



T.C.

ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RADYASYON İÇEREN BİRİMLERİN ZIRHLANMASINDA
KULLANILAN FARKLI TİPTEKİ BETONLARIN RADYASYON
GÜVENLİĞİ İLE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

Murat KALYON

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN

İSTANBUL-2019

T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RADYASYON İÇEREN BİRİMLERİN ZIRHLANMASINDA
KULLANILAN FARKLI TİPTEKİ BETONLARIN RADYASYON
GÜVENLİĞİ İLE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

Murat KALYON

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN

İSTANBUL-2019

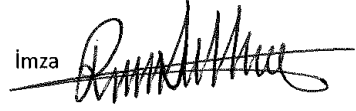
T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Anabilim Dalı : İş Sağlığı ve Güvenliği
Program : İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans
Öğrenci No : 174203013
Öğrenci Adı Soyadı : Murat KALYON

“Radyasyon İçeren Birimlerin Zırhlamasında Kullanılan Farklı Tipteki Betonların Radyasyon Güvenliği İle İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından İncelenmesi” isimli çalışma aşağıdaki jüri tarafından 04/04/2019 tarihinde yapılan sınavda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Dr. Öğr. Üye. Rüştü UÇAN

İmza



Danışman : Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN

İmza



Üye : Dr. Öğr. Üye. Gülfem SÜSOY DOĞAN
(İstanbul Üniversitesi)

İmza



ONAY

Bu tez, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun 04/04/2019 tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Türker Tekin ERGÜZEL
Enstitü Müdür V.

ÖZET

Radyoaktivitenin keşfiyle beraber nükleer kaynaklı birçok radyasyon türü üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Her geçen gün gelişen teknoloji ile beraber nükleer santraller, tıp, endüstri gibi alanlarda radyasyondan yararlanılması sonucu ortaya çıkan, ölümle sonuçlanabilen akut (kısa süreli) ve kalıtsal hasarlara yol açabilen kronik (uzun süreli) etki gibi insan sağlığı için zararlı etkilerden korunma ihtiyacı oluşmuştur. Bununla beraber radyasyon ile etkileşimde maruz kalınan dozun minimum miktarlarda olması için; minimum süre, maksimum mesafe ve zırhlama gibi çeşitli korunma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, zaman ve mesafe kuralları kadar önemli bir diğer parametre olan zırhlama kuralı üzerinde durulmuştur. Uygun maliyeti, üretim kolaylığı ve yüksek dayanımı sebebiyle inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton radyasyon zırhlama konusunda da en çok tercih edilen malzemelerden bir tanesi olmuştur. Çeşitli madenlerin katkılanması ile gama ve X-ışınları ve nötron parçacıkları için en uygun zırhlayıcı özelliğe sahip betonun belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasında radyasyon zırhlamasında kullanılacak betonlar üzerine literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve çeşitli radyasyon tipleri için en uygun katkı malzemeleri belirlenmiştir. Özellikle insan sağlığı ve iş güvenliği için önemli olan bu konunun farklı malzemelerle yapılacak yeni çalışmalarla desteklenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Radyasyondan korunma, beton, gama zırhlama, nötron zırhlama, iş sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT

Several types of radiation from nuclear sources have been studied with the discovery of radioactivity. With the technology developing day by day, nuclear power plants, medicine, industry, such as radiation resulting from the use of radiation, which can result in death (short-term) and can lead to hereditary damage such as chronic (long-term) effects such as human health has emerged to protect from harmful effects. However, in order to minimize the amount of exposure in the interaction with radiation; Various protection methods such as minimum time, maximum distance and armouring have been developed. In this thesis, the shielding rule, which is as important as the time and distance rules, is emphasized. Due to its cost, ease of production and high durability, it has been the most preferred material for the construction of concrete radiation, which is the most used building material in the construction sector. Various studies have been carried out to determine the most suitable armor for concrete and X-rays and neutron particles. In this thesis, the studies in the literature about the concrete that can be used in radiation shielding were examined and the most suitable additive materials were determined for various types of radiation. It is recommended that this issue, which is especially important for human health and work safety, should be supported by new studies with different materials.

Keywords: Radiation protection, concrete, gamma shielding, neutron shielding, occupational health and safety

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli bilgileri ve deneyimiyle beni yönlendiren ve yanımda olan, tez danışmanım ve aynı zamanda Üsküdar Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Müdürü, Sayın Hocam Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN'e destekleri için teşekkürü borç bilirim. Doğduğum günden bugüne hep yanımda olan ve bugünlere gelmemde büyük emekleri olan sevgili annem Vildan ERTÜRK'e, çocukluk arkadaşım Sosyal Bilgiler Öğretmeni sevgili Gökhan ŞAHİNBOY ve yine çocukluk arkadaşım Hemşire adayı sevgili Ömer Faruk ÜLGENSOY'a, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi kız arkadaşım sevgili Göksenin KÖMÜRCÜ'ye, Üsküdar Üniversitesi İş Güvenliği Uzmanı Sayın Alev Arslan'a, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi sevgili arkadaşım Berk DÜZEN'e, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü mezunu sevgili arkadaşım Ercan GÜLEŞ'e, tez çalışmam süresince yanımda oldukları ve desteklerini esirgemedikleri için çok teşekkür ederim.

BEYAN

Bu çalışmanın kendi tez çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar hiçbir aşamasında etik dışı davranışımın olmadığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğini, tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Tarih: 04/04/2019

Adı Soyadı: Murat KALYON

İmza:

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
BEYAN	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyasyon Kaynakları	1
1.1.1. Doğal radyasyon kaynakları	2
1.1.2. Yapay radyasyon kaynakları	3
1.2. Radyoaktif Bozunum	4
1.2.1. Alfa bozunumu	5
1.2.2. Beta bozunumu	6
1.2.3. Nötron bozunumu	7
1.2.4. Gama bozunumu	7
1.3. Radyasyonun biyolojik etkileri	8
1.4. Radyasyondan Korunma Gerekliliği	9

1.5. Radyasyondan Korunma Yöntemleri	10
1.5.1. Zaman kuralı	10
1.5.2. Mesafe kuralı	11
1.5.3. Zırhlama kuralı	11
1.6. Gama Işınlarının Maddeyle Etkileşme Yolları	14
1.6.1. Fotoelektrik olay	14
1.6.2 Compton saçılması	16
1.6.3. Çift oluşumu	17
2. BETON MALZEMELER	18
2.1. Beton Türleri	21
2.1.1. Hafif betonlar	21
2.1.2. Ağır betonlar	22
2.1.3. Gama zırhlamada kullanılan ağır agregalar ve özellikleri	25
2.1.2.1. Barit ($BaSO_4$)	25
2.1.3.2. Manyetit (Fe_3O_4)	27
2.1.3.3. Limonit ($2FeO_3 \cdot 2H_2O$)	28
2.1.3.4. Hematit (Fe_2O_3)	28
2.1.3.5. Ferrofosfor	29
2.1.4. Nötron zırhlamada kullanılan agrega türleri ve özellikleri	29
2.1.4.1. Bor	29
3. LİTERATÜR ÖZETİ	32
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
5.KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	48

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Radyasyonun deterministik ve stokastik etkileri	8
Tablo 2.1. Su oranı ile basınç mukavemeti arasındaki korelasyon	20
Tablo 2.2. TS EN 206-1/Nisan 2002'ye göre hafif beton basınç dayanım sınıfları	22
Tablo 2.3. TS EN 206-1/Nisan 2002'ye göre normal ve ağır betonlar için basınç dayanım sınıfları	24



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya Üzerinde Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Dozları Oranı	2
Şekil 1.2. Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Oransal Değerleri	2
Şekil 1.3. Dünya Üzerinde Yapay Radyasyon Kaynaklı Maruz Kalınan Radyasyon Dozları ve Oransal Değerleri	4
Şekil 1.4. Radyasyondan korunmak için gerekli 3 temel kural	10
Şekil 1.5. İyonlaştırma özelliklerine göre radyasyonlar	12
Şekil 1.6. Giriciliklerine göre iyonlaştırıcı radyasyonlar	13
Şekil 1.7. Fotoelektrik olay sırasında foton ve elektronun hareketi	15
Şekil 1.8. Compton saçılması olayı	16
Şekil 1.9. Çift oluşumu olayı	18
Şekil 4.1. Beton numune kesiti	42

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1. Barit	26
Resim 2.2. Manyetit	27
Resim 2.3. Limonit	28
Resim 2.4. Hematit	28
Resim 2.5. Tinkal (Boraks)	30
Resim 2.6. Kolemanit	31
Resim 2.7. Üleksit	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

mSv	Mili sievert
U-238	Uranyum radyoizotopu
Th-232	Toryum radyoizotopu
K-40	Potasyum radyoizotopu
N₀	Başlangıçtaki çekirdek sayısı
λ	Bir radyoaktif elementin birim zamandaki bozunma katsayısı
t	Zaman sabiti
n	Nötron
N	Çekirdekdeki nötron sayısı
Z	Atom numarası
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
β^-	Negatron
β^+	Pozitron
e	Elektron
p	Proton
P	Çekirdekdeki proton sayısı
v	Nötrino
γ	Gama ışını

h	Planck sabiti
E_γ	Gama enerjisi
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
BT	Bilgisayarlı tomografi
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ΔX	Radyasyon pozundaki değişim
Γ	Kaynağa bağlı gama katsayısı
A	Kaynağın aktivitesi
Δt	Radyasyon dozuna maruz kalınan süre
eV	Elektronvolt
I₀	Kaynaktan gelen radyasyon şiddeti
I	Engel tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddeti
μ	Toplam doğrusal zayıflatma katsayısı
τ	Fotoelektrik olay kısmi zayıflatma katsayısı
σ	Compton saçılması kısmi zayıflatma katsayısı
κ	Çift oluşumu olayı kısmi zayıflatma katsayısı
m_e	Elektronun durgun haldeki kütlesi
r₀	Elektron yarıçapı
c	Işık hızı
kEv	Kilo elektronvolt
MeV	Mega Elektronvolt

GeV	Giga Elektronvolt
He	Helyumun simgesi
Pb	Kurşunun simgesi
Ba	Baryumun simgesi
B	Borun simgesi
Fe	Demirin simgesi
¹³⁷Cs	Sezyum-137 radyoaktif kaynağı
⁶⁰Co	Kobalt-60 radyoaktif kaynağı
²⁴¹Am	Amerikyum-241 radyoaktif kaynağı
CdTe	Kadmiyum Tellür
HPGe	High Purity Germanyum
HVL	Half Value Layer
TVL	Tenth Value Layer
MFP	Main Free Path
μCi	Micro Curie
ρ	Özgül Ağırlık
Z_{eff}	Etkin Atom Numarası
N_{e1}	Elektron Yoğunluğu
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
LINAC	Lineer Accelerator
Xcom	Bilgisayar programı

WinXcom	Bilgisayar Programı
MCNP	Monte Carlo N-Particle
FLUKA	Monte Carlo simülasyon kodu
SEM	Scanning Electron Microscop
TAEK	Türkiye Atom ve Enerji Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation



1. GİRİŞ

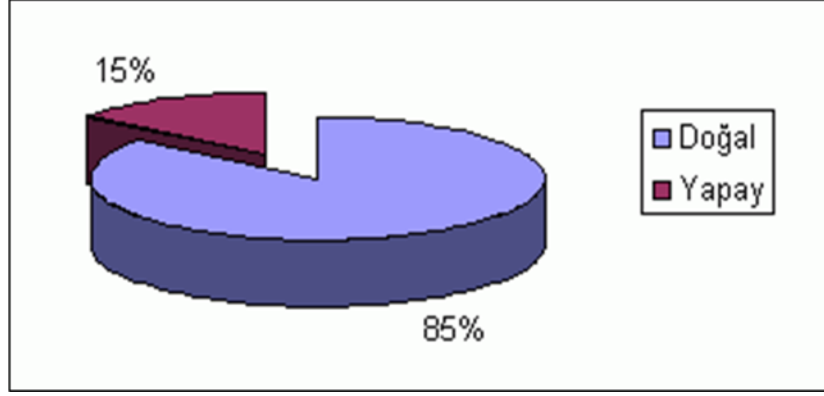
Radyoaktivitenin keşfi W. Röntgen'in 1895 yılında hızlandırılmış elektronlarla yaptığı deneyler sonucunda X-ışınını keşfetmesiyle tetiklenmiştir. Daha sonrasında uranyum elementi üzerine çalışan Becquerel ve toryum elementi üzerinde deneyler yapan Curie'ler çalışmaları sırasında bu elementlerin X-ışınına benzer bir şekilde kendiliğinden ışımaya yaptığını fark etmişlerdir (Akyıldırım, 2011). En önemlisi de Curie'ler bu çalışmaları sırasında bu ışımaların, yani radyoaktivitenin dış etkenlerden bağımsız olduğunu fark etmişlerdir. Daha sonrasında 1899 yılında yaptığı çalışmalarda uranyumun alfa ve beta parçacıkları yayınladığını ve bu sürecin atom altı bir süreç olduğunu keşfetmiştir. Yıl 1900'ü gösterdiğinde P. Villard gama ışınlarının da varlığını keşfetmiştir.

Daha sonraki çalışmalar sonucunda anlaşılmıştır ki radyoaktivite kararsız çekirdeklerin kararlı hale gelmek istemesi sonucu kendisindeki fazla enerjiden bu ışımalarla kurtulmak istemesinden kaynaklıdır. Bu ışımalara nükleer radyasyon adı verilmektedir. Doğal ve yapay olmak üzere iki çeşit radyasyon kaynağı vardır. Doğal radyasyon kaynakları evrenin yaratılışından beri var olan kaynaklardır. Bir de yapay kaynaklar vardır. Bu yapay kaynaklar nükleer teknolojinin de gelişmesiyle bir hayli artmıştır ve artmaya da devam edecektir. Bu yapay kaynakların artması sonucunda da radyasyondan korunma ihtiyacı doğmuştur. Konuyla ilgili detaylı bilgi tezin ilerleyen kısımlarında verilecektir.

1.1. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu, uzaydan gelen kozmik ışınlar, yer kabukta yer alan radyoizotoplardan dolayı yediği gıdalar ve içtiği sular gibi doğal kaynaklar tarafından radyasyona maruz kalmaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber nükleer santraller, tıp, endüstri, tarım ve hayvancılık gibi alanlarda kullanımı giderek artan yapay radyasyon kaynaklarının etkisinde kalmaktadır. İnsanoğlu dünya üzerinde yıllık ortalama kişi başına 2.8 mSv radyasyon dozuna maruz kalmaktadır (TAEK, 2017).

Şekil 1.1: Dünya Üzerinde Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Dozları Oranı

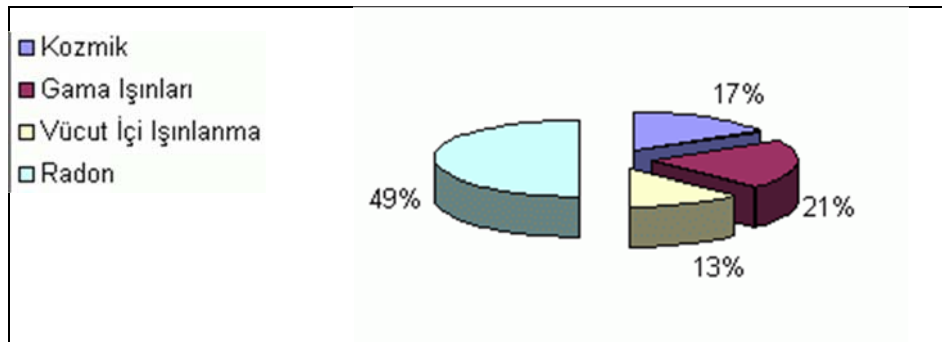


Yaşanılan yerin fiziksel ve coğrafi şartları, mevsimler, basınç farkı, rüzgar yönü gibi etkenler doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen faktörlerdir (TAEK, 2017).

1.1.1. Doğal radyasyon kaynakları

İnsanoğlu yeme içme gibi çeşitli yollarla vücuduna az da olsa radyoaktif maddeler almaktadır. Bu radyoaktif maddeler zamanla organlarda birikerek ışımalara ve dolayısıyla hücrelerde tahribata sebep oluyor. Bunun üzerine bir de uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yeryüzündeki diğer radyoaktif maddeler de eklendiğinde insanoğlu iç ve dış radyasyon ışımalarına doğal olarak maruz kalmaktadır (TAEK, 2017).

Şekil 1.2: Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Oransal Değerleri



Kozmik ışınlar yüksek enerjili parçacıklardır. Bunlar elektronlar, protonlar, helyum çekirdekleri ve yüksek enerjili fotonlardır. Protonlar yüklü parçacıklar oldukları için

dünyaya ulaştıklarında manyetik alanın etkisi altına girerler. Manyetik alan kutuplara gidildikçe arttığından dolayı enlem arttıkça insanların aldığı radyasyon miktarı da artar. Kozmik ışınların bir bölümü de atmosfer tarafından tutulur. Atmosfer de bir nevi zırhlama görevi görür. Bu nedenle deniz seviyesine yaklaştıkça maruz kalınan radyasyon miktarı da azalır. UNSCEAR'a göre ışın kaynaklı radyasyon ortalama 0.4 mSv civarındadır (TAEK, 2017).

Yeryüzü kaynaklı doğal radyasyon ise yer kabuğunda bulunan radyoizotoplardan kaynaklıdır. Bu radyoizotoplar iç ve dış ışınlanma olmak üzere iki farklı şekilde ışınlanmaya maruz bırakılır.

Dış ışınlanmanın temel nedeni doğal olarak bulunan U-238 ve Th-232 ve K-40 radyoizotopları kaynaklı gama ışınlarıdır (Akyıldırım, 2011). Taş ve topraktan üretilen bazı yapı malzemeleri düşük de olsa radyoaktivite içerebilirler ve betonarme yapılarda ağaç yapılara göre daha fazla radyasyon vardır. Doğal gama radyasyonu kaynaklı alınan doz değeri yıllık yaklaşık 0.48 mSv'dir (TAEK,2017).

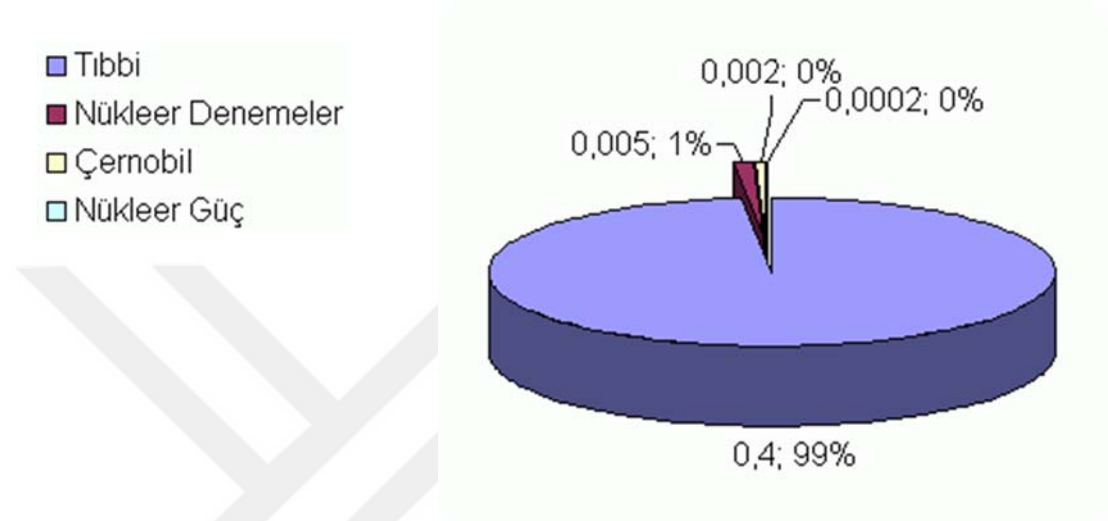
İç ışınlanma, yerkürede bulunan doğal radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile vücuda alınmasından kaynaklıdır. İç ışınlanmada en önemli element nadir bulunan ^{40}K 'tir. Havadan solunum yoluyla ve besinlerle vücuda alınan bu radyoizotoplar zamanla organlarda birikir ve iç ışınlanmaya sebep olarak hücreleri tahrip eder.

1.1.2. Yapay radyasyon kaynakları

Nükleer teknolojideki gelişmelerin giderek artmasıyla radyasyon kullanım alanları da artmıştır. Özellikle tıbbi alanda hastalıkların teşhisi ve tedavisi için yapay radyasyon kaynaklarından faydalanılmaktadır. Tıbbi görüntüleme X-ışınlarından yararlanılmaktadır. Nükleer tıp alanında da hastalara radyoaktif maddeler verilerek hücre içerisinde oluşturulacak iç ışınlanma sayesinde hasta hücrelerin tedavisi yapılmaktadır. Bu tedaviler yapılırken hasta dışında hastane çalışanları da bu radyasyonlara maruz kalmaktadır. Birtakım endüstriyel uygulamalar ve nükleer santraller gibi yerlerde de çeşitli yapay radyasyon kaynaklarına maruz kalmak kaçınılmazdır. Maruz kalınan radyasyon doz miktarları düzenli olarak takip edilmeli ve çeşitli önlemler alınmalıdır.

Alınan radyasyon doğal kaynaklı ya da yapay kaynaklı olsun genellikle çekirdekten kaynaklıdır. Bu tip radyasyonlara nükleer radyasyon denir. Radyoaktif bozunumun bir ürünüdür.

Şekil 1.3: Dünya Üzerinde Yapay Radyasyon Kaynaklı Maruz Kalınan Radyasyon Dozları ve Oransal Değerleri



1.2. Radyoaktif Bozunum

Radyasyon, kararsız atom çekirdeklerinin kararlı hale gelmek için yaptığı ışımalarıdır. Bu ışımalar çekirdek kaynaklı olduğu için nükleer radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyon yayınlama ihtiyacına da radyoaktivite denir. Radyoaktiviteyi ilk olarak Fransız fizikçi Henry Becquerel keşfetmiştir. Radyoaktif bozunum kendiliğinden ya da kararlı atomun dışarıdan enerji verilerek uyarılmasıyla gerçekleşir. Bozunum, zamana bağlı üstel bir fonksiyon olan radyoaktif bozunum yasasına göre gerçekleşir. Bu bozunum yasası aşağıda Denk. 1.1. ile ifade edilmektedir.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.1)$$

N_0 : başlangıçtaki çekirdek sayısı

λ : birim zamandaki bozunma katsayısı (zaman^{-1})

t : zaman

Atom çekirdeklerinin kararlı olup olmadığı nötron (N) ve proton (Z) sayılarına bağlıdır. Kararlılığın olması için nötron ve proton sayılarının yaklaşık olarak eşit olması ($N \cong Z$) gerekir. Proton sayısının 80'den büyük olduğu ($Z > 80$) atomlarda çekirdeğin

radioaktif izotopları vardır. Proton sayısının büyük eşit 83 ($Z \geq 83$) olduğu çekirdeklerin tamamı radyoaktiftir (Akyıldırım, 2011).

Radyoaktif maddelerden açığa çıkan radyasyon, parçacık radyasyon ve elektromanyetik radyasyon olarak ikiye ayrılır. Alfa, beta ve nötron bozunumları parçacık radyasyon türüne örnektir ve aynı zamanda nükleer (çekirdek) kaynaklı radyasyonlardır. Diğer yandan gama bozunumu ve x-ışınları elektromanyetik radyasyona örnek olmakla birlikte gama ışınları nükleer kaynaklı, x-ışınları ise atomun yörüngesinden kaynaklı radyasyonlardır (Erdem, 2014).

1.2.1. Alfa bozunumu

20. yüzyılın sonlarında Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Elektrik ve manyetik alan altındaki sapmalarından dolayı yüklü bir parçacık olduğu anlaşılmıştır. Bu bozunumun nedeni itici Coulomb kuvvetidir. Radyoaktif olan atom çekirdekleri ($Z > 83$) karalı hale gelmek için ilk olarak alfa bozunumu yaparlar. Aslında alfa parçacığı olarak adlandırılan yapı pozitif yüklü bir ${}^4_2\text{He}$ çekirdeğidir. İki nötron ve iki protondan oluşur. Alfa bozunumunun fiziksel olarak ifadesi Denk. 1.2 de verilmektedir.



Alfa (α) parçacıkları son derece tehlikeli olmakla birlikte ince bir kağıt zararlarından korunmaya yeterlidir (Erdem, 2014). Açıklamaya klasik fizik yasalarının yetmediği α parçacıkları daha sonra Gamow, Gurney ve Condon tarafından kuantum tünelleme ile açıklanmıştır (Akyıldırım, 2011).

1.2.2. Beta bozunumu

Beta (β) bozunumlarında anne çekirdek ile kız çekirdek aynı kütle numarasına sahiptirler. Fakat anne çekirdeğin proton sayısı bozunuma bağlı olarak artar ya da azalır. Bozunum sonrası negatron (β^-) adı verilen negatif yüklü parçacık açığa çıkarsa atom numarası 1 artarken pozitif yüklü pozitron (β^+) açığa çıkarsa ya da bir elektron yakalanırsa proton sayısı 1 azalır (Akyıldırım, 2011).

Çekirdekdeki kararsızlık, nötron sayısının fazlalığından ($N>Z$) kaynaklanıyorsa, çekirdek kararlı hale gelmek için fazla nötronu protona dönüştürür (Akyıldırım, 2011). Bu esnada yük korunumu gereği bir elektron ve bir adet anti-nötrino açığa çıkar ve çekirdekte bulunamayan bu elektron dışarı atılır. Bu olay Denk. 1.3 ile ifade edilir.



Eğer kararsızlık protonun fazla olmasından ($Z>N$) kaynaklıysa, fazlalık proton nötrona dönüşerek çekirdek kararlı hale gelir (Akyıldırım, 2011). Yine yük korunumu gereği bir pozitron ve bir nötrino oluşur. Bu olay Denk. 1.4 ile ifade edilir.



Bir diğer yol da elektron yakalamadır. Çekirdek fazlalık protondan kurtulmak ve proton-nötron eşitliğini sağlayabilmek için yörüngedeki elektronlardan birini yakalayıp fazla protonu nötrona dönüştürerek kararlı hale gelir. Bu olay Denk 1.5 ile ifade edilir.



1.2.3. Nötron bozunumu

20. yüzyılın başlarında Chadwick tarafından keşfedilen nötron yüksüz olmakla birlikte proton ile yaklaşık olarak aynı kütlede. Çekirdek içinde karardır. Serbest halde iken ömrü 15 dakikadır. Nötron bozunumu gecikmeli nötron bozunumu ve kendiliğinden fisyon olmak üzere iki şekilde gerçekleşir.

Gecikmeli nötron bozunumu, kararsız çekirdeğin α veya β bozunumu sonrasında açığa çıkan uyarılmış durumdaki kız çekirdeğin kararlı hale gelmesi için nötron salmasıdır. Bunun sonucunda bozunuma uğrayan çekirdek o elementin bir izotopu haline gelir.

Kendiliğinden fisyon ise kararsız haldeki ağır çekirdeğin, kendisinden daha hafif çekirdeklere bölünerek kararlı hale gelmesi sonucu nötron açığa çıkarmasıdır. Nötronlar yüksüz oldukları için kurşun, demir ve beton yapılardan geçebilirler (Erdem, 2014). Nötronlar enerjilerine göre soğuk, termal, epitermal, orta dereceli, hızlı ve göreceli olmak üzere 6 sınıfa ayrılabilir.

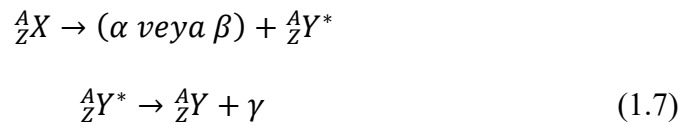
1.2.4. Gama bozunumu

1900 yılında radyoaktif bir element olan uranyum üzerinde çalışmalar yapan P. Villard tarafından bulunan gama (γ) ışınlarının daha sonra Rutherford ve Andrea tarafından kütsüz ve yüksüz olduğu anlaşılmıştır. Elektromanyetik dalga formundadırlar. X-ışınlarına benzeseler de γ ışınları, x-ışınları gibi yörüngedeki elektronlardan kaynaklı değil çekirdek kaynaklıdır ve oldukça yüksek enerjiye sahiptirler.

α ve β bozunumunu takiben uyarılmış durumdaki kız çekirdek daha düşük enerji seviyesine ya da temel duruma geçmek için γ ışını yayarak fazla enerjisinden kurtulur. İki seviye arasındaki bu geçiş 10^{-9} saniyeden daha kısa sürer (Akyıldırım, 2011). Yayılan bu γ ışınlarının enerjisi geçişin gerçekleştiği iki enerji seviyesi arasındaki fark kadardır.

$$E_{\gamma} = h\nu = E_2 - E_1 \quad (1.6)$$

Çekirdeğin kararlı hale gelmek için γ ışınması yaptığı bu geçişlere izomerik geçiş adı verilir. İzomerik geçiş sonrası yayılan γ ışını elektromanyetik radyasyon olduğu için ana çekirdekteki proton ve nötron sayısı aynen korunur (Akyıldırım, 2011).



γ ışınları elektromanyetik dalga formunda olduklarından α ve β parçacıklarına göre daha giricidirler ve yüksüz olmalarından kaynaklı olarak elektrik ve manyetik alandan etkilenmezler.

1.3. Radyasyonun biyolojik etkileri

Radyasyon, türüne bağlı olmadan doku üzerinde birtakım fiziksel, biyolojik ve kimyasal zararlı etkilere sebebiyet verir. Radyasyonun DNA üzerinde etki yaratması

saniyeden çok daha kısa da sürebilir yıllar da alabilir. Radyasyon sonucu oluşan bu zararlı etkiler deterministik ve stokastik olarak sınıflandırılır (TAEK, 2017).

Tablo 1.1: Radyasyonun deterministik ve stokastik etkileri (TAEK, 2017).

Deterministik Etkiler	Stokastik Etkiler
Ölüm, cilt yanıkları,	Kanser, genetik etkiler
Katarakt, kısırlık	

Enerjileri yüksek olan nükleer radyasyonlar, hücre içerisinde iyon çifti ve uyarılmış halde atomlar oluşturur. Oluşan bu atom ve iyonlar, radyasyonun hücre tarafından soğurulmasına neden olur. Böylece meydana gelen çeşitli biyolojik ve kimyasal tepkimeler sonucu hücrede düzensizlikler başlar.

Hücre tarafından aniden çok yüksek dozda radyasyon alınması ciltte yanma ve kızarıklık, üreme organlarında ise kısırlığa neden olur. Bu tarz etkiler radyasyonun deterministik etkileridir (TAEK,2017). Bu etkilerin hücreye verdiği zarar dozun hızına ve şiddetine bağlı olarak değişir. Radyasyonun stokastik etkileri ise genetik bozukluklara yol açıp nesilden nesile aktarılabildiği için daha ciddi ve daha zararlıdır. Stokastik etkilerin sonuçlarından birisi de kanserdir. Ancak hücrede meydana gelen kanserin radyasyon kaynaklı olduğunu söylemek mümkün değildir (TAEK, 2017).

α ve β parçacıkları yüklü parçacıklar olduklarından direkt iyonize etkili radyasyonlardır. Bu nedenle üst dokuyla etkileşime girerek orada birikirler ve dokunun iç kısmına geçemezler. Üst dokuda deterministik etkilerden birisi olan cilt yanığına sebep olur. γ ve nötronlar ise yüksüz olmalarından dolayı dokunun iç kısımlarına girebilirler ve buradaki yapıyı bozarak kalıcı genetik rahatsızlıklara sebebiyet verirler (Akyıldırım, 2011).

Radyasyonun sebep olduğu biyolojik etkiler akut etkiler ve kronik etkiler olarak sınıflandırılır. Akut etkiler yüksek dozda radyasyona maruz kalınması durumundan kısa bir süre sonra meydana gelen ölümle sonuçlanabilen etkilerdir. Kronik etkiler ise radyasyona maruz kalındıktan çok uzun zaman sonra bile etkisini gösterebilirler. Hücre

hasarına neden olur ve hücrenin kendisini yenilemesini engelleyerek ya da yavaşlatarak kanser oluşmasına sebebiyet verir.

Çekirdek kaynaklı radyasyonlar DNA üzerinde mutasyona neden olabilir ve nesilden nesile aktarılabilirler. Bu nedenle oldukça tehlikelidirler.

1.4. Radyasyondan Korunma Gerekliği

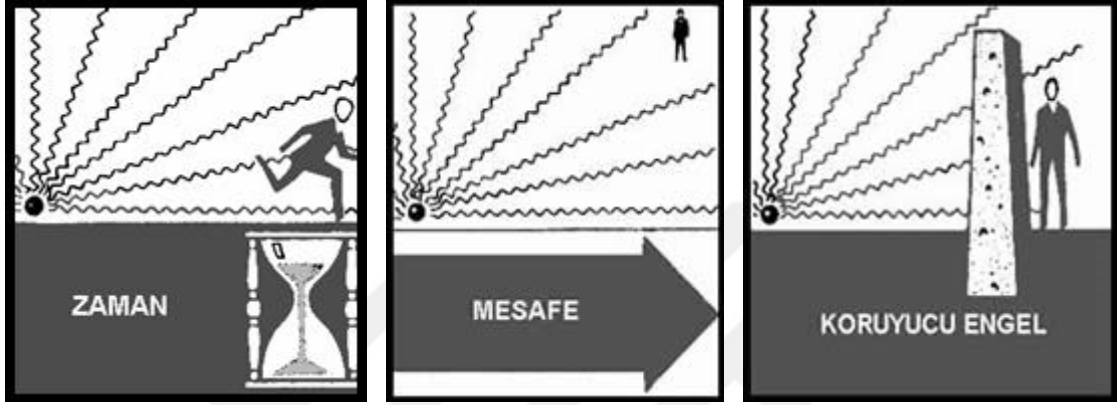
Dünyadaki tüm canlılar insanoğlunun ürettiği yapay radyasyon kaynaklarından yayılan radyasyonun haricinde farkına varmadan solunum ve sindirim sistemi üzerinden doğal radyonüklidler tarafından da sürekli radyasyona maruz kalmaktadırlar. Herkes tarafından bilinen tehlikeli etkileri olsa da tıpta kanser gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde radyasyondan faydalanılmaktadır. Radyasyon kullanımını gelişen teknolojiyle birlikte hayatımızın her alanında giderek artmaktadır (Akkurt ve ark., 2011). Nükleer araştırma merkezlerinde, reaktörlerde ve hızlandırıcılarda radyasyona maruz kalmak kaçınılmazdır. Teknolojiyle birlikte gelişen sağlık alanında da çeşitli tanı ve tedavi yöntemlerinde radyasyondan yararlanılmaktadır. Röntgen ve bilgisayarlı tomografi (BT) ile görüntüleme yapılırken x-ışınlarından faydalanılmaktadır. Kanser tedavilerinde de yine kanserli hücreye radyoaktif atomlar verilmekte ve bu atomların ışın yapması sağlanarak kanserli hücrelerin ölmesi sağlanmaktadır.

Artık hayatın her alanında insanoğlunun karşısına çıkan radyasyondan korunma gereksinimi her geçen gün ciddiyetini daha da artırmaktadır. Radyasyon dozlarının mümkün olduğunca az zarar verecek seviyeye çekilmesi gerekmektedir. Bu da radyasyonun, ölçüm cihazlarıyla düzenli olarak ölçülmesiyle sağlanır. Radyasyon içeren birimlerde çalışanların radyasyon ölçüm sonuçlarının 5 yıllık ortalamasının yılda 20 mSv'in altında olması gerekmektedir (Çimen ve ark., 2017).

1.5. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Radyasyondan korunma önceki bölümde de bahsedildiği gibi hafife alınamayacak kadar önemlidir. Bunun için alınan dozun kontrol altına alınması gereklidir ve 3 temel kuralla sağlanır. Bu 3 kural zaman, mesafe ve zırhlamadır (EPA, 2018).

Şekil 1.4: Radyasyondan korunmak için gerekli 3 temel kural (TAEK, 2010).



1.5.1. Zaman kuralı

Radyasyondan korunmak için kullanılan en basit kuraldır. ALARA (As Low As Reasonably Achievable) adı verilen mümkün olduğunca az radyasyon almayı amaçlayan prensibe dayanır. Maruz kalınan süreyi minimum düzeye indirerek alınan doz miktarını azaltmayı amaçlar (EPA, 2018). Alınan doz zamanla doğru orantılıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta X = \Gamma \frac{A}{r^2} \Delta t \quad (1.8)$$

Burada, A kaynağın sahip olduğu aktivite, r mesafe ve Γ gama ışını sabitidir.

1.5.2. Mesafe kuralı

Yüklü olan α ve β radyasyonlarının havada aldıkları ortalama serbest yol çok kısadır. Yüksüz olan nötron ve γ ise çok daha uzun yol alabilirler fakat şiddetlerinde azalma görülür. Bu kural da temelde kaynağa olan uzaklığın artırılarak mümkün olduğunca az radyasyona maruz kalınmasını sağlamaktır (EPA, 2018). Alınan radyasyon dozunun

şiddeti kaynağa olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Buna bağlı olarak kaynaktan çıkan radyasyon dalgalarının küresel yayıldığını varsaymak doğru olacaktır. Bu durumun ifadesi ise şu şekildedir:

$$A \propto \frac{A_0}{4\pi r^2} \quad (1.9)$$

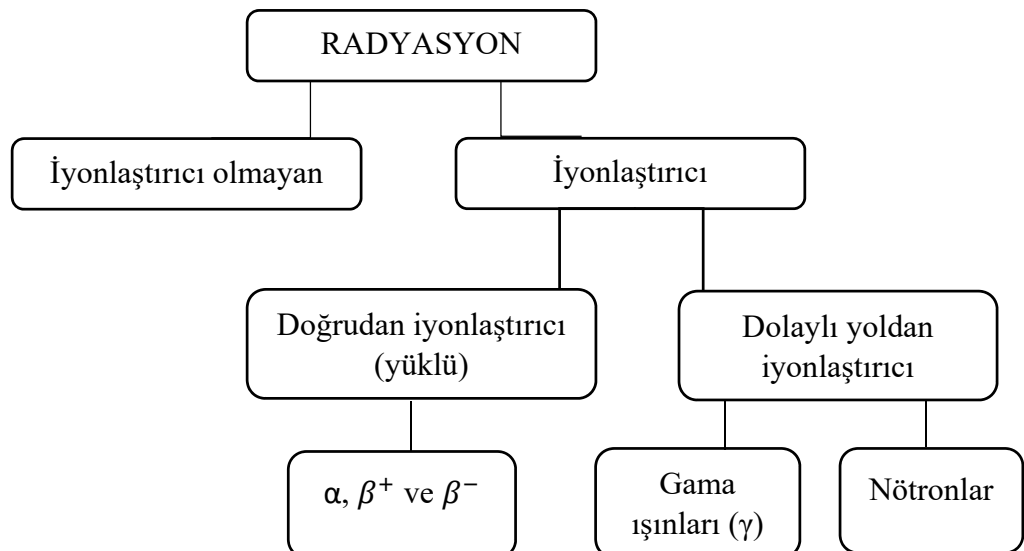
Burada A, r mesafedeki kaynaktan alınan radyasyon şiddeti, A_0 kaynaktan çıkan radyasyon şiddetidir.

1.5.3. Zırlama kuralı

Zırlama, radyasyondan korunmak amacıyla radyasyona maruz kalan sistem ile kaynağın, bir engel yardımıyla birbirinden ayrılması sonucu radyasyon etkisinin yok edilmesi veya minimum düzeylere indirilmesine denir. Zırlamadaki mantık, kaynaktan çıkan radyasyonun, zırlamada kullanılan malzemenin atomlarıyla etkileşmeleri sağlanıp enerjilerini bu malzeme atomlarına aktararak tüketmeleri ya da en aza indirmelerine dayanır. Zırlamada kullanılacak malzeme radyasyonun çeşidine göre değişiklik gösterebilir.

Radyasyon, yapay ve doğal kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılmasının yanı sıra, iyonlaştırma özelliğine göre iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki sınıfa ayrılır (Şekil 1.5.).

Şekil 1.5: İyonlaştırma özelliklerine göre radyasyonlar



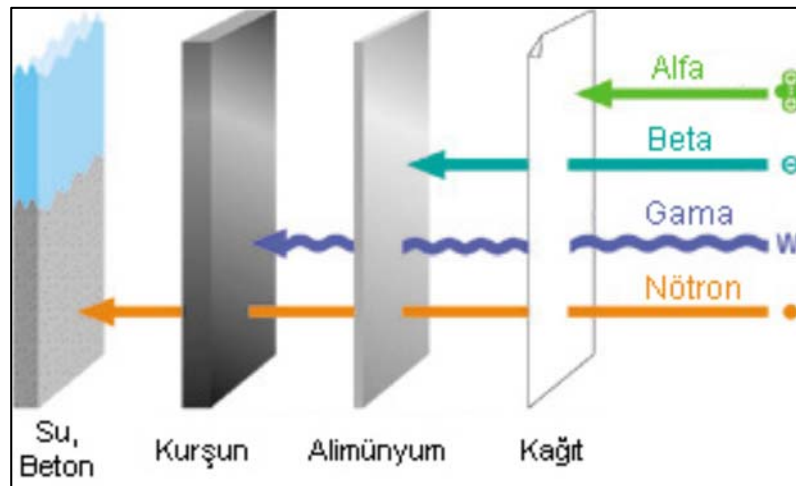
İyonlaştırıcı olmayan radyasyon: Enerjileri düşük olduğundan etkileştikleri atomları iyonlaştıramazlar fakat uyarıp bir üst enerji seviyesine çıkarabilirler. Bu radyasyon türüne örnek olarak görünür bölge, kırmızı altı (infrared), yakın mor üstü (ultraviyole) ve mikro dalga verilebilir.

İyonlaştırıcı radyasyon: Neredeyse tamamı çekirdek kaynaklı olup, etkileşime girdikleri atomları iyonlaştırmaya yetecek kadar yüksek enerjileri vardır. Etkileşime girdiği atomu iyonlaştırırken enerji kaybeder. İyonlaştırmak için gerekli olan bu minimum enerji birkaç eV ile 24.6 eV arasındadır. Buradaki 24.6 eV He atomunu bir kez uyarıma yeterli minimum enerjidir. Bu sınıfa örnek olarak α , β , nötron ve γ verilebilir.

α , β^+ ve β^- birer yüklü parçacık olduklarından doğrudan iyonlaştırma özelliğine sahiptirler. Nötronlar, γ ve X-ışınları ise yüksüz olduklarından dolayı iyonlaştırmaya neden olurlar. İlk başta yüklü parçacık salınmasını sağlayıp daha sonra bu parçacıklar ile doğrudan iyonlaşmaya neden olurlar.

Yüklü ve kütleli olan α ve β parçacıkları etkileştikleri madde içerisinde çok derine nüfus edemezler. Yüksüz ve kütsüz γ ışınları ve yüksüz nötronlar madde içerisinde çok daha derinlere nüfus edebilirler.

Şekil 1.6: Giriciliklerine göre iyonlaştırıcı radyasyonlar (Ertaş, 2014).



Radyasyon zırhlamasında kullanılan malzemenin önündeki yani kaynaktan gelen radyasyonun şiddetinin (I_0), malzemenin arkasındaki radyasyon şiddetinden büyük

olması sağlanır. Bu durum radyasyonun çeşidinden bağımsız üstel bir ifade olan Beer-Lambert yasasıyla ifade edilir.

$$dI \propto -I dx$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.10)$$

μ : Absorbsiyon katsayısı (cm^{-1})

Zırlama sonrası radyasyon şiddetindeki değişim zırlama öncesi şiddetle ve zırh malzemesinin kalınlığıyla doğru orantılıdır ve azaldığı için negatif işaretlidir.

Radyasyona karşı korunmada kullanılan diğer iki kural mesafe ve zaman da önemli iki kural olmasına rağmen zırlama en etkilisidir. Radyasyon içeren birimlerde çalışma süreleri ve kaynağa olan uzaklık en aza indirilse bile radyasyondan etkilenmemek mümkün değildir. Bunun için özellikle nükleer reaktörler ve nükleer tıp gibi yerlerde çalışanların sağlığını korumak adına radyasyonla geçirdikleri süre de göz önünde bulundurulduğunda zırlama en etkili çözümdür. Ayrıca, iş sağlığı ve güvenliğinde (İSG) radyasyondan korunma ile ilgili tüm konularda TAEK'in resmi gazetede yayımlanan yönetmeliklerine bağlı kalınır. 25869 sayılı resmi gazetede yayımlanan Endüstriyel Radyografide Radyasyondan Korunma ve Lisanslama Yönetmeliği'nin (8 Temmuz, 2005) 39'uncu maddesinin (c) bendinde de belirtildiği gibi maruz kalınacak dozu azaltmak için zaman ve uzaklık prensiplerinin yeterli olmadığı durumlarda, kurşun ve beton gibi yoğun ve soğurucu özelliği olan malzemeler ile zırlama yapılmalıdır. Bu tez çalışmasında, zırlamada kullanılan beton tiplerinin radyasyon tutuculuk özellikleri incelenerek en doğru malzemenin belirlenmesi üzerinde durulacaktır.

1.6. Gama Işınlarnın Maddeyle Etkileşme Yolları

Gama ışınları, kütsüz ve yüksüz olduklarından kütleli ve yüklü olan diğer radyasyonlara göre daha derinlere nüfus edebilirler. Yüksüz olmalarından dolayı elektrik ve manyetik alanda etkilenmezler. Gama ışınları, fotonlar aracılığıyla taşınırlar.

Gama ışınlarının koruyucu zırh ile etkileşmesinin sonucunda μ ile gösterilen toplam zayıflatma katsayısı adı verilen parametre ortaya çıkar. Fotonlar içinde buldukları ortamdaki maddelerle üç farklı şekilde etkileşebilir. Bu etkileşim türleri fotoelektrik olay,

Compton saçılması ve çift oluşumdur. Bunlardan fotoelektrik olay ve çift oluşumu fotonların soğurulmasına dayanırken, Compton saçılması adından da anlaşılacağı üzere saçılmaya dayanır. Bu etkileşme enerjileri fotona ve fotonun etkileştiği zırh malzemesine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ayrıca her bir etkileşmenin zayıflatma katsayıları farklıdır. Fotoelektrik olayın zayıflatma katsayısı τ ile ifade edilirken, Compton saçılmasının σ ve çift oluşumunun κ ile ifade edilir. Toplam zayıflatma katsayısı μ bu üçünün toplamına eşittir.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (1.11)$$

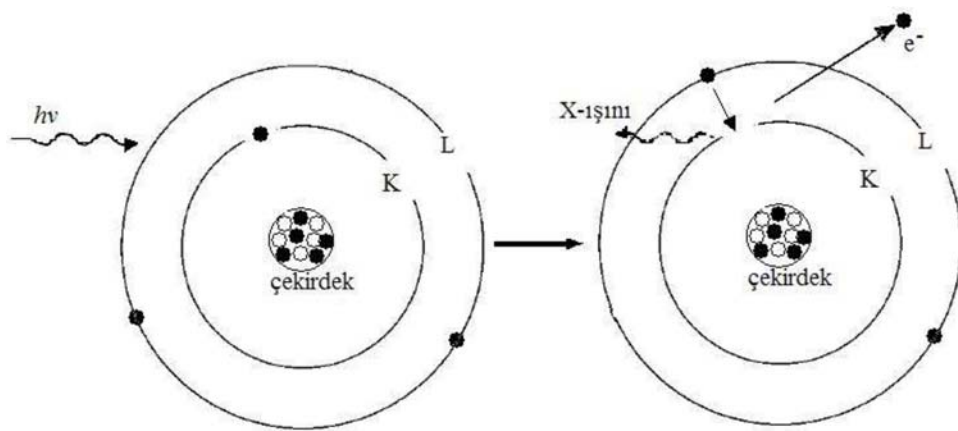
1.6.1. Fotoelektrik olay

Enerjisi $h\nu$ olan bir foton atomla etkileşerek enerjisini atomun yörüngesinde bulunan elektronlardan birine aktararak o elektronun serbest hale geçmesini sağlar. Bu olaya fotoelektrik olay denir. Bu olay sonrası elektronun enerjisi şu ifadeyle gösterilir:

$$E_e = h\nu - E_b \quad (1.12)$$

Burada E_e elektronun olaydan sonraki enerjisi, $h\nu$ fotonun enerjisi ve E_b elektronun atomik yörüngeye bağlanma enerjisidir.

Şekil 1.7: Fotoelektrik olay sırasında foton ve elektronun hareketi (Akyıldırım,2011).



Fotoelektrik olayların tamamına yakını atomun en içteki K kabuğunda gerçekleşir. Foton ile etkileşerek K kabuğundan koparılan elektronun yerine bir üst kabuk olan L kabuğundan bir elektron gelir. Üst kabuktan gelen bu elektron fazlalık enerjisinden x-ışını salarak kurtulur.

K kabuğu için hesaplanan atomik tesir kesiti şu şekildedir:

$$\tau_a = \frac{32\sqrt{2}\pi}{3} r_0^2 \left(\frac{1}{137}\right)^4 \left(\frac{m_e c^2}{h\nu}\right)^{7/2} Z^5 \quad (1.13)$$

Buradaki $r_0 = e^2/m_e c^2$ elektronun yarıçapıdır. İfade de yerine yazılırsa,

$$\tau_a = 10^{-9} (h\nu)^{-7/2} Z^5 \quad (1.14)$$

ifadesi elde edilir. Buradan anlaşılacağı üzere fotoelektrik olay tesir kesiti olan τ_a foton enerjisinin $7/2$ 'inci kuvvetiyle ters, zırlamada kullanılan malzemenin atom numarasının 5 'inci kuvvetiyle doğru orantılıdır. Yani ağır elementlerle yapılan zırlamalarda düşük enerjili fotonlar toplam zayıflatma katsayısına daha fazla katkı vereceklerdir.

Fotoelektrik olay sadece K kabuğunda değil, elektron bağlanma enerjileri daha düşük olan L ve M kabuklarından da gerçekleşir. Fakat bu kabukların tesir kesitine etkileri düşük bağlanma enerjilerinden dolayı ihmal edilebilir.

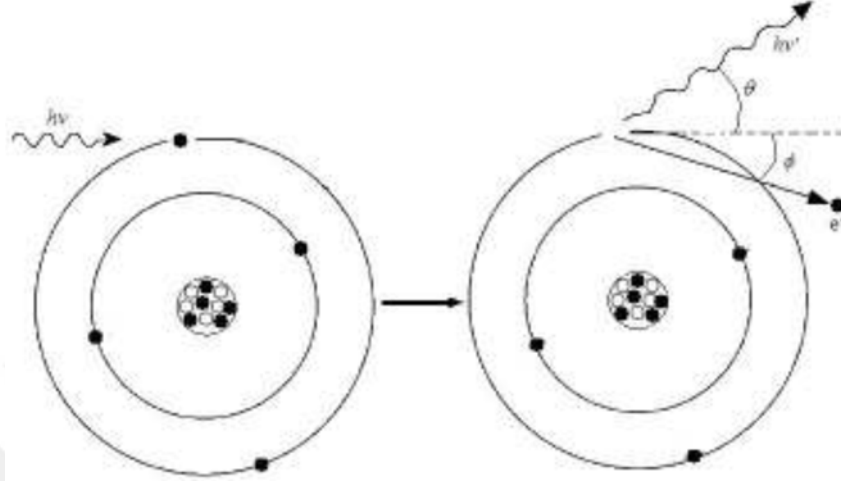
1.6.2 Compton saçılması

Enerjisi $h\nu$ olan bir fotonun atomun en dış kabuğundaki elektronlardan birine çarpması sonucu enerjisinin bir kısmını bu elektrona aktarması sonrası saçılması olayına Compton saçılması denir. 1923 yılında A. Compton tarafından kuantum fiziğine dayanarak açıklanan esnek olmayan bir çarpışma türüdür. Compton saçılması, gelen fotonun enerjisinin çarptığı elektronun bağlanma enerjisinden yeteri kadar büyük olduğu durumda gerçekleşir (Doğan, 2015). Saçılma sonrası foton θ açısı kadar sapar ve dalga boyundaki değişim,

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (1.15)$$

ifadesi ile verilir.

Şekil 1.8: Compton saçılması olayı



Enerji korunumu gereği saçılan foton ile elektronun enerjileri toplamı, gelen fotonun enerjisi ile durgun elektronun enerjisi toplamına eşittir. Fakat çarpışma sonrası saçılan fotonun enerjisi, gelen fotonun enerjisinden daha düşüktür (Doğan, 2015).

Saçılan fotonun enerjisinin θ 'ya bağlılığı şu şekilde ifade edilir:

$$E = \frac{E_0}{1 + (E_0/m_e c^2)(1 - \cos \theta)} \quad (1.16)$$

Buradaki E fotonun saçılma sonrası enerjisi iken E_0 fotonun saçılma öncesi enerjisidir. Saçılma açısı θ küçük olduğunda $\cos \theta \sim 1$ olur ve bu durumda $E \sim E_0$ olur. Gelen fotonun enerjisinin durgun elektrondan oldukça büyük olduğu durumlarda ($E_0 \gg m_e c^2$) saçılan fotonun enerjisi açının büyümesiyle azalır (Akyıldırım, 2011).

Saçılan elektronun enerjisi de θ 'ya bağlı bir fonksiyondur ve

$$E_e = \frac{E_0^2(1 - \cos \theta)}{m_e c^2 + E_0(1 - \cos \theta)} \quad (1.17)$$

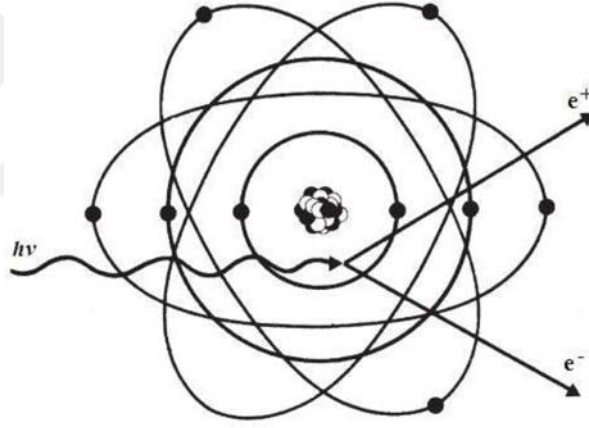
ile verilir. $\theta=180$ derece olduğunda, elektron en büyük enerjiye sahip olur. $\theta=90$ derece olduğunda ise foton elektrona enerji aktarmaz ve hareketine sapmadan devam eder.

1.6.3. Çift oluşumu

Çift oluşumu, gelen fotonun elektronlara enerji aktarmasına dayanan fotoelektrik olay ve Compton saçılmasından farklı olarak enerjinin kütleye dönüşmesi olayıdır (Akyıldırım, 2011). Yüksek enerjili bir fotonun atomun elektrik alanına girmesiyle enerjisinin tamamını bırakarak kaybolması sonucu biri negatif, diğeri pozitif yüklü elektron-pozitron çifti oluşur (Doğan, 2015). Bu parçacıkların enerjileri birbirine eşit ve 511 keV'dir. Çift oluşumunun gerçekleşmesi için gelen fotonun enerjisinin en az iki durgun elektron enerjisi kadar olması gerekmektedir.

$$E_{min} = mc^2 = 2m_e c^2 = 1022 \text{ keV} \quad (1.18)$$

Şekil 1.9: Çift oluşumu olayı



Çift oluşumu sonrası oluşan elektronlar enerjileri bitene kadar çarpışmalar yaparken oluşan pozitronlar ise karşılaştıkları ilk atomun elektronuyla etkileşerek yok olur (Doğan, 2015).

2. BETON MALZEMELER

Beton inşaat sektöründe en çok tercih edilen taşıyıcı yapı malzemesidir. Beton, agrega (bir arada tutucu), çimento ve suyun uygun bir oranda karıştırılması ile elde edilen ve zamanla sertleşip dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (Doğan, 2012). Hidrolik bir bağlayıcı malzeme olan çimento, doğal kalker ve kil karışımının yüksek sıcaklıklarda

ısıtılıp öğütülmesiyle elde edilir (TS EN 197-1, 2011). Kolay ulaşılabilen, yüksek bağlayıcı özellikte, dayanıklı ve oldukça ekonomik olan çimento, beton için önemli bir bileşendir. Doğru çimento kullanımıyla üretilen betonlar sağlam, eğilmez ve dış etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Kullanım alanlarına göre portland çimentosu ve diğer çimentolar olarak ayrılır. Kalker ve kil karışımının pişirilmesi sonucu elde edilen “klinker” adlı malzemeye çok az bir miktarda alçı taşı eklenip öğütülmesi sonucu portland çimentosu elde edilir ve su ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcı özellik kazanır (Erdoğan, 2003). Beton üretiminde kullanılan kum, kırmakum, çakıl ve kırmataş gibi malzemeler agrega olarak adlandırılır. Tane büyüklüğüne göre ince agrega (kum, kırmakum) ve kaba agrega (çakıl, kırmataş) olarak ikiye ayrılır (Akkurt ve ark., 2011). Beton malzemelerin önemli özellikleri ileri bir teknolojiye ihtiyaç duymaması ve diğer birçok yapı malzemesine oldukça ekonomik olmasıdır. Özellikleri yapılarında genellikle %70 oranında bulunan mineral yapıli katkı malzemesi olan agregaların karakteristiklerine bağlıdır. Betonların diğer yapı malzemelerine nazaran daha çok tercih edilme sebepleri kolay şekillendirilebilir olmaları, ekonomik olmaları, az enerji harcanarak üretilibilmeleri ve dayanıklı olmalarıdır (Akyıldırım, 2011).

Betonlar, ne için üretildiğine bakılmaksızın mukavemetli, taze haldeyken işlenebilir ve dış etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Bu üç ana nitelik betonlar için olmazsa olmazdır.

Betonlar gevrek malzemeler olduğu için mukavemet değerleri içinde en yüksek basınç, en düşüğü ise çekmedir. Basınç dayanımı, betonun diğer tüm pozitif özellikleriyle paralellik içerisindedir. Basınç dayanımı yüksek olan beton dolu, sert, dış etkilere karşı dayanıklı, su geçirmez ve aşınmazdır. Basınç dayanımı, numunenin şekli ve boyutları, numunenin yaşı ve su-çimento oranı gibi faktörlere bağlıdır. Basınç dayanımı, 15 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde standart silindirler ile veya 15 cm kenar uzunluğuna sahip küpler ile belirlenir. Betonun sınıfı üretimden 28 gün sonraki mukavemet ile belirlenir. Minimum 3 numunenin basınç mukavemeti ortalaması alınarak elde edilen değer, beton sınıflarının mukavemet değerleri ile karşılaştırılarak betonun sınıfı belirlenir (Doğan 2012).

Beton üretiminde kullanılan çimentonun cinsi ve miktarı da basınç dayanımına etki eder. Yüksek mukavemetli çimento kullanılması betonun da yüksek mukavemetli olmasını sağlayacaktır. Kullanılan çimentonun dozajının yüksek olması mukavemeti arttıracak gibi belli bir oranın üzerine çıkıldığı zaman rötreye sebebiyet verecektir.

Bunun sonucunda oluşacak çatlaklar çekme mukavemetine olumsuz etki edecektir. Kullanılan agreganın çapına bağlı olarak ideal çimento dozajı şu bağıntıyla belirlenir:

$$C_{min} = \frac{550}{\sqrt[5]{D}} \quad (2.1)$$

D, agreganın maksimum tane çapı (mm)

Bağıntıda görüldüğü gibi agrega çapı büyüdükçe minimum çimento dozajı azalacaktır. Bunu sebebi de agrega taneciklerinin büyük olması sebebiyle boşlukların az olmasıdır.

Kullanılan karma suyunun miktarı da mukavemeti büyük ölçüde etkiler. Suyun asıl görevi çimentonun hidrasyonunu sağlamaktır ve bunu için gereken su miktarı, çimento ağırlığının %14'ü kadardır. Su/çimento oranı çok nadir %40'ın altına düşürülmektedir. Genelde bu oran %50-%65 arasındadır. Gerekenden fazla oranda kullanılan su, zamanla buharlaşacağından beton içerisinde boşluklara neden olacaktır. Bu da mukavemeti olumsuz etkileyecektir.

Tablo 2.1: Su oranı ile basınç mukavemeti arasındaki korelasyon (Doğan, 2012)

Suyun en uygun değerden sapması (%)	Mukavemette azalma (%)
% 10 eksik	% 10
% 20 eksik	% 60
% 20 fazla	% 30
% 30 fazla	% 50
% 100 fazla	% 80

1 m³ betonu oluşturan çimento, kum ve agreganın kapladıkları gerçek hacimler toplamına betonun kompasitesi denir. 1 m³ betondaki çimento, kum, agrega, su ve hava boşluklarının kapladığı mutlak hacimler sırasıyla c, u, v, e ve h olursa,

$$c + u + v + e + h = 1m^3 \quad (2.2)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Betonun kompasitesine K denirse,

$$K = c + u + v = 1 - (e + h) \quad (2.3)$$

elde edilir. Kaliteli bir betonda $K \geq 0.8$ olmalıdır. Kompasitesi yüksek bir beton hava boşluğu az olacağından dolu ve basınç mukavemeti yüksek olacaktır.

2.1. Beton Türleri

Betonlar yoğunluklarına göre sınıflandırılırlar. Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu $800 \text{ kg/m}^3 - 2000 \text{ kg/m}^3$ arasındaki betonlar hafif beton, $2000 \text{ kg/m}^3 - 2600 \text{ kg/m}^3$ arasındaki betonlar normal beton ve 2600 kg/m^3 den büyük betonlar ağır beton olarak isimlendirilirler (TS EN 206-1).

2.1.1. Hafif betonlar

Hafif betonlar yoğunlukları 800 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 arasında olan betonlardır. Hafif beton, birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) az, yüksek yalıtımlı, yeterli dayanıma sahip ve yanmaz bir madde olup gelecek için mimari açıdan çok önemlidir. Normal betondan farklı olarak sağladığı ısı yalıtımı ile beraber hafif olmasını sağlayan boşluklara sahiptir. Bu boşluklar, boşluklu agrega (bims, ponza taşı, cüruf, perlit vb.) kullanılmasından, içyapıda boşluk oluşturulmasından ya da harçta gaz kabarcıkları oluşturulmasından kaynaklıdır (Topçu, 2006).

Ev ve iş yerlerinde normal beton yerine tercih edilen hafif betonlar, ısı yalıtımında sağladığı avantajların yanı sıra ses yalıtımı konusunda da avantaj sağlar. Hafif beton bu özelliklerine ek olarak toplam statik yükün azaltılmasını sağladığı için daha ekonomik ve daha güvenilir yapı projelerinin oluşmasına olanak sağlar. Bu gibi avantajlar sağlamasından dolayı çeşitli doğal ve yapay agregalar kullanılarak hafif beton üretimi üzerine çalışmalar artmaya başlamıştır. (Davraz, 2004).

Tablo 2.2: TS EN 206-1/Nisan 2002'ye göre hafif beton basınç dayanım sınıfları

Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük Karakteristik Silindir dayanımı F_{ck,sil.} N / mm²	En düşük karakteristik Küp dayanımı F_{ck,küp} N / mm²
LC 8 9	8	9
LC 12 13	12	13
LC 16 18	16	18
LC 20 22	20	22
LC 25 28	25	28
LC 30 33	30	33
LC 35 38	35	38
LC 40 44	40	44
LC 45 50	45	50
LC 50 55	50	55
LC 55 60	55	60
LC 60 66	60	66
LC 70 77	70	77
LC 80 88	80	88

2.1.2. Ağır betonlar

Ağır betonlar, yoğunlukları 2600 kg/m³ den büyük olan betonlardır. Ağır beton üretiminde çoğunlukla barit, limonit, magnetit, demir cevheri gibi doğal agregalar kullanılır (Davis vd., 1956).

α , β ve nötron parçacıkları ile γ ve x ışınları hücrede radyasyon kaynaklı hasarlar meydana getirir. Düşük dozajdaki radyasyon hasarları vücut öz koruma sistemi tarafından kendiliğinden korunabilir. Nötron hareketi zengin hidrojen atomu içeren

malzemelerce durdurulabilir. Bu nedenle hidrojen yoğunluğu yüksek betonlar nötronların durdurulması için en yararlı malzemelerdir. Normal betonlar için bu hidrojen yoğunluğunun karma suyunun %4'ü olması gerekir. Birim yüzeye düşen ağırlık aynı olduğu takdirde hafif bir metalden üretilmiş kalın bir kalkan ve ağır bir metalden üretilmiş ince bir kalkan arasında neredeyse fark yoktur. Yoğunluğu yüksek olan agregalar tercih edilerek gereken beton kalınlığı 1.5-2.5 kat azaltılabilir. Nötronlar en iyi kalkan malzeme içinde soğurulduğu için önemli sorun teşkil eden γ ışınları açığa çıkarır. Boron izotopunun nötron soğurma kapasitesi kısmen çok yüksektir (Topçu, 2000).

Betonun yoğunluğunu arttırmak için yüksek yoğunluklu agregalar kullanılmalıdır. Normal betonlarla ağır betonlar arasındaki fark, ağır betonların içeriğindeki agregaların yüksek yoğunluklu olmasıdır.

Barit, magnetit, limonit, bor gibi yüksek yoğunluklu agregalar kullanılarak elde edilen ağır betonlar, kayma ve devrilme gibi durumlara karşı güvenilir olmayan yapılarda ağır olması sebebiyle kullanılır. Bununla birlikte radyoaktif maddelerin yaymış olduğu nükleer radyasyonlardan özellikle giriciliği yüksek, öldürücü nötron ve gama ışınlarından korunmak için kullanılır (Akyüz, 1977). Zırhlama amacıyla daha çok kullanıldığı yerler nükleer reaktörler, hastanelerdeki ışın tedavi birimleri duvarlarıdır.

Eğer yeterli alan varsa ağır betonlardan alınan koruyucu etkinin aynısı daha kalın bir normal betonla da sağlanabilir. Fakat yeterli alan yoksa ağır agregalı ağır betonlar tercih edilmelidir. Bazı özel durumlarda demir veya kurşun agregalardan yararlanır. Bu betonlar radyasyon zırhlama dışında yeterli dayanıma sahip olmalıdırlar. Zırhlama yapılacak ışına (alfa, beta, gama ve nötron) bağlı olarak betonlardan, ısı iletkenliği gibi farklı fonksiyonlar da beklenir (Güner, 1999).

En çok barit agregalı ağır beton kullanılır. Radyasyon zırhlamada kullanılan ağır betonların basınç dayanımlarının da yüksek olması gerekir. Düşük basınç dayanımına sahip beton kullanıldığı takdirde oluşacak çatlaklardan gama ve x-ışınları geçebilir ve beton zırhlama amacını gerçekleştirmez.

Tablo 2.2: TS EN 206-1/Nisan 2002'ye göre normal ve ağır betonlar için basınç dayanım sınıfları

Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük Karakteristik Silindir dayanımı F_{ck,sil.} N / mm²	En düşük karakteristik Küp dayanımı F_{ck,küp} N / mm²
C 8 10	8	10
C 12 15	12	15
C 16 20	16	20
C 20 25	20	25
C 25 30	25	30
C 30 37	30	37
C 35 45	35	45
C 40 50	40	50
C 45 55	45	55
C 50 60	50	60
C 55 67	55	67
C 60 75	60	75
C 70 85	70	85
C 80 95	80	95
C 90 105	90	105
C 100 115	100	115

Bor tuzları da nötronların tutulmasında etkili olduğu için ağır beton üretiminde kullanılır. Suda eriyebilen bor tuzları betonda zamanla boşluk oluşturacağından mukavemetin düşmesine sebep olur. Bu nedenle suda erimeyen bor tuzları tercih edilir. İçeriğinde demir cevheri bulunan agregalar veya demir parçacıkları gibi bir takım sanayi atıkları agrega olarak tercih edilebilir (Coşkun, 2010). Zırhlamada kullanılan ağır beton tarafından soğurulan radyasyon, ısı enerjisine dönüşerek betonun ısınmasına sebep olur. Betonun iç kısmındaki sıcaklık, dış kısmındaki sıcaklığa göre yüksektir (Akyol, 2015).

2.1.3. Gama zırhlamada kullanılan ağır agregalar ve özellikleri

Yoğunluğu yüksek olan barit, manyetit, limonit ve hematit gibi ağır agregalar gama zırhlamasında kullanılır. Termal ve orta enerjili nötronların yutulmasını sağladıkları için bor tuzları da katkı malzemesi olarak kullanılır. Kullanılacak agregaların yoğunlukları ağır betonlarda çoğunlukla 4 g/cm^3 'ün üzerindeyken normal betonlarda 2.6 g/cm^3 civarındadır. Gama zırhlamada en çok barit agregası tercih edilir ve yoğunluğu 4.5 g/cm^3 'tür.

2.1.2.1. Barit (BaSO_4)

Kimyasal bileşimi BaSO_4 'tür. Baryum mineralleri arasında en çok bilinenidir. Beyaz opak ya da yarı saydam olarak görülür. Demir içerikli olduğunda kırmızı veya kahverengi, karbon içerikli olduğunda ise sarı, kırmızı, siyah veya mavi renkte olabilir. Doğada hem kristal yapıda hem de amorf yapıda bulunur. En ağır metalik olmayan mineraldir. Özgül ağırlığı 4.5 g/cm^3 ve sertliği 2.5-3.5 arasındadır (Artiğ, 2016).

Bileşiminin %94'ü saf BaSO_4 'den geri kalanı ise silis, demir oksit ve pritten oluşmaktadır. Literatürde, bileşimlerinin %85'ini BaSO_4 'ün oluşturması ve özgül ağırlıklarının $4000\text{-}4300 \text{ g/cm}^3$ aralığında olması nedeniyle iyi barit olarak adlandırılırlar (Yılmaz, 2009).

Resim 2.1: Barit



Çizelge 2.1: Baritin agrega özellikleri (Demir, 2009)

Agrega Tane Boyutu (mm)	Gevşek Birim Ağırlık(kg/m ³)	Kuru Birim Ağırlık(kg/m ³)	Doygun Birim Ağırlık(kg/m ³)	48 saatlik Su Emme (%)
İri (>4mm)	2235	4002	4011	0.002
İnce (<4mm)	2210	3946	3988	0.010

Bu beton tiplerinde oluşabilecek çatlakların önüne geçmek için betonun dozajının 350'nin üzerinde ve su/çimento oranının 0.5'in altında olması gerekmektedir. Ağır betonlarda en yüksek dayanımı veren su/çimento oranı 0.40'tır (Demir, 2009).

X ve γ ışınlarını soğurma özelliğine ve yüksek yoğunluğa sahip olması sebebiyle ağır beton üretiminde en çok tercih edilen doğal agrega barittir. Yaygın kullanımı ve yüksek rezerve sahip olan baritin x-ışınlarını zararsız hale getirebilmesinden dolayı barit katkılı betonların γ ışını absorblayıcı özellikleri üzerine çalışmalar yapılması önemlidir (Akkurt ve ark., 2011).

Koruyucu beton üretiminde barit agregası kullanımının amacı üretilen betonun maksimum yoğunluğa sahip olması ve yeterli termal, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmasıdır. Ağır beton üretiminde en yaygın kullanılan agrega barittir. Barit cevheri ülkemizdeki rezervinden dolayı ağır beton üretimi için idealdir.

Baritin zırh betonunda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin ve hangi oran ve boyutta kullanılmasının radyasyon zayıflatmaya ve beton dayanımını arttırmaya etkisinin araştırılması yöntemlerinden biri mutlak hacim yöntemidir. Bu yöntemde barit belirli

oran ve tane boyutunda kullanılır. Baritin etkisinin anlaşılabilmesi için bir seri yalnızca normal agregaya kullanılarak üretilen beton, bir seri agregaya hacmi ile aynı hacimde barit kullanılarak üretilen beton ve bir seri de agregaya hacminin yarısı kadar barit yarısı kadar normal agregaya kullanılarak üretilen betonlar çeşitli deneylere tabi tutulur. Tüm bu beton serileri 150x300 mm standart silindir ve 100 mm standart kübik numuneler olarak üretilir. Daha sonra üretilen bu numuneler tabi tutuldukları radyasyon deneyleri sonucunda radyasyon zayıflatma katsayıları karşılaştırılarak zırhlama malzemesi olarak kullanılacak en yararlı beton ve barit oranı belirlenir. (Kılınçarslan ve ark., 2007).

2.1.3.2. Manyetit (Fe_3O_4)

Kimyasal formülü Fe_3O_4 'tür. Ferrromanyetik bir mineral olan manyetit Fe(+2) ve Fe(+3) iyonlarını aynı anda içerir. Bileşiminin %72'sini demir, %28'ini oksijen oluşturur. Manyetik özellikleri bakımından diğer demir cevherlerinden ayrılırlar. Yaklaşık 570 °C'de manyetik özelliklerini yitirirler. Demir oranının yüksek olması ve kolay indirgenebilir olması en önemli özellikleridir. Kolayca oksitlenir. Demir karası rengindedir ve yağlı metal görünümünde bir parlaklığa sahiptir. Gevrek yapılıdır. Elektrik iletkenliği yüksek bir mineraldir. Özgül ağırlığı 4.9-5.2 g/cm³ ve sertliği 5.5'tur. Magma kayaları gibi yüksek sıcaklığa sahip yerlerde bulunması sebebiyle tipik yüksek sıcaklık mineralidir (Artıg, 2016). Gama zırhlamasında etkili bir malzeme olduğu bilinmektedir.

Resim 2.2: Manyetit



2.1.3.3. Limonit ($2\text{FeO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Rengi koyu kahverengi ile siyahtır. Camsı parlaklığa, sarımsı kahverengi bir çizgi rengine sahip, yarı şeffaf ve amorf yapıdadır. Yoğunluğu $3.6-4 \text{ g/cm}^3$ ve sertliği 5-5.5'tur. En yoğun demir içeriği %62.3'tür. Çoğu zaman hematit, manganez oksit ve kil mineralleri ile karışık halde bulunur (Oto, 2012).

Resim 2.3: Limonit



2.1.3.4. Hematit (Fe_2O_3)

Kimyasal formülü Fe_2O_3 'tür. Yaygın olarak bulunur. Volkanik kayalarda, metamorfik kaya ve yataklarda yaygın olarak görülebilir. Özgül ağırlığı 5.26 g/cm^3 ve sertliği 5-6'dır. Çelik grisi ya da çelik siyahı renge ve metalik parlaklığa sahiptirler (Artığ, 2016).

Resim 2.4: Hematit



2.1.3.5. Ferrofosfor

Fosforun yan ürünüdür. Saf ve işlenmemiş halde radyasyon zırh betonu katkı malzemesi olarak kullanılır. İçeriğinde %70 oranında demir bulundurur. Kaba agregasının yoğunluğu yaklaşık 5.72-6.8 g/cm³'tür. Ferrofosfor sıkıştırıldığında yüksek basınçlı ve tehlikeli gazlar açığa çıkardığı için işlem öncesi test edilmelidir (Coşkun, 2010).

2.1.4. Nötron zırhlamada kullanılan agrega türleri ve özellikleri

Nükleer reaktörler açısından nötronların yavaşlatılıp soğurulması ciddi bir problemdir. Küçük absorpsiyon tesir kesitine sahip olan hızlı nötronlar, yüksek elastik çarpışma tesir kesitine sahip moderatör olarak adlandırılan malzemeler tarafından yavaşlatılırlar. Moderatör olarak en çok hidrojen, döteryum, helyum, lityum, berilyum ve karbon gibi atom numarası düşük çekirdekler tercih edilir.

Önce yavaşlatılan nötronlar daha sonra zırhlama malzemesi tarafından soğurulur. Soğurulabilir duruma gelen nötronlar bir atom tarafından yakalandığında radyasyon yayınlayan radyoizotopa dönüşür. Nötron parçacıklarının γ ışını yayınlamaları sebebiyle yeni bir zırhlama problemi açığa çıkar. Bu zırhlama için en ideal element bordur. Farklı bor cevherlerinin agrega olarak kullanılabilirliği ve hidrojen içermesi sebebiyle beton iyi bir zırh malzemesi olacaktır (Oto, 2012).

2.1.4.1. Bor

Nötron zırhlama kullanılacak elementlerin, nötronu yakaladıktan sonra γ ışını yayınlama olasılıklarının düşük olmalı ve yeni radyoaktif kaynak üretmemelidirler. Bu şartlarda bor en uygun elementtir (Demir, 2016). Kolemanit, üleksit, pandermite ve tinkal (boraks) bor elementine örnek olarak verilebilir. Atom numarası 5 olan bor elementi periyodik cetvelde 3A grubunda bulunur ve özgül ağırlığı 2.84 g/cm³'tür (Artıç, 2016). Gelişen teknolojiyle beraber bor elementi nükleer uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Ülkemizdeki bor rezervi dünyanın ihtiyacı olan borun %60'ını karşılayabilecek yeterliliktedir. Ülkemizdeki toplam bor rezervinin %64.4'ü kolemanit, %31.8'i tinkal (boraks) ve %3.7'si üleksitten oluşmaktadır. (Oto, 2012).

Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, Boraks) genelde renksiz olup, beyaz, grimsi, mavimsi ve yeşilimsi olarak da görülebilir. Saydam-yarısaydam görünümüne sahiptir. 2-2.5 mohs sertliğe ve 1.7 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir. %36.5 oranında B_2O_3 içerir. Üleksit ile birlikte bulunur (Oto, 2012).

Resim 2.5: Tinkal (Boraks)



Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), renksiz, beyaz, saydam-yarı saydam renkte görülür. 4.5 mohs sertliğe ve 2.42 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir. İçeriğindeki B_2O_3 oranı %50.9'dur (Artıg, 2016). Kolemanitin nötron yutma tesiri yüksek olduğu için nötronun yavaşlatılmasında etkilidir. Kolemanit katkılı betonlar normal betonlara göre, termal akıyı yaklaşık 1/4000 oranında azaltır (Demir,2009).

Resim 2.6: Kolemanit



Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) cevheri renksiz, beyaz, şeffaf ve ipeksi görünümüne sahiptir. 2.5 mohs sertliğe ve 1.955 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir. İçeriğindeki B_2O_3 oranı %43'tür. Çoğunlukla kolemanit ile birlikte bulunur (Oto, 2012).

Resim 2.7: Üleksit



Pandermit ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) cevheri borik asidin doğal kaynağıdır. Kireç taşına benzer ve beyaz renklidir. İçeriğindeki B_2O_3 oranı %49.8'dir (Artığ, 2016).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Radyasyon ve radyasyondan korunma radyasyonun keşfinden bu yana önemli bir sorundur. Geçmişten günümüze bu konu da birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Literatürde bu konuyla ilgili daha önceden yapılmış bazı çalışmaların özetleri tarihsel sıralamayla aşağıda verilmiştir.

Bashter ve arkadaşları (1996) hematit-serpantin ve ilmenit-limonit betonlarının hızlı nötronlar ve gama ışınları üzerindeki zırhlama özelliklerini inceledikleri bir çalışma yürütmüşlerdir. 2-11 MeV enerji aralığında nötron ve 1.16-6.60 MeV gama ışınları kullanılarak yapılan çalışmada ilmenit-limonit betonunun hematit-serpantin betonuna kıyasla daha koruyucu etkiye sahip olduğu ve artan beton kalınlığının radyasyon koruyucu etkiyi arttırdığı görülmüştür.

Demir (2009) barit, kolemanit, normal agreg ve kurşun oksitten (PbO) üretilen beton malzemelerin nötron, gama ve X-ışınları zırhlayıcı özelliklerini incelediği doktora tezi

çalışmasında bulunmuştur. Çalışmada teorik hesaplamalar XCom kodu kullanılarak, deneysel ölçümler ise CdTe katihal dedektörü, He nötron dedektörü ve lineer hızlandırıcı (LINAC) kullanılarak 59.5 keV, 80 keV, 276 keV, 303 keV, 356 keV, 383 keV, 663 keV, 1.25 MeV, ~2 MeV ve ~6 MeV enerji değerleri için yapılmıştır. Gama ve X-ışınları için barit agregasının, nötron için ise kolemanit agregasının zırh malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kharita ve arkadaşlarının (2009) hematit agregalarından yapılmış betona farklı yüzdelerde karbon tozu ilave edilerek, karbon tozunun betonun radyasyon zırhlama özelliğine etkisini inceledikleri çalışmada deneysel ölçümlerden ve Monte Carlo MCNP kodundan yararlanılmıştır. Gama ışınları için Cs-137 kaynağı ve nötron için Am-Be kaynağı kullanılmıştır. % 0 ile % 15 oranları arasında karbon ilavesinin hematit katkılı betonun gama ve nötrona karşı koruyucu bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Deneysel veriler ile simülasyon sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmüştür. Karbon tozu oranının % 6 olmasının betonun işlenebilirliği ve dayanıklılığı açısından uygun oran olduğu saptanmıştır.

Demir ve arkadaşları (2010) doğrusal hızlandırıcı (LINAC) kullanarak 6-18 MeV enerji aralığında X-ışınları için barit, kolemanit ve normal agrega kullanılarak üretilmiş betonların doğrusal zayıflatma katsayılarını hesaplamışlardır. Çeşitli oranlarda barit, kolemanit ve normal agrega kullanılarak üretilen betonlar içerisinde en iyi gama koruyucu özelliği baritin sağladığı görülmüş ve baritin artan konsantrasyonu ile doğrusal zayıflatma katsayısını arttırdığı da saptanmıştır.

Akkurt ve arkadaşları (2011) yüksek fırın cürufu kullanarak elde ettikleri betonların radyasyon soğurma özelliklerini inceledikleri çalışmalarında %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yüksek fırın cürufu ilave ettikleri numuneleri kullanmışlardır. Deneysel ölçümlerde ⁶⁰Co ve ¹³⁷Cs kaynakları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ilave edilen yüksek fırın cürufunun arttırılmasının betonun radyasyon zayıflatma katsayısını arttırdığı gözlenmiştir.

Akyıldırım (2011) doktora tezi çalışmasında bir hafif beton ve 3 farklı ağır betonun gama zırhlama özelliği yönünden doğrusal zayıflatma katsayıları, ortalama serbest yol yarı değer katmanlarını hesaplamıştır. Çalışmada %100 normal agregadan üretilmiş beton, %50 barit %50 normal agregadan üretilmiş beton ve %100 baritten üretilmiş betonlar incelenmiş olup sonuçlar kurşun için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Deneysel ölçümlerde 0.662, 1.173 ve 1332 MeV enerji değerlerinde gama ışınları ve NaI (TI) dedektörü kullanılmıştır. Teorik hesaplamalar ise XCom kodu kullanılarak 10^{-3} - 10^5 MeV enerji aralığında yapılmıştır. İçeriğinde barit bulduran betonların gama zayıflatma özelliklerinin diğerlerinden daha iyi olduğu sonucuna varılan bu çalışmada barit oranının artmasının gama zayıflatma özelliğini de arttırdığı görülmüştür.

Demir ve arkadaşları (2011) 0.663 MeV enerji değerindeki gama ışınları için ışın iletim yöntemini kullanarak barit, kolemanit ve norma agregası içeren betonların doğrusal ve kütle zayıflatma katsayılarını incelemiştir. Çalışmada ^{137}Cs kaynağı ve NaI (TI) sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Doğrusal zayıflatma katsayı değerlerinin 0.663 MeV enerji değerinde kolemanit ve normal agregası konsantrasyonunun artmasıyla azaldığı, barit konsantrasyonunun artmasıyla ise arttığı görülmüştür. Fakat kolemanitin nötron için iyi bir emici olması sebebiyle radyasyon onkoloji bölümleri ve nükleer reaktörlerde barit ve normal agregaya göre daha tercih edilebilir bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

Gencel ve arkadaşları (2011) betona katılan hematitin gama ve nötron tutuculuğuna etkisinin araştırılması üzerine Monte Carlo simülasyonu ve deneysel çalışmalar yapmıştır. 0.42 su/çimento oranı ve 400 kg/m^3 çimento yoğunluğuyla üretilen beş farklı tip beton üretilmiştir. Üretilen bu betonlarda hematit sırasıyla % 10 (HC10), % 20 (HC20), % 30 (HC30), % 40 (HC40), % 50 (HC50) oranlarında katılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda hematit oranının artmasının betonun basınç dayanımını ve gama zayıflatma etkisini arttırdığı ancak nötron tutuculuğuna bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Kharita ve arkadaşları (2011) çalışmalarında 3 farklı bor bileşiğinin (borik asit, borik frit ve boraks) katılmasının sıradan agregası ve hematit agregalarından üretilmiş betonların radyasyon zayıflatma özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Gama ışınları için ^{137}Cs ve nötron ölçümleri için Am-Be kaynaklarından faydalanılan çalışmada küresel bir dedektör olan Berthold LB-6411 nötron dedektörü kullanılmıştır. Borik asit ve borik fritin ilavesinin betonu sertleştirmede, boraksın betonun dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmayıp, toplam beton ağırlığının %0.5'i kadar ilave edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca boraksın (100 cm) kalın betonlarda gama zırhlama özelliğini %80'e kadar arttırdığı görülmüştür.

Korkut ve arkadaşları (2011) $^{241}\text{AmBe}$ kaynağı kullanarak makroskopik enine kesit deneyleri yaptıkları çalışmada farklı miktarda bor içeren üleksit, kolemanit ve tinkal

minerallerinin nötron tutuculuğu incelenmiştir. Çalışmada FLUKA Monte Carlo simülasyon kodu kullanılmıştır. Bor miktarının artmasının numunelerin nötron tutuculuklarını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Ochbelagh ve Azimkhani'nin (2012) çalışmalarında farklı yüzdelerde kurşunla karıştırılmış betonların gama zayıflatma katsayıları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynaklarından faydalanan çalışmada NaI (TI) dedektörü ve MCA analizörü kullanılmıştır. Artan kurşun oranının %90 olduğu durumun maksimum katkı verdiği görülmüştür. Kurşun oranının %300'e kadar çıkartılmasının gama zayıflatma etkisinin arttırdığı fakat basınç dayanımını düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Oto (2012) yapmış olduğu doktora tezi çalışmasında barit, manyetit ve bazı bor minerallerinin radyasyon zayıflatma katsayılarını incelemiştir. Deneysel ölçümlerde ^{241}Am ve ^{133}Ba radyoaktif enerji kaynakları ile NaI (TI) sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Teorik hesaplamalar WinXCom ve Penelope programlarıyla hesaplanmıştır. Radyasyon zayıflatma özelliklerinin betonun malzeme yoğunluğu ve bileşen yapısı ile birlikte radyasyon enerji miktarına bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

Sharifi ve arkadaşları (2012) barit, serpantin ve çelik-manyetit beton numunelerinin radyasyon koruyucu özelliklerini inceledikleri çalışmada 511, 662 ve 1332 keV enerjilere sahip gama ışınları ile deneysel ölçümler almış ve MCNP-4C kodunu kullanarak elde ettikleri simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Deneysel veriler ve simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu çalışmada çelik-manyetit betonunun diğerlerine göre daha etkili bir koruyucu malzeme olduğu sonucuna varılmıştır. Baritin de çelik-manyetitten sonra tercih edilebilir bir malzeme olduğu görülmüştür. Ancak serpantin normal betona benzer sonuçlar vermesi nedeniyle gamaya karşı etkili olmadığı anlaşılmıştır.

Akkurt ve El-Khayatt (2013) tarafından yapılan çalışmada % 0, % 50, % 100 oranlarında barit içeren betonların gama ve nötron zırlama özellikleri araştırılmıştır. 8 MeV foton enerjili gama zayıflatmasıyla, makroskobik hızda nötron uzaklaştırma kesitleri karşılaştırılmıştır. Betondaki barit oranının artmasının nötron zayıflatma katsayısını azaltırken gama zayıflatma katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca nötron ve gama zayıflatması açısından en iyi barit oranının yaklaşık %53.8 olduğu saptanmıştır.

Mesbahi ve arkadaşlarının (2013) yaptığı çalışmada düşük fotonötron üretimiyle yüksek yoğunluklu beton tasarlanması amaçlanmıştır. Fotonötronlar için MCNPX Monte Carlo simülasyon kodu kullanılmıştır. Barite % 5 ve % 10 oranında kolemanit eklenerek barit-kolemanit betonları üretilmiştir. Betonların zayıflatma katsayıları ^{60}Co (Kobalt-60) kaynağı kullanılarak 9 ve 18 MeV fotonlar için hesaplanmıştır. Sonuç olarak barite % 5 ve % 10 kolemanit eklenmesinin fotonötron üretimini düşürdüğü gözlenmiştir.

Oto ve Gür (2013) çalışmalarında içeriğinde üleksit (U) ve üleksit yoğunlaştırıcı atık (UCW) bulduran betonların gama soğurma özelliklerini incelemiştir. Çalışmada 59.54 keV ^{241}Am ve 80.99 keV enerji düzeyinde ^{133}Ba kaynakları kullanılmıştır. Deneysel hesaplamalar NaI (TI) dedektörü ve teorik hesaplamalar WinXCom bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. İncelenen U ve UCW içeren betonların gama soğurma için çok etkili olmadığı ve %10 oranında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Vega-Carillo ve arkadaşları (2013) 0.185 TBq $^{239}\text{PuBe}$ izotopik nötron kaynağı için farklı kalınlıklarda portland betonların nötron zayıflatma özelliklerini MCNP5 kodunu kullanarak modellemiştir. Nötron kaynağının $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ olarak modellendiği çalışmada 5-150 cm aralığında değişen mesafelerde 5, 15, 20, 25, 30, 50 ve 80 cm kalınlıklarında portland betonlarının incelenmesi sonucu beton kalınlığının artmasının nötron spektrumlarını azalttıkları görülmüştür.

Ertaş (2014) yüksek lisans tezi çalışmasında kurşun maden atıklarının radyasyon soğurucu özelliklerini araştırmıştır. ^{137}Cs kaynağı kullanılarak yapılan deneylerde kurşun maden atıkları, barit ve kireç taşı agregalarının %25, %50 ve %75 olmak üzere 3 farklı oranda karıştırılarak elde edilen betonları incelemiştir. Radyasyon soğurucu özelliğin artan barit oranıyla arttığı görülmüştür. Kurşun maden atığının barit kadar olmasa da kireç taşına göre daha yüksek radyasyon soğurucu özelliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Doğan (2015) yüksek lisans tezi çalışmasında beton, gaz beton, bims blok ve tuğla gibi malzemelerin gama zırlama özelliklerini incelemiştir. Deneysel ölçümlerde ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynakları kullanılan çalışmada teorik hesaplamalar XCom bilgisayar kodu ile hesaplanmıştır. Doğrusal zayıflatma katsayılarının artan malzeme yoğunluğuna bağlı olarak arttığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada deneysel ölçümler ve teorik hesaplamaların uyum içinde olduğu görülmüştür.

Doğan M. (2015) yüksek lisans tezinde farklı oranlarda siderit ve limonit katkıli beton numunelerinin nötron ve proton için radyasyon soğurma özelliklerini incelemiştir. Çalışmada X-ışını ve ⁶⁰Co kaynakları kullanılmıştır. Siderit madeninin yüksek dayanım ve yüksek radyasyon soğurma özelliğine, limonit madeninin ise düşük dayanım ve yüksek radyasyon soğurma özelliğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Mehrnejad (2015) yaptığı doktora tezi çalışmasında barit ve galena madenlerinin, x ve gama ışınlarının zayıflatılması üzerindeki etkisini ve bor, bor karbür ve galena madenlerinin nötronun zayıflatılması üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada teorik hesaplamalar için Geant4 Monte Carlo kodu kullanılmıştır. Sonuç olarak içeriğinde bor barındıran malzemelerin nötron zayıflatılmasında etkili olduğu görülmüştür.

Sarıyer ve arkadaşlarının (2015) çalışmalarında ferro-bor (Fe-B) ve bor karbür (B₄C) ilavelerinin zırh betonunun, nötron zırhlama özellikleri üzerindeki etkisi FLUKA Monte Carlo simülasyon kodu ile incelenmiştir. Fe-B ve B₄C'nin beton içerisindeki yoğunluklarının %0-%20 arasında değiştirilerek incelendiği çalışmada yüksek yoğunluklu Fe-B'nin ilave edildiği zırh betonunun hızlı nötron koruyuculuğunun B₄C ilave edilen betondan daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Buradan Fe-B'nin hızlı nötronlar için uygun zırhlama malzemesi olduğu anlaşılabilir.

Temircik (2015) doktora çalışmasında asidik ve bazik pomza taşı, kolemanit, perlit, barit, hematit, demir tozu ve yüksek fırın cürufu gibi malzemelerin doğrusal zayıflatma ve kütle zayıflatma katsayılarını incelemiştir. Çalışmada agregalar farklı oranlarda katkılanmıştır. Deneysel ölçümlerde gama ışınları için ²⁴¹Am ve X-ışınları için ⁵⁵Fe kaynakları kullanılmıştır. Sonuç olarak en yüksek doğrusal zayıflatma katsayısının barite ait olduğu ve demir tozunun da belirli oranlarda ilave edilmesinin radyasyon zayıflatmada etkili olduğu görülmüştür.

Waly ve arkadaşları (2015) farklı kesirlerde beton bileşimlerinin gama zırhlama özelliklerinin normal beton ile kıyasladıkları çalışmada doğrusal zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı, yarı değer katmanı (HVL) ve ortalama serbest yol hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan enerji aralığı 0.015-15 MeV aralığındadır. Hesaplanan en iyi değerlerin özel olarak üretilen %39.195 oranında manyetit (Fe₃O₄) ve %15.678 oranında (PbO) kurşun oksit içeren betona ait olduğu görülmüştür.

Artiğ (2016) doktora tezi çalışmasında betona farklı oranlarda ilave edilen manyetit, hematit, pandemit, kolemanit ve limonit gibi bazı madenlerin, nötron parçacıkları, x ve gama ışınları için zayıflatıcı etkilerini incelemiştir. Çalışmada ^{60}Co , ^{241}Am ve ^{133}Ba radyoaktif kaynaklarının yanı sıra Si (Li) ve Na (TI) sintilasyon dedektörleri ve PTW marka iyon çemberi kullanılmıştır. Teorik hesaplamalarda WinXCom kodundan faydalanılmıştır. Çalışma sonunda betonların radyasyon zayıflatıcı etkilerinin karışımın element yapısına, yoğunluğuna ve radyasyon miktarına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yao ve arkadaşları (2016) çalışmalarında bizmut oksit (Bi_2O_3) katkılı beton ve kurşun oksit (PbO) katkılı betonun doğrusal zayıflatma katsayıları (LAC), yarı değer katmanları (HVL) ve onuncu değer katmanları (TVL) karşılaştırılmıştır. %0 ile %25 arasında Bi_2O_3 katkılı betonlar üretilmiştir. Çalışmada ^{137}Cs kaynağından yararlanılmıştır. XCom program kullanılarak deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların uyum içinde olduğu çalışmada en iyi LAC değerinin ve en yüksek basınç dayanımının %25 oranında Bi_2O_3 katkılı betona ait olduğu sonucuna varılmıştır.

Tekin (2016) çalışmasında 3x3 inç NaI (TI) dedektörü MCNP-X kodunu kullanarak modellemiştir. Çalışmada ayrıca MCNP-X kodu kullanılarak 59.5 keV, 80 keV, 356 keV, 661.6 keV, 1173.2 keV ve 1332.5 keV enerjilerinde beton numunenin gama zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. MCNP-X kod sonuçlarının deneysel verilere ve Xcom ve FLUKA sonuçlarına çok benzer olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda Monte Carlo kodunun gama zayıflatmasına ilişkin malzemelerin kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanmasında güçlü bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

Oto ve arkadaşlarının (2016) yaptıkları çalışmada 1.25 MeV ortalama gama enerjisi ile WinXcom (1 keV ile 100 GeV enerji aralığında) kodunu kullanarak manyetit katkılı beton numunelerinin kütle zayıflatma katsayıları incelenmiştir. Ayrıca aynı enerji aralığında etkin atom numarası (Z_{eff}) ve elektron yoğunluğu (N_{el}) de hesaplanmıştır. Hesaplamalar Lambert-Beer yasasından yararlanılarak yapılmıştır. Manyetit cevherinin etkisinin daha iyi anlaşılması için % 0, % 50 ve % 100 olmak üzere 3 farklı oranda katkılanmış betonlar ^{60}Co kaynağı kullanılarak incelenmiştir. Manyetit oranının artmasının kütle zayıflatma katsayısını, etkin atom numarasını (Z_{eff}) ve elektron yoğunluğunu (N_{el}) arttırdığı gözlemlenmiş ve manyetitin iyi bir gama zırhlayıcısı olduğu sonucuna varılmıştır.

Airton ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları çalışmada beyaz, mor ve krem barit olmak üzere 3 farklı barit türünü kullanarak farklı yoğunluk ve kalınlıktaki baritin kütle zayıflatma katsayılarını incelemişlerdir. Çalışmada ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{109}Ca kaynakları için kalibre edilmiş X-ışını dedektörü kullanılmıştır. Hesaplanan ve ölçülen değerler uyum içindedir. Artan malzeme yoğunluğunun kütle zayıflatma katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Obaid ve arkadaşları (2017) bazı kayaçlar ve betonların gama zırlama için kütle zayıflatma katsayısı (μ/ρ), etkin atom numarası (Z_{eff}) ve elektron yoğunluğu (N_{eff}) gibi parametrelerini ölçtükleri çalışmalarında NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Deneysel değerler ve WinXCom değerlerinin uyumlu olduğu bu çalışmada kompakt bazalt, dolerit, pembe granit ve volkanik kayanın gama zırlamada betondan daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Rwashdi (2017) çeliğe (B₄C) bor karbür ilave edilmesinin gama ışınları zayıflatma katsayısına etkisini incelediği bir yüksek lisans tezi çalışması yürütmüştür. Bu çalışmada deneysel ölçümler 511, 662, 1173, 1275 ve 1332 keV enerji değerlerinde ^{137}Cs , ^{60}Co ve ^{22}Na radyoaktif enerji kaynakları ve NaI (TI) dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Teorik hesaplamalar yapılırken 1 keV-100 GeV enerji aralığında XCom bilgisayar programından faydalanılan çalışma sonucunda bor ilavesinin çeliğin gama zayıflatma katsayısını arttırdığı gözlenmiştir.

Tekin ve arkadaşları (2017) MCNP-X kodunu kullandıkları çalışmalarında tungsten oksit (WO_3) nanopartiküllerinin betonun kütle zayıflatma etkisini incelemişlerdir. Gama ışın kaynağı ve kurşun kolimatör (yoğunluk= 11.34 g/cm^3) beton numune (yoğunluk= 2.26 g/cm^3) ve 3x3 in NaI (TI) dedektör tanımlanmıştır. Saf beton, micro ve nano boyutta (WO_3) katkılı betonların kütle zayıflatma katsayıları karşılaştırılmıştır. WO_3 katkısının kütle zayıflatma katsayısını arttırdığı fakat nano boyuttaki WO_3 katkısının micro boyuttaki WO_3 katkısına göre radyasyon dozunu azaltmaya yönelik etkisinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Zorla ve arkadaşları (2017) çalışmalarında çeşitli oranlarda doğal ve zenginleştirilmiş bor içeren bazalt elyaf ile üretilmiş yüksek dayanımlı betonun radyasyon zayıflatma özelliklerini incelemişlerdir. Gama zayıflatma özelliklerini incelemek için WinXCom'dan, nötron zayıflatma özelliklerini incelemek için Monte Carlo Serpent

kodundan yararlanılmıştır. Gama zayıflatma özelliklerinin beton yoğunluğunun artmasıyla arttığı fakat betondaki bazalt-bor lifi miktarının artmasının aynı etkiyi göstermediği görülmüştür. Bazalt-bor lifinin betona ilave edilmesinin 14 MeV enerji seviyesindeki çok hızlı nötronlar için etkisinin ihmal edilebilir olduğu fakat hızlı fisyon spektrumlu reaktörler için önemli bir nötron zırhlayıcısı olduğu ve bazalt-bor lifinin zırh malzemesinin kalınlığını azalttığı görülmüştür.

Shams ve arkadaşları (2018) barit ve hematit agregalarının gama ışınları üzerindeki koruyucu etkisini anlamak için yapılan çalışmada normal agrega ile hacimce sırasıyla %50 ve %100 oranda karıştırılmış barit ve yine normal agrega ile hacimce sırasıyla %50 ve %100 oranda karıştırılmış hematitten üretilmiş beton ve %50 barit %50 hematitten üretilmiş betonlar incelenmiştir. Üretilen betonlar iki katmanlı olarak incelenmiş ve barit veya hematit katmanlarının yerlerinin değiştirilmesinin gama zayıflatma etkisinde önemli bir fark olmadığı ve karışımdaki barit ve hematit oranının artmasının gama zayıflatma etkisini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada ^{60}Co radyasyon kaynağı ve 10 μCi 'lik yüksek saflıkta germanyum (HPGe) dedektör kullanılmıştır.

Tekin ve arkadaşları (2018) yapmış oldukları çalışmada micro ve nano boyutta WO_3 ve Bi_2O_3 ile katkılanmış hematit-serpentin (HSC) betonu üzerindeki kütle zayıflatma katsayısına (μ/ρ) etkisini 0.142-1.33 MeV enerji aralığında MCNP-X kodunu kullanarak hesaplamışlardır. Çalışmanın sonucunda HSC'ye eklenen nano Bi_2O_3 'ün, nano WO_3 'e göre kütle zayıflatma katsayısını önemli oranda arttırdığı görülmüştür.

Tekin ve arkadaşları (2018) normal ve yüksek yoğunluklu betonların ısıtma işlem öncesi ve sonrası gama ve nötron zırhlama özelliklerini inceledikleri çalışmada kütle zayıflatma katsayıları (μ/ρ), etkin atom numarası (Z_{eff}), maruziyet biriktirme faktörü (EBF) ve nötron uzaklaştırma kesiti MCNP-X ile simüle edilerek hesaplanmıştır. 1 keV ile 100 GeV foton enerji aralığında hesaplanan (μ/ρ) ve Z_{eff} değerlerinin normal ve yüksek yoğunluklu betonlarda ısıtma işlem öncesi düşük olduğu, ısıtma işlem sonrası ise arttığı görülmüştür. Nötron uzaklaştırma kesitinin normal beton için ısıtma işlem sonrası azaldığı, yüksek yoğunluklu beton için ise önemli bir değişime uğramadığı görülmüştür. EBF'nin düşük enerjide azalıp, yüksek enerjide artarken orta enerjide sabit olduğu görülmüştür. Ayrıca normal betonda düşük enerji bölgesindeki düşüşün yüksek yoğunluklu betondan daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

Tekin ve arkadaşları (2019) çalışmalarında sırasıyla normal agrega yerine %10, %15, %20, %25, %30, %40 ve %50 oranında perlit karıştırılmış beton grubu ve sırasıyla %10+1, %10+3 ve %10+5 oranında perlit ve B4C içeren beton grubunun foton zayıflatma özelliklerini incelemiştir. Çalışma 81-1333 keV enerji aralığında yapılmış olup betonların kristal yapılarını incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisinden (EDAX) yararlanılmış ve HPGe dedektörü kullanılmıştır. En düşük yarı değer katmanı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) değerlerinin %40 perlit karıştırılmış normal agregaya ait olduğu görülmüş ve üretilen diğer betonlara kıyasla en iyi gama zayıflatma etkisine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Radyoaktivitenin keşfiyle beraber nükleer kaynaklı birçok radyasyon türü üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yer kürede bulunan radyoizotoplardan yayımlanan radyasyona maruz kalınması ve her geçen gün gelişen teknoloji ile beraber, nükleer santraller, tıp ve endüstri gibi alanlarda radyasyon kullanımı sonucunda ortaya çıkan ve ölümlerle sonuçlanabilen akut (kısa süreli) ve kalıtsal hasarlara yol açabilen kronik (uzun süreli) etki gibi insan sağlığı için zararlı etkilerden korunma ihtiyacı oluşmuştur. Bununla beraber radyasyon ile etkileşimde maruz kalınan dozun minimum miktarlarda olması için; minimum süre, maksimum mesafe ve en iyi zırhlama gibi çeşitli korunma prensipleri uygulanmıştır. Bu tez çalışmasında, zaman ve mesafe kuralları kadar önemli olan zırhlama kuralı araştırılarak, iyonize edici radyasyonun etkilerini en aza indirmek için kullanılan farklı beton türleri ve özellikleri incelenmiştir.

Radyasyonun zararlı etkilerinin anlaşılması ve korunma ihtiyacının oluşması sonrasında yıllardır süregelen çalışmalarda radyasyon zırhlaması için çeşitli malzemeler kullanılmış ve kullanılabilirliği araştırılmıştır. Radyasyon zırhlamada kullanılacak malzemelerin, etkisinden korunulması amaçlanan radyasyon tipine göre değişen, çeşitli yoğunluk ve kalınlıklarda olması gerektiği görülmüştür.

Literatüre bakıldığında zırhlamada kullanılan malzemelerin çoğunlukla içeriğinde çeşitli katkı malzemeleri bulduran betonlar olduğu görülmüştür. Betonların zırhlama için inşaat sektöründe en çok tercih edilen yapı malzemesi olmaları; maliyetlerinin ucuz olmasına, üretimlerinin kolay olmasına, sağlam, eğilmez ve dış etkilere karşı dayanıklı olmalarına bağlıdır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde betonların basınç dayanımlarının 15 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde silindirler ve 15x15 cm kenar uzunluklarında küpler ile belirlendiği görülmüştür. Betonun mukavemetinin istenen değerlerde olması için su miktarının çimento ağırlığının %14'ü kadar olması ve su/çimento oranının %50-%65 arasında olması gerektiği görülmüştür.

Literatürde betonların hafif, normal ve ağır betonlar olarak 3 sınıfta incelendiği görülmüştür. 800 kg/m³-2000 kg/m³ arasında yoğunluklara sahip betonların hafif betonlar olarak adlandırıldığı literatürde, boşluklu yapıları ve hafif olmaları sebebiyle ev ve iş yerlerinde, ısı ve ses yalıtımı sağlanması açısından avantaj sağladıkları belirtilmiştir. Bu avantajlarının yanı sıra radyasyon tutuculuk kabiliyetlerinin ve mukavemetlerinin düşük olması gibi dezavantajlarının olduğu görülmüştür. Yine literatürde, hafif betonların yetersiz kaldığı yerlerde 2600 kg/m³ ve üzeri yoğunluğa sahip ağır betonların kullanıldığı görülmüştür. Ağır betonların yüksek yoğunlukları sebebiyle yüksek dayanım ve radyasyon zırhlaması gerektiren yapılarda kullanılmasının avantaj sağladığı fakat ısı ve ses yalıtımı konusunda hafif betonlara göre dezavantajlı olduğu anlaşılmıştır. Ağır betonların çoğunlukla nükleer reaktörler ve hastanelerin ışın tedavi birimleri gibi yerlerde radyasyon zırhlama amacıyla kullanıldığı görülmüştür.

Literatür taraması neticesinde radyasyon içeren birimlerin zırhlamasında ağır betonların kullanıldığı ve bu betonlara çeşitli malzemelerin katkılındığı görülmektedir. Betona katkılanan bu malzemelerin belirli oranlarda olması gerektiği zira bu katkı oranlarının betonun zırhlama özelliği haricinde basınç dayanımlarını da etkilediği görülmüştür. Basınç dayanımının düşmesinin betonda çatlak oluşumuna ve dolayısıyla gama ve X-ışınlarının bu çatlaklardan geçerek korunması amaçlanan bölgeye nüfuz edebilmelerine olanak sağlayacağı için uygun oranlarda katkı yapılması gerekmektedir. Betonun radyasyon zırhlama özelliklerinin artırılması amacıyla literatürde yapılan çalışmalarda barit, manyetit, hematit, limonit, serpantin, demir, kurşun, yüksek fırın cürufu ve çeşitli bor madenleri (kolemanit, üleksit, tinkal gibi.) betona farklı oranlarda ilave edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında radyasyon tipine göre farklı zırh malzemelerinin kullanıldığı, gama ve X-ışınları için ayrı, nötron parçacıkları için ayrı malzemelerin betona takviye edildiği görülmüştür.

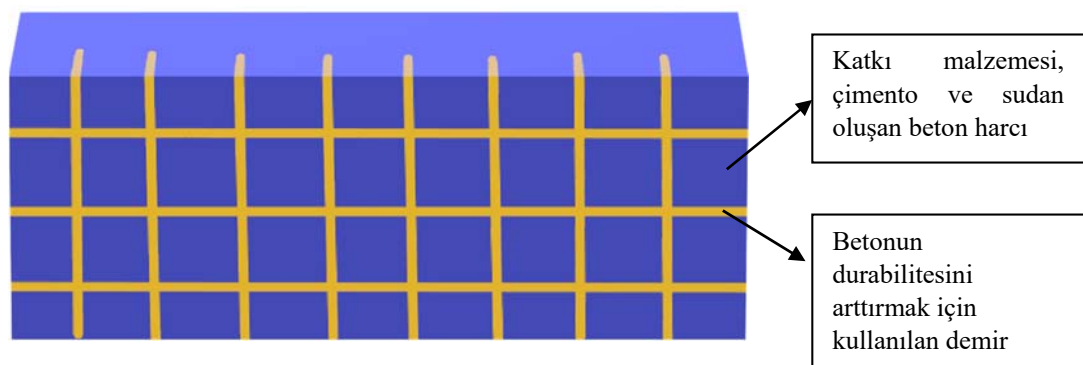
Gama ve X-ışınlarının zırhlanmasına yönelik çalışmalarda betona en çok barit, manyetit, hematit, serpantin, limonit gibi madenlerin çeşitli oranlarda eklendiği görülmüştür. Literatüre bakıldığında gama zayıflatılması için en iyi barit oranının toplam beton yoğunluğunun % 53.8'i olduğu ve barit oranının artmasının gama ve X-ışınları için doğrusal zayıflatma ve kütle zayıflatma katsayılarını da arttırdığı görülmüştür. Yine çalışmalar incelendiğinde gama zırhlaması için çelik-manyetit katkılı betonların barite kıyasla daha tercih edilebilir katkı malzemesi olduğu sonucuna varılmıştır. Hematit madeninin katkı oranının artırılmasının incelenen çalışmalar neticesinde gama ve X-ışınları zayıflatma katsayılarını da arttırdığı görülmüştür. Gama radyasyonunu zayıflatmak için betona katılanması gereken en ideal oranın manyetit (Fe_3O_4) için toplam beton yoğunluğunun yaklaşık %39'u, kurşun oksit (PbO) için toplam beton yoğunluğunun yaklaşık %15'i kadar olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Serpantin madeninin gama zırhlamaya etkisinin incelendiği çalışmalarda, serpantin normal beton gibi davrandığı ve gama zırhlamasına karşı etkisiz kaldığı görülmüştür. Öte yandan betona kurşun ilavesinin gama tutuculuğunu arttırdığı ve kurşun oranının toplam beton yoğunluğunun %90'ı kadar olduğu durumda maksimum katkıyı verdiği görülmüştür. Ayrıca nötron çalışmalarında kullanıldığı bilinen üleksit cevherinin, gama zırhlamasına etkisi incelendiğinde betona %10 oranında katılanabileceği ancak gama soğurmak için çok etkili bir malzeme olmadığı sonucuna varılmıştır.

Literatürde nötron zırhlanmasına yönelik yapılan çalışmalarda bor madeni ve içeriğinde bor barındıran (kolemanit, üleksit, ferro-bor, tinkal gibi.) çeşitli madenlerin betona çeşitli oranlarda katıldığı, kolemanit madeninin iyi bir nötron emici malzeme olduğu, tinkal (boraks) ilavesinin betonun dayanımını arttırdığı, bor katkısının nötron emiciliğini artırması sebebiyle bor içeriği fazla olan malzemelerin nötron zırhlamada tercih edilmesi gerektiği, ve demirin nötron tutuculuğunun iyi olması sebebiyle ferro-borun (Fe-B) bor karbüre (B_4C) göre daha etkili olduğu görülmüştür. Yine literatürdeki nötron çalışmalarında portland betonun kalınlıklarının artırılmasının nötron tutuculuğuna pozitif yönde etki ettiği görülmüştür.

Sonuç olarak radyasyon zırlamasında betona katılacak malzemenin toplam beton yoğunluğuna oranının artırılmasının, betonun zırlama özelliğini arttırdığı, gama için en iyi zırh katkı malzemesinin barit ve manyetit olduğu, nötron için en iyi zırh katkı malzemesinin bor cevheri olduğu ve artan bor oranının olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

Çeşitli radyasyon tiplerinin zırlamasında kullanılacak uygun agregalar ekonomik açıdan da değerlendirilecek olursa, ülkemizde Antalya, Muş, G. Antep ve Eskişehir’de oldukça fazla bulunan baritin, normal agregaya kıyasla 3 kat daha pahalı olduğu görülmektedir. Ülkemizde Bingöl, Adıyaman ve Bitlis’te bolca bulunan manyetit maliyetinin barit ile yaklaşık olarak aynı olduğu ve metamorfik ve volkanik kayalarda yaygın olarak bulunan hematitin ülkemizdeki maliyetinin baritin yaklaşık olarak yarısı kadar olduğu görülmektedir. Ayrıca ülkemizdeki bor rezervlerinin çok olmasından kaynaklı olarak yurt dışına bor ihracatı da oldukça fazladır. Son 11 yıldaki bor ihracatı dikkate alındığında 11 yıllık ortalama tınkal (boraks) ihracatının yaklaşık 170000 ton ve ton başına yaklaşık 160 USD maliyetinin olduğu, yine 11 yıllık ortalama kolemanit ihracatının yaklaşık 360000 ton ve ton başına yaklaşık 237 USD maliyetinin olduğu ve üleksit ihracatının ortalama 680000 ton ve ton başına yaklaşık 200 USD maliyetinin olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm bu katkı malzemelerinin yurt dışından ithal olarak temin edilmesi maliyeti arttıracaktır.

Şekil 4.1. Beton numune kesiti



Buradaki numune kesitinde mor renk ile gösterilen kısımda çalışmanın asıl konusu olan radyasyon zırlamasında kullanılan katkı malzemesinin ilave edildiği beton harcı gösterilmektedir. Sarı renk ile gösterilen kısımda ise betonun dik durması ve dağılması için destek amacıyla kullanılan demir gösterilmiştir. Doğru zırh katkı malzemesinin

belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada demirin radyasyon üzerindeki etkisi ihmal edilmiş yalnızca katkı malzemesi ele alınmıştır. Zırhlanması amaçlanan radyasyon türüne ve katkı malzemesinin koruyucu etkisine göre zırh betonunun kalınlığı değişmekte, kalınlığa bağlı olarak durabilitesinin sağlanması için gerekli miktarda demir kullanılmaktadır. Gama ve X-ışınlarının etkin olarak kullanıldığı tıbbi görüntüleme cihazları (PET, bilgisayarlı tomografi), radyoterapi merkezleri ve diğer endüstriyel alanlarda radyasyon sızıntısını önlemek için taban, tavan ve diğer duvarlarda kullanılacak zırh betonuna katkılanabilecek barit, hematit ve manyetit gibi madenlerin koruyucu özellikleri ve maliyetleri karşılaştırılarak tercih yapılmalıdır. Ve yine diğer tehlikeli radyasyon türü olan nötronların etkin olarak kullanıldığı nükleer reaktörler, nükleer santrallerde radyasyon sızıntısının önlenmesi için zırh betonuna katkılanabilecek çeşitli bor madenlerinin koruyucu etkileri ve maliyetleri kıyaslanarak tercih yapılmalıdır. Hem gama ve X-ışınlarının zırhlamasında hem de nötron zırhlamasında kullanılacak katkı malzemelerinin ülkemizdeki rezervlerinin çok olması maliyetleri de düşürecektir.

Yapılan çalışmalarda MCNP simülasyon metodundan yararlanılması ve simülasyon sonuçlarının deneysel verilerle uyum içinde olması sebebiyle bu metodun gelecekteki çalışmalarda da kullanılabilir yöntemlerden bir tanesi olacağı ön görülmektedir. Ayrıca, radyasyon zırhlama üzerine çalışmaların, bu tez çalışmasının “**1.5.3. Zırhlama kuralı**” başlığı altında aktarılan TAEK’in resmi gazetede yayımlanan, “Endüstriyel Radyografide Radyasyondan Korunma ve Lisanslama Yönetmeliği” madde 39/c de belirtildiği gibi yoğun ve soğurucu özellikli farklı tipteki malzemelerle de yapılması ve İSG açısından en uygun radyasyon zırh malzemelerinin belirlenmesi önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- AĞAR, O., TEKİN, HÜSEYİN O., SAYYED, M. I., KORKMAZ, MEHMET E. & CULFA, O. (2019). Experimental investigation of photon attenuation behaviors for concretes including natural perlite mineral. *Results in Physics*, 12, 237-243.
- AKKURT, I., BASYIGIT C., AKKAS, A., MAVI, B. & GUNOGLU, K. (2011). Yüksek fırın cürufllu betonların radyasyon soğurma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Journal of New World Sciences Academy*, 6(4), 1175-1181.
- AKKURT, I., BASYIGIT, C., MAVİ, B., GUNOGLU, K., KILINCARSLAN, S. & AKKAS, A. (2011). Ağır betonların radyasyon zırlama özellikleri. *Journal of New World Sciences Academy*, 6(4), 1481-1485.
- AKKURT, I., & EL-KHAYATT, A. M. (2013). The effect of barite proportion on neutron and gamma-ray shielding. *Annals of Nuclear Energy*, 51, 5–9. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2012.08.026>
- AKYILDIRIM, H. (2011). Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırlama Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Isparta, 95.
- AKYOL, B. (2015). Radyoterapi Merkezi İnşaatlarında Malzeme Seçiminin Tasarıma Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 74.
- ALMEIDA JUNIOR, T. A., NOGUEIRA, M. S., M. P. A., & CAMPOS, L. L. (2017). Mass attenuation coefficients of X-rays in different barite concrete used in radiation protection as shielding against ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 140, 349–354. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.02.054>
- ARTIĞ, B. (2016). Pandemit, Kolemanit Konsantratör Atığı, Hematit, Manyetit ve Limonit İçeren Beton Numunelerinin Nötron Parçacıkları, X ve γ -Işınları İçin Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Van, 139.
- BADIGER, N. M., SINGH, V. P., ALTUNSOY, E. E., TEKIN, H. O., & MANICI, T. (2018). Effect of Heat Treatment on Radiation Shielding Properties of Concretes. *Journal of Radiation Protection and Research*, 43(1), 20–28. <https://doi.org/10.14407/jrpr.2018.43.1.20>
- BASHTER, I. I., MAKARIOUS, A. S., & ABDO, E. S. (1996). Investigation of hematite-serpentine and ilmenite-limonite concretes for reactor radiation shielding. *Annals of Nuclear Energy*, 23(1), 65–71. [https://doi.org/10.1016/0306-4549\(95\)00011-G](https://doi.org/10.1016/0306-4549(95)00011-G)
- CIMEN, B., ERDOGAN, M. & OGUL, R. (2017). İyonlaştırıcı radyasyon ve korunma yöntemleri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 43(2), 137-147.
- COŞKUN, A. (2010). Ağır Betonlarda Barit Agregasının Kullanımı ve Beton Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon, 52.
- DAVRAZ, M. (2004). Isparta Keçiborlu Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel ve Hafif Beton Endüstrilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 244.

- DEMİR, F. (2009). Bor ve Barit Agregalı Ağır Betonların Nötron Parçacıkları, X- ve γ Işınları İçin Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Erzurum, 212.
- DEMİR, F., BUDAK, G., SAHİN, R., KARABULUT, A., OLTULU, M., & UN, A. (2011). Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight- and normal-weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV γ -rays. *Annals of Nuclear Energy*, 38(6), 1274-1278. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2011.02.009>
- DEMİR, F., BUDAK, G., SAHİN, R., KARABULUT, A., OLTULU, M., SERİFOĞLU, K., & UN, A. (2010). Radiation transmission of heavyweight and normal-weight concretes containing colemanite for 6 MV and 18 MV X-rays using linear accelerator. *Annals of Nuclear Energy*, 37(3), 339-344. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2009.12.010>
- DOĞAN, B. (2015). Yapı Malzemelerinin Gama Radyasyonu Karşısındaki Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı, İstanbul, 54.
- DOĞAN, Z. M. (2012). Limonit ve Siderit Agregalarının Ağır Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 61.
- EPA, Radiation Protection, Protecting Yourself from Radiation. <https://www.epa.gov/radiation/protecting-yourself-radiation> (Erişim, 03.08.2018).
- ERDEM, S. (2014). Bir Üniversite Hastanesinde İyonizan Radyasyon Kaynakları ile Çalışan Sağlık Çalışanlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Durumlarının Değerlendirilmesi-Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Ankara, 185.
- ERDOĞAN, T. Y. (2003). Beton, METD Yayınları, Ankara
- ERTAŞ, H. (2014). Kurşun Madeni Atıklarının Radyasyon Zırhlama Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gümüşhane, 74.
- GENCEL, O., BOZKURT, A., KAM, E., & KORKUT, T. (2011). Determination and calculation of gamma and neutron shielding characteristics of concretes containing different hematite proportions. *Annals of Nuclear Energy*, 38(12), 2719-2723. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2011.08.010>
- GÜLBİÇİM, H. (2015). Saf ve Bor Katkılı Vermikülit'in Gama Radyasyon Geçirgenliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 48.
- KAÇAR, A. (2006). Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 54.
- KHARITA, M. H., YOUSEF, S., & ALNASSAR, M. (2009). The effect of carbon powder addition on the properties of hematite radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 51(2), 388-392. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2008.10.002>
- KHARITA, M. H., YOUSEF, S., & ALNASSAR, M. (2011). Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 53(2), 207-211. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2010.09.012>
- KILINCARSLAN, S., BASYIGIT, C. & AKKURT, I. (2007). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 393-399.

- KORKUT, T., KARABULUT, A., BUDAK, G., AYGUN, B., GENCEL, O., & HANCERLIOGULLARI, A. (2012). Investigation of neutron shielding properties depending on number of boron atoms for colemanite, ulexite and tincal ores by experiments and FLUKA Monte Carlo simulations. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(1), 341–345. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.09.006>
- MEHRNEJAD, R. (2015). Nötron Radyasyona Karşı Zırhlama Amacıyla Karma Lifli Ağır Beton Üretilmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Erzurum, 172.
- MESBAHI, A., ALIZADEH, G., SEYED-OSKOE, G., & AZARPEYVAND, A. A. (2013). A new barite-colemanite concrete with lower neutron production in radiation therapy bunkers. *Annals of Nuclear Energy*, 51, 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2012.07.039>
- OBAID, S. S., GAIKWAD, D. K., & PAWAR, P. P. (2018). Determination of gamma ray shielding parameters of rocks and concrete. *Radiation Physics and Chemistry*, 144(January), 356–360. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.09.022>
- OTO, B. (2012). Barit, Manyetit, Bazı Bor Mineralleri ve Atıkları İçeren Beton Numunelerinin Gama Radyasyon Soğurganlıkları ve Nötron Tutma Kapasitelerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Van, 145.
- OTO, B., & GUR, A. (2013). Determination of mass attenuation coefficients of concretes containing ulexite and ulexite concentrator waste. *Annals of Nuclear Energy*, 59, 72–74. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2013.03.018>
- OTO, B., GUR, A., KAVAZ, E., ÇAKIR, T., & YALTAY, N. (2016). Determination of gamma and fast neutron shielding parameters of magnetite concretes. *Progress in Nuclear Energy*, 92, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2016.06.011>
- RESMÎ GAZETE, (8 Temmuz 2005/25869). Endüstriyel Radyografide Radyasyondan Korunma ve Lisanslama Yönetmeliği.
- REZAEI-OCHBELAGH, D., & AZIMKHANI, S. (2012). Investigation of gamma-ray shielding properties of concrete containing different percentages of lead. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(10), 2282–2286. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.06.020>
- RWASHDI, Q. A. D. (2017). Investigation of Radiation Shielding Properties of Some Steels. Yüksek Lisans Tezi, Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Isparta, 45.
- SARIYER, D., KUCER, R., & KUCER, N. (2015). Neutron Shielding Properties of Concretes Containing Boron Carbide and Ferro – Boron. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1752–1756. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.320>
- SHAMS, T., EFTEKHAR, M., & SAHIRANI, A. (2018). Investigation of gamma radiation attenuation in heavy concrete shields containing hematite and barite aggregates in multi-layered and mixed forms. *Construction and Building Materials*, 182, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.032>
- SHARIFI, S., BAGHERI, R., & SHIRMARDI, S. P. (2013). Comparison of shielding properties for ordinary, barite, serpentine and steel-magnetite concretes using MCNP-4C code and available experimental results. *Annals of Nuclear Energy*, 53, 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2012.09.015>
- TAEK Bilgi Köşesi, Doğal Radyasyon Kaynakları. <http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (Erişim, 03.08.2018).

- TAEK Bilgi Köşesi, Radyasyondan Korunma.
<http://www.taek.gov.tr/tr/158-egitim-arastirma/bilgi-kosesi/radyasyondan-korunma/1052-iyonlastirici-radyasyonun-biyolojik-etkileri.html>
(Erişim, 03.08.2018).
- TAEK Bilgi Köşesi, Radyasyon ve Yaşam.
<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1083-radyasyon-ve-yasam.html>
(Erişim, 03.08.2018).
- TAEK Bilgi Köşesi, Yapay Radyasyon Kaynağı.
<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1084-yapay-radyasyon-kaynaklari.html>
(Erişim, 03.08.2018).
- TEKIN, H. O. (2016). MCNP-X Monte Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3×3 Inch NaI(Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2016, 1–7.
<https://doi.org/10.1155/2016/6547318>
- TEKIN, H. O., SINGH, V. P., & MANICI, T. (2017). Effects of micro-sized and nano-sized WO₃ on mass attenuation coefficients of concrete by using MCNPX code. *Applied Radiation and Isotopes*, 121(August 2016), 122–125. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.12.040>
- TEKIN, H. O., SAYYED, M. I., ISSA, A. M. (2018). Gamma radiation shielding properties of the hematite-serpentine concrete blended with WO₃ and Bi₂O₃ micro and nano particles using MCNPX code. *Radiation Physics and Chemistry*, 150, 95-100.
- TEMİRCİK, Ş. B. (2015). Yapı malzemelerinin radyasyon geçirgenliği ve mühendislik özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, 240.
- TS EN 197-1, (2011). Genel Çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1, (2002). Beton-Bölüm1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- VEGA-CARRILLO, H. R., VILLAGRANA-MUNOZ, L. E., RIVERA-PEREZ, E., de LEON-MARTINEZ, H. A., SOTO-BERNAL, T. G., & HERNANDEZ-DAVILA, V. M. (2013). Concrete enclosure for shielding a neutron source. *Applied Radiation and Isotopes*, 79, 37–41.
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.04.030>
- WALY, E. S. A. & BOURHAM, M. A. (2015). Comparative study of different concrete composition as gamma-ray shielding materials. *Annals of Nuclear Energy*, 85, 306–310.
<https://doi.org/10.1016/j.anucene.2015.05.011>
- YAO, Y., ZHANG, X., LI, M., YANG, R., JIANG, T., & LV, J. (2016). Investigation of gamma ray shielding efficiency and mechanical performances of concrete shields containing bismuth oxide as an environmentally friendly additive. *Radiation Physics and Chemistry*, 127, 188–193.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.06.028>
- ZORLA, E., IPBUKER, C., BILAND, A., KIISK, M., KOVALJOV, S., TKACZYK, A. H. & GULIK, V. (2017). Radiation shielding properties of high performance concrete reinforced with basalt fibers infused with natural and enriched boron. *Nuclear Engineering and Design*, 313, 306-318.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat KALYON
Doğum Yeri ve Tarihi: Fatih / 23.06.1994
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim : muratkalyon34@gmail.com
Eğitim Durumu : Yüksek Lisans
Lise : Ahmet Rasim Lisesi, 2008-2012
Lisans : İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 2013-2017
Yüksek Lisans : Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, 2017-2019