

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI MALZEMELERİNİN GAMA RADYASYONU KARŞISINDAKİ
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burhan DOĞAN

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI MALZEMELERİNİN GAMA RADYASYONU KARŞISINDAKİ
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burhan DOĞAN
302111019**

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 302111019 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Burhan DOĞAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAPI MALZEMELERİNİN GAMA RADYASYONU KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Beril TUĞRUL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Zuhale ER

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Aralık 2014**

Savunma Tarihi : **19 Ocak 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olan farklı türdeki yapı malzemelerinin gama radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmam boyunca, bilgi ve tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen, kıymetli zamanlarını bana ayıran danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasını rahatça yürütebilmem için gerekli donanım ve cihazları temin eden, labaratuvar imkanlarını sunan, her konuda yardım ve desteğini esirgemeyen, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Atık Yönetimi Bölüm Başkanı Sayın Dr.Bektaş Karakelle'ye teşekkürü borç bilirim.

Malzemelerin kimyasal analizi için numune alımında yardımlarını esirgemeyen Sayın Zeynep Camtakan'a, bu analizlerin yapımı için destek sağlayan sayın Ayhan Akkaş ve analizleri yapan Aslan A.Ş personelinden sayın Serdar Acar'a verdiği destek için teşekkür ederim.

Tez çalışmamın yazım aşamasında ilgi ve desteklerini esirgemeyip işimi son derece kolaylaştıran iş arkadaşlarım Ali Dede Sadak ve Ayşe Dokuz'a teşekkür ederim.

Aralık 2014

Burhan DOĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GAMA RADYASYONUNUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ.....	5
2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite	5
2.2 Radyasyonun Sınıflandırılması	6
2.2.1 Radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması	6
2.2.1.1 İyonizan radyasyon	6
2.2.1.2 İyonizan olmayan radyasyon.....	6
2.2.2 Radyasyonun türüne göre sınıflandırılması.....	7
2.2.2.1 Parçacık radyasyonu.....	7
2.2.2.2 Elektromanyetik radyasyon	7
2.2.3 Radyasyonun kaynağına göre sınıflandırılması	8
2.2.3.1 Doğal radyasyon.....	8
2.2.3.2 Yapay radyasyon	9
2.3 Gama Işınlmasının Madde ile Etkileşim Mekanizmaları	9
2.3.1 Fotoelektrik etki	10
2.3.2 Compton etkisi	11
2.3.3 Çift oluşumu.....	11
2.3.4 Rayleigh saçılması (kohorent saçılma)	12
2.3.5 Fotonükleer etkileşimler.....	12
2.4 Foton Zayıflatma Katsayıları	13
2.5 Radyasyondan Korunma Prensipleri	15
2.5.1 Zaman.....	15
2.5.2 Uzaklık	16
2.5.3 Zırhlama	16
3. YAPI MALZEMELERİ	19
3.1 Beton	19
3.2 Tuğla.....	21
3.3 Bims Blok.....	22
3.4 Gazbeton.....	23
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
4.1 Deneyde Kullanılan Yapı Malzemeleri	25
4.1.1 Malzemelerin kimyasal analizi.....	26
4.2 Deney Düzeneği	27
4.3 Deneyde Kullanılan Radyoaktif Kaynaklar	27

4.4 Dedektör	28
4.5 Deneyin Yapılışı	31
4.6 XCOM Analizi	32
4.6.1 XCOM programının uygulaması	33
5. DENEY SONUÇLARI.....	35
5.1 Ölçüm Sonuçları	35
5.2 Lineer Zayıflatma Katsayılarının Enerjiye Göre Değişimi	44
5.2.1 Betonun lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi	45
5.2.2 Tuğla için lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi	45
5.2.3 Bims blok için lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi	46
5.2.4 Gazbeton için lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi	47
5.3 Yarı Değer ve Onda Bir Değer Kalınlıkları	49
5.4 XCOM Programı ile Elde Edilen Kütle Zayıflatma Katsayıları	49
5.5 Deney Sonuçları ve XCOM Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	50
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57

KISALTMALAR

ICRP	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations.
ANSI	: Amerikan Standartlar Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Malzeme Test Derneği
TS EN 197-1	: Çimento İle İlgili Standartlar
PET	: Pozitron Emisyon Tomografisi
XRF	: X- Işınları Floresans Spektrometresi
ALARA	: As Low As Reasonably Achievable
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
PC	: Personel Computer

SEMBOLLER

μ	: Lineer zayıflatma katsayısı
μ_m	: Kütle zayıflatma katsayısı
I	: Zayıflatılmış radyasyon şiddeti
I₀	: Zayıflatılmamış radyasyon şiddeti
x	: Kalınlık
ρ	: Özkütle
σ	: Kompton etkisi için lineer zayıflatma katsayısı
τ	: Fotoelektrik etki için lineer zayıflatma katsayısı
κ	: Çift oluşumu için lineer zayıflatma katsayısı
Cs	: Sezyum Elementi
Co	: Kobalt Elementi
Bq	: Becquerel- Radyoaktivitenin SI ölçü sistemindeki birimidir.
Sv	: Sievert
n	: Nano(10^{-9})
m	: Mili(10^{-3})
keV	: Kiloelektron Volt
y	: Yıl
kg	: Kilogram
h	: Saat
Gy	: Gray
HVL	: Yarı Değer Kalınlığı
TVL	: Onda bir değer kalınlığı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Agrega sınıfları, yoğunlukları ve buna bağlı beton yoğunlukları	20
Çizelge 3.2 : TS EN 771-1 standardına göre tuğla yoğunlukları	22
Çizelge 4.1 : Deneyde kullanılan yapı malzemelerinin kalınlıkları	25
Çizelge 4.2 : Yapı Malzemelerinin Kimyasal İçeriği	26
Çizelge 4.3 : Co-60 ve Cs-137 Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri	28
Çizelge 4.4 : Deneyde kullanılan “İdentifinder UW” cihazının genel özellikleri	29
Çizelge 4.5 : Sayım Süreleri	32
Çizelge 5.1 : Beton için yapılan sayımlar, standart sapma ve bağıl sayım değerleri	36
Çizelge 5.2 : Tuğla için yapılan sayımlar, standart sapma ve bağıl sayım değerleri	38
Çizelge 5.3 : Bims blok için yapılan sayımlar, standart sapma ve bağıl sayım değerleri	40
Çizelge 5.4 : Gazbeton için yapılan sayımlar, standart sapma ve bağıl sayım değerleri	42
Çizelge 5.5 : Betonun lineer zayıflatma katsayıları	45
Çizelge 5.6 : Tuğlanın lineer zayıflatma katsayıları	46
Çizelge 5.7 : Bims Blok’in lineer zayıflatma katsayıları	46
Çizelge 5.8 : Gaz betonun lineer zayıflatma katsayıları	47
Çizelge 5.9 : Yarı değer ve onda bir değer kalınlıklar	49
Çizelge 5.10: XCOM ile hesaplanan kütle zayıflama katsayıları	50
Çizelge 5.11: Kütle zayıflatma katsayıları	50

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 :	Elektromanyetik spektrum 8
Şekil 2.2 :	Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi 10
Şekil 2.3 :	Compton saçılmasının şematik gösterimi 11
Şekil 2.4 :	Çift oluşumunun şematik gösterimi 12
Şekil 2.5 :	Gama enerjisine göre üç etkileşmenin baskın olduğu aralıklar ... 13
Şekil 2.6 :	Gelen radyasyon şiddetinin malzeme tarafından zayıflatılması... 14
Şekil 3.1 :	Çeşitli tuğlalar 22
Şekil 3.2 :	Bims taşı veya pomza taşı 22
Şekil 3.3 :	Çeşitli bims bloklar 23
Şekil 3.4 :	Gazbeton Örnekleri..... 24
Şekil 4.1 :	Deneyde kullanılan yapı malzemeleri 26
Şekil 4.2 :	Deney Düzeneginin Şematik Görünümü 27
Şekil 4.3 :	Deney düzeneginin fotoğrafı 27
Şekil 4.4 :	Deneyde Kullanılan Co-60/Cs-137 radyoizotopları 28
Şekil 4.5 :	Sintilasyon Dedektörünün Görüntüsü..... 28
Şekil 4.6 :	Örnek spektrum görüntüsü 29
Şekil 4.7 :	XCOM programının giriş sayfası 33
Şekil 4.8 :	XCOM programının veri giriş sayfası 34
Şekil 4.9 :	XCOM programının sonuç sayfası 34
Şekil 5.1 :	Betonun için bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi 37
Şekil 5.2 :	Tuğlanın bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi 39
Şekil 5.3 :	Bims blok için bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi..... 41
Şekil 5.4 :	Gaz betonun bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi 43
Şekil 5.5 :	Karşılaştırmalı bağıl sayım - kalınlık grafikleri..... 44
Şekil 5.6 :	Beton için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi 45
Şekil 5.7 :	Tuğla için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi 46
Şekil 5.8 :	Bims Blok için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi 47
Şekil 5.9 :	Gazbeton için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.. 48
Şekil 5.10 :	Malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması .. 48
Şekil 5.11 :	Deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının kıyaslanması. 51

YAPI MALZEMELERİNİN GAMA RADYASYONU KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Yapı malzemelerinin, günlük hayatımızda önemli uygulama alanları bulan gama radyasyonu karşısındaki davranışının incelenmesi ve radyasyondan korunma çerçevesinde değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında Türkiye’de yaygın kullanımı olan beton, tuğla, gaz beton ve bims blok yapı malzemelerinin gama radyasyonunu zayıflatma özelliklerinin deneysel ve teorik yöntemle incelenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada, yapı malzemelerinin gama radyasyonu karşısındaki davranışı incelenirken, dar demet geometrisi oluşturularak gama geçirgenlik tekniği ile çalışılmıştır. Deneylerde iki adet radyoizotop kullanılmıştır. Bunlar, bozunduğunda 662 keV enerjili gama fotonları yayan Cs-137 radyoizotopu ve 1173 keV ile 1332 keV olmak üzere iki farklı enerjide gamma fotonları yayan Co-60 radyoizotopudur. Gama ölçümlerinde Identifinder marka sintilasyon detektöründen yararlanılmıştır.

Malzemelerin farklı kalınlıklarından ve 3 farklı enerji için ayrı ayrı ölçümler alınarak malzeme tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddeti değerlerine ulaşılmıştır. Her bir kalınlık ve enerji için alınan ölçümler 9 defa tekrarlanmıştır. Deney düzeneğinde her malzeme kalınlığından alınan sayımlar, kaynak dedektör arasında malzeme olmadan alınan başlangıç sayımlarına oranlanarak bağıl sayım sonuçlarına ulaşılmıştır. Bağıl sayım değerlerinin malzeme kalınlığı ile değişimini veren grafiklerden yararlanılarak lineer zayıflatma katsayılarına ve malzeme yoğunlukları kullanılarak kütle zayıflatma katsayılarına ulaşılmıştır. Ayrıca radyasyondan korunma ve zırhlama konularında önemli parametrelerden olan yarı değer ve ondabir kalınlık değerleri de hesaplanmıştır.

Çalışmada deneysel olarak bulunan kütle zayıflatma katsayılarının sınanması amacıyla XCOM bilgisayar programından yararlanılmıştır. XCOM bilgisayar programını çalıştırmak için gerekli olan yapı malzemelerinin kimyasal içerikleri XRF analiz yöntemi ile tayin edilmiştir. Deneysel ve teorik olarak elde edilen kütle zayıflatma katsayıları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve uyumlu oldukları görülmüştür.

INVESTIGATION OF GAMA RADIATION BEHAVIOUR IN BUILDING MATERIALS

SUMMARY

Besides background radiation due to long-lived natural radionuclides resides in earth or cosmic radiation from outer space, artificial radiation affects human life in an increasing manner. After the discovery of radiation it becomes more and more important in human life. Today it has a wide range of use in many areas, such as medicine, industry, agriculture etc. In this manner certain precautions, one of them to be shielding, has to be taken not only for radiation workers but for the public. Radiation shielding materials are investigated for their shielding properties through linear attenuation coefficient (μ) being defined as the probability of interaction of radiation with matter in unit path length. Linear attenuation coefficient of a material for a given specific gamma energy can be determined both experimentally using narrow beam geometry and computationally by using XCOM. In literature building materials was studied by many scientists in terms of their gamma shielding properties.

In this study, some building materials regularly used in Turkey, such as concrete, gas concrete, pumice and brick have been investigated in terms of mass attenuation coefficient at different gamma-ray energies. These building materials were supplied from a private building companies.

The coefficient μ depends on photon energy and on the material being traversed. The linear attenuation coefficients have been evaluated comparing N and N_0 , which are the measured count rates in detector, with and without the absorber, respectively. The mass attenuation coefficient μ_{mass} is obtained by dividing μ by the density ρ of the material. The effectiveness of gamma-ray shielding is described in terms of the half value layer (HVL) or the tenth value layer (TVL) of a material. The HVL is the thicknesses of an absorber that will reduce the gamma radiation to half, and the TVL is the thicknesses of an absorber that will reduce the gamma radiation to tenth of its intensity. HVL and TVL can be calculated by using the linear attenuation coefficient (μ).

The linear attenuation coefficients of building materials were measured using the portable NaI(Tl) detector (FLIR identiFINDER UW). Lead collimators were prepared for the gamma rays to be collimated through a hole of 7 mm radius and to avoid scattered radiation reaching to the detector. Narrow beam gamma-ray transmission geometry was used for the attenuation measurements. Cs-137 and Co-60 gamma ray sources which produce gamma ray energy of 662 keV, 1173 keV and 1332 keV were used in this study. For each thickness of a material, 9 measurements of 120 seconds for Co-60 and 60 seconds for Cs-137 were obtained. The average of these 9 measurements was used for both attenuated and unattenuated beams. After calculating standard deviation of these statistics, error percentages were calculated, which were less than %2.0 for Co-60 and %0.9 for Cs-137.

The linear attenuation coefficients were also calculated via calculation of the mass attenuation coefficients which were obtained using XCOM computer code. The chemical composition of these materials, which were necessary input for XCOM calculations, was obtained from XRF analysis.

According to the results, linear attenuation coefficients decrease with the increasing photon energy for these materials. This is due to the different photon absorption mechanism for different photon energies. The results shows that while smaller thickness of concrete is required to stop gamma-rays, larger thickness is required for gas concrete to stop same energy photons. It is easier to stop low energy photon than high energy photons. From the present study, it was found that among the investigated building materials, concrete appears as best gamma ray shielding material due to its higher values for mass attenuation coefficient. Experimental results were also compared with the calculated results (XCOM code). The calculated and measured linear attenuation coefficients show good agreement with literature.

1. GİRİŞ

İnsanlar yaşamları boyunca doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından sürekli olarak radyasyona maruz kalmaktadırlar. 1800'li yılların sonunda varlığının keşfedilmesinden sonra radyasyon ve radyoaktiviteden birçok alanda yararlanılmaya başlanmıştır. Teknolojinin gelişimine paralel olarak radyoizotopların yapay yoldan üretiminin artması sonucunda gama radyasyonunun başta tıp ve endüstri olmak üzere kullanım alanları oldukça genişlemiştir. Malzemeye nüfuz edebilme özelliğine sahip olması nedeniyle gama ışınlarının geniş uygulama alanı bulması ve farklı alanlarda kullanımının artmasına bağlı olarak radyasyondan korunma konusundaki çalışmalar da önem kazanmıştır.

Radyasyonun kullanımında faydalar ve riskler dengesi söz konusudur. Bu dengenin kurulmasına yardım etmek için radyasyondan korunma uygulamaları, teorisi, politikası ve mevzuatı geliştirilmiştir. Radyasyondan korunmanın amacı, yararlı ışınlanmalara izin verirken radyasyonun potansiyel zararlı etkilerine karşı insanların korunmasıdır. Dünyada yaygın olarak uygulanan radyasyondan korunma sistemi üç temel ilkeyi esas alır. Bunlar:

- Işınlamaya neden olan uygulamaların gerekçelenmesi,
- Korunmanın optimizasyonu,
- Bireylerin ışınlanmalarının sınırlandırılması (doz sınırları)dır.

Korunmanın optimizasyonu ilkesi sadece gerekçelenmiş uygulamalar için geçerlidir. Bütün ışınlamaların mümkün olan en düşük doz değerinde (ALARA-as low as reasonably achievable) tutulması gerekir. Optimizasyonun amacı, ışınlanmayı sıfıra indirmek değil riskleri, bulunduğu koşullarda kabul edilebilir seviye ve altına düşürmektir. Radyasyon kaynaklarının boyutunun küçültülmesi, ışınlamaya maruz kalan personelin çalışma zamanının sınırlanması, insanlar ile radyasyon kaynakları arasındaki mesafenin arttırılması ve zırhlama malzemelerinin kullanılması gibi uygulamalarla bu optimizasyon yapılabilir (TAEK, 2010).

Radyasyondan korunma konusunda Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonunun (ICRP) tavsiyeleri şeklinde yayınlanan dokümanlar tüm ulusal düzenleyici kuruluşlar tarafından takip edilmektedir. ICRP komisyonu yılda bir defa toplanmakta ve yeni gelişmeleri içerecek tavsiyelerde bulunmaktadır. ICRP tarafından 1991 yılında yayımlanan ve 2007 yılında güncellenen bu tavsiyeler, iyonlaştırıcı radyasyona karşı kişilerin korunmasının yanı sıra flora ve faunanın da korunmasına yönelik detaylar içermektedir (TAEK, 2010).

Bilim ve teknikteki gelişmeye paralel olarak yapı malzemelerine her geçen gün yenileri eklenmektedir. İleri teknolojileri kullanarak yapı endüstrisi için üretilen malzemeler inşaat sektöründe uygulama kolaylığı ve çağımıza uygun boyutlarda projeler geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin binanın yapılış amacına uygun olması kadar ekonomik ve estetik olması da önem taşımaktadır. Yapı malzemeleri kullanım yerlerine göre taşıyıcı ve tamamlayıcı (detay) malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır. Beton, taşıyıcı sistemin ana malzemelerinden biri olmakla birlikte yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle detay malzeme olarak kullanımı uygun olmamaktadır. Dolayısıyla detay malzemeler olarak gazbeton ve bims blok gibi düşük yoğunluklu malzemelerin kullanımı tercih edilmektedir. Bu malzemeler, ısı ve ses yalıtımını artırma özellikleri nedeniyle enerji tasarrufu yönünden de avantaj sağlamaktadırlar.

Beton ve bimslerini radyasyon zırlama özellikleri yönünden inceleyen çalışmalar hayli yaygındır (Akyıldırım, 2011, Shirmardi ve diğ., 2013, Demir ve diğ., 2011). Son yıllarda düşük yoğunluklu yapı malzemelerinin inşaat sektöründeki kullanımının artması ile birlikte bu tür malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi de önem kazanmıştır (Damla ve diğ., 2009, Akkurt ve diğ., 2009, Singh ve diğ., 2012).

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Türkiye’de yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılan malzemeler arasında yer alan beton, tuğla, bims blok ve gaz betonun gama radyasyonunu zayıflatma özellikleri yönünden incelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, söz konusu yapı malzemelerinin farklı enerjilerdeki gama radyasyonu için lineer ve kütle zayıflatma katsayıları deneysel ve teorik olarak belirlenmiş ve sonuçlar mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca radyasyondan korunmada

nem arzeden parametrelerden olan yarı değer ve onda bir değer kalınlıklar da her bir malzeme için hesaplanmıştır.

2. GAMA RADYASYONUNUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

Gama radyasyonunun madde ile etkileşimi konusuna geçmeden önce radyasyon hakkında genel bilgilere kısaca değinilecektir.

2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite

Birçok atom kararlı olmasına rağmen, bir kısmı da kararsızdır. Kararlılık genel olarak bir atomun bulundurduğu nötron ve proton sayıları arasındaki denge ile belirlenir. Daha küçük kararlı atomlar eşit sayıda proton ve nötrona sahipken, daha büyük kararlı atomlar ise protondan biraz daha fazla nötrona sahiptir. Çok fazla nötronu bulunan atomlar bir nötronu bir protona dönüştürerek kendilerini daha kararlı bir yapıya kavuşturma eğilimindedir ve beta bozunumu olarak bilinen bu süreç, beta parçacığı olarak adlandırılmış negatif yüklü bir elektronun yayınlanması ile neticelenir. Çok sayıda protonu olan nükleitler ise beta bozunumundan farklı olarak fazla protonları nötronlara dönüştürerek pozitif yüklü elektron olan pozitron yayınlanması ile pozitif yükünü kaybeder. Bu dönüşümlerde çoğu kez atom çekirdeği, gama ışınları olarak adlandırılan yüksüz ve kütsüz yüksek enerjili fotonlar yayarak da fazla enerjisini kaybeder.

Atom çekirdeğinin kendiliğinden dönüşümüne “radyoaktivite” denir ve yayınlanmış fazla enerji iyonlaştırıcı radyasyon biçimindedir. Bu dönüşüm eylemine “bozunum”, değişen ve radyasyon yayan atom çekirdeğine ise “radyonükleit” veya “radyoizotop” denir.

Bazı ağır çekirdekler iki proton ve iki nötrondan oluşan alfa parçacığı yayınlayarak bozunur. Helyum çekirdeği ile özdeş olan alfa parçacıkları beta parçacıklarından çok daha ağırdır ve iki değerlikli pozitif yük taşır (Knoll, 2002).

Radyoizotopun bozunum sonucu yaydığı partiküller veya gama ışınlarının bir maddeye veya ortama enerji transfer etmesi olayı ise “radyasyon” olarak tanımlanmaktadır (Tuğrul, 2012).

2.2 Radyasyonun Sınıflandırılması

Radyasyon üç farklı şekilde sınıflandırılabilir; enerjiye göre sınıflandırma (düşük ve yüksek enerjili radyasyon), türüne göre sınıflandırma (parçacık ve elektromanyetik radyasyon) ve kaynağına göre sınıflandırma (doğal ve yapay radyasyon) (Tuğrul, 2012).

Radyasyon, etkileştiği ortamdaki atom ve molekülleri iyonizasyona uğratabiliyorsa iyonlaştırıcı, uğratamıyorsa iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır.

2.2.1 Radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması

Radyasyon enerjisine göre iki kategoriye ayrılır. Bunlar;

- İyonizan radyasyon
- İyonizan olmayan radyasyondur.

Atomlardan elektron koparıp iyonizasyona yol açacak yeterli enerjiye sahip radyasyon türü iyonizan radyasyondur. Atomlardan elektron koparmaya yeterli enerjisi olmayan sadece atomların molekül içinde hareket etmesini sağlayan veya titreştirebilen tür radyasyon ise iyonizan olmayan radyasyon olarak anılır (Tuğrul, 2012). Bu radyasyon türleri aşağıda incelenmiştir.

2.2.1.1 İyonizan radyasyon

İyonizasyon, nötr haldeki bir atomun veya bir molekülün herhangi bir etki ile elektrik yükünün değiştirilerek iyon haline getirilmesi işlemidir. Bu işlem, sisteme bir elektron eklenerek veya sistemden bir elektron çıkarılarak yapılabilir. Radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu iyonizasyon olayının gerçekleşebilmesi için radyasyonun enerjisi, etkileştiği maddenin atomuna ait iyonizasyon potansiyelinden daha yüksek olmalıdır. İyonlaştırıcı radyasyon maddeyi doğrudan ya da dolaylı olarak iyonize edebilir çünkü onun enerjisi maddenin iyonlaşma potansiyelini aşar (Grupen, 2010).

2.2.1.2 İyonizan olmayan radyasyon

İyonizan olmayan radyasyon oldukça düşük frekanslı olan ses, mikrodalga ve elektromanyetik spektrumun morötesi kısmına kadar çeşitlilik arzeder. Telekomünikasyon ve yiyecek ısıtmada kullanılabilen mikrodalga radyasyonu,

yemekleri sıcak tutmaya yarayan infrared lambalarda kullanılan kızılötesi radyasyonu ve radyo ve televizyon yayınlarında kullanılan radyo dalgaları iyonizan olmayan radyasyonun günlük hayat kullanımlarına verilebilecek örneklerden bir kaçıdır.

2.2.2 Radyasyonun türüne göre sınıflandırılması

Radyasyon türüne göre parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon olarak iki alt kategoride sınıflandırılmaktadır.

2.2.2.1 Parçacık radyasyonu

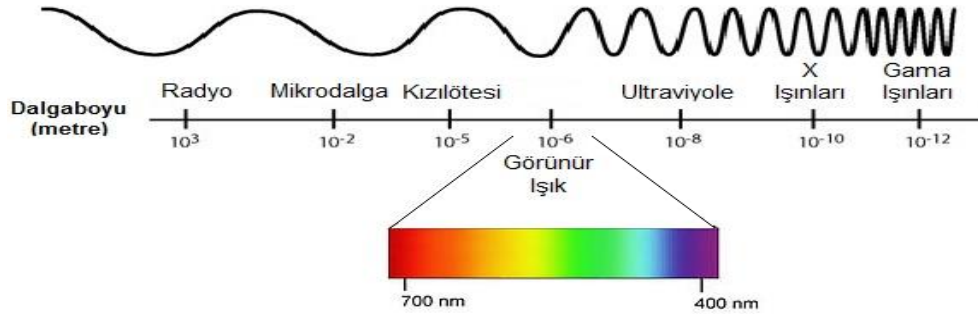
Yüklü parçacıklar; kütleleri, belli enerjileri olan dolayısıyla giriciliği olan parçacıklardır. Bunlar temelde alfa, beta ve nötronlardır. Bu üç parçacığın hepsinin kütleleri olmasına rağmen, alfa ve beta parçacıkları yüklü, nötron ise yüksüzdür. Yüklü olan alfa ve beta parçacıklarının madde ile etkileşimleri Coulomb kuvveti etkisiyle gerçekleşir. Nötronlar ise yüksüz olduklarından taşıdıkları enerjiye göre saçılma ve/veya soğrulma biçiminde madde ile etkileşirler.

Alfa parçacığı +2 yük sahibi olan helyum çekirdeğidir. Madde ile etkileşimlerinde enerjilerini çabuk kaybettiklerinden dolayı alfa parçacıklarının giricilikleri düşük ve maddedeki menzilleri kısa olmaktadır.

Beta parçacıkları ise +1 veya -1 yüke sahip olabilirler. Bunlardan +1 yüke sahip olan parçacık pozitron, -1 yüklü parçacık ise negatron olarak isimlendirilmekte olup elektrona benzer parçacıklardır. Alfa parçacıklarından kütleye daha hafif olduklarından maddedeki giricilikleri ve menzilleri daha yüksektir. (Tuğrul, 2012)

2.2.2.2 Elektromanyetik radyasyon

Elektromanyetik radyasyon kütlesi olmayan ve ışık hızında hareket eden fotonlar aracılığıyla taşınan ve hareketini dalga tabiatına uygun olarak yapan radyasyonu ifade eder (Tuğrul, 2012). Her foton belli bir dalga boyuna sahiptir. Farklı elektromanyetik radyasyon türleri, fotonların sahip olduğu dalga boyuna göre tanımlanırlar. Örneğin radyo dalgalarının fotonlarının taşıdığı enerji mikrodalga fotonlarının taşıdığı enerjiden daha düşüktür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Elektromanyetik spektrum (Url-2, 2014)

Gama ışını, X-ışını, görünür ışık, morötesi, kızılötesi, mikrodalga, radyo/televizyon dalgalarının tamamı elektromanyetik radyasyon sınıfı altında toplanmıştır.

2.2.3 Radyasyonun kaynağına göre sınıflandırılması

Radyasyon, kaynağına göre doğal radyasyon ve yapay radyasyon olmak üzere iki kategoride incelenir. Doğal radyasyon kaynakları toprakta var olan uzun yarı ömürlü radyonüklitleri ve dış uzaydan gelen kozmik ışınları içerirken, yapay radyasyon kaynakları endüstri tıp gibi bir çok uygulama alanında kullanılan ve yapay olarak üretilen radyasyon kaynaklarını içermektedir.

2.2.3.1 Doğal radyasyon

Doğal radyasyonun temel kaynakları kozmik ışınlar, toprakta varolan uzun yarı ömürlü radyonüklitler ve bunların bozunumlarından ve bozunum ürünlerinden oluşan radon gazıdır. Şekil 2.2'de doğal radyasyon kaynaklarının yüzdesel dağılımı görülmektedir.

Kozmik ışınlar, esas itibarıyla, uzayda menşei belli olmayan ve atmosferimize hemen hemen sabit miktarda ulaşan yüksek enerjili radyasyondur (Url-3, 2014). Bununla birlikte, bazı düşük enerjili protonların güneşten geldikleri ve güneşteki patlamalar sırasında ortaya çıktıkları bilinmektedir. Kozmik ışınlar atmosfere nüfuz ettikçe karmaşık reaksiyonlar başlatır ve kademeli bir şekilde soğurulurlar. Kozmik ışınlar protonlar, alfa parçacıkları, elektronlar ve yüksek enerjili diğer çeşitli parçacıklar gibi birçok radyasyon tipinin bir karışımıdır. Yer seviyesindeki kozmik radyasyon esas olarak, müonlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlardan oluşmakla beraber dozun büyük bir kısmı müonlar ve elektronlardan kaynaklanır (Chaisson ve McMillan,1999). UNSCEAR, yer seviyesindeki kozmik ışınlardan kaynaklanan

yıllık etkin dozu, enlem ve yükseklikteki değişimleri dikkate alarak ortalama 0.4 mSv civarında hesaplamıştır.

Bireylerin içinde yaşadıkları yerleşim alanları, bu yerleşim alanlarının yüksekliği ve yaşanan binanın tipi gibi bir takım özellikler kozmik ışınlardan kaynaklanan dozu az da olsa etkilemektedir. Uçuş yüksekliklerindeki kozmik ışınların yoğunluğu, yer seviyesinden daha yüksektir. Kıtalararası uçuşlardaki uçuş yüksekliğindeki doz hızı, yer seviyesindeki doz hızının 100 katına ulaşabilir. Uçakla yapılan seyahatler, bazı topluluklar için yıllık dozda ortalama 0.01 mSv'lik artışa neden olur, ancak bu doz dünya ortalaması olan 0.4 mSv değerini etkilemez (TAEK, 2010).

Toprakta doğal olarak bulunan ağır ve uzun yarı ömürlü radyonüklitlerin (U-238, Th-232 ve U-235) bozunumları sonucu meydana gelen bozunum ürünleri ve bunların içinde özellikle Ra-226 ve bu radyoizotopun bozunumu sonucu oluşan radon gazı doğal radyasyonun diğer bir kaynağıdır. Radon gazı solunumu ise kansere neden olabilmektedir.

Ayrıca vücudumuzun yapısında mevcut olan radyoaktif elementler de doğal radyasyon kaynakları arasındadır. Potasyum-40, Karbon-14 ve Polonyum-210 vücudumuzda bulunan başlıca radyoaktif maddelerdir. Kurşun-210 ve Polonyum-210 havada, yiyeceklerde ve suda bulunup vücudumuzu iç ışınlanmaya maruz bırakır.

2.2.3.2 Yapay radyasyon

Dışarıdan herhangi bir etki sonucu radyoaktif özellik kazanan çekirdeklerden yayılan radyasyona yapay radyasyon adı verilir. 1934'te Frederic Joliot ve Irène Curie nükleer fizik yöntemlerini kullanarak yapay radyoaktif materyaller üretmeyi başarmışlardır (Grupen, 2010). Böylece yapay radyasyon kaynaklarının üretiminin temellerinin atılmasıyla yapay radyasyon kaynakları hayatımıza girmiş oldu. Nükleer endüstri, nükleer tıp ve endüstriyel uygulamalar yapay radyasyon kaynaklarının kullanıldığı bazı alanlardır.

2.3 Gama Işınlarının Madde ile Etkileşim Mekanizmaları

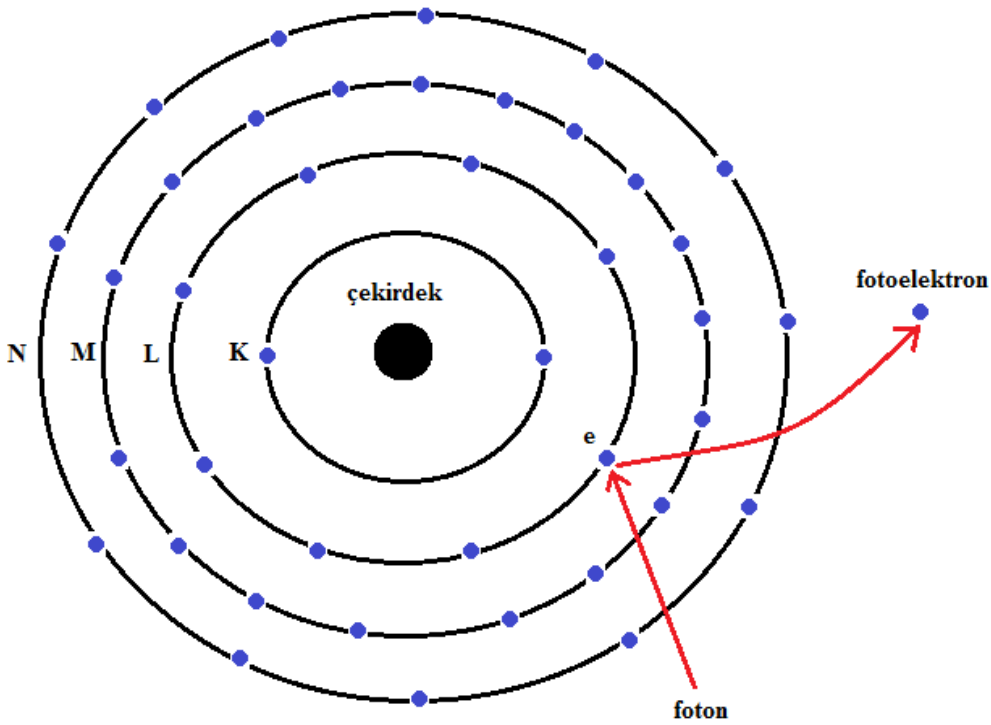
Yüksüz birer parçacık olan yüksek enerjili fotonlar madde içinden geçerken karmaşık bir takım etkileşimler yaparlar. Bu etkileşimler, yüklü parçacıklarda olduğu gibi doğrudan iyonizasyona neden olmayıp dolaylı yoldan iyonizasyona sebep

olurlar. Bu nedenlerle yüksek enerjili fotonlar ikincil iyonizan radyasyon kaynağı olarak da bilinir.

Fotonların madde ile etkileşimi sonucu, Compton etkisi, fotoelektrik etki, çift oluşumu, Rayleigh saçılması (Kohorent saçılma) ve fotonükleer etkileşimler olmak üzere 5 tip olay gerçekleşmektedir (Tuğrul, 2012).

2.3.1 Fotoelektrik etki

Yüksek enerjili bir foton bir atomun elektronlarından birine çarptığında enerjisinin tamamını elektrona transfer ederek onu yörüngesinden fırlatır. Fırlayan bu elektrona “fotoelektron” adı verilir (Şekil 2.2).



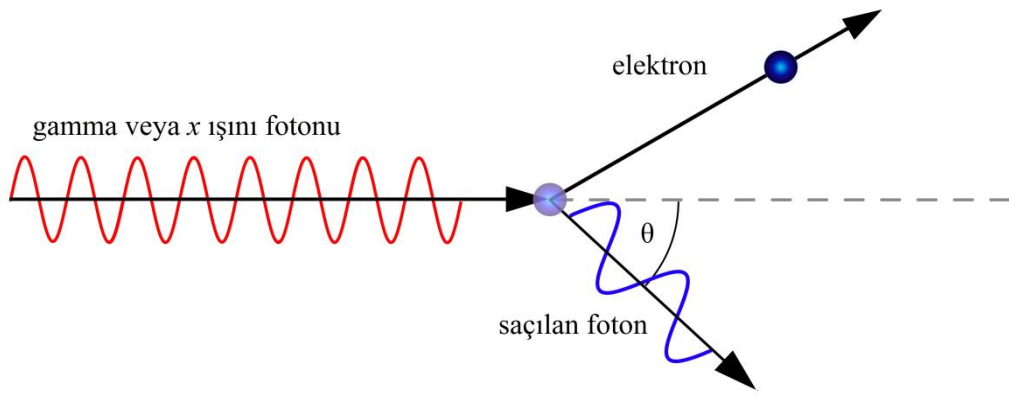
Şekil 2.2 : Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi

Bu olayda fotoelektronun enerjisi, gelen fotonun enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşittir. Gelen fotonun enerjisi orbital elektronun enerjisinden fazla olmadıkça fotoelektron meydana gelmez. Gelen fotonun bir iç tabaka elektronuna çarpması durumunda, şayet enerjisi yeterli ise onu da yörüngesinden fırlatması mümkündür. Bu durumun meydana gelme ihtimali dış tabaka elektronlarına göre daha azdır. İç tabakaların birinden atılan fotoelektronun yerine üst tabakalardan başka elektronların geçmesi ile karakteristik X-ışınları meydana gelir. Düşük atom numaralı elementlerde bağlanma enerjileri ve karakteristik X-ışını enerjileri çok

düşüktür. Ağır elementlerde bağlanma enerjileri 20-100 keV aralığındadır. Bu nedenle gelen fotonun enerjisini önemli oranda soğururlar (Martin, 2006).

2.3.2 Compton etkisi

Compton saçılması atomun dış tabaka elektronlarından biri ile bir fotonun çarpışması esnasında gözlenir. Gelen fotonun enerjisi çarptığı elektronun bağlanma enerjisinden oldukça büyüktür. Gelen foton enerjisinin bir kısmını çarptığı elektronu yörüngesinden fırlatmak için harcar. Fotonun geri kalan enerjisi, geliş doğrultusu ile bir θ açısı yaparak yoluna devam etmesini sağlar (Şekil 2.3).



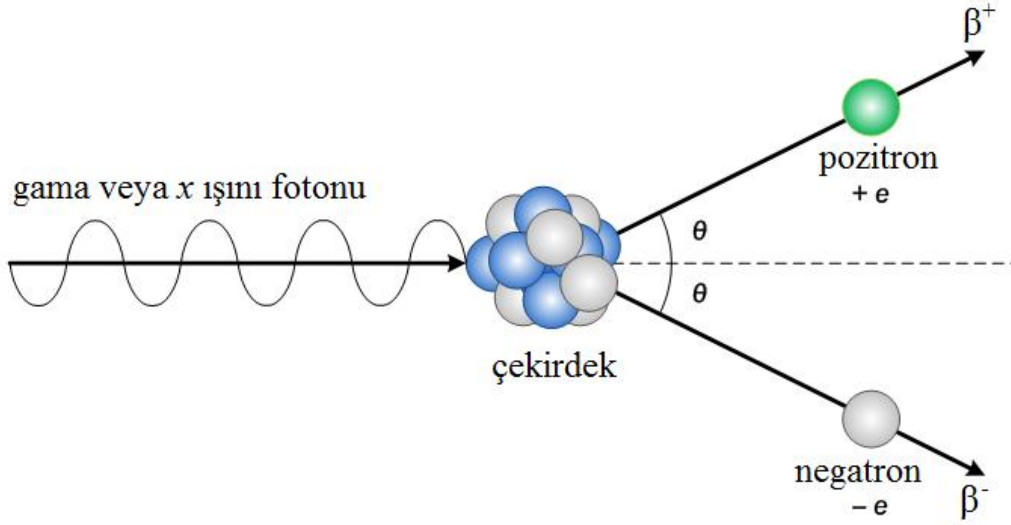
Şekil 2.3 : Compton saçılmasının şematik gösterimi (Url-4, 2014)

Burada saçılan foton ile saçılan elektronun enerjileri toplamı, gelen fotonun enerjisi ile durgun elektronun enerjilerinin toplamına eşittir. Compton olayı tam anlamıyla foton-elektron etkileşmesine bağlıdır. Compton olayında meydana gelen saçılmada ortaya çıkan saçılmış foton enerjileri, gelen fotonun enerjisinden daha düşüktür (Martin, 2006).

2.3.3 Çift oluşumu

Bir foton, yüklü parçacıkların elektrik alanına girdiği zaman çift oluşumu olayı meydana gelir. Bu olay genellikle yüksek enerjili bir fotonun (gama ışını), atom çekirdeğinin yakınından geçerken meydana gelebilir. Çift oluşumu olayında foton, enerjisinin tamamını bırakarak gözden kaybolur. Bu esnada biri negatif (negatron), diğeri pozitif (pozitron) yüklü iki parçacık salınır (Şekil 2.4). Negatif yüklü parçacık enerjisi tükenene kadar çeşitli çarpışmalar yapar. Pozitif yüklü parçacık ilk karşılaştığı atomun bir orbital elektronuna çarparak yok olur. Bu olayda enerjileri 511 keV olan ve birbirleriyle 180° açı yapan zıt doğrultuda iki tane anihilasyon fotonu

meydana gelir. Çift oluşumu olayının meydana gelebilmesi için gelen fotonun enerjisi en az 1022 keV (2×511 keV) olmalıdır (Martin, 2006).



Şekil 2.4 : Çift oluşumunun şematik gösterimi (Url-5, 2014)

Çift oluşumu olayı Pozitron Emisyon Tomografisi (PET)'nin fiziksel temelini oluşturmaktadır. Enerjileri 511 keV olan anihilasyon fotonları PET dedektörleri ile görüntülenir. Bu olayın nükleer tıp açısından son yıllarda önemi artmıştır.

2.3.4 Rayleigh saçılması (kohorent saçılma)

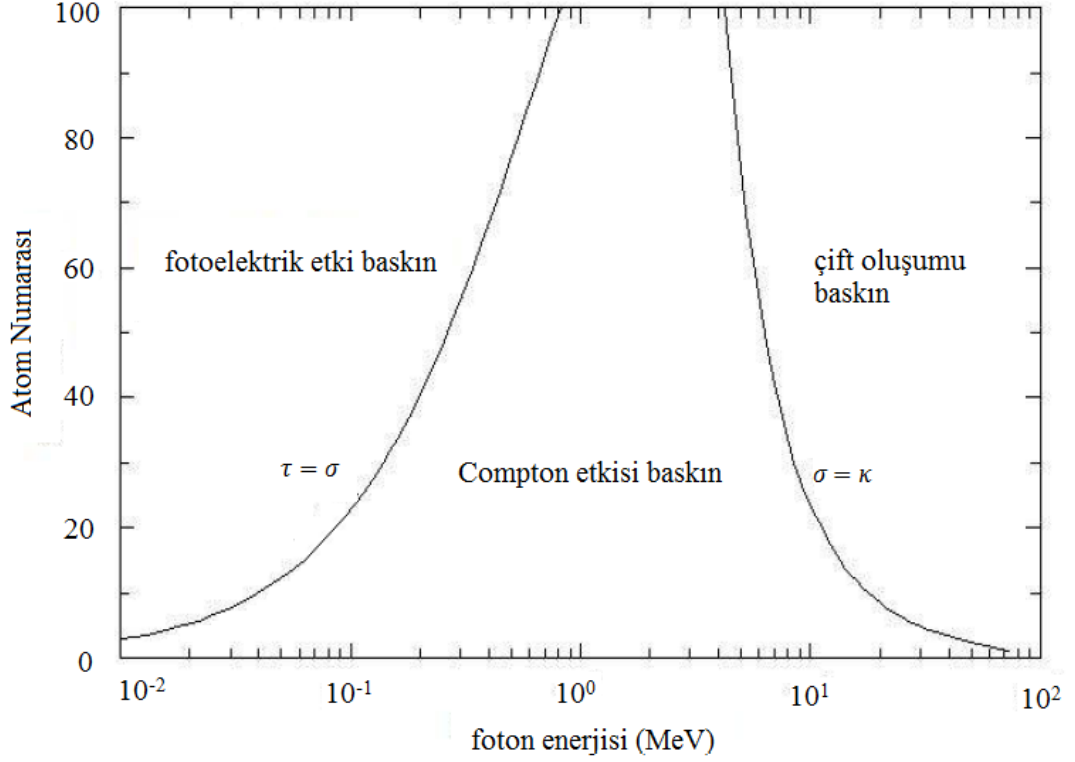
Bu olayda foton atomun bir yörünge elektronu ile etkileşir. Rayleigh saçılması “kohorent saçılma” olarak da anılır. Bunun nedeni, fotonun atomla beraber ortak hareket etmesidir. Bu etkileşimin elastik olması nedeniyle foton enerjisinden bir şey kaybetmez. Atom ise momentumunu koruyacak kadar saçılır. Foton bu etkileşimle beraber çok küçük bir açı ile saçıldığı için saçılma açısı dar bir ışın geometrisinde fark edilebilir. Rayleigh saçılması, yüklü bir parçacığa enerji vermediği gibi iyonizasyona veya uyardırmaya da sebep olmaz.

2.3.5 Fotonükleer etkileşimler

Fotonükleer etkileşimde, enerjisi birkaç MeV'i aşan bir foton çekirdek tarafından soğurularak çekirdeğin bir proton veya nötron yaymasına neden olur. Rayleigh saçılmasında da olduğu gibi fotonükleer etkileşimlerin meydana gelme olasılığı diğer foton etkileşimlerinden daha azdır.

2.4 Foton Zayıflatma Katsayıları

Gama ve X-ışınlarının zırhlanması söz konusu olduğu zaman malzemeye gelen fotonların malzeme atomları ile hangi etkileşime (Fotoelektrik olay, Compton saçılma veya çift üretimi gibi) girdiği önemlidir. Bu ise fotonların sahip olduğu enerjiye ve malzemeyi oluşturan atomların atom numarasına bağlıdır (Şekil 2.5).



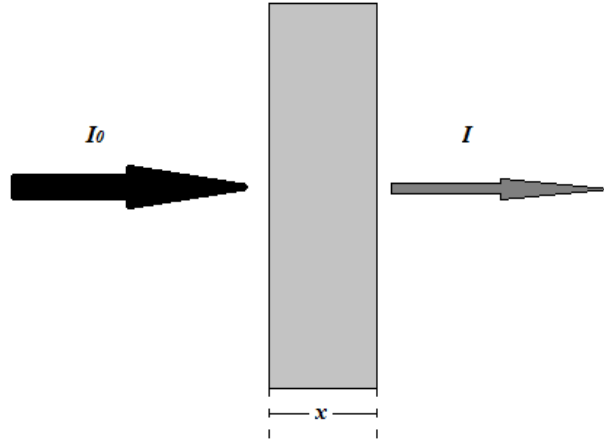
Şekil 2.5 : Gama enerjisine göre üç etkileşimin baskın olduğu aralıklar

Bir fotonun birim mesafede malzeme atomları ile herhangi bir etkileşim geçirme olasılığı "lineer zayıflatma katsayısı" olarak tanımlanır ve μ ile gösterilir. Birimi cm^{-1} dir. Burada lineer zayıflatma katsayısı toplam zayıflatma katsayısıdır ki üç farklı etkileşimin herbirinin lineer zayıflatma katsayıları toplamına eşittir. Bunlar fotoelektrik etki, compton etkisi ve çift oluşumu için sırasıyla τ, σ, κ sembolleriyle ifade edilir (Hubble, 1982).

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.1)$$

Lineer zayıflama katsayısı foton enerjisine, malzeme tipine ve fiziksel malzeme yoğunluğuna göre değişir. Gama radyasyonu madde içerisinden geçerken Bölüm 2.3 te tarif edilen etkileşim mekanizmaları aracılığıyla soğurulma ve saçılmalara

uğrayarak zayıflar (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Gelen radyasyon şiddetinin malzeme tarafından zayıflatılması

Gelen radyasyonun şiddeti maddede aldığı yol boyunca azalır. Radyasyon şiddetindeki bu düşüş dar demet geometrisi (iyi geometri olarak ta adlandırılmaktadır) koşullarında ekponansiyel olarak Lambert-Beer Kanunu ile ifade edilir (Denklem 2.2).

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.2)$$

Burada I , x kalınlığındaki malzemeden çıktıktan sonraki radyasyon şiddeti, I_0 malzemeye gelen radyasyon şiddeti, μ lineer zayıflama katsayısı (fotoelektrik etki, Compton etkisi ve çift oluşumu mekanizmalarının zayıflatma katsayıları toplamı) dır.

Dar demet geometrisinde radyoaktif kaynaktan çıkan gama ışınları bir kolimatör yardımı ile ince bir hüzme haline getirilerek malzeme üzerine düşürülür. Malzemede saçılmalara uğrayan fotonların dedektöre ulaşmaması dedektörün önüne yerleştirilen bir başka kolimatörle sağlanır.

Lineer zayıflatma katsayısının kullanımı, malzemenin yoğunluk değişiminden çok etkilendiği için sınırlıdır. Bu nedenle lineer zayıflatma katsayısının (μ) yoğunluğa (ρ) oranı olan kütle zayıflatma katsayısı (μ_m) tanımlanır ve kullanımı daha yaygındır. Dolayısıyla kütle zayıflatma katsayısı

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

denklemiyle verilir.

Ayrıca zırlama malzemesinin lineer enerji katsayılarını yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL) cinsinden ifade etmek faydalıdır. Yarı değer kalınlık malzemenin gelen radyasyon şiddetini yarıya düşürmesi için, onda bir değer kalınlık ise gelen radyasyon şiddetini onda birine düşürmesi için gerekli kalınlıktır. Yarı değer kalınlığı bulmak için Denklem 2.2 de I değeri $I_0/2$ alınarak ve onda bir değer kalınlığını elde etmek için aynı denklemde I değeri $I_0/10$ alınarak sırasıyla Denklem 2.4 ve Denklem 2.5 elde edilir (Martin, 2006).

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2.4)$$

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (2.5)$$

Litaratürde yaygın olarak kullanılan zırlama malzemelerinin yarıdeğer ve onda bir değer kalınlıklarının çizelgeleri mevcut olup bu çizelgeler uygulamada kolaylık sağlamaktadır.

2.5 Radyasyondan Korunma Prensipleri

Tüm iyonize radyasyon türleri için uygulanan radyasyondan korunmanın üç temel prensibi, zaman, mesafe ve zırlamadır. Radyasyonla çalışanların çalışma süreleri, kaynaktan ne kadar uzaklıkta çalışmaları gerektiği ve/veya hangi zırh altında çalışmalarının uygun olacağına karar verilirken bu prensipler göz önünde bulundurulur (Altınsoy ve Baydoğan, 2012).

2.5.1 Zaman

Maruz kalınan radyasyon miktarı kişinin radyasyon kaynağı yakınında geçirdiği zamanla doğru orantılıdır. Gama ve X-ışınlarının daha etkin olduğu dış ışınlamalarda radyasyona maruz kalınan zaman azaltılarak kişinin radyasyona maruziyeti azaltılmış olur. (Altınsoy ve Baydoğan, 2012).

2.5.2 Uzaklık

Radyasyon kaynağı ile çalışılırken bir diğer önemli husus da çalışanın radyasyon kaynağına olan uzaklığıdır. Çalışma radyasyon kaynağına ne kadar yakın yapılırsa maruz kalınacak radyasyon miktarı o kadar artar. Özellikle gama kaynakları ile yapılan çalışmalarda uzaklığın önemi alfa ve beta kaynaklarına göre daha fazladır, çünkü alfa ve betaların menzilleri gamalara oranla çok daha kısadır. Kural olarak, maruz kalınan radyasyon miktarı radyasyon kaynağına olan uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Örneğin; kaynakla olan mesafe iki katına çıkarılırsa maruz kalınacak radyasyon miktarı dört kat azalır. Ayrıca kaynağa olan uzaklığın artmasıyla gama ışınlarının enerjisinin azalma olasılığı artar (Altınsoy ve Baydoğan, 2012).

2.5.3 Zırhlama

Üçüncü önemli radyasyondan korunma prensibi olan zırhlamada radyasyon kaynağı ile çalışan bir kişi eğer kaynakla kendisi arasına havadan daha yoğun bir malzeme koyarsa maruz kalacağı radyasyon miktarında azalma olur. Zırhlama genel olarak radyasyon kaynağı ile radyasyona maruz kalan kişi arasına bir zırhlama malzemesi konması ve bu malzemenin radyasyonu soğurması esasına dayanır. Malzemenin kalınlığı, cinsi, yoğunluğu ayrıca radyasyonun türü ve enerjisi zırhlamada etkin rol oynar.

Gerekli olan zırh kalınlığı farklı radyasyon türlerine ve bunların sahip olduğu enerjiye bağlıdır. Alfa radyasyonu için kağıt gibi ince hafif bir malzeme veya insan derisinin ölü tabakası yeterli bir zırhlama sağlar. Fakat iç ışınlanma söz konusu olduğunda canlı dokular alfa radyasyonuna karşı yeterli bir zırhlama sağlamaz. Beta radyasyonunda ise biraz daha kalın bir zırha ihtiyaç vardır. Beta parçacıklarının soğurulması için cam ve plastik gibi malzemeler yeterli olmaktadır. Fakat beta zırhlamasında kurşun gibi atom numarası büyük elementler kullanmak sakıncalıdır. Bunu nedeni, beta parçacıklarının atomun çekirdeğinin yakınından geçerken elektriksel çekim kuvvetinin etkisiyle frenleme (bremsstrahlung) radyasyonu denilen bir tür elektromanyetik radyasyon meydana gelmesidir.

Gama radyasyonunun zırhlaması için çelik, kurşun, tungsten ve seyreltilmiş uranyum gibi yüksek yoğunluklu malzemeler gereklidir. Malzemenin yoğunluğu arttıkça gama radyasyonunun bu malzeme tarafından zayıflatılması da artar. Aynı şekilde zırh kalınlığının artması da aynı etkiyi yaratır. Ayrıca gama ışınlarının

enerjisi de burada etkin rol oynar. Gama ışınlarının sahip olduğu enerji, zırh malzemesiyle etkileşim türünü (Bölüm 2.3) belirlemektedir. Gama radyasyon şiddetinin malzeme tarafından zayıflatılması zırh kalınlığına ve lineer zayıflatma katsayısına bağılıdır (Denklem 2.2) (Altınsoy ve Baydoğan, 2012).

3. YAPI MALZEMELERİ

3.1 Beton

Beton, günümüzde en çok kullanılan inşaat malzemelerinden biridir. Ekonomik olması bileşenlerinin doğada bol miktarda bulunabilmesi dayanımı ve dayanıklılığı, yangına karşı direncinin, işlenebilirliğinin yüksek, maliyetinin düşük olması üretiminde az enerji gereksinimi duyulması gibi mühendislik özelliklerine sahip olması betonu alternatifsiz yapı elemanı yapmaktadır. Betonun, maruz kaldığı yüklemeye ve çevre etkilerine karşı hizmet ömrü boyunca fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü koruyabilmesi, dayanımının yüksek olması beklenir. Kalitenin ölçüsü, basınç dayanımına göre değil, ekonomik ömrü boyunca maruz kaldığı etkilere karşı gösterdiği dayanımdır. Betonlar inşaat sektöründe kullanılan çok fazlı kompozit sistem malzemeleridir. Çimento, agrega, mineral ve kimyasal katkıların su ile karıştırılmasıyla meydana gelen geri dönüşümü olmayan kimyasal tepkimeler sonucu beton oluşur. Başlangıçta şekil verilebilen plastik kıvamında olup zamanla çimentonun hidrasyonu ile katılaşarak sertleşerek mukavemet kazanır (Kaplan, 1989).

Çimentonun görevi, su ile reaksiyona girerek agrega tanelerinin çevresini kaplamak, taneler arasındaki boşlukları doldurmak ve birbirine bağlayarak kaynaştırmaktır. Çimentonun bileşenleri kireç taşı (CaCO_3) ve kildir (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3). Çimento TS EN 197-1 standartına göre üretilmektedir. Mineral ve kimyasal katkıları puzolanik reaksiyonları taze ve sertleşmiş beton özelliklerini geliştirmek için eklenir.

Betonun bir diğer bileşeni de agregalardır. Agregalar çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğine (büzülme veya genleşme) karşı betonun dayanım ve dayanıklılığını arttıran malzemelerdir. Agregalar ulusal TS 706 EN 12620 ve uluslararası ASTM C330/C637 standartlarına göre kullanılır. Agregaların çimento ile kimyasal tepkimeye girmemesi gerekir. Aradaki bağlantı fiziksel ve mekanik özellik taşıır. Beton hacmini %60-70 oranında agregalar oluşturmaktadır. Farklı agrega yoğunlukları betonların farklı yoğunluklarda üretilebilmesini sağlar.

Agrega sınıfları kullanımlarına ve yoğunluklarına göre Çizelge 3.1 de verilmektedir (Url-6, 2014).

Çizelge 3.1 : Agregasınıfları, yoğunlukları ve buna bağlı beton yoğunlukları

Sınıf	Yoğunluk (kg/m ³)	Beton Yoğunluğu (kg/m ³)
Ultra hafif	<500	300-1100
Hafif	500-800	1100-1600
Yapısal Hafif	650-1100	1450-1900
Normal	1100-1750	2100-2550
Ağır	>2100	2900-6100

Yaygın olarak kullanılan agrega sınıfları hafif, normal ve ağır agregalardır. Hafif agregalar doğal yada sentetik içerikli hücreli veya gözenekli mikroyapıdaki malzemeler kullanılarak yoğunluğunun 1100 kg/m³ den az olması sağlanır. Hafif agregaların en önemli yönü gözenekli (porozif) yapılarıdır. Ağır agregalar ise yoğunluğu 2080 kg/m³ ile 4485 kg/m³ arasında değişen malzemelerdir. Yoğunluklarının yüksek olması radyasyon zırlamasında da kullanılmalarına neden olmuştur (Baradan ve diğ., 2012).

Betonlar kullanılan agregalara göre hafif, normal ve ağır olarak gruplandırılır. Örneğin ağır betonların fiziksel özellikleri kullanılan ağır agregaya bağlıdır. TS EN 206-1 standartına göre hafif beton, normal beton ve ağır beton tanımları şu şekildedir;

Hafif Beton; etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 800 kg/m³ veya daha büyük olup 2000 kg/m³ ü geçmeyen betondur. Hafif betonda kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı hafif agrega olabilir.

Normal Beton: etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 2000 kg/m³ ten büyük olup 2600 kg/m³ ü geçmeyen betondur.

Ağır Beton: etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 2600 kg/m³ ten büyük olan betondur (TSE, 2002).

Ağır betonların ilk kullanımı kayma eğilimi gösteren ve devrilmeye karşı emniyet gerektiren istinat duvarları, petrol sondaj kuyu çeperleri, sığınak yapıları gibi özel yapılar için olmuştur. Nükleer enerjinin gelişmesiyle onkoloji hastanelerinin ışın

tedavi ve radyografi tesisleri, nükleer enerji santrallerinin koruyucu perdeleri, radyoaktif maddelerin saklandığı ön gerilmeli beton reaktör siloları, elektron depolama devreleri gibi nükleer teknolojiden yararlanan tesislerde özellikle nötron ve gama ışınları gibi, cisimlerin içine nüfuz etme yetenekleri yüksek olan ışınlarla karşı zırh oluşturma zorunluluğu ağır betonların önemini arttırmıştır. Kullanılan agregaların birim kütlelerinin geleneksel agregaların (normal betonlarda kullanılan agregalar) birim kütlelerine göre daha büyük oluşu, ağır betonların radyasyona karşı zırh etkinliklerini arttırmıştır (Baradan ve diğ., 2012).

Ağır beton üretiminde genellikle barit, limonit, magnetit, hematit, ilmenit, viterit, geotit gibi doğal agregalar ile demir saçmaları, kurşun parçacıkları, ferrosilikon, ferrofosfor gibi yapay agregalar kullanılmaktadır. Ayrıca bor minerali de bu amaçla kullanılmaktadır. Baryum sülfat esaslı barit minerali stabil olması nedeniyle betonun birim ağırlığını 3600 kg/m^3 e kadar çıkaran en yaygın kullanılan ağır agregadır. Demir, kurşun parçacıkları ve diğer agregalarla iki ve daha fazla agrega kullanılarak üretilen ağır betonların birim ağırlıkları $5500\text{-}6500 \text{ kg/m}^3$ e kadar yükseltilebilir (Baradan ve diğ., 2012).

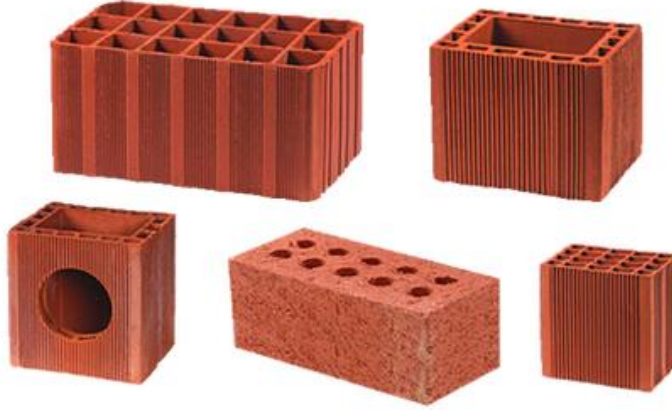
3.2 Tuğla

Tuğla ikamete mahsus olan ya da olmayan yapılarda kullanılan yaygın ve en eski dönem yapı malzemesidir. Tuğlalar kum, kil, çimento, uçucu kül, kırmızı çamur, kireç taşı, alçı taşı gibi malzemelerden yapılmaktadır. Bu ham maddelerle hazırlanan pasta şekillendirilerek kurutma işleminden sonra pişirilir. Ham maddelerin homojen formlara getirilmesi tuğla hamurunun işlenebilirlik özelliği kazanması için önemlidir.

Teknolojinin ilerlemesiyle farklı şekillendirme, kurutma ve pişirme yöntemleriyle tuğlanın kalitesi arttırılmıştır. Fırın atmosferinin kimyasal bileşimi ısıtma/soğutma hızı, kimyasal morfolojisi tuğla bünyesindeki gözeneklerin oluşumunu etkileyen faktörlerdir. Bu gözenekli yapı tuğlanın yoğunluğunu etkiler. Pişmiş kül ürünü olan tuğla için sektörde kullanılan standartlar ulusal TS EN 771-1 ve uluslararası ASTM C 212, ASTM C 62, ASTM C 34 standartlarıdır. Çizelge 3.2 de farklı tuğla çeşitlerinin TS standartlarında yer alan yoğunlukları verilmektedir (TSE, 2005). Şekil 3.1'de çeşitli tuğla örnekleri görülmektedir.

Çizelge 3.2 : TS EN 771-1 standardına göre tuğla yoğunlukları

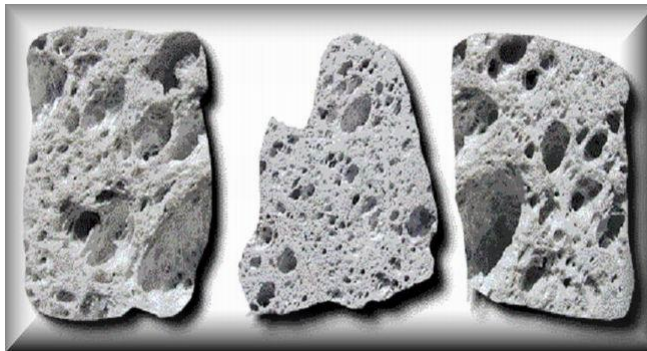
Tuğla Sınıfı	Yoğunluk (kg/m ³)
1.0	901 – 1000
0.9	801 – 900
0.8	701 – 800
0.7	601 – 700
0.6	501 – 600



Şekil 3.1 : Çeşitli tuğlalar.

3.3 Bims Blok

Bims bloklar ismini, ihtiva ettiği doğal ve volkanik bir taş olan bims taşından (veya pomza taşı) almaktadır (Şekil 3.2). Bims taşı boşluklu süngerimsi bir yapıya sahip olup hafif agrega sınıfına girer. Sahip olduğu camsı volkanik yapı bims taşı fiziksel ve kimyasal etkilere dayanıklı, ısı ve ses yalıtımı kabiliyeti yüksek, yüksek sıcaklıklara dayanıklı kılabilir (Bims Sanayicileri Derneği, 2012).



Şekil 3.2 : Bims taşı veya pomza taşı

Bims bloklar dikdörtgen biçimli, içerisinde hava boşlukları olan yapı malzemeleridir (Şekil 3.3). Bims bloklar kalıba dökülmüş betondan imal edilmektedirler. Yüksek yoğunluklu bims bloklar için dökme beton genellikle çimento, çakıl ve kum ihtiva

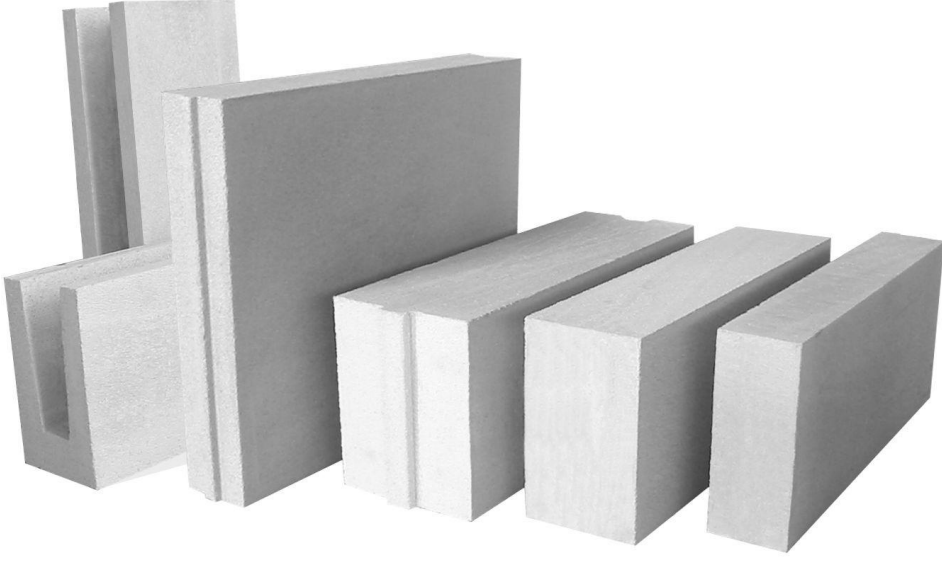
eder. Daha düşük yoğunluklu bims bloklar elde etmek için endüstriyel atıklar veya gazbeton agrega olarak kullanılır (Sarışık ve Sarışık, 2010).



Şekil 3.3 : Çeşitli bims bloklar

3.4 Gazbeton

Hacminin % 84 ü hava gözeneklerinden oluşan gaz betonun ağırlığı diğer yapı malzemelerine kıyasla daha düşüktür. Gaz betonunun yapısında ince silisli kuvars kumu (kuvarsit) veya siliska açısından zengin malzemeler, kalsin alçı ve bağlayıcı madde olarak kireç, çimento ve su kullanılır. Gözenekli yapının oluşumu için hacminin %0.05-0.1 oranında alüminyum tozu kullanılır. Alüminyum tozları $CaHO_3$ ve su ile tepkimeye girerek hidrojen gazı açığa çıkarır. Hidrojen gazı baloncukları gaz betonun içerisinde mikrometre mertebelerinden 3mm çapına kadar ulaşabilen gözeneklerin oluşmasına sebep olur. Bu baloncuklar kalıplardaki gazbeton karışımının hacmini iki katına çıkararak gazbetonun yoğunluğunu düşürür. Gözenekli yapıyı meydana getiren hidrojen gazları daha sonra yerini havaya bırakır. Kabarma ve sertleşme tamamlandıktan sonra otoklavda yüksek sıcaklık ve basınçlı buhar kullanılarak hidrasyon hızlandırılır. Gaz betonun direnç, sağlamlık ve boyutsal kararlılığını kazanması hidrasyon prosesi ile tamamlanmış olur. Gaz betonun özellikleri TS 453 Gaz ve Köpükbeton Yapı Malzeme Elemanları adlı standart ile tanımlanmıştır (Türkiye Gazbeton Üreticileri Birliği, 2009). Şekil 3.4'de çeşitli gazbeton örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.4 : Gazbeton örnekleri

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında Bölüm 3 te tanıtılan yapı malzemelerinin farklı enerjilerdeki gamma radyasyonu karşısındaki davranışının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla önce bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimini veren grafikler elde edilmiş ve bu grafiklerden yararlanılarak lineer zayıflatma katsayıları belirlenmiştir. Daha sonra malzemelerin yoğunlukları göz önünde bulundurularak kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar gama geçirgenlik tekniği çerçevesinde dar demet koşulları sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yanı sıra, incelenen yapı malzemelerinin kütle zayıflatma katsayıları XCOM bilgisayar programı kullanılarak da hesaplanmıştır. Bu amaçla önce yapı malzemelerinin kimyasal içerikleri XRF analiz yöntemi ile tayin edilmiş ve XCOM bilgisayar programında bu analiz sonuçlarından yararlanılmıştır. Deneysel ve hesaplamalı yöntemle bulunan sonuçlar mukayeseli olarak değerlendirilmiştir.

4.1 Deneyde Kullanılan Yapı Malzemeleri

Çalışmamızda Türkiye’de yaygın kullanımı olan yapı malzemeleri arasında yer alan beton, tuğla, bims blok ve gaz beton malzemeleri incelenmiştir. Üretici firmalardan temin edilen yapı malzemeleri Şekil 4.1’de bir arada görülmektedir.

Her bir malzeme için farklı kalınlıklar kullanılmıştır. Bu kalınlıklar Çizelge 4.1 de verilmektedir. Deneyde malzemeler yapılarda kullanıldığı ölçüleriyle çalışılmıştır.

Çizelge 4.1 : Deneyde kullanılan yapı malzemelerinin kalınlıkları (cm).

Beton	Tuğla	Bims Blok	Gaz Beton
8.6	3.0	9.8	8.4
10.3	2.3	14.4	9.9
14.5	5.4	19.2	13.4
		24.8	14.9



Şekil 4.1 : Denede kullanılan yapı malzemeleri

4.1.1 Malzemelerin kimyasal analizi

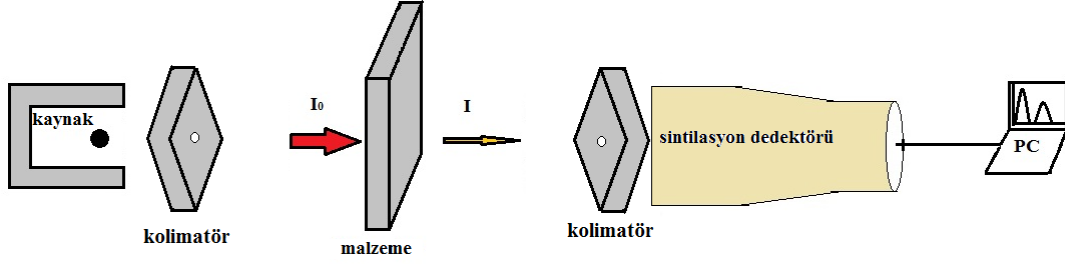
Kimyasal analiz Aslan Çimento şirketinin, Kocaeli fabrikasında yapılmıştır. Analiz XRF yöntemi ile yapılmış olup, numuneler 900°C de 40dk bekletilerek nemi alınmıştır. Kullanılan dört farklı yapı malzemesinin kimyasal içerikleri Çizelge 4.2 de verilmektedir. Analiz sonucunda görülen kızdırma kaybı numunelerdeki nem ve organik bileşiklerin ısı işlem sonucu bozunmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.2 : Yapı Malzemelerinin Kimyasal İçeriği

Bileşik	Beton (%)	Tuğla (%)	Bims Blok (%)	Gaz Beton (%)
SiO ₂	20.41	64.28	46.43	54.03
Al ₂ O ₃	2.37	15.34	8.76	4.12
Fe ₂ O ₃	1.70	6.96	2.21	1.20
CaO	36.43	1.74	15.45	22.42
MgO	4.48	2.10	1.65	0.78
SO ₃	0.73	0.33	0.54	1.60
K ₂ O	0.99	6.34	6.72	2.91
Na ₂ O	0.10	0.36	1.11	0.10
TiO ₂	0.11	0.87	0.17	0.14
P ₂ O ₅	0.05	0.13	0.04	0.04
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02	0.01	0.01
MnO	0.05	0.12	0.07	0.02
ZnO	0.01	0.02	0.01	0.01
SrO	0.03	0.03	0.03	0.03
BaO	0.08	0.12	0.06	0.02
Kızdırma Kaybı	32.46	1.22	16.74	12.58
Tayin Edilemeyen	0.01	0.00	-0.01	0.00

4.2 Deney Düzenegi

Bu çalışmada iyi geometri olarak da adlandırılan dar demet geometrisi oluşturularak gama geçirgenlik tekniği kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan deney düzeneginin şematik gösterimi Şekil 4.2’de fotoğrafı ise Şekil 4.3’de verilmektedir.



Şekil 4.2 : Deney Düzeneginin Şematik Görünümü



Şekil 4.3 : Deney düzeneginin fotoğrafı

Deney düzenegi, radyasyon kaynağı, kolimatörler, sintilasyon dedektörü ve bununla bağlantılı sayım ünitesinden oluşmaktadır. Deney düzeneginde biri radyoaktif kaynaktan çıkan ışınların kolimasyonunu sağlamak diğeri ise saçılan radyasyonun dedektöre ulaşmasını engellemek üzere 7 mm çapında iki adet kolimatör bulunmaktadır. Deneylerde dedektör kaynak arası mesafe ile dedektör malzeme arası uzaklık sabittir.

4.3 Deneyde Kullanılan Radyoaktif Kaynaklar

Deneyde iki adet radyoizotop kullanılmıştır. Bunlar, bozunduğunda 662 keV enerjili gama fotonları yayan Cs-137 radyoizotopu ve 1173 keV ile 1332 keV olmak üzere iki farklı enerjiye sahip gama fotonları yayan Co-60 radyoizotopudur. Deneyin

yapıldığı tarihte Co-60 radyoizotopunun aktivitesi 6.16 MBq (166 μ Ci), Cs-137 radyoizotopunun aktivitesi ise 115MBq (3,12 mCi) dir. Kullanılan kaynakların özellikleri Çizelge 4.3’de, fotoğrafları ise Şekil 4.4’de verilmektedir.

Çizelge 4.3 : Co-60 ve Cs-137 Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü (yıl)	Enerjisi (MeV)	Deney Tarihindeki Aktivite (MBq)
Cs-137	30,1	0,662	115
Co-60	5,23	1,17 1,33	6,16



Şekil 4.4 : Deneyde Kullanılan Co-60/Cs-137 radyoizotopu

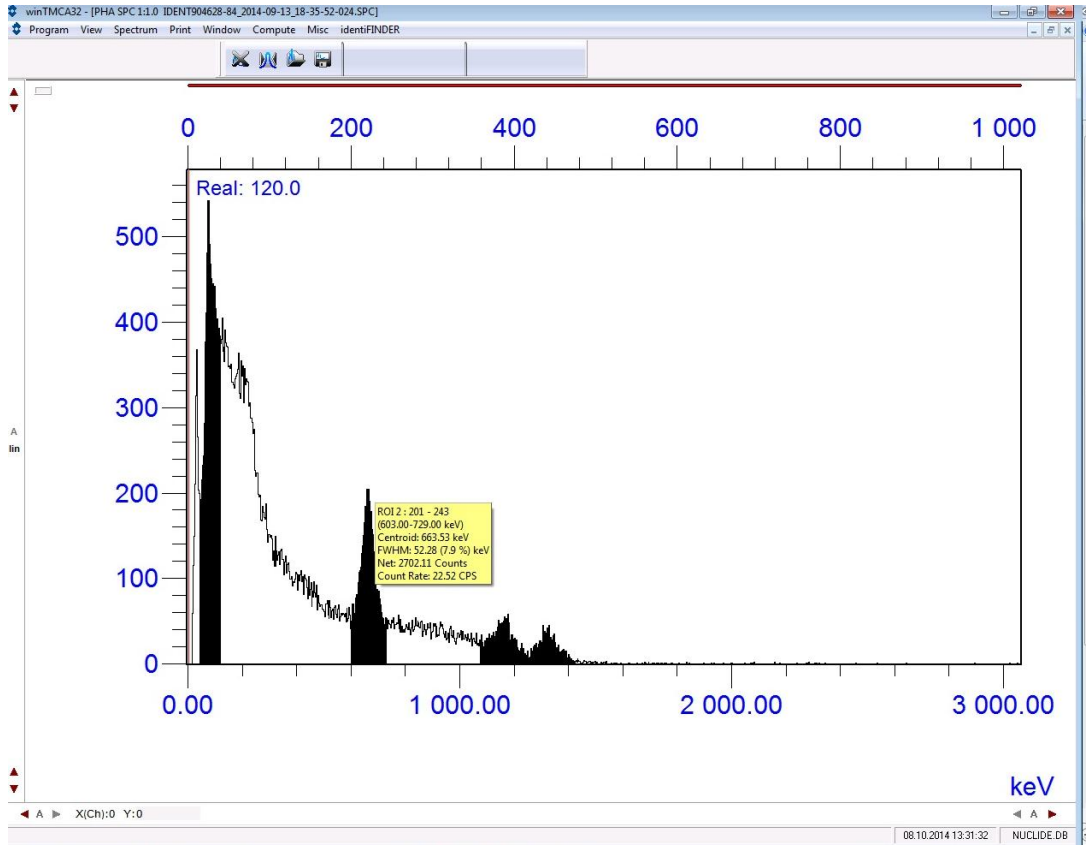
4.4 Dedektör

Deneyde kullanılan sintilasyon dedektörü portatif bir cihaz olup saha uygulamaları için üretilmiş bir cihazdır (Şekil 4.5). Cihazın doz hızı ölçüm özelliğinin yanında, radyoizotop tanımlama ve kayıp radyoaktif kaynakları bulma özelliği de mevcuttur.



Şekil 4.5 : Sintilasyon Dedektörünün Görüntüsü

Tanımlama özelliği kullanılırken cihazın ekranından spektrumu görüntülemek mümkün olmaktadır. Ayrıca bir bilgisayara bağlandığında kaydedilen spektrumlar bilgisayar ortamına da aktarılabilir. Cihazın kendine ait bilgisayar programları olup bu programlar yardımıyla, cihaza kaydedilen spektrumlar bilgisayara aktarılıp görüntülenebilir. Deneylerde cihazın bu özelliğinden faydalanılmıştır. Her bir ölçüme ait spektrum teker teker kaydedilip bilgisayar ortamına aktarılmış, daha sonra bu spektrumların okuması yapılmıştır. Elde edilen spektrumlara bir örnek Şekil 4.6 da verilmiştir. Cihaza ait teknik detaylar Çizelge 4.4 de yer almaktadır.



Şekil 4.6 : Örnek spektrum görüntüsü

Çizelge 4.4 : Deneyde kullanılan “Identifinder UW” cihazının genel özellikleri

Dedektörler

Gamma NaI	Kristal boyutları 35mm x51mm
Neutron ^3He	^3He orantılı sayaç tüpü 15mmx54mm; 8atm
Gamma (yüksek doz hızı)	Geiger-Müller dedektörü

Performans

Çizelge 4.4 (devam): Deneyde kullanılan “Identifinder UW” cihazının genel özellikleri

Gama Enerji aralığı	20 keV – 3MeV
Verimlilik	>150kcps
Sayım hızı girdisi	300kcps
¹³⁷ Cs hassasiyeti	>500 cps / μ Sv/sa
Düzeltilmeler	Gama Spektrumunun çevrimiçi doğrusallaştırması
Önayarlar	Kullanıcı tarafından 30 s uzatabilme
Spektral data depolama	100 spektra
Gama spectrum	1024 kanal; 3MeV
Doz hızı aralığı	0.01 μ Sv/sa- 10.0 mS/sa
Doz aralığı	0,000 mSv – 1000mSv
Nötron hassasiyeti	2,6 cps/nv
Stabilizasyon	Kalibrasyon kaynağı, LED; \pm 1% sıcaklık değişimi için
Nüklit tanımlama	ANSI N42.34
Tipik ayırma duyarlılığı (rezolüsyon)	\leq 8 % 662 keV’ de
Fiziksel	
Boyut	270 mm x 93,5 mm x 82mm
Muhafaza malzemesi	Alüminyum
Ağırlık	1400 gr., bataryalar ve sintilasyon dedektörü dahil
Çevresel	
Çalışma sıcaklığı	-20 °C – +55 °C
Depolama sıcaklığı	+10 °C – +55 °C
Bağıl nemlilik	\leq 100%
Sarsılma	ANSI N42.34
Koruma oranı	98 kPa; 10 m su derinliği
Pil	
Tip	4 x 2200 mAsa 1.2 V LSD NiMh şarj edilebilir
Kapasite	2200 mAsa; 4.8 V
Çalışma süresi	\geq 8 sa doz hızı modunda ve ekran ışığı kapalı
Şarj olma süresi	\leq 4 sa hızlı şarj durumunda

Çizelge 4.4 (devam): Deneyde kullanılan “Identifinder UW” cihazının genel özellikleri

Sükunet akımı	16.5 μ A
Ekran	
Tip	LCD tek renkli
Çözünürlük	68mm; 128 piksel x 64 piksel
Uyarı Sinyalleri	
Nötron alarmı	Mavi LED, ön
Gama alarmı	Kırmızı LED, ön
Şarj	Bal rengi LED, arka
Dış güç bağlantısı	Yeşil LED, arka
Girdi / Çıktı	
DC güç/sarj	9V 2A dc çıkışı
Standartlar	
ANSI N42.34	Elle taşınabilir, Radyonüklit tanımlama ve dedeksiyon cihazları için performans kriteri
IEC 60529	Muhafazaların sağladığı koruma dereceleri
UL 61010-1, bölüm 1	Ölçüm, control ve labaratuvar kullanımı için elektrikli cihazlar için güvenlik gereklilikleri
EMC – Yönerge 2004/108/EC	Elektromanyetik uyumla ilgili düzenlemeler

4.5 Deneyin Yapılışı

Deney Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Düşük Düzeyli Radyoaktif Atık Yönetimi Biriminde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği ve malzemeler hazır hale getirildikten sonra ortamın radyasyon sayımı malzemeler ve radyasyon kaynaklarının varlığı olmadan beş defa alınmıştır. Cihazın kendi bünyesinde otomatik kalibrasyon yapmak için bir adet 111 Bq (3 mCi) aktiviteli ¹³⁷Cs kaynağı bulunmaktadır. Dolayısıyla ortam radyasyonu sayımlarında ¹³⁷Cs pikleri gözlemlenmiş olup bu piklerin neden olduğu fazla sayım deney sayımlarından düşülmüştür. Her bir radyasyon kaynağı için farklı ölçüm süreleri kullanıldığından ortam radyasyon sayımları 60 saniye ve 120 saniye olmak üzere tekrarlanmıştır.

Sayım sürelerinin farklılığı radyasyon kaynaklarının aktivite farklılığından kaynaklanmıştır (Çizelge 4.5). Daha sonra dedektör kaynak arasında malzeme olmaksızın sadece kaynaklarla ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler zayıflatılmamış radyasyon şiddeti değerini (I_0) vermiştir.

Çizelge 4.5 : Sayım Süreleri

Gama Radyoizotop Kaynağı	Aktivite (MBq)	Sayım Süresi (s)
Cs-137	115	60
Co-60	6.16	120

Her malzemede her bir kalınlık ve 3 farklı enerji için ayrı ayrı ölçümler alınarak malzeme tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddeti değerlerine (I) ulaşılmıştır. Her bir kalınlık ve enerji için alınan ölçümler dokuz defa tekrarlanmıştır (örneğin beton malzemenin 14.5 cm kalınlığından 662 keV enerjili gama radyasyonu için ölçümler dokuz defa alınmıştır).

Cihaza kaydedilen spektumlar bilgisayara aktarılıp burada okumaları yapılmıştır. Piklerin altında kalan alan program tarafından otomatik olarak hesaplanmakta ve toplam net sayımı vermektedir (Şekil 4.6). Ortam radyasyonu miktarı elde edilen tüm sayımlardan düşülmüştür.

Deney düzeneğinde her malzeme kalınlığında alınan sayımlar, kaynak dedektör arasında malzeme olmadan alınan başlangıç sayımlarına oranlanarak bağıl sayım sonuçlarına ulaşılmıştır (I/I_0). Daha sonra bağıl sayım sonuçlarının malzemenin kalınlığına göre değişimini gösteren grafikler Origin Pro 8 isimli bilgisayar programı ile çizilmiştir.

Bağıl sayımın (I/I_0) kalınlıkla değişim grafiği eksponansiyel olarak çizilerek lineer zayıflatma katsayısının değerine ulaşılmıştır (Büyük ve Tuğrul, 2014). Elde edilen lineer zayıflatma katsayılarının enerji ile değişimi de incelenmiştir.

4.6 XCOM Analizi

XCOM bilgisayar programı, atom numarası 100 den küçük olan herhangi bir element, bileşik veya karışım için compton saçılması, fotoelektrik soğurma ve çift oluşumu için toplam zayıflatma katsayılarını 1 keV-100 GeV aralığında hesaplamaya yardımcı olan bir internet veri tabanıdır (Berger ve diğ, 2010).

4.6.1 XCOM programının uygulaması

Programın giriş sayfasında incelemek istenilen malzemenin seçimi yapılır. Element, bileşik veya karışım olmak üzere üç seçenek mevcuttur (Şekil 4.7). Bu deneyde kullanılan malzemeler karışım sınıfına girmektedir.



Element/Compound/Mixture Selection

In this database, it is possible to obtain photon cross section data for a single element, compound, or mixture (a combination of elements and compounds). Please fill out the following information:

[Help](#)

Identify material by: <input type="radio"/> Element <input type="radio"/> Compound <input checked="" type="radio"/> Mixture
Method of entering additional energies: (optional) <input checked="" type="radio"/> Enter additional energies by hand <input type="radio"/> Additional energies from file (<i>Note: Your browser must be file-upload compatible</i>)



Şekil 4.7 : XCOM programının giriş sayfası

İlgili seçim yapıldıktan sonra çıkan ekranda malzemenin elementel veya bileşik olarak dökümü yazılır. Burada malzemenin ihtiva ettiği kimyasal bileşikler (veya elementler) malzemede buldukları yüzde oranları göz önünde bulundurularak girilir. Ayrıca sonucu talep edilen spesifik enerjiler varsa bu ekrandan elle girilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 0.662 MeV, 1.773 MeV ve 1.332 MeV enerjilerine bakılmıştır (Şekil 4.8). Ayrıca enerji aralığını daraltma imkanı sunan programda 0.001 MeV den 100000 MeV e kadar istenilen her enerji aralığında sonuç alınmaktadır. Bu çalışmada 0.6 MeV ile 6 MeV aralığında sonuçlar alınmıştır (Şekil 4.9). Şekil 4.9 incelendiğinde elle girilen enerjilerin farklı bir renkle işaretlendiği görülmektedir.

Fill out the form to select the data to be displayed:

[Help](#)

Enter the formulae and relative weights separated by a space for each compound. One compound per line. For example:
H2O 0.9
NaCl 0.1

Note: Weights not summing to 1 will be normalized.

SiO2 0.6428
Al2O3 0.1534
Fe2O3 0.696
CaO 0.0174
MgO 0.021

Optional output title: Tuğla

Graph options:

Total Attenuation with Coherent Scattering
 Total Attenuation without Coherent Scattering
 Coherent Scattering
 Incoherent Scattering
 Photoelectric Absorption
 Pair Production in Nuclear Field
 Pair Production in Electron Field
 None

Additional energies in MeV: (optional) (up to 100 allowed)

Note: Energies must be between 0.001 - 100000 MeV (1 keV - 100 GeV) (only 4 significant figures will be used).
One energy per line. Blank lines will be ignored.

0.662
1.173
1.332

Include the standard grid

Energy Range:

Minimum: 0.001 MeV
Maximum: 100000 MeV

Şekil 4.8 : XCOM programının veri giriş sayfası

Edge	(required) Photon Energy MeV	Scattering		<input type="checkbox"/> Photoelectric Absorption cm ² /g	Pair Production		Total Attenuation	
		<input type="checkbox"/> Coherent cm ² /g	<input type="checkbox"/> Incoherent cm ² /g		<input type="checkbox"/> In Nuclear Field cm ² /g	<input type="checkbox"/> In Electron Field cm ² /g	<input type="checkbox"/> With Coherent Scattering cm ² /g	<input type="checkbox"/> Without Coherent Scattering cm ² /g
		6.000E-01	5.844E-04		7.842E-02	3.951E-04	0.000E+00	0.000E+00
6.620E-01	4.807E-04	7.512E-02	3.102E-04	0.000E+00	0.000E+00	7.591E-02	7.543E-02	
8.000E-01	3.298E-04	6.895E-02	2.012E-04	0.000E+00	0.000E+00	6.948E-02	6.915E-02	
1.000E+00	2.113E-04	6.202E-02	1.251E-04	0.000E+00	0.000E+00	6.236E-02	6.215E-02	
1.022E+00	2.024E-04	6.137E-02	1.187E-04	0.000E+00	0.000E+00	6.169E-02	6.149E-02	
1.173E+00	1.538E-04	5.730E-02	8.980E-05	1.429E-05	0.000E+00	5.756E-02	5.741E-02	
1.250E+00	1.354E-04	5.547E-02	8.030E-05	3.994E-05	0.000E+00	5.573E-02	5.559E-02	
1.332E+00	1.193E-04	5.368E-02	7.170E-05	8.203E-05	0.000E+00	5.395E-02	5.383E-02	
1.500E+00	9.406E-05	5.042E-02	5.793E-05	2.100E-04	0.000E+00	5.078E-02	5.069E-02	
2.000E+00	5.296E-05	4.304E-02	3.576E-05	8.144E-04	0.000E+00	4.394E-02	4.389E-02	
2.044E+00	5.069E-05	4.250E-02	3.454E-05	8.769E-04	0.000E+00	4.347E-02	4.342E-02	
3.000E+00	2.354E-05	3.386E-02	1.944E-05	2.286E-03	1.185E-05	3.620E-02	3.618E-02	
4.000E+00	1.324E-05	2.825E-02	1.310E-05	3.674E-03	4.837E-05	3.200E-02	3.198E-02	
5.000E+00	8.477E-06	2.440E-02	9.814E-06	4.904E-03	9.638E-05	2.941E-02	2.941E-02	
6.000E+00	5.888E-06	2.156E-02	7.821E-06	6.004E-03	1.480E-04	2.773E-02	2.772E-02	

Şekil 4.9 : XCOM programının sonuç sayfası

5. DENEY SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında Bölüm 4'te detayları verilen deney düzeneği kullanılarak Bölüm 3'te tanıtılan dört farklı yapı malzemesinin gama radyasyonunu zayıflatma özellikleri incelenmiştir. Herbir yapı malzemesi için lineer zayıflatma katsayıları, farklı malzeme kalınlıklarından elde edilen bağıl sayım sonuçlarından hareketle belirlenmiş ve enerjiye bağlı değişim grafikleri çizilmiştir. Bir sonraki aşamada, malzeme yoğunlukları kullanılarak elde edilen kütle zayıflatma katsayıları, XCOM bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışılan yapı malzemeleri için, radyasyondan korunmada önemli bir parametre olan yarı kalınlık ve onda bir kalınlık değerleri de tespit edilmiştir.

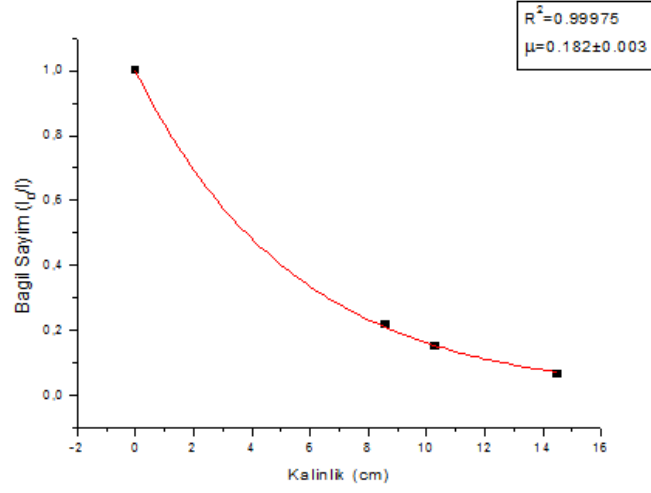
5.1 Ölçüm Sonuçları

Beton, tuğla, bims blok ve gaz beton malzemelerinin farklı kalınlıklarının herbiri için 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV enerji değerlerinde dokuz farklı ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlerin ortalamaları ve standart sapmaları Microsoft Office Excel programı yardımıyla hesaplanmıştır. Sayım sonuçlarından hareketle bağıl sayım değerleri bulunmuştur. Beton, tuğla, bims blok ve gaz beton için elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.1 - Çizelge 5.4'te verilmiştir.

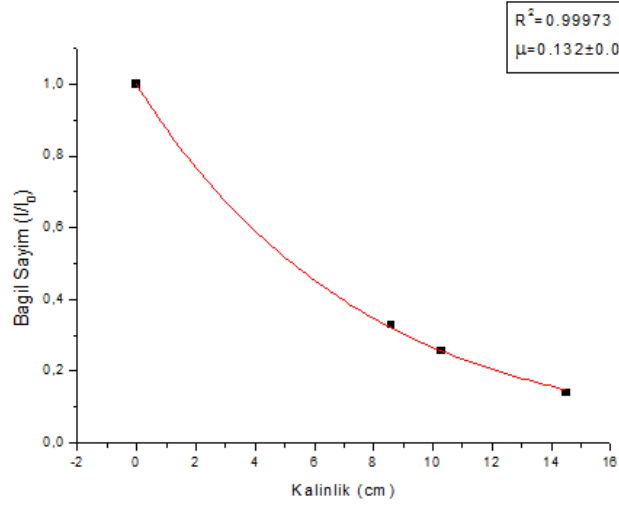
Kullanılan malzemeler için 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV enerjilerinde yapılan deneylerin bağıl sayım sonuçlarının kalınlığa bağlı değişim grafikleri Şekil 5.1- Şekil 5.4 te görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Beton için elde edilen sayım, standart sapma ve bağıl sayım değerleri

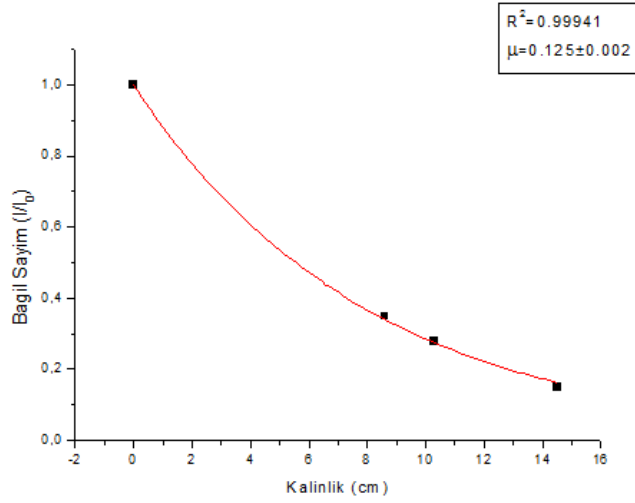
Kalınlık (cm)	Enerji (keV)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	4.sayım	5.sayım	6.sayım	7.sayım	8.sayım	9.sayım	Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
0	662	3264	3270	3267	3265	3274	3263	3282	3281	3289	3273	9.2	1
8.6		710	711	709	707	708	709	708	706	709	709	1.6	0.216
10.3		487	481	494	484	490	493	491	488	490	489	4.1	0.149
14.5		205	207	209	207	207	209	206	207	205	207	1.5	0.063
0		697	687	695	692	686	700	696	702	700	695	695	5.8
8.6	1173	235	225	224	225	226	227	236	226	229	228	4.5	0.328
10.3		181	175	175	176	175	183	180	179	177	178	3.2	0.256
14.5		95	96	96	99	94	96	98	100	96	97	1.8	0.139
0		639	639	647	644	644	645	662	647	649	646	646	7.0
8.6	1332	224	226	229	226	225	225	228	220	225	225	2.5	0.349
10.3		182	176	181	180	179	177	178	186	176	179	3.2	0.278
14.5		96	95	96	96	98	97	96	100	94	96	1.6	0.149



a) 662 keV



b) 1173 keV

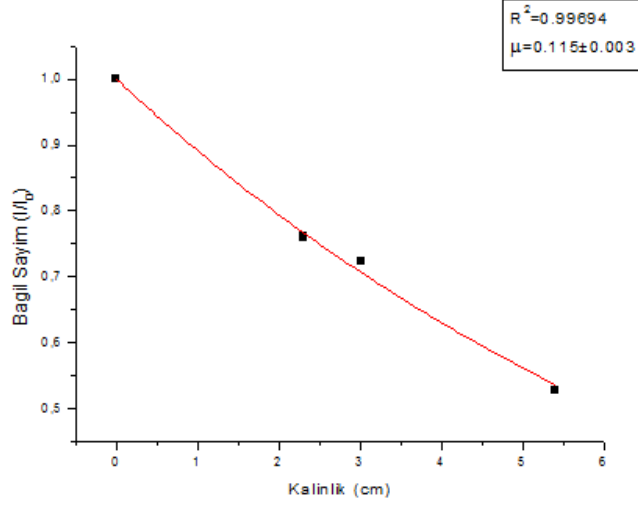


c) 1332 keV

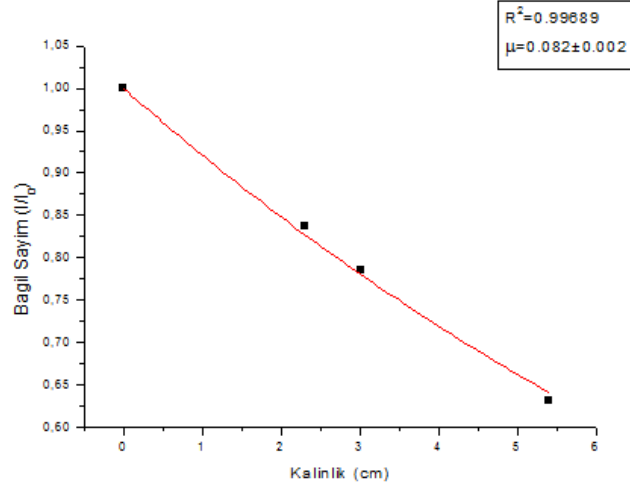
Şekil 5.1 : Beton için bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi

Çizelge 5.2 : Tuğla için elde edilen sayım, standart sapma ve bağıl sayım değerleri

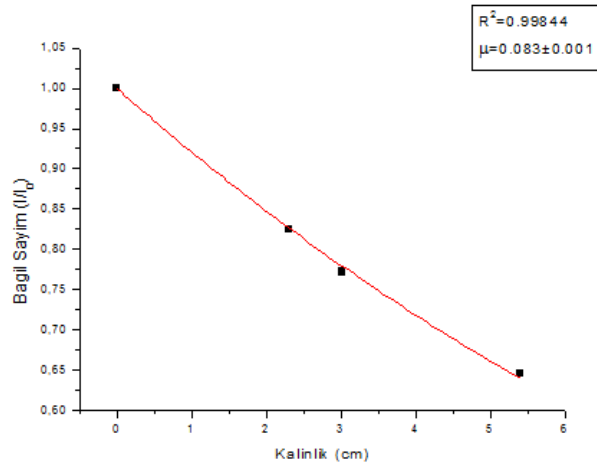
Kalınlık (cm)	Enerji (keV)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	4.sayım	5.sayım	6.sayım	7.sayım	8.sayım	9.sayım	Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
0	662	3264	3270	3267	3265	3274	3263	3282	3281	3289	3273	9.2	1
2.3		2501	2492	2495	2488	2487	2488	2482	2478	2492	2489	6.6	0.837
3.0		2366	2368	2363	2369	2362	2359	2366	2367	2372	2366	3.9	0.786
5.4		1728	1731	1734	1725	1735	1718	1722	1737	1730	1729	6.3	0.631
0	1173	697	687	695	692	686	700	696	702	700	695	5.8	1
2.3		578	590	586	577	576	576	583	585	588	582	5.7	0.837
3.0		544	542	543	544	554	545	552	544	549	546	4.2	0.786
5.4		439	439	427	439	444	439	434	443	444	439	5.2	0.631
0	1332	639	639	647	644	644	645	662	647	649	646	7.0	1
2.3		547	535	534	530	532	532	532	525	531	533	5.9	0.825
3.0		499	505	493	499	501	500	503	497	492	499	4.3	0.772
5.4		418	409	418	413	419	418	420	419	416	417	3.7	0.645



a) 662 keV



b) 1173 keV

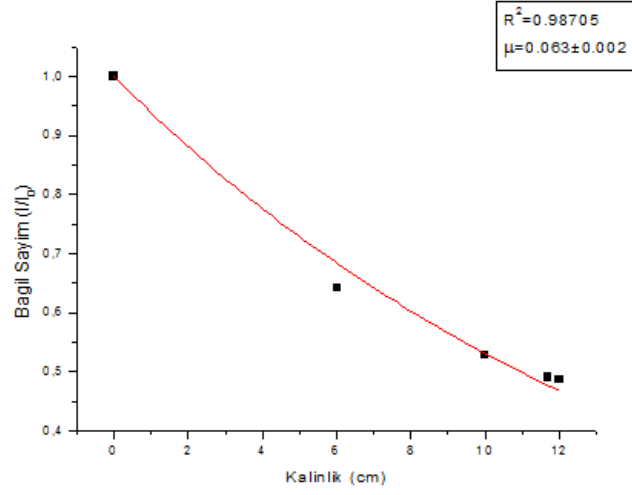


c) 1332 keV

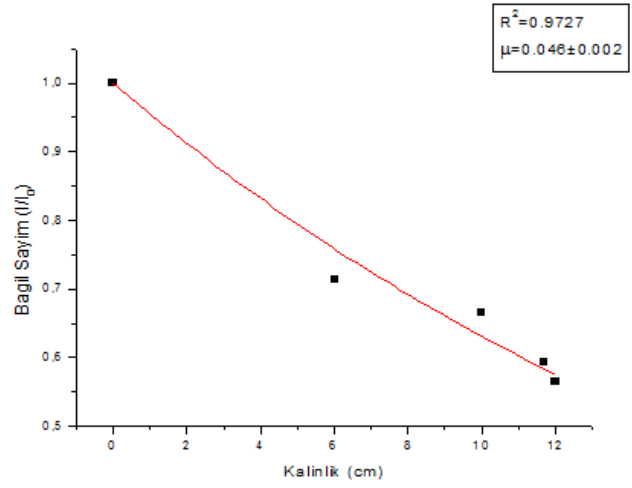
Şekil 5.2 : Tuğlanın bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi

Çizelge 5.3 : Bims blok için elde edilen sayım, standart sapma ve bağıl sayım değerleri

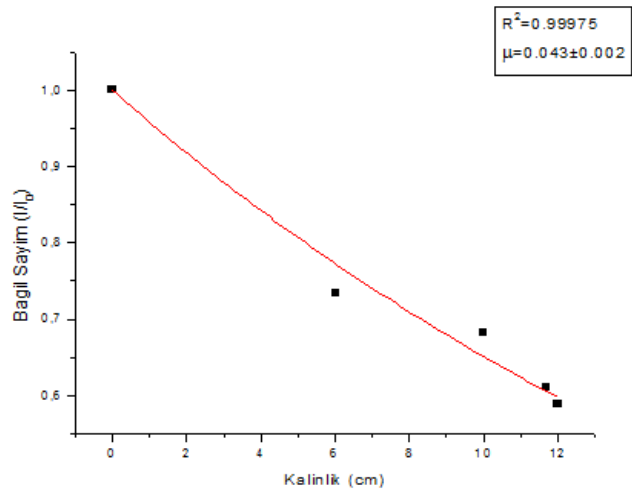
Kalınlık (cm)	Enerji (keV)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	4.sayım	5.sayım	6.sayım	7.sayım	8.sayım	9.sayım	Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
0		3264	3270	3267	3265	3274	3263	3282	3281	3289	3273	9.2	1
6		2090	2093	2098	2099	2099	2104	2099	2106	2096	2098	4.1	0.714
10	662	1736	1726	1730	1736	1728	1725	1733	1729	1725	1730	5.3	0.665
11.7		1606	1604	1602	1605	1616	1600	1610	1599	1606	1605	4.2	0.592
12		1594	1596	1602	1591	1598	1602	1596	1591	1592	1596	4.8	0.566
0		697	687	695	692	686	700	696	702	700	695	5.8	1
6		489	495	492	499	509	488	499	498	497	496	6.3	0.714
10	1173	461	457	463	462	466	461	454	466	468	462	4.5	0.665
11.7		417	402	406	411	418	412	410	410	418	412	5.4	0.592
12		393	390	393	397	399	388	398	395	386	393	4.6	0.566
0		639	639	647	644	644	645	662	647	649	646	7.0	1
6		474	476	469	475	470	476	481	472	472	474	3.5	0.733
10	1332	439	441	438	447	440	438	442	443	442	441	2.8	0.683
11.7		391	398	390	396	395	395	397	393	395	395	2.6	0.611
12		382	378	383	382	379	384	378	384	378	381	2.5	0.590



a) 662 keV



b) 1173 keV

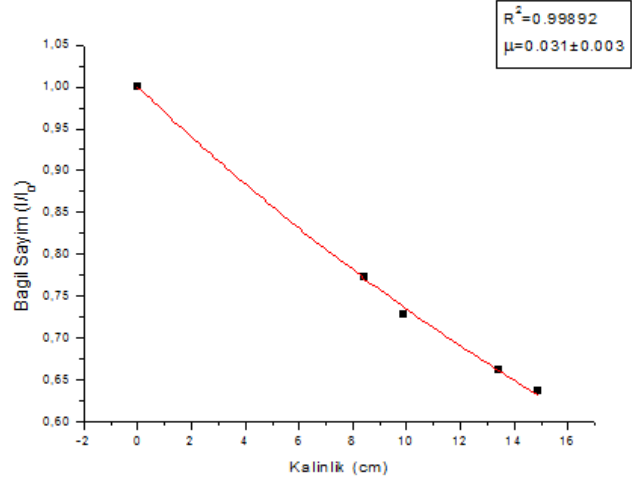


c) 1332 keV

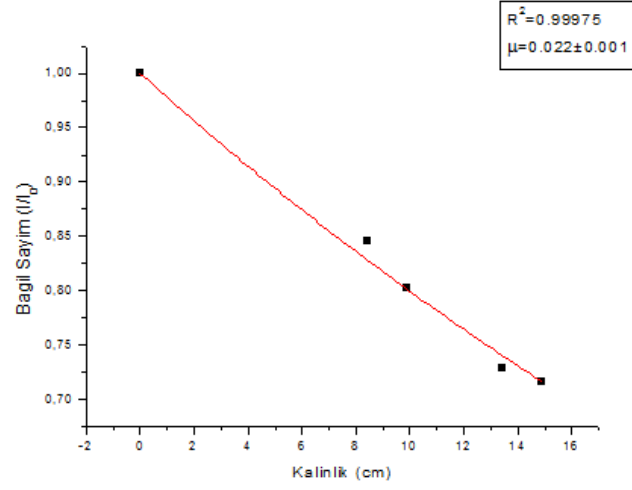
Şekil 5.3 : Bims blok için bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi

Çizelge 5.4 : Gazbeton için elde edilen sayım, standart sapma ve bağıl sayım değerleri

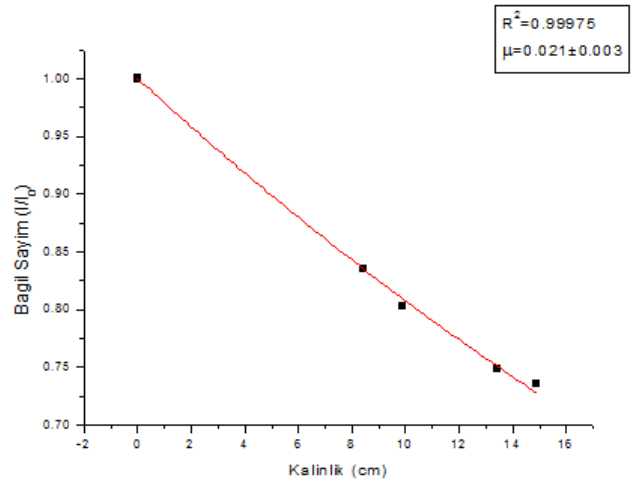
Kalınlık (cm)	Enerji (keV)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	4.sayım	5.sayım	6.sayım	7.sayım	8.sayım	9.sayım	Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
0		3264	3270	3267	3265	3274	3263	3282	3281	3289	3273	9.2	1
8.4		2532	2533	2530	2524	2532	2520	2540	2541	2533	2532	6.6	0.774
9.9	662	2386	2384	2385	2375	2382	2391	2387	2386	2389	2385	4.6	0.729
13.4		2165	2166	2157	2164	2171	2169	2169	2171	2157	2165	5.5	0.662
14.9		2082	2079	2078	2087	2078	2087	2089	2073	2086	2085	5.4	0.636
0		697	687	695	692	686	700	696	702	700	695	5.8	1
8.4		583	586	594	580	581	598	589	587	588	587	5.9	0.845
9.9	1173	551	553	559	559	563	558	554	562	557	557	4.1	0.802
13.4		514	503	502	507	510	500	504	511	509	507	4.5	0.729
14.9		501	501	493	502	495	486	502	502	497	498	5.7	0.716
0		639	639	647	644	644	645	662	647	649	646	7.0	1
8.4		546	542	542	542	544	535	536	532	536	539	4.8	0.835
9.9	1332	521	518	517	524	510	516	525	524	518	519	4.7	0.803
13.4		487	481	487	481	486	486	483	479	483	484	3.1	0.748
14.9		471	478	479	473	472	477	475	471	478	475	3.2	0.735



a) 662 keV



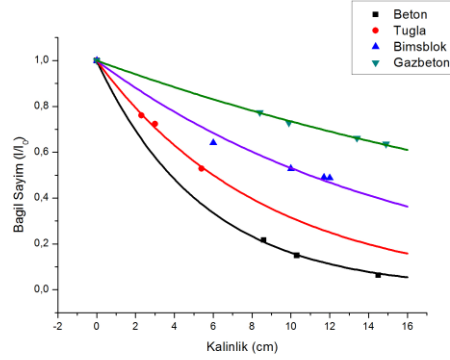
b) 1173 keV



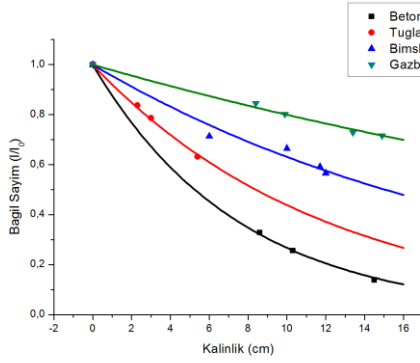
c) 1332 keV

Şekil 5.4 : Gaz betonun bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi

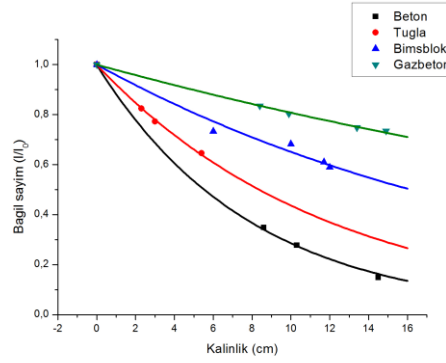
Çalışılan yapı malzemeleri için elde edilen bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimleri Şekil 5.5’de birarada görülmektedir.



a) 662 keV



b) 1173 keV



c) 1332 keV

Şekil 5.5 : Karşılaştırmalı bağıl sayım-kalınlık grafikleri

Şekil 5.5’den görülmektedir ki, artan malzeme kalınlığına bağlı olarak bağıl sayımdaki değişimin en fazla olduğu malzeme betondur. Onu sırasıyla tuğla, bims blok ve gaz beton takip etmektedir.

5.2 Lineer Zayıflatma Katsayılarının Enerjiye Göre Değişimi

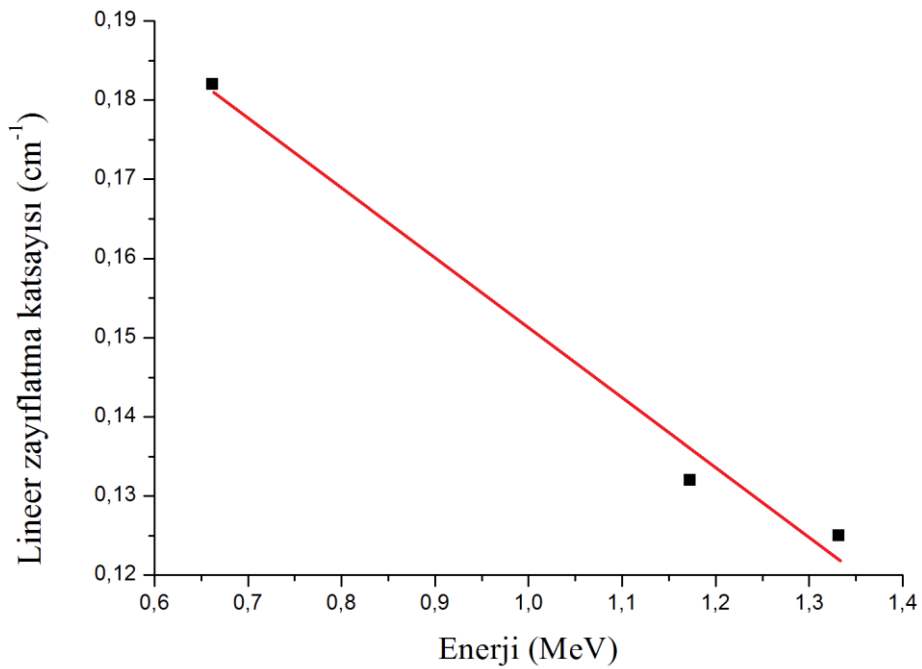
Beton, tuğla, bims blok ve gaz betonun 662 Kev, 1173 keV ve 1332 keV enerjili gama radyasyonu için lineer zayıflatma katsayıları, bağıl sayımların kalınlıkla değişimini veren grafiklerden elde edilmiştir.

5.2.1 Betonun lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi

Beton için elde edilen lineer zayıflatma katsayıları Çizelge 5.5 te verilmektedir. Lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi ise Şekil 5.6'da görülmektedir.

Çizelge 5.5 : Betonun lineer zayıflatma katsayıları

Enerji (keV)	Lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1})
662	0.182 ± 0.003
1173	0.107 ± 0.001
1332	0.106 ± 0.002



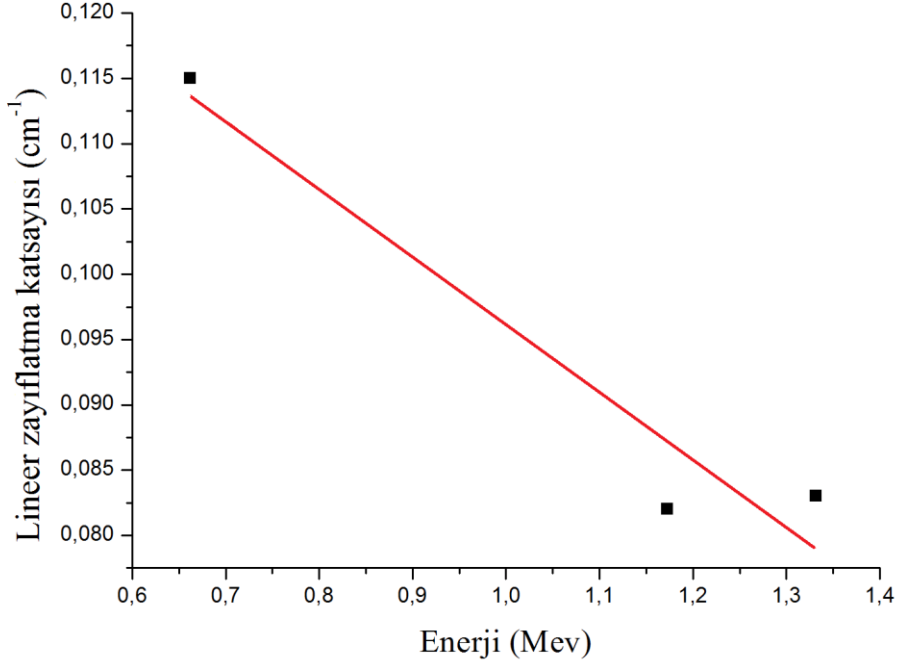
Şekil 5.6 : Beton için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi

5.2.2 Tuğla için lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi

Tuğla için elde edilen lineer zayıflatma katsayılarının değerleri Çizelge 5.6 da verilmektedir. Lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi ise Şekil 5.7'de görülmektedir.

Çizelge 5.6 : Tuğlanın lineer zayıflatma katsayıları

Enerji (keV)	Lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1})
662	0.115 ± 0.003
1173	0.082 ± 0.002
1332	0.083 ± 0.001



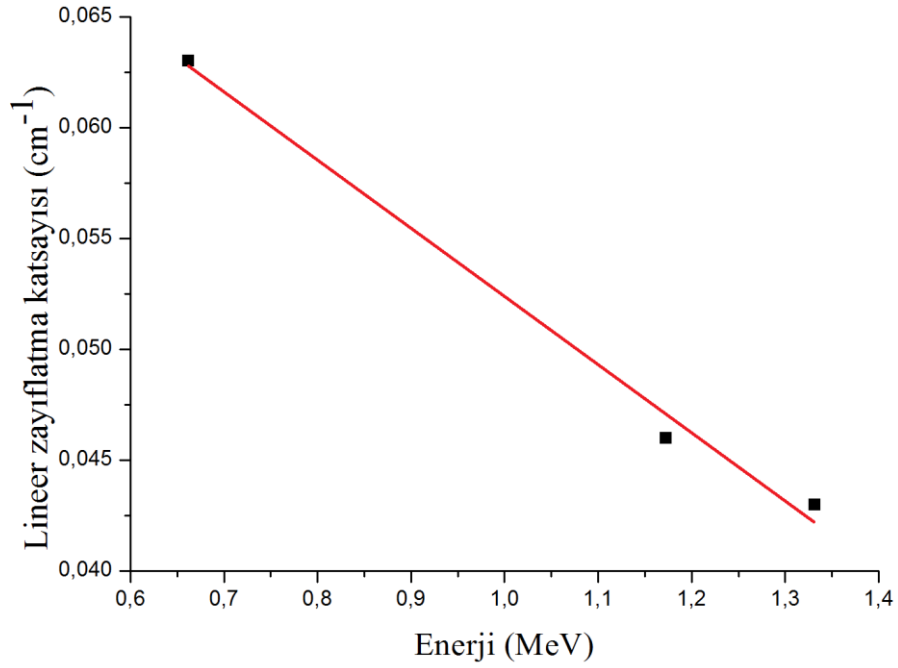
Şekil 5.7 : Tuğla için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi

5.2.3 Bims blok için lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi

Bims blok için elde edilen lineer zayıflatma katsayılarının değerleri Çizelge 5.7'de verilmektedir. Lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi ise Şekil 5.8'de görülmektedir.

Çizelge 5.7 : Bims Blok'un lineer zayıflatma katsayıları

Enerji (keV)	Lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1})
662	0.063 ± 0.002
1173	0.046 ± 0.002
1332	0.043 ± 0.002



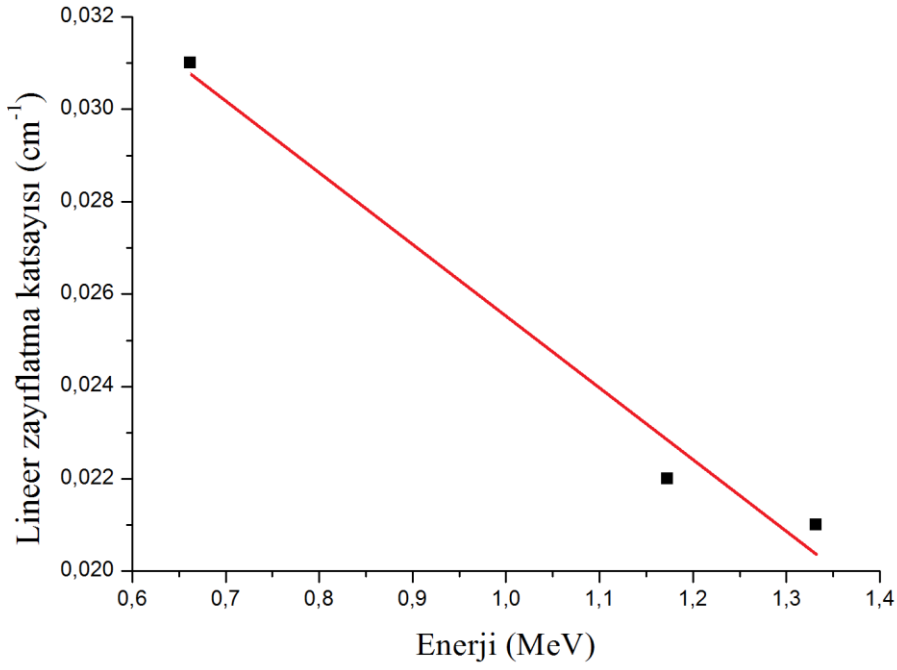
Şekil 5.8 : Bims Blok için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi

5.2.4 Gazbeton için lineer zayıflatma katsayıları ve enerji ile değişimi

Gazbeton için elde edilen lineer zayıflatma katsayılarının değerleri Çizelge 5.8'de verilmektedir. Lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi ise Şekil 5.9'da görülmektedir.

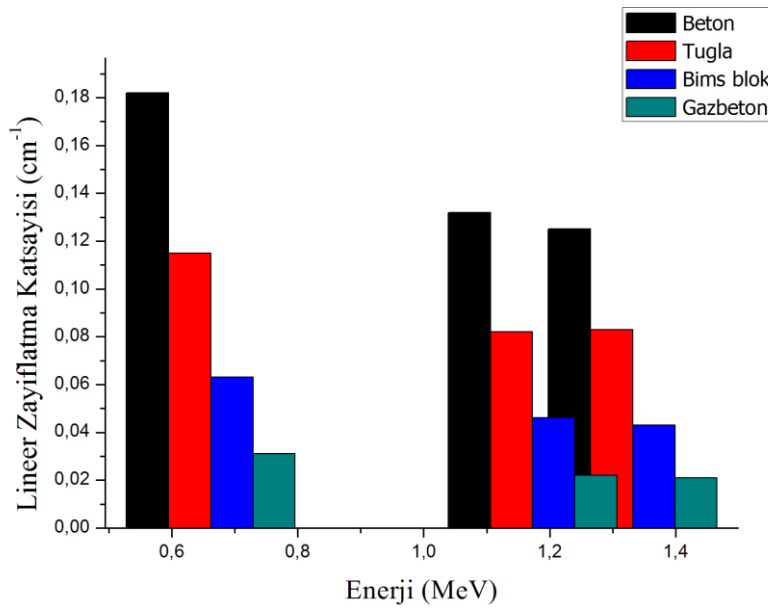
Çizelge 5.8 : Gaz betonun lineer zayıflatma katsayıları

Enerji (keV)	Lineer zayıflatma katsayısı (cm ⁻¹)
662	0.031±0.003
1173	0.022±0.001
1332	0.021±0.003



Şekil 5.9 : Gazbeton için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi

Deneyde kullanılan malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarının enerji ile değişimleri Şekil 5.10 da birarada verilmiştir.



Şekil 5.10 : Malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 5.10’da, çalışılan her üç enerji değeri için betonun en yüksek lineer zayıflatma katsayısına sahip olduğu ve onu sırasıyla tuğla, bims blok ve gazbetonun izlediği görülmektedir.

5.3 Yarı Değer ve Onda Bir Değer Kalınlıkları

Gama ışınlarının zayıflatılmasına ilişkin hesaplarda yaygın olarak kullanılan önemli parametrelerden olan yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları çalışılan malzemeler için Denklem 2.4 ve 2.5 yardımıyla hesaplanarak Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları

Malzeme	Enerji (keV)	Yarı değer kalınlığı (cm)	Onda bir değer kalınlığı (cm)
Beton	662	4.2	13.8
	1173	6.5	21.5
	1332	6.5	21.7
Tuğla	662	5.7	19.0
	1173	9.4	31.1
	1332	16.1	53.5
Bims	662	11.2	37.1
	1173	14.1	47.0
	1332	18.2	60.6
Gazbeton	662	23.9	79.4
	1173	34.7	115.1
	1332	40.8	135.4

5.4 XCOM Programı ile Elde Edilen Kütle Zayıflatma Katsayıları

Çalışılan yapı malzemelerinin kütle zayıflatma katsayıları Bölüm 4.6’da tanıtilen XCOM bilgisayar programı ile hesaplanmış ve Çizelge 5.10 da birarada verilmiştir.

Çizelge 5.10 : XCOM ile hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları

Malzeme	Enerji (keV)	Kütle zayıflatma katsayısı (cm ² /g)
Beton	662	0.077
	1173	0.059
	1332	0.055
Tuğla	662	0.076
	1173	0.058
	1332	0.054
Bims	662	0.077
	1173	0.059
	1332	0.055
Gazbeton	662	0.077
	1173	0.059
	1332	0.055

5.5 Deneysel Sonuçları ve XCOM Sonuçlarının Karşılaştırılması

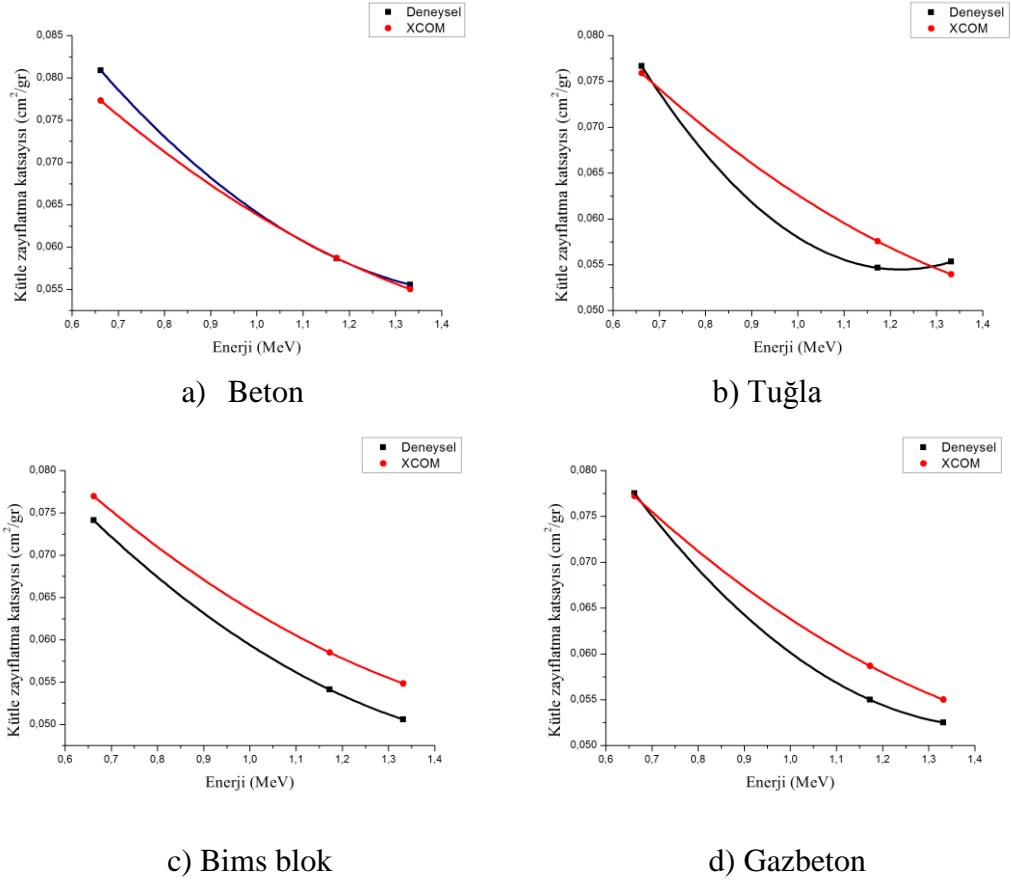
Kıyaslama açısından deneysel ve teorik sonuçlar Çizelge 5.11 de birarada verilmiştir.

Çizelge 5.11: Kütle zayıflatma katsayıları

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Enerji (keV)	Kütle zayıflatma katsayıları (cm ² /g)		Mutlak Fark (%)
			Deneysel	Teorik	
Beton	2.25	662	0.081	0.077	4.6
		1173	0.059	0.059	0.1
		1332	0.056	0.055	1.0
Tuğla	1.50	662	0.077	0.076	1.0
		1173	0.055	0.058	5.0
		1332	0.055	0.054	2.6
Bims blok	0.85	662	0.074	0.077	3.7
		1173	0.054	0.059	7.5
		1332	0.051	0.055	7.8
Gazbeton	0.40	662	0.078	0.077	0.4
		1173	0.055	0.059	6.3
		1332	0.053	0.055	4.6

Çizelge 5.11 incelendiğinde deneysel kütle zayıflatma katsayıları ile teorik kütle zayıflatma katsayıları arasındaki mutlak fark yüzdesinin %0.1-%7.8 arasında değiştiği görülmektedir.

Bu sonuçlara ait kıyaslama grafikleri Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11 : Deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, inşaat sektöründe kullanılan beton, tuğla, bims blok ve gazbeton malzemelerinin gama radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmiştir. Bir başka deyişle, farklı bina türlerinde yaygın kullanımı olan yapı malzemelerinin gama radyasyonu ile etkileşimi sonucunda bu radyasyonu zayıflatma özelliklerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışma, gama geçirgenlik yöntemine uygun bir deney düzeneği ile yapılmıştır. Deneylede saçılma etkisini ortadan kaldırmak için dar demet geometrisi koşullarını sağlamak üzere kolimatörler ve zırh malzemeleri kullanılmıştır.

Gama radyasyonu ile yapılan bu deneysel çalışmalarda iki farklı radyoizotop kullanılmıştır. Bunlardan biri tek enerjili gama fotonu yayan Cs-137 ve diğeri de iki farklı enerjide gama fotonu yayan Co-60 radyoizotoplarıdır.

Deneyde çalışılan malzemelere ilişkin elde edilen sonuçlardan (Çizelge 5.1 - Çizelge 5.4) yararlanılarak Origin 8 bilgisayar programı ile çizilen bağıl sayımın kalınlıkla değişimi grafiklerinden (Şekil 5.1-Şekil 5.4) malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarına ulaşılmıştır. Artan malzeme kalınlığına bağıl olarak bağıl sayımdaki değişimin beton için en fazla olduğu, onu sırasıyla tuğla, bims blok ve gaz betonun izlediği görülmüştür (Şekil 5.5).

Çizelge 5.5 - Çizelge 5.8'de verilen lineer zayıflatma katsayılarının enerji ile değişim grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.6 - Şekil 5.9). Ayrıca çalışılan malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarının enerjiye göre değişimi tek bir grafikte toplanarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.10). Buna göre yoğunluğu daha yüksek olan betona ait lineer zayıflatma katsayılarının her bir enerji değeri için diğer malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle spesifik bir enerji için malzemenin yoğunluğu azaldıkça lineer zayıflatma katsayısının da azaldığı görülmektedir. Ayrıca gama radyasyonunun enerjisi arttıkça her bir malzeme için lineer zayıflatma katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Lineer zayıflatma katsayılarının düşük enerjilerde daha

yüksek olması, bu enerjiye sahip gama fotonlarının madde ile etkileşmesinde fotoelektrik etkinin baskın olması nedeniyle malzeme tarafından soğulmasından kaynaklanmaktadır. Foton enerjisi arttıkça etkileşim türü Compton ve Çift üretimine kayacağından gama fotonlarının soğurulması azalacak, saçılmalar ise artacaktır. Dolayısıyla lineer zayıflatma katsayılarının değeri azalacaktır. Artan gama enerji değerlerine göre lineer zayıflatma katsayılarındaki bu düşüş literatürle de uyumlu olup beklenti doğrultusundadır.

Malzemelerin radyasyon şiddetini yarıya ve onda birine düşürmesi için gerekli kalınlıklar olan yarı değer kalınlığı ile onda bir değer kalınlığı hesaplanarak Çizelge 5.9 da verilmiştir. Burada gama radyasyonunun enerjisi arttıkça yarı değer ve onda bir değer kalınlıklarının arttığı görülmektedir. Ayrıca yarı değer ve onda bir değer kalınlığı en düşük olan malzemenin beton olduğu gözlenmektedir. Beklentimiz doğrultusunda malzemelerin yoğunluğu arttıkça yarı değer ve onda bir değer kalınlıklarının azaldığı tespit edilmiştir.

Bir sonraki aşamada malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları yoğunluklarına bölünerek deneysel kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca malzemelerin kimyasal bileşenleri XCOM bilgisayar programına veri olarak girilip malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları teorik olarak da hesaplanmıştır (Çizelge 5.10). Deneysel kütle zayıflatma katsayıları ile teorik kütle zayıflatma katsayılarının kıyaslaması Çizelge 5.11 de verilmiştir. Buna göre deneysel kütle zayıflatma katsayıları ile teorik kütle zayıflatma katsayıları arasındaki mutlak fark yüzdesi %0.1-%7.8 aralığında olup uyumlu oldukları görülmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasıyla, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan beton, tuğla, bims blok ve gazbetonun gama radyasyonu karşısındaki davranışları deneysel ve teorik olarak incelenebilmiştir. Bu bağlamda, gama kaynağı olarak Cs-137 ve Co-60 radyoizotopları kullanılarak yapılan deneyler sonucunda ulaşılan değerlerin teorik sonuçlarla ve literatürdeki çalışmalarla uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt İ., Kılınçarslan S., Başığit C., Mavi B., Akyıldırım H.,** (2009) Investigation of photon attenuation coefficient for pumice, *International Journal of Physical Sciences* Vol.4(10) 588-591
- Akyıldırım H.,** (2011) *Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Arastırılması* (doktora tezi).
- Altınsoy N, Baydoğan N.D,** (2012). Radyasyondan Korunma ve Sağlık Fiziği Ders Notları. İTÜ Enerji Enstitüsü.
- Baradan B., Yazıcı H., Aydın., Türkel S., Ün H., Yiğiter H., Felekoğlu B., Felekoğlu K.T., Yardımcı M.Y., Topal A., Öztürk A.U.,** (2012). Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334.
- Bims Sanayicileri Derneği, 2012.** alındığı tarih: 12.10.2014, adres: www.bimsader.org.tr
- Büyük B., Tuğrul A.B.,** (2014) Gamma and neutron attenuation behaviours of boron carbide–silicon carbide composites, *Annals of Nuclear Energy*, 71, 46–51.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., Chang, J., Coursey, J.S., Sukumar, R., Zucker, D.S., and Olsen, K.** (2010), *XCOM: Photon Cross Section Database* (version 1.5). [Online] Available: <http://physics.nist.gov/xcom> [11-Nov-2014 15:53:25 EST]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Chaisson, Eric and McMillan, Steve** (1999), *Astronomy Today*, 3rd Ed., Prentice-Hall
- Damla N., Cevik U., Kobya A.I., Çelik A., Van Grieken R., Kobya Y.,** (2009). Characterization of gas concrete materials used in buildings of Turkey, *Journal of Hazardous Materials* 168 681-687
- Demir F., Budak G., Sahin 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 c-rays
- Grupen, C.,** (2010). *Introduction to Radiation Protection*, Springer.
- Hubbell, J.H.,** 1969. Photon cross sections, attenuation coefficients, and energy absorption coefficients from 10 keV to 100 GeV. Report NSRDS-NBS 29, National Bureau of Standards, Washington DC.
- Hubbell, J.H.,** 1982. Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV. *International Journal of Applied Radiations and Isotopes*, 33, 1269–1290.

- Kaplan M.F.**, (1989). Concrete Radiation Shielding: Nuclear Physics, Concrete Properties, Design and Construction, John Wiley&Sons, New York.
- Knoll G.F.**, (2002). Radiation Detection and Measurement. University of Michigan
- Martin J.E.**, (2006). Physics for Radiation Protection, Second Edition, (Sf.332-335, Sf.382,), Wiley-VCH
- Shirmardi S.P., Shamsaei M., Naserpour M.**, (2013). Comparison of photon attenuation coefficients of various barite concretes and lead by MCNP code, XCOM and experimental data, *Annals of Nuclear Energy* 55 288-291.
- Singh M.K., Singla J., Kumar V., Sidhu G.S.**, (2012). Investigation of mass attenuation coefficients and exposure buildup factors of some low-Z building materials, *Annals of Nuclear Energy* 43 157-166
- Sarışık A., Sarışık G.**, (2010). Yeni Üretim Prosesi ile Pomza Agregalı Hafif Beton ve Eps Köpüklü İzolasyon Blok Üretimi, Standartlara Uygunluğu Diğer Duvar Yapı Elemanları ile Karşılaştırılması, *Madencilik, Cilt 49, Sayı 2*, 27-39.
- Tuğrul, A. B.**, (2012). Radyasyon Fiziği Ders Notları. İTÜ Enerji Enstitüsü
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu**, 2010. alındığı tarih: 05.12.2014, adres: <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/166-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/440-bolum-06-radyasyondan-korunma.html>
- Türkiye Gazbeton Üreticileri Birliği, 2009.**, alındığı tarih: 11.10.2014, adres: <http://www.tgub.org.tr/>
- TS-EN-771-1 (2005)**. Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-EN-206-1 (2002)**. Beton - Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk , *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Url-1** <<http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik> >, alındığı tarih: 05.12.2014
- Url-2** <<http://www.acikbilim.com> >, alındığı tarih: 05.10.2014
- Url-3** <hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/astro/cosmic.html>, alındığı tarih: 07.10.2014
- Url-4** < http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compton_scattering-de.svg>, alındığı tarih: 08.10.2014
- Url-5** < <http://electrons.wikidot.com/pair-production-and-annihilation> >, alındığı tarih: 08.10.2014
- Url-6** <<http://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/materials/> >, alındığı tarih: 11.10.2014

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Burhan DOĞAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Antakya 23.09.1981

Adres: Yarımburgaz Mah. 2441 sok. B blok/1 Halkalı İstanbul

E-Posta: burhan.dogan@taek.gov.tr

Lisans: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2011-Devam Ediyor Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Doğan B., Altınsoy N., Investigation of Photon Attenuation Coefficient of Some Building Materials Used in Turkey, *4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition*, 20-24 Nisan 2014, Fethiye, Muğla.