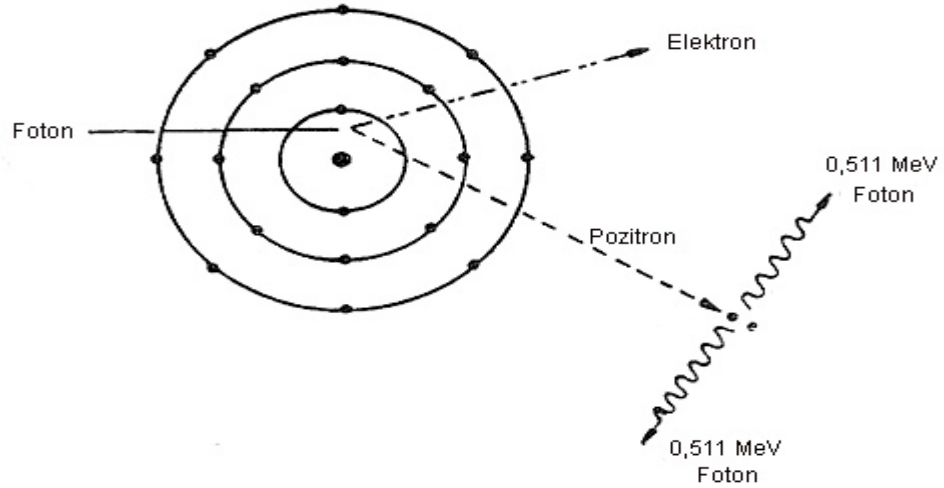
$$hf_1 = hf_2 + E \quad (1.11)$$

Compton olayının olma ihtimali, etkileştiği maddenin atomlarının yörünge elektronlarının sayısı arttıkça yükselir. Orta enerjili fotonlar için etkileşme olasılığı en yüksek olan Compton olayıdır

### 1.5.3. Çift Oluşumu

Eğer, fotonun enerjisi yeteri kadar büyük ise ve bu foton atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse, kütlesi olmayan fotonun enerjisinden çekirdek yakınında aynı anda biri negatif yüklü elektron diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere iki parçacık yaratılır. Böylece elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur (Şekil 1.19).

$$hv = m_e^+ + m_e^- + T_e^+ + T_e^- \quad (1.12)$$



Şekil 1.19. Çift oluşumu.

Teorik olarak böyle bir çift oluşumunun meydana gelebilmesi için, (Eşitlik 1.12) göre fotonun enerjisinin en az  $2 \cdot 0.511 = 1,022$  MeV olması gerekir. Foton enerjisinin daha büyük olduğu durumlarda ise bu enerjinin artakalan kısmı elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır. Oluşan elektron, atomla serbest elektronlar gibi etkileşirken, pozitron ise bir yörünge elektronu ile birleşir ve zıt yönlü iki gama fotonu yayarak yok olur. Bu foton ise fotoelektrik yolla soğurulur. Gama ışınları, madde içine çok fazla giriş yeteneği gösterirler. Gama ışınlarını zırlama bakımından en etkili malzemeler yüksek atom numaralı ve özgül ağırlığı büyük olan elemanlardan yapılmış malzemelerdir.

Pratikte çift oluşumu 2 MeV den daha büyük enerjili fotonlar ve ağır elementler için görece daha baskındır.

## 1.6. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Radyasyon etkilerinden bir kısmı herhangi bir eşik dozu almadan meydana gelebilmektedir. Ciddiyetinden ziyade meydana gelişleri radyasyon dozunun bir fonksiyonu olan bu tür radyasyon etkilerine skotastik etkiler denir. Bununla beraber, meydana gelebilmesi belirli bir eşit dozuna ihtiyaç gösteren ve önemi radyasyon dozuna bağlı olarak radyasyon etkilerine de skotastik olmayan etkiler denilmektedir.

Radyasyon korunmasının amacı stokastik olmayan radyasyon etkilerinin meydana gelmesini önlemek, stokastik etkilerin meydana geliş olasılıklarını ise kabul edilebilir bir düzeye indirmektir.

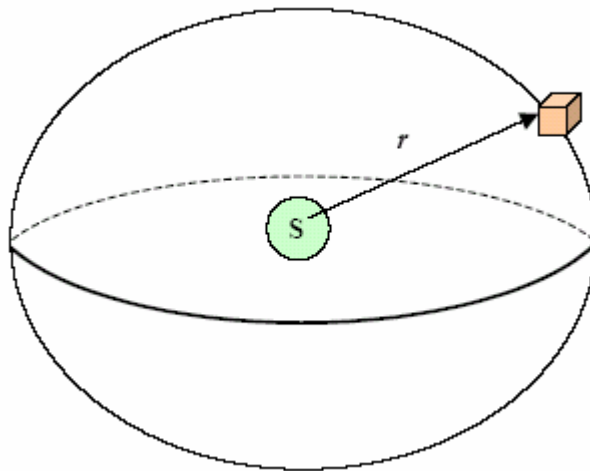
İnsanların radyasyona maruz kalmasının biyolojik zararları olduğu bilindiği için maruz kalınacak dozun sadece müsaade edilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır. Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın zaman, mesafe ve zırhlama gibi üç temel kuralı vardır.

### 1.6.1. Zaman Kuralı

Radyasyonla yapılan işlemlerde alınan doz; doz hızı ile zamanın çarpımıdır. Zaman ne kadar çok artarsa alınan dozda o kadar artar. Bu bağıntıdan radyasyon alanında ne kadar az süre kalınırsa o kadar az doz alınacağı açıktır. Radyoaktif kaynağın ve cihazın yanında ne kadar kısa sürede işlem tamamlanırsa alınan doz o kadar az olacaktır. Doz hızının önceden bilinmesi ile bu bölümde çalışacak personelin ne kadar zaman çalışmasına izin verileceği belirlenir.

### 1.6.2. Mesafe Kuralı

Bir radyasyon alanının şiddeti kaynaktan olan uzaklık arttıkça azalır. R yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayınlayan bir nokta kaynak varsa; kürenin yüzeyindeki akı

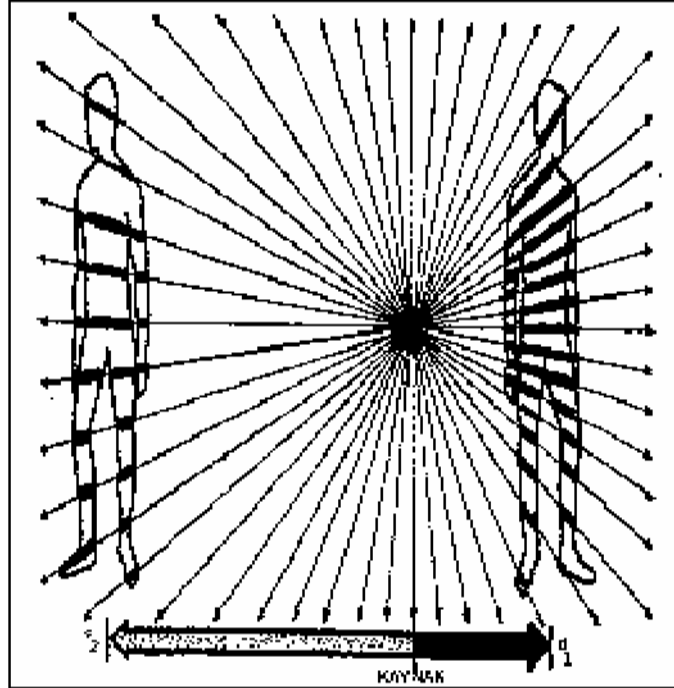


Şekil 1.20 Ters Kare Kanunu

$$F = \frac{n}{4\pi R^2} \text{ foton.cm}^{-2}.\text{s}^{-1} \quad (1.14)$$

Akı kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Bu kanun ters kare kanunu olarak bilinir. Kaynağın boyutlarının kaynakla söz konusu nokta arasındaki uzaklık ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olması yani kaynağın nokta kaynak olması halinde geçerlidir. Belirli bir uzaklıktaki doz hızı değeri biliniyorsa boşluk veya havadaki başka bir uzaklık için doz hızı değeri uzaklıkların kareleriyle ters orantılı olarak hesaplanır.

$D_1$ , kaynaktan  $d_1$  uzaklıktaki doz hızı,  $D_2$ , kaynaktan  $d_2$  uzaklıktaki doz hızı olmak üzere



Şekil 1.21 Dozun Mesafe ile İlişkisi

$$D_1.d_1^2 = D_2.d_2^2 \quad (1.15)$$

Yazılır ve buradan da

$$D_2 = D_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1.16)$$

bağıntısı yazılır.

Bir girici radyasyon yayan nokta kaynak varsa, radyasyon kaynağının şiddetinde mesafeye bağlı azalma, mesafenin karesiyle ters orantılıdır.

Nokta kaynak olarak kabul edilemeyecek boyutlardaki radyasyon kaynaklarından, duvar, tavan, zemin ve diğer cisimlerden saçılmalarından dolayı, radyasyon kaynağının şiddeti mesafenin karesiyle değil mesafeye azalır.

### **1.6.3. Zırhlama Kuralı**

Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu doza maruz kalma ihtimali olan kişiler arasına kurşun, tuğla, beton, duvar gibi malzeme konulmasına zırhlama denilmektedir. Radyasyon dozunu azaltan malzemeye de zırhlama malzemesi denir. Zırhlama malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırhlama özelliği o kadar artar. Zırhlama, cihazın zırhlanması ve cihazın bulunduğu odanın zırhlaması olarak iki farklı şekilde yapılır.

Cihazın zırhlaması kolimatörlerin kullanılması ve de dış koruyucu bölmelerinin takviyesi ile yapılır. Zırhlama hesaplamaların yapılmasında malzemelerin belirli radyasyonlara karşı gösterdikleri Onuncu tabaka kalınlığının ölçülen değerleri kullanılarak yapılır.

Farklı radyasyonlar için kullanılan zırhlama maddeleri ve zırhlama işlemleri birbirinden farklıdır. Zırhlamanın esası, elektromanyetik veya parçacık radyasyonların doz seviyelerinin, zırhlama için kullanılan malzemenin atomları arasından geçerken doğrudan doğruya veya dolaylı olarak iyonizasyon yapmaları ve bu şekilde enerjilerini tamamen veya kısmen kaybederek canlılar için zararsız seviyelere gelmeleridir ( Kahya,1985).

Zırhlamanın gerekliliği zırhlanacak radyasyon tipine bağlıdır. Kaynağın aktivitesi, kabul edilebilir doz oranı zırhlamada esas alınır. Zırh malzemesi seçiminde ilk düşünülmesi gereken bireylerin korunmasıdır. Etkili bir zırhlama ile radyasyonun zararlı etkilerini en aza düşürebilir.

Bununla birlikte ekonomiklik, hafiflik ve boşluklu yapı gibi faktörler zırh malzemesi seçiminde etkili olurlar.

## 2. Literatür Taraması

Bu tez çalışması ilgili literatürler radyasyon zırhlamasında kullanılan başlıca yapı malzemeleri, ağırlıklı olarak barit agregası ile üretilen ağır betonların özellikleri ve kullanım alanları ile radyasyonunun zararlı etkilerini izin verilen seviyelere indirgeyecek zırh kalınlıklarının hesap yöntemlerini ve hesap kriterlerini inceleyen çalışmalar olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümü oluşturan çalışmalar;

Kılınçarslan (2004) Barit agregalı ağır betonların çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini deneysel olarak saptamış ve radyasyon tutuculuk özellikleri ile ilgili olumlu sonuçlara değinerek en uygun karışım oranlarını saptamıştır.

Başığit vd. (2005), Kobalt 60 kaynaklı ve enerji Aralığı 1,33 Mev ve 0,1mCi olan gama radyasyonunun zırhlanması için barit agregalı betonlar üzerinde teorik ve deneysel olarak bulduğu değerleri karşılaştırmışlardır.

Akkurt. vd.(2005) radyasyon tutuculuk özelliklerinin malzemelerin atom numaralarına göre değişimini inceleyerek, radyasyon tutuculuk katsayısının gelen ışının çeşidine ve zırh malzemesinin atom numarasına göre değiştiğini saptamışlardır.

Kılınçarsalan. vd. (2005), yapı malzemesi olarak kullanılan pomzanın radyasyon tutuculuk katsayısını araştırmışlardır.

Singh vd. (2004), Yapı malzemelerinin enerji ve kimyasal yapılarına bağlı olarak kütle zayıflatma katsayılarını 10 keVile 100 GeV enerji aralığında incelemiştir.

Topçu. (2002), barit ile üretilen betonun fiziksel e mekanik özelliklerini saptamıştır.

Can. (2001), Beton özellikleri ile nötron zırhlama kriterlerini incelemiştir.

Hubbell. (2000), 2000 yılında Richard Pratt'ın katkılarıyla X Işınlarına karşı kesit tesirlerini hesaplamaya yardımcı olan teoriyi ortaya koymuştur.

Bashter (1997), Hematit, Serpentin, İlmenit, limonit magnetit gibi agregalar ve demir kullanarak farklı yoğunlukta 7 çeşit ağır betonlar üretmiş, bu betonların kütleli zayıflatma katsayılarını teorik olarak hesaplamıştır.

Postacıoğlu (1987), ağır betonların üretiminde dikkat edilmesi gerekli hususları belirtmiştir.

Akyüz (1977), İyonize radyasyon çeşidi olan gama ışınlarının zırhlanmasında barit agregası ile betonlar üreterek zırlama parametrelerini ve beton özelliklerini incelemiştir.

Maruyama vd. (1971), Normal beton, ağır beton, kurşun ve demirin 4-32 MeV x ışınlarına karşı lineer zayıflatma katsayılarını mukayese etmişlerdir.

İkinci bölümü oluşturan çalışmalar;

Akkurt vd. (2004), Barit, limra ve mermerlerin gama ışınlarına karşı kütleli radyasyon tutuculuk katsayılarını hesaplamışlardır.

Tsalafoutas vd.(2004) terapi merkezlerinde zırlama gereksinimleri için literatürler eşliğinde model bir hesap yöntemi geliştirmişler.

Toprak (2001), Gama radyasyonunun toprak ile zırhlamasını Cs ve Co kaynakları kullanarak incelemiş, içerisinde Si minerali daha fazla olan toprakların daha iyi zırhlama yaptığını belirtmiştir.

Zeybek (2000), Çimento içerisine öğütülmüş bor minerali katarak ürettiği farklı çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek, nötron ışınlarına karşı zırh yeteneklerini araştırmıştır.

Öz (2000), Tesir kesitleri tablolarını kullanarak farklı malzemelerin enerji absorpsiyon kapasitelerini hesaplamıştır.



Sipkin (1996) Uluslar Arası Radyasyondan Korunma Komitesi (NCRP) değerlendirek zırh kalınlığının belirlenmesinde önemli olan iş yükü ve kullanım faktörleri üzerine çalışmıştır.

Yiğit (1996), Atık kâğıtları ve bor elementini farklı oranlarda karıştırarak nötron ışınlarına karşı etkin bir zırh malzemesi geliştirmeye çalışmıştır.

Keller (1995), Tıbbi merkezlerdeki radyasyon uygulamaları mekânlarının zırhlanmasında yüksek yoğunluklu betonların kullanımını araştırmıştır.

Bakos. (1995), 6-12 MeV foton enerji aralığında beton, çelik, kurşun' un zırh malzemesi olarak özelliklerini araştırmış ve zırh kalınlıklarının karşılaştırmıştır.

Seltzer . vd (1995), enerji aralığı 1keV- 20 MeV ve malzemelerin atom numarasını da göz önüne alarak kütleli enerji absorpsiyon katsayıları ile radyasyon tutuculuk katsayılarını hesaplamışlar ve datalar hazırlamışlardır.

Dixon (1994), Terapi merkezlerinde birincil bariyer zırhlaması hakkında araştırma yapmıştır.

Rossi vd.(1991), Başlıca yapı malzemelerinin radyasyon ışın transmisyonu özellikleri hakkında araştırma yapmışlardır.

Profio. (1979), radyasyon zırhlamas ve ölçüm sistemleri akında yararlı bilgiler vermiştir.

NCRP Report No:49.(1976), enerjiler 10MeV üzerinde olan x ve gama ışınlarının zırh dizayn kriterlerini belirtmiştir.

Kahya. (1985), Yüksek aktiviteli nokta gama kaynağının zırhlama hesaplarını yaparak, gerekli zırh kalınlıklarını hesaplamıştır.

### 3. Materyal ve Yöntem

#### 3.1 Materyal

Bu çalışmada radyasyon zırhlamasında kullanılacak radyasyon kaynağı olarak bir gama kaynağı olan Cobalt 60 seçilmiştir. Hesaplamalar 1 Mev ile 100 Mev enejji aralığında yapılmıştır. Zırh malzemesi olarak üç tipte malzeme seçilmiştir. Bunlar yüksek yoğunluklu barit agregalı ağır beton  $3,2 \text{ gr/cm}^3$ , normal beton ( $2,35 \text{ gr/cm}^3$ ) ve kurşun ( $11,34 \text{ gr/cm}^3$ )

##### 3.1.1. Cobalt 60 Radyoaktif Kaynağın Genel Özellikleri

Doğal kobalt, 27 proton, 32 nötron, 27 elektrondan oluşmuş doğada kararlı halde (radyoaktif değil) bulunan sert, kırılğan hafif mavimsi renge sahip gri renkli bir metaldir. Özellikleri demir ve nikel benzer. Magnetik özellikleri yönünden ise daha çok demire benzer. Radyoaktif olmayan Co doğada çeşitli minareller içinde bulunur ve binlerce yıl boyunca cam ve seramiğe mavi renk verebilmek için kullanılmıştır.

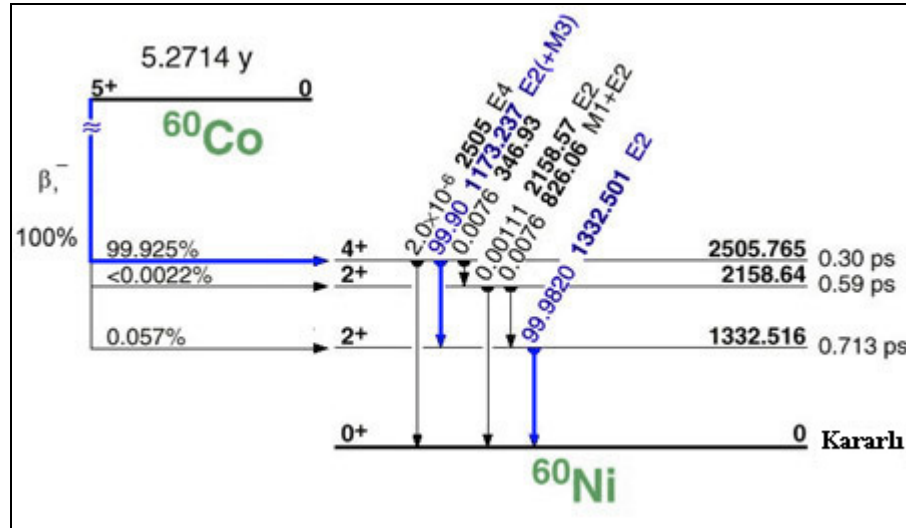
1735'te İsveçli bilim adamı George Brandt, renkli camlardaki mavi rengin kobalt adlı yeni bir element olduğunu gösterdi. Önceleri insanlar bunun bizmut olduğunu düşündüler. Çünkü kobalt ile beraber çeşitli minarellerde bulunmaktadır. Kobaltın erime noktası  $1495^0 \text{ C}$  derece, kaynama noktası  $2870^0 \text{ C}$  derece, yoğunluğu ise  $8,9 \text{ gr/cm}^3$  tür.

Co'nun en çok bilinen izotopu kararsız halde (radyoaktif) bulunan bir madde olan Co-60'dır. Bu izotopun varlığı California Berkeley Üniversitesinden Gleen T. Seaborg ve John Livingood tarafından 1930'da bulunmuştur. Co-60 ticari amaçlar için ya lineer hızlandırıcılarda ya da nükleer reaktörlerde üretilir.

Co-60'ın bozunum türü  $\beta^-$  bozunumudur. Bu bozunum enerjisi 2,824 MeV'dir ve % 100'e yakın sıklıktaki bir frekansla 1,17321 MeV'lik, 1,33247 MeV'lik iki gama ışınması gözlenir. Maksimum elektronun enerjisi 318 keV, ortalama elektron enerjisi 96 keV'dir (Şekil 3.1).

Co-60 nükleer reaktörlerde oluşan atık bir ürün değildir; nükleer silah üreticilerince de kullanılmaz. Ayrıca nükleer fisyon ve füzyon gibi zincirleme reaksiyonlara da uğramazlar.

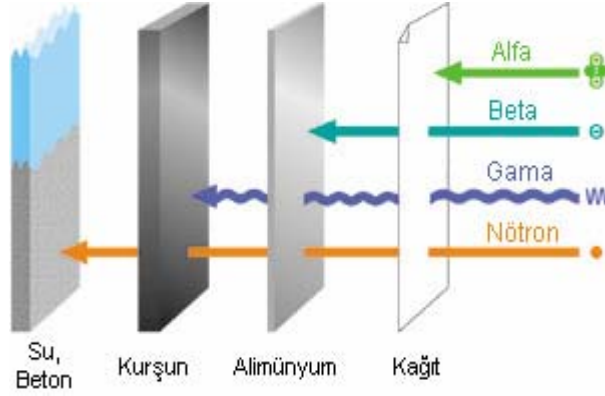
Co-60'ın yarı ömrü, yani radyoaktif çekirdek sayısının yarıya inmesi için geçmesi gereken zaman 5,271 yıldır. Genellikle pratik amaçlar için radyoaktif elementin  $10 t_{1/2}$  süre geçtikten sonra tükendiği ve zararsız hale geldiği kabul edilir. Bu nedenle Co-60'ın yaklaşık 53 yıl boyunca güvenli bir ortamda saklanması gerekir. Bu işlev Türkiyede Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından gerçekleştirilir.



Şekil 3.1. Co-60'ın bozunum şeması.

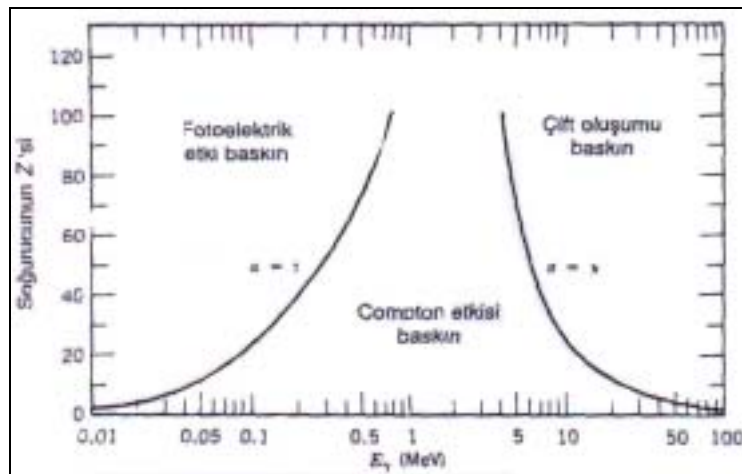
### 3.1.2 Zırh Malzemesi Olarak Kullanılan Başlıca Yapı Malzemeleri ve Özellikleri

Zırh tasarımında kullanılacak yapı malzemesi, zırhlanacak radyasyon türüne göre farklılık gösterir. Alfa ışınımı yapan bir kaynak kağıtla ondan daha fazla giriciliği olan betaları hafif olan alüminyum ile zırhlamak yeterli olmaktadır. Gama ışınlarının giriciliği ise ışınım yapan kaynağın enerjisine bağlı olmak kaydı ile betalardan 100 kat, alfalardan 10000 kat daha fazladır. Bu kadar yüksek giriciliğe sahip radyasyonlar ise ancak yüksek yoğunluğa ve yüksek atom numarasına sahip malzemeler ile zırhlanabilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Değişik radyasyon türlerinin zırh malzemelerine giricilikleri

Radyasyon zırhlaması alanında geniş bir kullanım alanına sahip olan malzemelerden atom numarası en yüksek olan malzeme kurşundur. Zırhlama malzemesinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırhlama özelliği de o oranda artar (Shapiro, 1972). Düşük maliyette, kolay kullanıma ve iyi yapısal özelliklere sahip olan beton da mükemmel bir zırh malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak bunun için kurşunda olduğu gibi yüksek yoğunluğa sahip olmalıdır. Beton karışımlarında yüksek yoğunluklu agrega kullanılarak bu amaç sağlanabilir. Yurdumuzda oldukça geniş rezervi bulunan barit agregası kullanılarak üretilen ağır betonlar zırhlama için gerekli olan yüksek yoğunluk özelliğini karşılamaktadır (Kılınçarsalan,2005).



Şekil 3.3. Fotonun madde ile etkileşmesinin foton enerjisine ve Z sayısına bağlı olarak değişim

### 3.1.2.1 Ağır betonlar

Birim ağırlığı  $2,8 \text{ t/m}^3$ ' den büyük olan betonlara ağır beton denilmektedir. Ağır beton üretiminde yararlanılan özel agregalar genellikle barit, limonit, magnetit ve demir cevheri gibi doğal agregalar veya demir kırıntıları gibi sanayi atıkları olabilmektedir (Davis vd.,1956)

Betonun birim ağırlığını artırmak için kullanılan agreganın birim ağırlığının büyük olması gerekir. Ağır betonlar ile geleneksel betonları birbirinden ayıran en önemli fark; ağır betonda kullanılan agregaların birim ağırlığının büyük olmasıdır. Ağır betonlar, yurt dışında birçok ülkede özellikle Kanser Araştırma Merkezlerinde zırhlama malzemesi olarak kullanılmakta olup bir sektör haline gelmiştir. Buralarda genellikle ağır agrega madeninin temin kolaylığına bağlı olarak; magnetit, ilmenit ve limonit kullanılmaktadır (Kılınçarslan,2004).

Radyasyon kalkanı olarak kullanılan ağır betonun bileşiminde karma ve hidratasyon suyunda hafif elementler, agregasında ise ağır elementler bulunmaktadır. En çok kullanılan ağır agrega barittir (Akman,1977). İnşaatlarda kullanılacak betonun aynı zamanda yönetmeliklerde belirtilen fiziksel ve mekanik standartlarda olması ve bu özelliklerine göre malzeme davranışı ve betonarme hesaplamaları için taşıma gücünün belirlenmesi gereklidir. Baritli ağır betonun gama ışınlarını yutma kapasitesi, barit agrega yüzdesine ve betonun birim ağırlığına göre değişir.

### 3.1.2.2. Barit Agregalı Betonların Özellikleri

Barit agregalı ağır betonlara ait bilinen bazı özellikleri aşağıda verilmiştir. Barit agregalı ağır betonların radyasyona karşı koruyucu özellikleri geleneksel betona göre daha yüksektir. Betonun birim kütlesi ve kalkan kalınlığı, radyasyona karşı geçirimsizlikle orantılıdır.

Barit agregalı betonların ısı iletkenliği, birim kütle ve su içeriğine bağlı olarak değişmekle beraber, genellikle geleneksel betonlara göre yüksek olmaktadır. Betonların birim kütleleri arttıkça ısı iletkenlikleri artmaktadır. Isı iletkenliği yüksek olan malzemelerin yangına karşı dayanımları düşük olmaktadır.

Barit agregalı ağırların ortalama rötresi geleneksel betonlardan daha azdır. Barit agregalı ağırların aşınma dayanımları geleneksel betonlardan daha büyüktür. Barit agregalı ağırların ortalama birim kütleleri geleneksel betonlardan ortalama birim kütlelerinden % 50 civarında daha büyük olmaktadır. Barit agregalı ağırların donma - çözünme olayına karşı dayanıklılığı geleneksel betonlardan daha azdır. Doğal ağır agregalardan üretilerek yerine yerleştirilen Barit agregalı ağırların boşluk oranları genel olarak geleneksel betonların boşluk oranlarına eşit, yapay ağır agregalardan üretilenlerin ki ise geleneksel betonlardan daha büyük olmaktadır (Kılınçarslan,2004).

Belli bir beton kıvamı için gerekli olan su oranı doğal ağır agregaların kullanılması halinde geleneksel betonlarda kullanılan su oranından önemli bir fark olmamaktadır. Eşit su/çimento oranı için barit agregalı betonların işlenebilirliği geleneksel betonlardan daha düşüktür (Postacıoğlu,1996 ).

## **3.2. YÖNTEM**

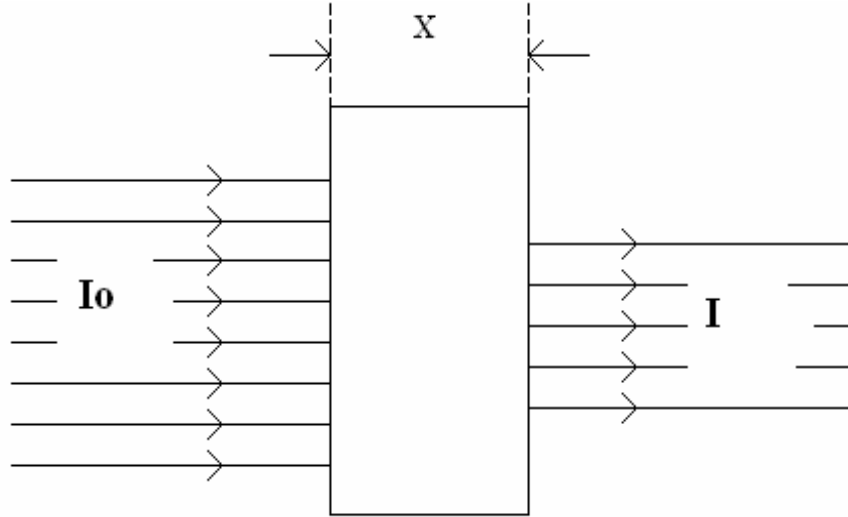
### **3.2.1. Zırhlamanın Teorisi**

Bütün canlılar gerek doğal gerekse yapay olarak meydana gelen iyonizen karakterli radyasyonların kaçınılmaz ve sürekli olarak etkisindedir. Bu nedenle radyasyondan korunmak günlük hayatın gereklerinden olmuştur. Bu amaçla ilk belirlenmesi gereken kavram özel şekillerde tarif edilmiş bazı şartlar altında radyasyon ile çalışanların ve bunların dışındaki insanların maruz kalabilecekleri azami doz değerlerini gösteren “maksimum izin verilen doz” seviyesinin belirlenmesi gerekir.

İyonlayıcı etkiye sahip olmayan radyasyonlar belirli bir yüke ve kütleyle sahip oldukları için etkileşime girdikleri maddeler tarafından yutulurlar. Yani bu radyasyonların zırhlanmaları belli bir özellik göstermez. Ancak iyonlayıcı etkiye sahip elektromanyetik radyasyonlar şiddetleri ölçüsünde belirlenen şartlar için zararlı etkilerini kabul edilebilir seviyelere indirgemek için zırhlanmalıdırlar. Kullanılacak zırh malzemesinin seçimi ve zırh kalınlığının belirlenmesi;

- 1- Malzemenin kimyasal bileşimi ve malzemenin radyasyon zayıflatma Katsayısı
- 2- Radyasyon enerjisi ve türü (Yiğit,1985).

Faktörlerine bağlıdır.



Şekil 3.4. Radyasyon şiddeti yoğunluğunun x kalınlığındaki madde içerisindeki zayıflaması

Şekil 3.1 de görüldüğü gibi zırh malzemesi ile karşılaşmadan önce yoğunluğu  $I_0$  olan radyasyon şiddetinin X kalınlığında ki zırh malzemesinden geçtikten sonraki yoğunluğu I arasında

$$\Delta I = - \mu I \Delta x \quad (3.1)$$

bir ilişki vardır. Bu eşitliğin karşılıklı integrali alınırsa,

$$I_0 = I \cdot e^{-\mu x} \quad (3.2)$$

Bağıntısı elde edilir (Beer Yasası).

Eşitlik (3.2)' de

$I_0$  = Radyasyonun başlangıçtaki şiddet yoğunluğu  
 $I$  = Radyasyonun  $x$  kalınlığındaki şiddet yoğunluğu  
 $x$  = zırh malzemesinin kalınlığı  
 $\mu$  = lineer radyasyon zayıflatma katsayısı  
 Lineer soğurma katsayısı ( $\mu$ )

$$\mu = \tau + \sigma + K \quad (3.3)$$

$\tau$  fotoelektrik soğurma katsayısını,  $\sigma$  Compton soğurma katsayısını ve  $K$  çift oluşumu soğurma katsayısını göstermek üzere üç ayrı enerji kaybetme olayının soğurma katsayılarının toplamına eşittir.

Lineer soğurma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümü ile kütle soğurma katsayısı ( $\mu_m$ ) elde edilir (Kılınçarslan,2004).

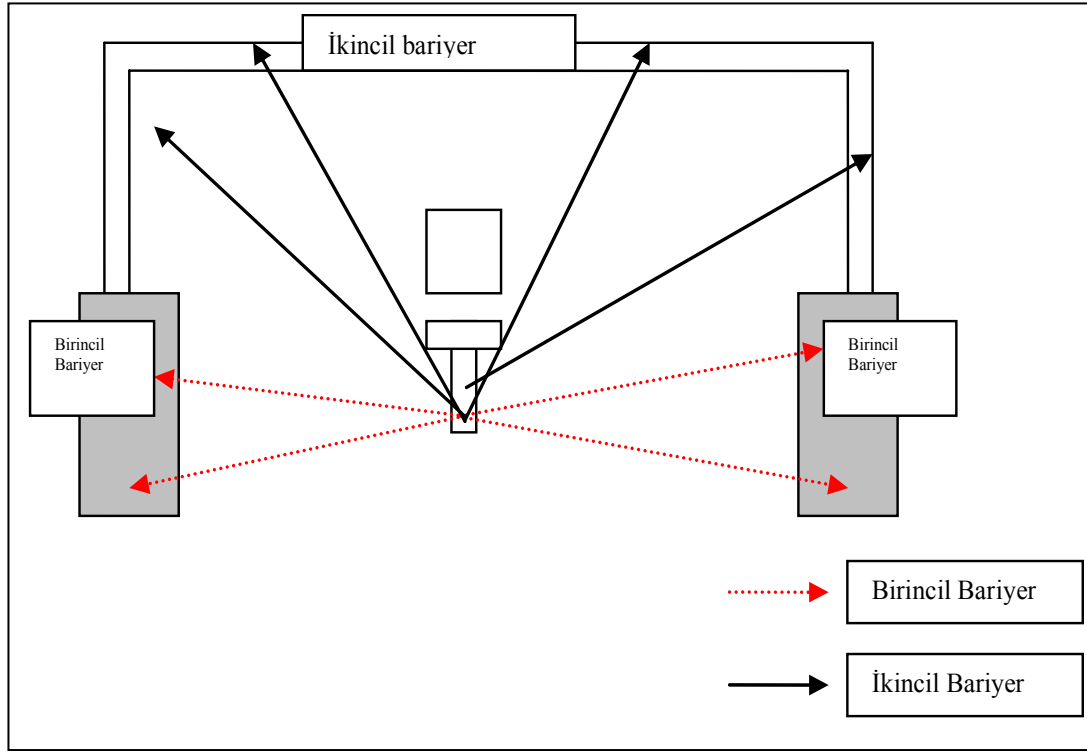
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.4)$$

Bir zırh malzemesinin lineer zayıflatma veya kütleli zayıflatma katsayıları daha önce hazırlanan tablolar ile hesaplanır. Amerika Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST)'nün Berger ve Hubble hazırladığı XCOM adlı web bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program enerjisi 1keV'dan 100 GeV'ye kadar olan herhangi bir element veya malzemenin kütleli zayıflatma katsayılarını hesaplar(Kılınçarslan,2004).

### 3.2.2. Zırlama Esasları

Radyasyon zırlamasında zırlanacak mekân ile bağlantılı bulunan diğer mekânların, kullanılacak radyasyon kaynağının özellikleri büyük önem taşır. Zırh kalınlığı hesabında zırlanacak yapı elemanı üzerine gelecek radyasyon ışınının birincil radyasyon ya da ikincil radyasyon olması belirlenmelidir (Şekil3.5) (Mc Ginley,1998).





Şekil 3.5 Birincil Bariyer ve İkincil bariyer ışınları ve yapı elemanları

Eşitlik (3.2)' de belirtilen ifade

$$\frac{I_o}{I} = e^{-\mu x} \quad (3.5)$$

Şeklinde gösterildiğın de, edildiğında  $\frac{I_o}{I}$  oranını yüzde olarak ifade edilen değeri ne zırh malzemesinin transmısyon yüzdesi denir ve bu değeri B ile sembolize edilir (Epstein,1963). Radyasyonun zararlı doz seviyelerini en aza indirmek için kullanılması gereken zırh malzemesinin seçimi ve buna bağılı olarak kalınlığının belirlenebilmesi için radyasyonun enerjisine, işyüküne, kaynağın durumuna ve korunacak kişilerin radyasyon ile çalışan kişiler olup olmadığı gibi parametrelere dayanan transmısyon yüzdesi bulunmalıdır (Eşitlik 3.6).

$$B = \frac{P.d^2}{W.U.T} \quad (3.6)$$

(Eşitlik 3.6) de verilen transmisyon denklemi radyasyon kaynağından çıkan ışınların yapı elemanının direkt üzerine düştüğü primer zırh hesabı için kullanılır. Sıçrama ve sızıntı radyasyon ışınlarının düştüğü ikincil zırh hesabı için ise;

$$B = \frac{1000.P.d^2}{WUT} \quad (3.7)$$

Şeklinde kullanılması gerekir (NCRP No:49, 1976)

(Eşitlik 3.6)' de ,

**P** : Haftalık izin verilen maksimum doz miktarını ifade eder.(Sv/week). Daha öncede açıklandığı gibi izin verilen maksimum doz miktarı radyasyon ile çalışılan kontrollü alanlar için 0,02 Sv/ week radyasyon alanı olmayan kontrolsüz alanlar için 0.001 Sv/week olarak uluslararası radyasyondan korunma komitesi tarafından belirlenmiştir.

**d** : Radyasyon kaynağının merkezinden zırhlanacak yapı elemanına olan mesafedir.

**W** : Radyasyon kaynağının 1 m mesafedeki Gy / hafta biriminde çalışma yükünü göstermektedir. Uluslar arası radyasyondan korunma komitesi (NCPR No:49)' e göre enerjisi 10Mev'den düşük kaynaklar için 350 Gy / hafta 10Mev'den büyük kaynaklar için 250 gray/ hafta olarak belirlenmiştir.

**T** : Meşguliyet faktörünü göstermektedir ve radyasyon kaynağının bulunduğu odaya koşu olan mekanların işgal edilme sürelerine göre belirlenen faktördür. Bu faktör 1, ¼, 1/16 olmak üzere üç kademeye ayrılmıştır. (Göksel, 1973)

Çizelge 3.1 Meşguliyet Faktörü

T = 1 (Tam Meşguliyet)	Radyasyon ile çalışan kişilerin, kumanda odaları dinlenme odaları, radyasyon tedavisi için gelen hastaların bekleme salonları, laboratuvar gibi mekânlar
T = ¼ (Kısmi Meşguliyet)	Kişilerin bazen bulunduğu ve zırhlanacak mekâna bağlantılı olan tuvalet, koridor gibi mekânlar
T = 1/16 (Nadir Meşguliyet)	Kişilerin sıklıkla kullanmadığı depolar merdivenler gibi mekânlar

**U** : Radyasyon kaynağının çalışır halde olduğu süre içerisinde çıkan ışının yapı elemanları üzerinde oluşturduğu kullanım faktörüdür (çizelge3.2). Kullanım faktörü ikincil zırh hesabı için daima 1 olarak kabul edilir (Rees, 1967).

Çizelge 3.2 Kullanım Faktörü

U = 1 (tam Kullanım)	Zırhlanacak mekânların kullanılan ışına her zaman maruz kalan döşeme ve duvarları
U = 0.25 (Kısmi Kullanım)	Zırhlanacak mekânların kullanılan ışına her zaman maruz kalmayan tavan ve duvarları

Gelen ışının şiddetini onda birine indirmek için gerekli olan zırh malzemesi kalınlığına onuncu tabaka kalınlığı (OTK) denir (Şarer, 2001).

$$\text{Onuncu Tabaka Kalınlığı (OTK)} = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (3.8)$$

Burada,  $\ln 10$  sabit değer olup  $\mu$  zırh malzemesinin lineer radyasyon tutuculuk katsayısını göstermektedir.

Çizelge 3.3 Kullanılan zırh malzemelerinin enerji değişimine göre OTK Değerleri

Enerji KeV	Normal Beton	Kurşun	Baritli Beton
1	2,83E-04	3,90E-05	1,13E-04
2	7,16E-04	1,59E-04	4,83E-04
3	2,11E-03	1,03E-04	1,08E-03
4	4,48E-03	1,62E-04	2,26E-03
5	6,99E-03	2,78E-04	3,51E-03
6	1,17E-02	4,35E-04	1,91E-03
8	2,53E-02	8,88E-04	3,74E-03
10	4,79E-02	1,55E-03	6,74E-03
15	1,54E-01	1,82E-03	2,00E-02
20	3,49E-01	2,35E-03	4,35E-02
30	1,02E+00	6,70E-03	1,30E-01
40	1,94E+00	1,41E-02	6,07E-02
50	2,87E+00	2,53E-02	1,08E-01
60	3,68E+00	4,04E-02	1,74E-01
80	4,87E+00	8,39E-02	3,66E-01
100	5,64E+00	3,66E-02	6,41E-01
150	6,82E+00	1,01E-01	1,63E+00
200	7,65E+00	2,03E-01	2,80E+00
300	8,93E+00	5,04E-01	4,93E+00
400	1,00E+01	8,74E-01	6,52E+00
500	1,10E+01	1,26E+00	7,73E+00
600	1,19E+01	1,63E+00	8,73E+00
800	1,36E+01	2,29E+00	1,04E+01
1000	1,51E+01	2,86E+00	1,18E+01
1250	1,69E+01	3,46E+00	1,33E+01
1500	1,85E+01	3,89E+00	1,46E+01
2000	2,15E+01	4,41E+00	1,67E+01
3000	2,65E+01	4,80E+00	1,96E+01
4000	3,05E+01	4,84E+00	2,12E+01
5000	3,37E+01	4,75E+00	2,22E+01
6000	3,63E+01	4,62E+00	2,28E+01
8000	4,03E+01	4,34E+00	2,31E+01
10000	4,30E+01	4,08E+00	2,29E+01
15000	4,67E+01	3,59E+00	2,19E+01
20000	4,83E+01	3,27E+00	2,09E+01
30000	4,78E+01	2,89E+00	2,00E+01
40000	4,71E+01	2,67E+00	1,89E+01
50000	4,64E+01	2,52E+00	1,76E+01
60000	4,58E+01	2,41E+00	1,64E+01
80000	4,52E+01	2,27E+00	1,53E+01
100000	4,45E+01	2,18E+00	1,44E+01

Canlılar için Zararlı olan elektromanyetik radyasyonlardan X ve gama ışınlarının zararlı doz seviyelerini yönetmeliklerce belirlenen kabul edilebilir seviyelere getirmek için uygulanan zırlama hesapları transmisyon yüzdesi ile kullanılan zırh malzemesinin X kalınlığına bağlı olan ve radyasyon şiddetini onda birine indiren onuncu tabaka kalınlık değerleri ile arasında ki

$$n = - \text{Log} (B) \quad (3.9)$$

Şeklinde ifadesine bağlı olarak bulunacak n değerler ile çeşitli zırh malzemelerinin X kalınlıkları

$$X = n . \text{OTK} \quad (3.10)$$

Olarak bulunur.

### 3.2.3. Zırh hesabı programı

Bu çalışma da yukarıda verilen zırlama hesabı verilerine dayanarak Delphi programlama dili kullanılarak zırh kalınlığı hesap yöntemi geliştirilmiştir. Delphi bir programlama ortamıdır. Programlama dili olarak Pascal'ın nesne yönelimli (object oriented) uzantısı olan Object Pascal dilini kullanmaktadır. Object Pascal kolay anlaşılır bir dile, hızlı derleme gücüne ve modüler programlama için gerekli tüm komutlara sahiptir. Object Pascal Delphinin IDE si ile birlikte daha anlaşılır bir yapıya kavuşturulmuştur. IDE tümleştirilmiş uygulama geliştirme ortamı demektir. Delphi'nin de birçok sürümü bulunmaktadır. Bunlar Personal, Profesyonel, Enterpris ve Architect sürümleridir. Profesyonel sürümü bütün temel özellikleri ve bunlara ek olarak genişletilmiş veritabanı desteği, biraz internet desteği ve harici programların bazılarını içerir. Enterprise sürümü büyük şirket uygulamaları geliştiren programcılar içindir. Eski adı Client/server suitedir. Architect sürümünde Enterprisesden farklı olarak BoldSoft'un Bold for Delphi ürünü yer almaktadır.

Tez çalışmasında oluşturulan Radyasyon Kalkanı Hesap Programı, Radyasyon Kaynağının Konumu, Enerji Seviyesi, maksimum müsaade edilen doz oranlarını

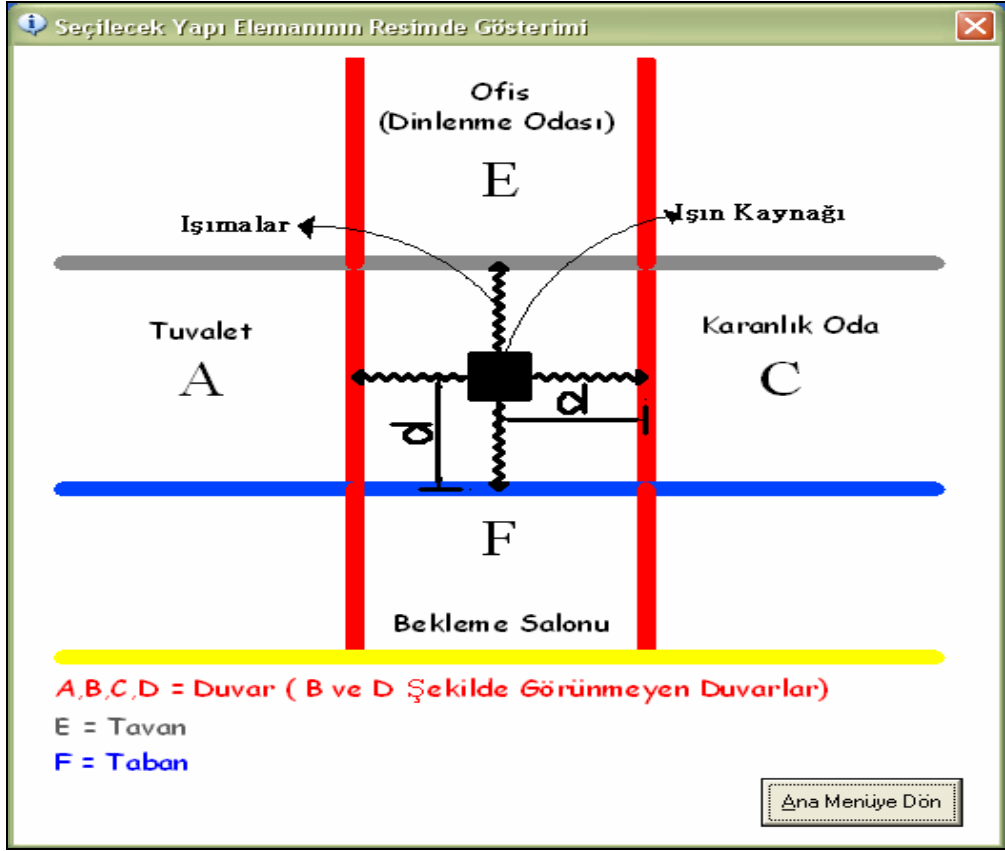
zırhlanacak mekanın özelliklerini ve zırh malzemesi olarak kullanılacak malzemelerin radyasyon tutuculuk özelliklerini dikkate alarak belirlenmiş olan yapı elemanının kalınlığını hesaplamada kullanılır.



Şekil 3.6 Radyasyon Zırh Kalınlığı Programı Açılış Penceresi

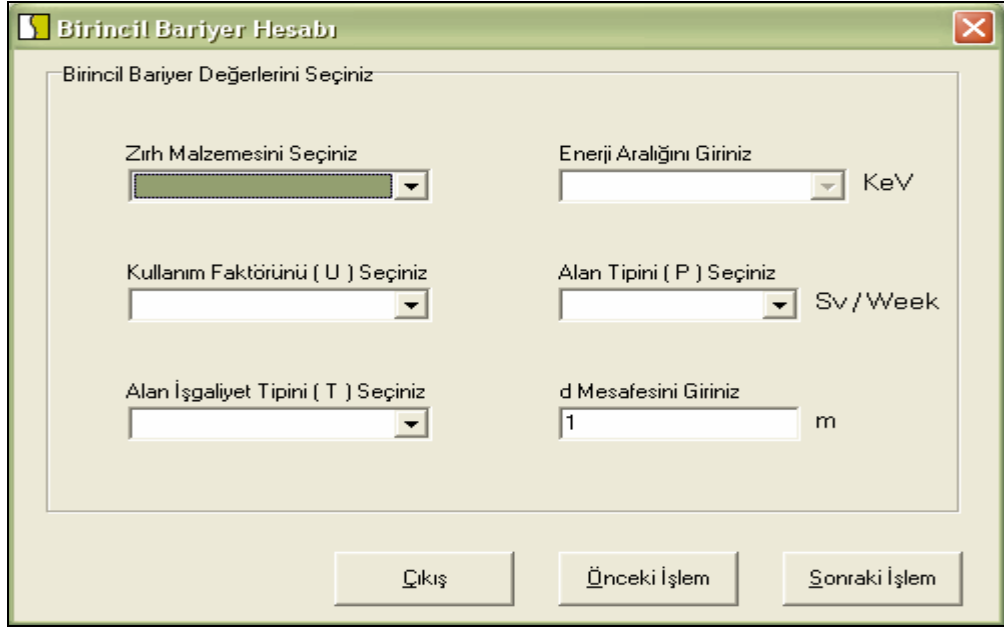
Programın bilgisayara kurulumundan sonra şekil 3.6’ de görünen pencere açılır. Zırhlanacak röntgen odasının şeklini ve kaynağın zırhlanacak elemanlar ile olan ilişkilerini gösteren oda planı, “resmini göster” butonu ile görülebilir (Şekil 3.7).

Oda planı doğrultusunda hesaplamalarda kullanılacak verilerin ve formüllerin belirlendiği zırhlanacak yapı elemanının ne olduğunu gösteren harfler seçilir ve bu elemanlara gelen radyasyonun hangi tip radyasyon olduğunun seçildiği birincil bariyer veya ikincil bariyer seçenekleri belirlenir.



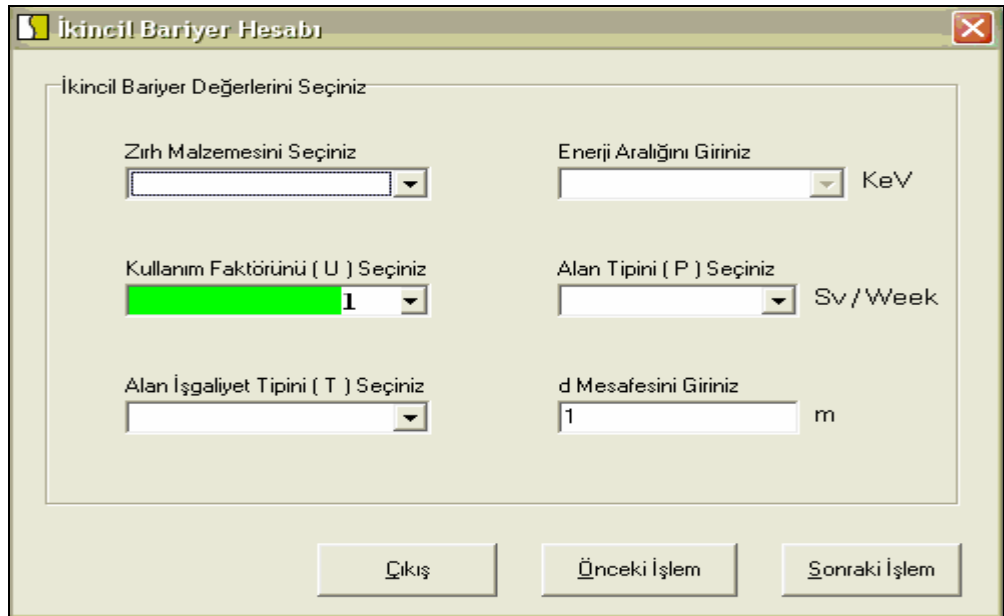
Şekil 3.7. Zırhlanacak mekânın Planı

Zırhlanacak yapı elemanı ve zırh tipi belirlendikten sonra belirlenen seçenekler doğrultusunda şekil 3.8 ve şekil 3.9’de gösterilen pencereler açılır. Eğer Şekil 3.7’de ifade edilen açılış penceresinde birincil bariyer seçeneği işaretlenmiş ise açılan pencerede ifade edilen veriler birincil bariyer için olmalıdır ( Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Birincil Bariyer Hesabı Verileri Penceresi

Eğer açılış penceresinde ikincil bariyer seçeneği işaretlenmiş ise girilecek veriler ikincil bariyere ait değerler olmalıdır. İkincil bariyer hesabında kullanılan tek farklı değer U harfi ile sembolize edilen yapı elemanını kullanım faktörünün ikincil bariyerler için daima 1'e eşit olmasıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 İkincil Bariyer Hesabı Verileri Penceresi



Şekil 3.8 ve şekil 3.9 pencerelerinde istenen değerler seçildikten sonra sonraki işlem butonuna basıldığında Şekil 3.10’de görülen pencere karşımıza çıkar .

Seçmiş Olduğunuz Değerler

Seçmiş Olduğunuz Değerler

$\mu / \rho$

$\rho$

$\mu$

$d$

TVL

U

T

P  Sv / Week

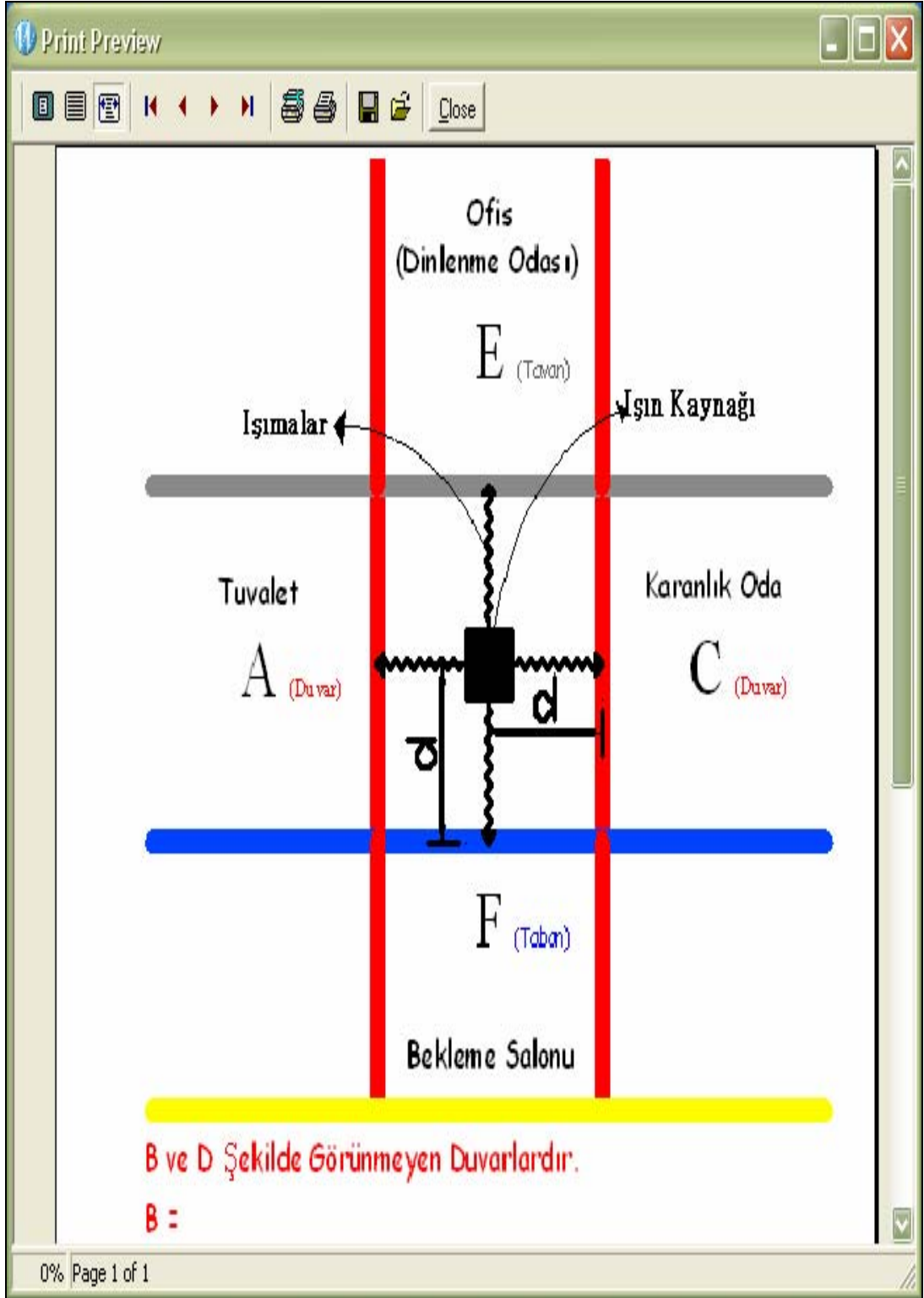
W  Grey / Week

Şekil 3.10 Zırh Kalınlığının Hesap Verilerini Gösteren Pencere

Bu pencerede görülen değerler istenilirse değiştirilebilir. Bu pencerede kalınlığı hesapla butonuna basıldığında önce “U, T, d, W” değerlerini kullanarak “B” değerini hesaplanır.

Bulunan “B” değerini kullanarak “n” ile ifade edilen Onuncu Tabaka Kalınlığı Sayısı bulunarak “n” değeri ile zırh malzemesi çeşidine ve enerji tipine bağlı olarak önceden belirlenen “OTK” çarpılarak “X” olarak belirtilen zırh kalınlığı hesaplanır. Bulunan “X” değeri şekilde gösterildiği gibi daha önce açılış penceresinde seçilmiş olan yapı elemanını altında yazılıdır (Şekil 3.11).



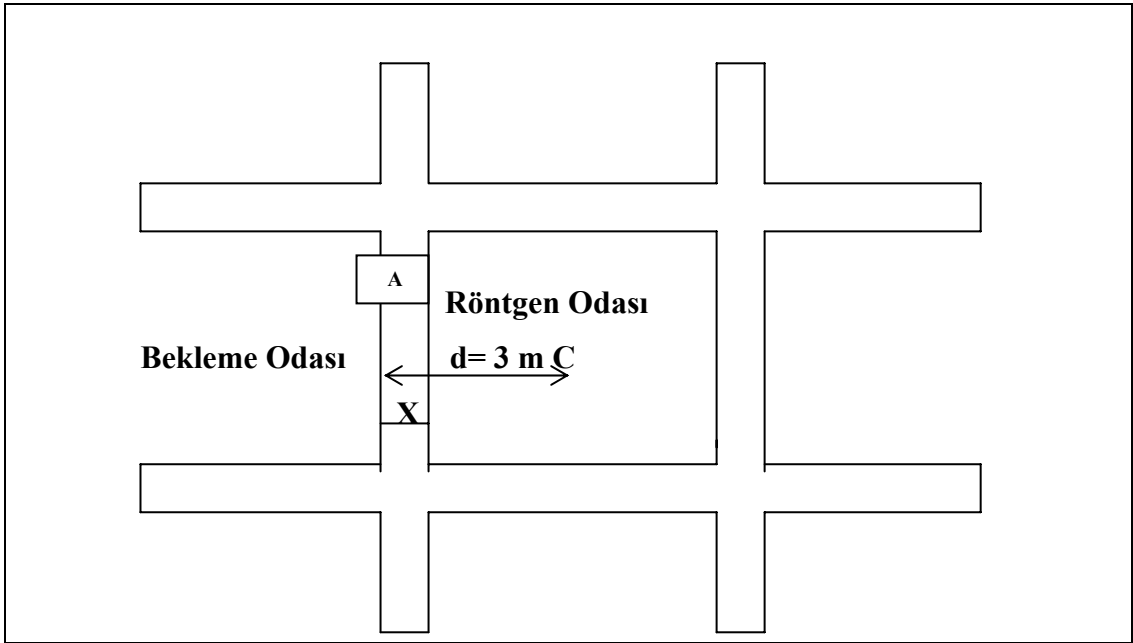


Şekil 3.12 Çıktı sayfası penceresi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde ilgili literatürlerden alınmış olan veriler doğrultusunda üç yapı malzemesine ait hesaplar yapıldı.

##### 4.1. Zırh Hesabı Programı Uygulaması



Şekil 4.1 Röntgen Odası Kesiti

Şekilde radyasyon kaynağı C noktasında bulunan bir röntgen odası görünmektedir. Bu odanın a ile sembolize edilen duvarının komşu olduğu mekân hastaların muayene sıralarını bekledikleri bir bekleme salonudur.

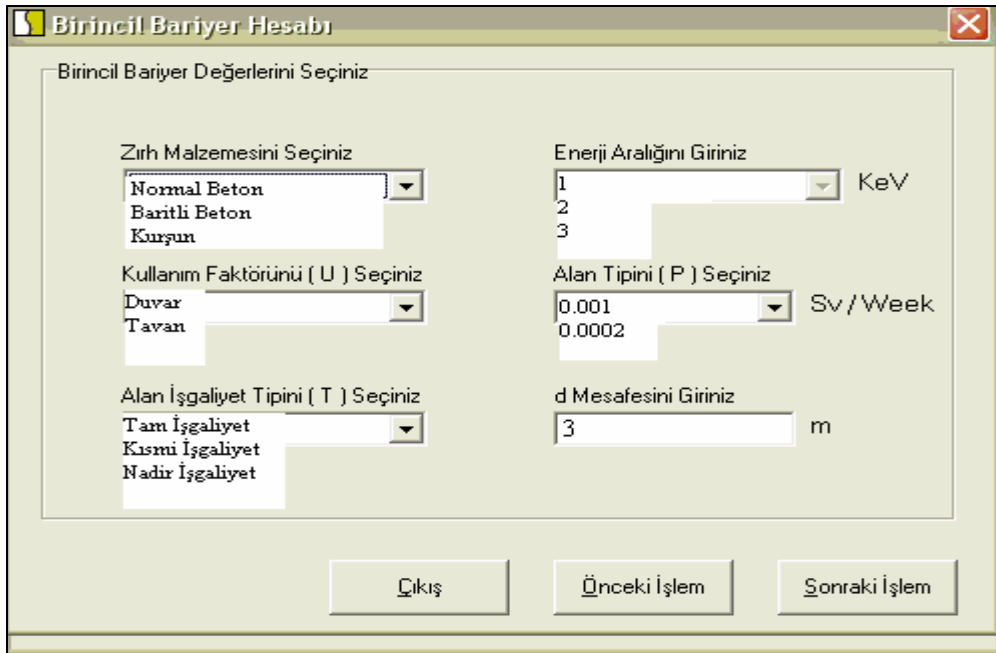
Kaynak olarak enerji seviyesi 10 Mev olan bir lineer hızlandırıcı kullanılmaktadır. Kaynak ile A duvarı arası 3 m olarak belirtilmiştir.

Zırhlanacak alan radyasyon ile radyasyon ile çalışmayanlar için olan bir alan olduğu için P değeri 0.001 olarak belirtilmiştir. Verilenlere göre istenilen A duvarı zırh kalınlığı beton, baritli beton ve kurşun kullanımına karşılık belirlenecektir.



Şekil 4.2 Hesap Kriterleri Seçimi

İlk olarak bariyer tipi ve zırhlanacak duvar adı seçilir (Şekil4.2). Buradan Birincil bariyer hesabı penceresine geçilir. İlk olarak normal beton için gerekli veriler girilir(Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Birincil Bariyer Hesabı Veri Girişi

Buradan bir önceki pencerede seçilen verilerin sayısal değerlerini ve zırh kalınlığı için kullanılacak parametrelerin belirlendiği zırh kalınlığının hesaplandığı pencereye geçilir (Şekil 4.4).

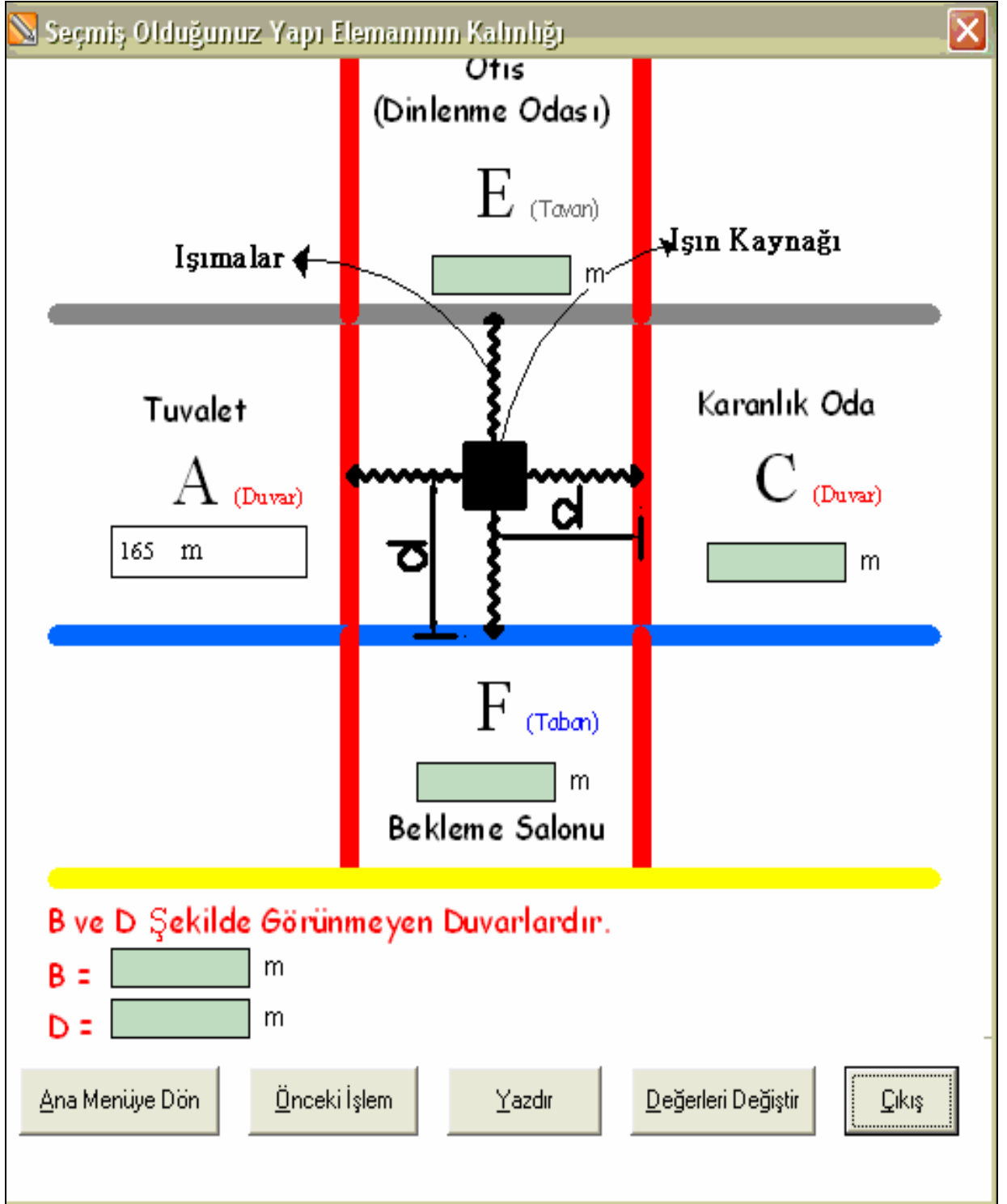
The screenshot shows a dialog box titled "Seçmiş Olduğunuz Değerler" (Selected Values). It contains the following parameters and their values:

Parameter	Value	Unit / Label
$\mu / p$	0.0210	
$U$	1	
$p$	2.35	
$T$	1/4	
$\mu$	0.0493	
$P$	0.002	Sv / Week
$d$	3	
$W$	250	Grey / Week
$TVL$	46.7	

At the bottom of the dialog box, there are four buttons: "Ana Menüye Dön", "Önceki İşlem", "Değerleri Değiştir", and "Kalınlığı Hesapla".

Şekil 4.4 Zırh Kalınlığı Hesap Kriterleri

(Şekil 4.4)' de gösterilen pencerede hesaplamalarda kullanılacak sayısal veriler ifade edilir. Bu menü ile kullanılacak zırh malzemelerinin radyasyon özellikleri ile fiziksel özelliklerine ulaşılabilir. Menüde ifade edilen değerler normal betona aittir. Burada normal betonun enerji aralığına göre kütleli radyasyon tutuculuk katsayısı( $\mu/p$ ), lineer radyasyon tutuculuk katsayısı ( $\mu$ ) ile onuncu tabaka kalınlığı (TVL, OTK) gibi radyasyon özellikleri yoğunluğu ( $p$ ) gibi fiziksel özellikleri görülebilir. Pencerede tüm veriler kontrol edilip kalınlığı hesapla butonuna basıldığında şekil bölüm üçte verilen hesap kriterleri ile bu pencerede ifade edilen sayısal veriler kullanılarak zırh kalınlığı hesaplanır. Zırh kalınlığı zırhlanacak yapı elemanının üzerinde gösterilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Zırh Kalınlığı Sonuç Değeri

Şekil 4.5’de verilen değerler sonucunda zırhlanması istenilen A duvarı kalınlığı normal beton ile 165 m kalınlığında olmalıdır.

İstenilir ise yazdır butonuna basılarak bu sayfanın çıktısı alınabilir.

A duvarı için tüm veriler aynı kalmak suretiyle zırh malzemesi seçimini kurşun ve barit agregalı ağır beton için yapıldığında zırhlama verileri ve zırh kalınlıkları değişimi (çizelge 4.1)'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Zırh Malzemelerinin Zırh Kalınlığı Değişimleri

Zırh malzemesi	$\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /gr)	OKT (cm)	Kalınlık (cm)
Normal Beton	0.0493	2.35	0.210	46.7	165
Barit Agr. Beton	0.1	3,2	0.0314	22.9	81
Kurşun	0.564	11,34	0.0497	4,08	14



## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Zırhlama hesaplamaları, işgal edilen pozisyonda, radyasyon görevlileri için doz hızını müsaade edilen haftalık doz sınırına düşürmek için yapılır. Bunun için personelle radyasyon kaynağı arasında kurşun, beton, dolu tuğla veya başka maddelerden engeller yerleştirilir. Dolu tuğla, beton, kurşun gibi zırhlama malzemelerinin zırhlama hesaplamaları dar ve geniş demet durumu için iki şekilde yapılır. Dar demet durumunda kullanılacak zırh malzemesinin yarı kalınlık değeri biliniyorsa zırhın kalınlığı kolayca hesaplanır.

Geniş demet durumunda ise zırh kalınlığı uzmanlarca, iş yükü, meşguliyet faktörü ve kullanma faktörleri uygun yapı malzemeleri için (tuğla, beton, baritli beton, kurşun gibi) hazır tablo ve grafikler yardımıyla hesaplanır.

İyonlayıcı Radyasyon ışınlarının çevrelerinde bulunabilecek kişilere zarar vermemeleri için zırhlanması gerekir. Maruz kalınan radyasyon dozu kabul edilebilir seviyelerde tutulur ise canlılara hiç bir zarar gelmez (göksoy, 1973) görüşüne karşın emniyetli bir radyasyon dozunun olduğunu söylemek mümkün değildir(Appleton vd., 1960). Ancak canlıların yaşamları boyunca doğal radyasyon kaynaklarının sürekli etkisinde kaldıkları unutulmamalı ve kabul edilebilir doz seviyeleri göz ardı edilmemelidir.

Kabul edilebilir doz seviyeleri üzerindeki radyasyon dozlarının canlılar üzerinde zararlı etkiler ortaya çıkaracağı kesinlikle bilindiğinden, özellikle tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan radyasyon kaynaklarını bulunduğu yerlerin planlama ve zırhlanmaları, radyasyon ile çalışan kişilerin ve radyasyona maruz kalan halkın radyasyondan korunmaları bakımından mutlaka gereklidir.

Zırhlama işlemi çeşitli parametrelerin bir araya gelmesi ile hesaplanan değerler sonucunda gerçekleştirilebilmektedir. Zırhlamada; kaynak özellikleri, kaynağın bulunduğu mekânın özellikleri kullanım özellikleri, kullanılacak zırh malzemelerinin özellikleri ve uygulanacak zırh tipi özellikleri büyük önem taşır. Kaynağın yayınladığı ışın tipi enerjisi kaynak özelliklerini, kaynağın bulunduğu yer ve komşu

mekânlar ile olan ilişkisi, komşu mekânların işlevleri, bu mekanlarda insanların bulunma sıklıkları ve bu kişilerin radyasyon ile olan ilişki dereceleri mekan özelliklerini, radyasyon ışın tipine göre hangi malzemenin kullanılacağı malzemelerin radyasyon ile etkileşiminin ifadesi olan radyasyon tutucuk özellikleri zırh malzemelerinin özelliklerini, kaynağın ışın doğrultusu ve yönüne göre birincil veya ikincil zırh tipi seçileceği ile ilgili özellikler ise zırh tipi özelliklerini belirler. Bu parametrelerden birinin değişmesi yada yanlış tespit edilmesi, radyasyon koruması için yapılan zırhlamanın yetersiz kalmasına sebep olur.

Bu çalışmada söz konusu parametrelerin ışığı altında ve ilgili literatür destekleri ile 0.001 Mev ile 10000 Mev enerji aralığında beton barit agregalı ağır beton ve kurşun malzemeleri için zırh kalınlığı hesaplama programı delphi programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur. El ile çözülen örnekler ile karşılaştırılmış ve aynı değerlerin tespiti sağlanmıştır. Ayrıca zırh malzemesi kalınlığının yoğunlukları sırası ile  $11.35 \text{ gr/cm}^3$ ,  $3,2 \text{ gr/cm}^3$  ve  $2.35 \text{ gr/cm}^3$  olan kurşun, Baritli ağır beton ve normal beton yoğunluğa ters orantılı olarak azaldığı görülmüştür.

Zırhlama radyasyon dozunu kabul edilebilir seviyelere azaltmak amacı ile radyasyon kaynağı ile birey arasına koyulan engellere denir. Uygun zırh malzemesi seçiminde, radyasyon kaynağının enerji seviyesi, yüksek yoğunluklu olması ve kimyasal bileşiminde hidrojen içermesi, ekonomik ve yapımı kolay olan malzemelerden oluşması gibi etkenler dikkate alınmalıdır. Barit agregalı ağır betonlar agregalarında bulunan barit ile yüksek yoğunluk, karma suyunda bulunan su ile hidrojen içeriği ve yurdumuzda en önde gelen yapı malzemesi statüsünde gelen beton ve barit yataklarının çok olması yapımı kolay ve ekonomiklik ölçütlerini sağladığını gösteriyor.

## 6. KAYNAKLAR

Abdo A.S., Kansouh W.A., Megahid, R.M., 2002. Investigation of Radiation Attenuation Properties for Barite Concrete, Jpn.J. Appl.Phys. 41, 7512-7517.

Akkurt, I., Kılınçarslan S., Basyigit C., 2003. The Photon Attenuation Coefficients of Barite, Marble and Limra, Annals of Nuclear Energy, 577-582, 31.

Akman, M.S., 1987. Yapı Malzemeleri, 1. Baskı, İTÜ Matbaası, İstanbul.

Akyüz, S., 1977. Gama Işınlarından Korunmada Barit Agregalı Ağır Beton, İTÜD, Cilt 35, Yıl 35, Sayı 5.

ASTM C637-73, 1973. Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete, American Society for Testing and Materials.

Bakos, G. C., 1995. Improvement of Buildup Factors for Multi-Energy Gamma Rays Penetration Through Al, Fe and Pb Shield Combinations, Annals of Nuclear Energy, 22, 125-130.

Bashter I.I, 1997. Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Shielding Concrete, Ann. Nucl. Energy, 24, 1389.

Basyigit, C., Akkurt, I., Kılınçarslan, S., The shielding of  $\gamma$ -rays by concretes produced with barite, Annals of Nuclear Energy, 2004.

Bayhan, H., Radyasyonun Biyolojik Etkileri Ders Notları, 1995.

Bilge A.N., Nükleer Enerjiye Giriş, Eğitim Yayınları, No 9 Çnaem 1982.

Braestrup, C.B., Whyckoff, H.O., Radiation Protection, C.C. Thomas Publisher, Illinois, 1958.

Cangüzel, T., Radyasyonun Biyolojik Etkileri, 1981

Engizek, T., Sağlık Fiziği Ders Notları, İstanbul 1995

Evans, D.R., 1955. The Atomic Nucleus, McGraw-Hill, New York, 610 s.  
Followill, D., Geis, P., Boyer, A., Estimates of Whole-Body Dose Equivalent Produced by Beam Intensity Modulated Conformal Therapy, Int J Radiat Oncol Biol Phys ,1977.

Göksel S.A. , Radyasyonların Biyolojik Etkileri Ve Radyasyondan Korunma, Genel Yayınları No 9, Gümüşsuyu,1973.

Hubbell, J.H., 1969. Photon Cross Sections. Attenuation Coefficients and Energy Absorption Coefficients from 10 keV to 100 GeV. Radiation Research, 29, NBS 29, p. 1-80 US

International Atomic Energy Agency, "Radiation Safety", IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, 1996.

International Atomic Energy Agency, "What the General Practitioner (MD) Should Know Medical Handling of Overexposed Individuals", IAEA, Tecdoc-366, 1986

International Commission on Radiological Protection (ICRP) Report, 1977.

Johns, H.E., Cunningham, J.R., 1983. The Physics of Radiology, C. Thomas Publishers.

Kahya, S., 1985. Yüksek Aktiviteli Bir Nokta Gama Kaynağının Zırhlama Problemleri, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kaplan, M.F., 1989. Concrete Radiation Shielding, John Wiley & Sons , Newyork, 470s.

Kaplan I., 1965 Nuclear Physic, Çeviren Küçüköğlü N., İstanbul..

Kılınçarslan, Ş., 2004. "Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması" S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.

Kılınçarslan, Ş., 2002. “Ağır Betonlar” S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri II, 50 sayfa, Isparta.

Larson, A., 1995. Northeast Proton Therapy Center Shielding Design Description, Bechtel Corporation, Report to Massachusetts General Hospital.

Mc Ginley, H. , 1998. “Shielding Techniques”, Medical Physics Publishing, Madion.

Mcginly, H., Miner, M., 1995. A History Of Radiation Shielding Of X-Ray Therapy Rooms, Health Phys.

Mudahar G. S., Sahota H. S., 1985. Optimal thickness of soil between source and dedector for different gamma-ray energies, Journal of Hydrology, 80, 265-269.

National Concil on Radiation Protecting and Measurements (NCRP), NCRP 49. 1976. Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies Up to 10 Mev. Washington, DC: National Concil on Radiation Protecting and Measurements,

National Concil on Radiation Protecting and Measurements (NCRP), NCRP 51. Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100 Mev Particle Accelerator Nuclear Data for Neutron and Proton Radiotherapy and for Radiation Protection, 2000. Report No. 63, Int. Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda,

Nükleer Fizik, Kenneth S. Krane, Palme Yayıncılık

Onaran, K., 1993. Malzeme Bilimi, 4. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

Önen, S., 1993. Radyasyon Biyofiziği İ.Ü. Tıp Fakültesi Basımevi, 112 s., İstanbul

Öz, H., 2000. “Çeşitli Ortamlar için Tüm Enerji Absorbsiyon ve Tam Gamma Absorbsiyon Tesir Kesitlerinin Hesaplanması” Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (basılmamış), 68 sayfa, Bursa.

Özalpan, A., 1980. Radyobioloji. İ.Ü. Fen Fakültesi Basımevi No:152, 230s, İstanbul.

Polivka, M. ve Davis, H. S., 1979. The Shielding Ability of Concrete, ASTM STP 169B. Chap: 26, 420–434.

Postacıoğlu, B. , 1987. Beton (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton) Cilt II., İTU İnşaat Fakóltesi, 232 s. İstanbul.

Price, B. T., Horton, C. C. and Spinney, K. T., 1957. Radiation Shielding, Pergamon Press, London-New York.

Radyoaktivite Ve Radyasyonlar,1977. İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayınlar No 14.

Shultis, J. K., Richard E. Faw, 1996. Radiation Shielding, Prentice Hall PTR, New Jersey.

Singh, K., Kaur R., V. Kumar, 1996. Study of effective atomic numbers and mass attenuation coefficients in some compounds, Radiation Physics and Chemistry, 47,535–541s.

Soyberk, Ö., 2003.Radyasyon Fiziği, ÇNAEM Sağlık Bilimleri Bölümü 1.Cilt Şarer, B., 2001 Nükleer Fizik Palme Yayıncılık , Ankara,

Şeker, S., Çerezci, O., 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, B.Ü. Matbaası Yayını No:607, 468 s., İstanbul

TAEK “Nükleer Enerji, 1999. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Bilgiler- Haberler Sayı 57. İstanbul.

The International Commission On Radiological Protection, 1991. ICRP Publication 60. 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press Inc.,ICRP, USA,

Tesch, K., 1985. Radiation Protection Dosim.

Topçu, İ.B., Karakurt, C., 2002. Ağır Betonlar. İMO Eskişehir Şubesi, 6.15.19.121 s.

Topçu, İ.B., 2001. Properties of Heavyweight Concrete Produced With Barite. Cement and Concrete Research, 33,815–822.

Toprak, Ö., 2001. Gama Radyasyonunun Toprak ile Zırhlanmasının İncelenmesi, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (basılmamış) 68 s. İstanbul.

TS 706 EN 12620 2003. Beton Agregalar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2941 Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Yarar, Y., 1994. Kolemanitli Betonların Nötron Zırhlanma Etkinliğinin ve Aktivitesinin İncelenmesi, Doktora Tezi (basılmamış), İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, 103 s, İstanbul

Yiğit, Z., 1996. Endüstriyel Atık Malzemesi olan Kağıt ile Bor elementi Kullanılarak

Nötron Zırhlanmasında Etkili Bir Zırh Geliştirilmesi, Y.Lisans Tezi (basılmamış), İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, 68 s, İstanbul

Yülek, G., 1992. Radyasyon Fiziğine radyasyonda Korunma, SEK Yayınları No:14, 198s. Ankara.

Zeybek, M.S., 2000. Borlu Çimentoların Üretilmesi ve Nötron Tutma Kapasitelerinin Araştırılması. Sakarya Üniversitesi FBE, Doktora Tezi (yayınlanmamış), 103s, Sakarya

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : AYŞE KAÇAR

Doğum Yeri : BURDUR / BUCAK

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise: 1994 – 1998 Fethiye Lisesi

Lisans: 1998 – 2002 Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim  
Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

### İş Deneyimi:

2004 – Araştırma Görevlisi SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim

Dalı