

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**NORMAL BETON VE ÖZEL AMAÇLI BETONLARIN GAMA
RADYASYONUNU ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilek KAYA

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**NORMAL BETON VE ÖZEL AMAÇLI BETONLARIN GAMA
RADYASYONUNU ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Dilek KAYA
(302161001)**

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY

HAZİRAN 2019

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 302161001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Dilek KAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “NORMAL BETON VE ÖZEL AMAÇLI BETONLARIN GAMA RADYASYONUNU ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Dr. Öğr. Ü. Senem ŞENTÜRK LÜLE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe DURUSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2019**

Savunma Tarihi : **12 Haziran 2019**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması esnasında desteğini, bilgisini ve özverisini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme temininde ve üretim aşamalarında büyük destek sağlayan Ertuğrul ALTINSOY'a, zor şartlar altında zamanını ve bilgisini ayıran Kalite Müdürü Emre ÖZDEMİR ve Ar-Ge Laboratuvarı'ndaki çalışma arkadaşlarına, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde deneylerimize çok büyük destek ve yardımını esirgemeyen başta Dr. Enis KAPDAN olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarına sonsuz teşekkürler. Beton modeli ve malzeme temininde bize yardımcı olan, çalışmamızla yakından ilgilenen Osman TOPÇU'ya teşekkür ederim.

Tüm öğrenim süresince maddi manevi her zaman yanımda olan aileme ve B.Lemi ÇELİK'e sonsuz teşekkürler.

Mayıs 2019

Dilek KAYA
Jeofizik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GAMA RADYASYONU VE ZIRHLAMA.....	5
2.1 Gama Radyasyonu.....	5
2.2 Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşme Mekanizmaları	6
2.2.1 Fotoelektrik etki	6
2.2.2 Compton saçılması	7
2.2.3 Çift oluşumu	8
2.3 Lineer ve Kütle Zayıflatma Katsayıları.....	9
2.4 Radyasyondan Korunma	9
2.4.1 Vücut dışı ışınlamadan korunma	10
2.4.2 Vücut içi ışınlamadan korunma.....	12
2.5 Yarı Değer Kalınlık	13
3. BETON.....	15
3.1 Beton Türleri	15
3.2 Özel Amaçlı Betonlar	16
3.2.1 Hafif beton.....	16
3.2.2 Ağır beton.....	17
3.2.3 Çelik lifli beton.....	18
3.3 Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımı (Mukavemet).....	19
3.3.1 Agrega özelliklerinin basınç dayanımına etkileri.....	19
3.3.2 Çimento özelliklerinin basınç dayanımına etkileri.....	19
3.3.3 Karma suyunun basınç dayanımına etkileri	20
3.3.4 Su/Çimento oranının basınç dayanımına etkisi	20
3.3.5 Kompozite ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
4.1 Deneyde Kullanılan Beton Numunelerin Hazırlanması	21
4.2 Deney Düzenegi	26
4.2.1 Co-60 deney düzenegi	27
4.2.2 Cs-137 deney düzenegi	29
4.3 Deneylerin Yapılışı.....	30

5. DENEY SONUÇLARI	33
5.1 Beton Numunelerin 662 ve 1250 keV Enerjili Fotonları Zayıflatma Oranları	33
5.1.1 Normal beton deney sonuçları	33
5.1.2 Baritli beton deney sonuçları	35
5.1.3 Çelik lifli beton deney sonuçları	36
5.1.4 Ponzalı beton deney sonuçları	37
5.2 Co-60 ve Cs-137 Gama Kaynakları İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	38
5.3 Beton Numunelerin Lineer ve Kütle Zayıflatma Katsayıları	39
5.4 Beton Numunelerin Yarı Değer Kalınlıkları	40
5.5 Beton Numunelerin Basınç Dayanım Testleri	41
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	43
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

KISALTMALAR

ALARA	: As low as Reasonable Achievable
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
HVL	: Half-Value Layer (Yarı Değer Kalınlık)
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
ODK	: Onuncu Değer Kalınlığı
SSDL	: Sekonder Standart Dozimetre Laboratuvarı
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations
YDK	: Yarı Değer Kalınlık

SEMBOLLER

μ	: Lineer Zayıflatma Katsayısı
μ_ρ	: Kütle Zayıflatma Katsayısı
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
D_1	: Radyasyon kaynağına x_1 mesafesindeki doz hızı
D_2	: Radyasyon kaynağına x_2 mesafesindeki doz hızı
dx	: Birim Kalınlık
I	: Işın şiddeti
I_0	: Malzemeye gelen radyasyon şiddeti
keV	: Kilo elektron volt
MeV	: Milyon elektron volt
MPa	: Mega Paskal
mSv	: Mili Sievert
nC	: Nano Coulomb
x	: Malzeme kalınlığı
ρ	: Yoğunluk

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Beton türlerinin yoğunlukları.	15
Çizelge 4.1 : Normal, çelik lifli (Dramix), Ponza ve Baritli deneme betonu özet tablosu.	22
Çizelge 4.2 : Co-60 ve Cs-137 Radyoizotoplarının Özellikleri.....	26
Çizelge 4.3 : İyon Odası ve Elektrometrenin Özellikleri.	27
Çizelge 5.1 : Normal betonun Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için zayıflatma oranları.	34
Çizelge 5.2 : Baritli beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları ile elde edilen zayıflatma oranları.	35
Çizelge 5.3 : Çelik lifli beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları ile elde edilen zayıflatma oranları.....	36
Çizelge 5.4 : Ponzalı beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları ile elde edilen zayıflatma oranları.....	37
Çizelge 5.5 : Beton numunelerin Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için elde edilen lineer ve kütle zayıflatma katsayıları.....	39
Çizelge 5.6 : Beton numunelerin Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için Yarı Değer Kalınlıkları.	40
Çizelge 5.7 : Beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	41

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Elektromanyetik spektrum.	5
Şekil 2.2 : Fotoelektrik olay (Oto, 2012).	7
Şekil 2.3 : Compton Saçılması (Oto, 2012).	8
Şekil 2.4 : Çift Oluşumu (Martin, 2013).	8
Şekil 2.5 : Radyasyondan korunmada zaman faktörü (Akyıldırım, 2011).	11
Şekil 2.6 : Radyasyondan korunmada mesafenin etkisi (Akyıldırım, 2011).	11
Şekil 2.7 : Radyasyondan korunmada zırhlama (Akyıldırım, 2011).	12
Şekil 2.8 : Radyasyon türlerine göre farklı zırh malzemeleri (Yılmaz, 2011).	12
Şekil 4.1 : Özel beton üretiminde kullanılan ponza, barit ve çelik lif malzemeler.	21
Şekil 4.2 : Beton karışımların hazırlanması.	23
Şekil 4.3 : Taze betonun kalıplara alınması ve etiketlenmesi.	23
Şekil 4.4 : Beton numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.	24
Şekil 4.5 : Beton numunelerin tıraşlama işlemi.	24
Şekil 4.6 : Beton numunelerin basınç dayanım testi.	25
Şekil 4.7 : Gama geçirgenlik deneyi için hazırlanan beton numuneler.	25
Şekil 4.8 : Kullanılan radyoizotopların bozunum şeması (Martin, 2013).	26
Şekil 4.9 : PTW İyon Odası ve Elektrometre.	27
Şekil 4.10 : Co-60 Deney Düzenekinin Şematik Görünümü.	30
Şekil 4.11 : Co-60 Deney Düzenekî.	28
Şekil 4.12 : Co-60 kontrol ünitesi (Picker).	29
Şekil 4.13 : Cs-137 Deney Düzenekî.	29
Şekil 4.14 : Cs-137 Deney düzenekînin şematik görüntüsü.	32
Şekil 5.1 : Normal beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişîmî.	34
Şekil 5.2 : Baritli beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişîmî.	35
Şekil 5.3 : Çelik lifli beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişîmî.	36
Şekil 5.4 : Ponzalı beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişîmî.	37
Şekil 5.5 : Co-60 gama kaynağı ile 4 beton türü için zayıflatma oranının kalınlıkla değişîmî.	38
Şekil 5.6 : Cs-137 gama kaynağı ile 4 beton türü için zayıflatma oranının kalınlıkla değişîmî.	38
Şekil 5.7 : Beton numunelerin Co-60 ve Cs-137 için lineer zayıflatma katsayıları.	39
Şekil 5.8 : Co-60 gama kaynağı için yarı değer kalınlığın yoğunlukla değişîmî.	40
Şekil 5.9 : Cs-137 gama kaynağı için yarı değer kalınlığın yoğunlukla değişîmî.	41
Şekil 5.10 : Beton numunelerin ortalama mukavemetleri.	42

NORMAL BETON VE ÖZEL AMAÇLI BETONLARIN GAMA RADYASYONUNU ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Gelişen teknolojiyle beraber toplum üyelerinin maruz kaldığı radyasyon miktarının arttığı bilinmektedir. Bireylerin aldığı radyasyon dozu, yaşanan bölge, bölgenin toprak yapısı, binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır. Günümüzde sudan sonra en çok kullanılan malzemelerden birinin de beton olduğu göz önünde bulundurulduğunda, betonun radyasyon karşısındaki davranışının incelenmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında son zamanlarda Türkiye’de de kullanımı yaygınlaşan özel amaçlı betonların gama radyasyonunu zırhlama özelliğinin deneysel yöntemlerle incelenmesi ve normal beton için bulunan değerlerle kıyaslanması amaçlanmıştır.

Çalışmada normal beton ve özel amaçlı üretilen hafif, ağır ve çelik lifli betonların radyasyonu zayıflatma özellikleri Co-60 ve Cs-137 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak incelenmiştir. Bunun için sayımlar her bir beton numune için üçer kez tekrarlanmıştır. Ortalama sayım değerleri kullanılarak beton numunelerin gama radyasyonunu zayıflatma özellikleri belirlenmiştir.

Deney düzeneğinde beton numune yokken alınan boş sayım değerleri ile numunenin yedi farklı kalınlığından alınan sayımlar dikkate alınarak gama radyasyonunu zayıflatma oranları bulunmuştur. Elde edilen zayıflatma oranlarının kalınlığa göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir. Tüm beton tipleri için bu zayıflatma oranlarının kalınlıkla değişimi çizdirilerek kıyaslama yapılmıştır. Grafiklerin çiziminde kullanılan Origin8 bilgisayar programı ile lineer zayıflatma katsayıları ve standart sapmalar elde edilmiştir. Lineer zayıflatma katsayısı ve numune yoğunluklarından kütle zayıflatma katsayılarına ulaşılmıştır. Son olarak da zırhlama ve radyasyondan korunmanın en önemli parametrelerinden biri olan yarı değer kalınlıklar tüm beton çeşitleri için hesaplanmış ve elde edilen değerler kıyaslanmıştır. Bunların yanı sıra numunelerin basınç dayanım testleri yapılarak mukavemet değerleri tespit edilmiştir. Çalışılan beton numunelerin radyasyonu zayıflatma oranları ve yarı değer kalınlıklarının, malzemelerin yoğunluk ve karakteristik özellikleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

INVESTIGATION OF GAMMA RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF NORMAL AND SPECIAL PURPOSE CONCRETES

SUMMARY

With the developing technology, it is known that the amount of radiation exposure to community depends on many factors such as the place of residence, the soil structure of the region, the materials used in buildings, the seasons, the distance to the poles and the weather conditions. Considering that one of the most commonly used materials, after water, is concrete, it is necessary to examine the behavior of concrete against radiation. This graduate thesis, investigation of the gamma radiation shielding properties of widely used special purpose concretes in Turkey and comparison of these results to the results of normal concrete is aimed.

By considering specific needs of usage, light concrete which is produced by using light materials as aggregate and heavy concrete which is produced by using generally barite as aggregate was chosen. Light concrete production is carried out by choosing appropriate aggregate. Recently, it has become one of the most common type of concrete because of its characteristics such as being efficient in terms of isolating sound and heat. It is known by studies that to produce light concrete, pumice is used, generally. The reason of using pumice is its acoustic and heat insulation advantages. Also, it is preferable to be light in weight and not to overload the structures.

Heavy concrete is widely used as a shielding material. Due to its shielding properties, it is generally used as building materials in hospitals, laboratories or in places where there are radioactive sources. Heavy concretes are produced by using heavy materials as aggregate. As heavy aggregate barite is used generally since its unit volume weight is high.

The last special purpose concrete chosen in this study is steel fiber concrete, which is called dramix in concrete industry. It is preferred because of its ductility and high tensile strength. In terms of density, it is not much different from normal concrete. Lastly, normal concrete is produced in order to be able to compare the most common building material's properties with the special purposed ones. Six samples were produced from each type of concretes. Each of them were labeled during production process in order to prevent any problem.

When concrete mixtures produced, their mass and unit volume weights were measured. Consistency tests were also applied which tells the producer that the fresh concrete mix has high quality enough to use it as building material since the quality of concrete is defined according to its workability when it is fresh, and its strength when it is hardened.

After the mixtures poured in cylindrical templates and labeled, they were left to dry and harden. During hardening process, the samples were waited in a pool which is rich in mineral and this process lasts 28 days to accomplish. This mineral rich pool provides concrete samples to reach their properties more quickly and depending on mineral type it also helps to increase the pressure strength value of the concrete.

To be able to identify all the radiation attenuation properties and half value thicknesses, the concretes were chosen and then produced. This production process took 28 days in mineral rich pool to gain enough compressive strength to form an appropriate building material. In order to make compressive strength assessments and make concrete samples suitable for experiments, all the surfaces of the samples were smoothed. Then, three of each type of samples were used in compressive strength tests. The average of these three results were calculated and recorded as mean strength.

The rest of the samples were used to obtain 2,3,4,8 cm of blocks which provides to find radiation attenuation values of 2,3,4,5,6,7 and 8 cm thicknesses of these blocks. For instance, while assessing radiation attenuation of 5 cm of material thickness, 2 cm and 3 cm samples are used together to form a 5 cm sample. In this way, it was possible to make measurements of 7 blocks of different thickness by using 4 different thickness of these blocks.

When the blocks of different thickness were produced and smoothed, they were all ready to assess radiation attenuation and shielding properties of all concrete types in gamma calibration laboratories. The radiation attenuation properties of normal and special purpose light, heavy and steel fiber concretes are obtained by using Co-60 and Cs-137 radioactive sources.

First, Co-60 radioactive source is used to take counts. In the experimental setup, the system is installed as the distance between the source and the sample is 50 cm, and the distance between the sample and the ion chamber is 43 cm. Before taking counts, a blank count was taken when the radioactive source is off and the material was absent. Radioactive source can be controlled from outside of the laboratory by computer systems. This blank count is automatically recorded to the systems and the system calculates the rest of the taken counts by considering this background radioactivity level. For each thickness this control system is used and counts were taken. Then all values were recorded and radiation amount that passed through the material was calculated.

Secondly, Cs-137 source is used. Same process with Co-60 is applied, blank count was taken to determine the background radiation level when the source is off. System automatically recorded this background radiation and excluded from other counts. This experimental set-up is installed as the sample is located 19 cm away from the source and the distance between the sample and the ion chamber is 21 cm.

Every count has taken for each thickness and for each type of concrete for 3 times in order to make accurate calculations. The averages and standard deviations of the counts were calculated and the attenuated radiation intensity data were obtained from here. Tables for all concrete types and thicknesses were prepared to make interpretation easier.

The change of these attenuation ratios according to thickness are shown in graphs. First, graphs were drawn to compare the value of two different radioactive sources in one concrete type. For instance, a graph is drawn for normal concrete which shows the half value thickness for both Co-60 and Cs-137 source. Then, some other graphs were drawn which allows to compare all the values for one radioactive source.

For all types of concrete, attenuation ratios were compared to the thickness. Linear attenuation coefficients were found and compared. Linear attenuation coefficients and standard deviations were obtained by using the Origin 8 program. The mass attenuation coefficients were reached by the ratio of these values to the densities. Finally, half-value thicknesses, which are one of the most important factors of shielding and radiation protection, are calculated for all types of concrete and the values are compared. Radiation attenuation ratios and half-value thicknesses were consistent with the density and characteristics of the materials.

1. GİRİŞ

Doğada hem doğal hem de yapay olarak bulunan radyasyon her alanda insan hayatının içinde olmuştur. Nükleer teknolojiye yaşanan büyük gelişmelerle beraber günümüzde insanların radyasyonla olan ilişkisi hayli artmıştır. Keşfi çok da geçmişte olmayan radyasyon, artık insanlar tarafından çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. İçilen sulardan yapı malzemelerine, tıbbi uygulamalardan endüstriyel uygulamalara kadar pek çok alanda kullanılan radyasyonun insan sağlığına ve çevreye etkileri her zaman merak konusu olmuştur.

Nükleer tekniklerin, radyasyon ve radyoaktif malzemelerin günümüzde pek çok alanda kullanımı söz konusudur. Barışçıl amaçlarla geliştirilen teknolojilerle kullanımı artan radyasyonun uzun süre maruziyeti halinde canlılar üzerindeki negatif etkileri de bilinmektedir (Hall, 2000). Bu nedenle radyasyon ve radyoaktif malzemelerle çalışanların veya radyasyon barındıran çalışma ortamlarının güvenlik tedbirleri alması gereklidir (Khoroshkov ve diğ. 1994, Dinter ve diğ. 1996).

Radyasyonun canlı yaşamı üzerine olumsuz etkilerinin önlenmesi bakımından zırhlama büyük önem arz etmektedir (Ferrari ve diğ. 2001). Radyasyon türü olarak ise genellikle gama ışınları zırhlama üzerine çalışılan radyasyon tipidir. Gama ve X-ışınlarından korunmak için yaygın olarak kullanılan zırhlama malzemelerinin başında beton gelmektedir. Farklı beton türlerinin radyasyon karşısındaki davranışını inceleyen çalışmalar günümüzde de önemini korumaktadır.

Zırhlama malzemesi olarak kullanılan betonlar kullanım alanlarına göre çeşitlilik göstermektedir. Hemen her alanda amaca uygun olarak üretilen betonlar ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre farklı ihtiyaçları karşılamak üzere üretilen betonlar “özel beton” olarak nitelendirilmektedir. Özel betonlar normal betonlardan özellikleri ve üretim teknikleri yönüyle ayrılır. Özellikleri farklı agrega kullanılarak, katkı maddeleri eklenerek, bileşimi değiştirilerek ayarlanabileceği gibi, yapım tekniğinde değişiklikler yaparak da farklı özellikte betonlar elde edilebilir. Bu yöntemlerden biri veya birden fazlası aynı anda uygulanarak özel beton üretilir.

Özel ihtiyaçları karşılamaya yönelik betonlar üretmek, standart beton bileşenlerine farklı özelliklerdeki yapı malzemelerini eklemekle mümkündür (Türkel, 2007).

Özel beton çeşitlerinden ülkemizde de yaygın olarak kullanılan hafif beton 400-1600 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Üretiminde agrega olarak ponza kullanıldığından özellikleri agreganın çeşidine göre şekillenir. Sıcaklık değişimine karşı daha dayanıklı olmaları ve yalıtım özelliklerinin yüksek olması tercih edilme sebeplerindendir. Isı iletkenliği, su içeriğine göre ve birim hacim ağırlığa göre değişmektedir ancak bu iletkenlik değerleri yine de normal betonunkilere göre daha düşüktür (Gündüz ve diğ. 1998). Ponza agregalı betonların ısı iletkenlikleri ve genleşme katsayıları normal betonlara göre küçük olduğundan yangına karşı dayanma özellikleri de daha yüksektir (Gündüz ve diğ. 1998; Çağlayan ve Kahriman, 2003; Gül ve Bingöl, 2002). Hafif betonların kullanım alanları (Ekinci, 2008);

- Çatı ve ara kat ısı yalıtımı malzemesi,
- Taşıyıcı olmayan duvar malzemesi,
- Ara kat şaplarında veya yüzey yükseltme işlemleri,
- Tutuşmayı ve yangını önleyici kısımlar,
- Tesisat kanallarının sıva malzemeleri,
- Geleneksel binaların tavan sıva malzemeleri,
- Çelik inşaat aksamalarının etrafına yangın koruyucu tabaka oluşturmak,
- Dolgu malzemesi ve zemin stabilizasyonu,
- Dekoratif panellerin üretimidir.

Volkanik bir kayaç olan ponza boşluklu ve süngerimsi bir yapıya sahiptir. Ponza (pomza) terimi İtalyanca bir sözcük olup, farklı dillerde ponce, pumicite, bims, bimstein olarak da adlandırılmaktadır (DPT, 2001). Ponza volkanik patlamalarla oluşmuş bir alüminyum silikattır. Günümüzde yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasının sebebi ise boşluklu yapısından kaynaklı hafif olması ve izolasyon özelliğidir (Aydın, 2008). Ponza fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı bir kayaçtır. Türkiye’de de yaygın olarak Orta ve Doğu Anadolu’da, Kayseri, Niğde, Van, Nevşehir gibi şehirlerde rastlanır ve ismi genellikle bulunduğu coğrafyaya göre değişiklik gösterir. Ponzanın bünyesinde bulunan gazların aniden bünyeyi terk

etmesi ve aniden soğumasından kaynaklı makro ölçekten mikro ölçeğe sayısız gözenek içermektedir. Gözeneklerin arasının genelde bağlantısız boşluklu olması, geçirgenliğinin (permeabilite) düşük, ısı ve ses yalıtımının çok yüksek olmasını sağlamıştır (DPT, 2001; Türkmen,1997). Hafif beton üretiminde son zamanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşan ponza agregası, tahminlere göre 3 milyon metreküp kadar bir rezerve sahiptir (Gündüz ve Uğur, 2005; Bideci ve diğ. 2013).

Ağır betonlar birim hacim ağırlıkları $2800-5000 \text{ kg/m}^3$ olan ve genellikle zırhlama amaçlı kullanılan özel beton çeşididir. Radyasyon zırhlama özelliklerinin iyi olması nedeniyle, nükleer santrallerde ve hastanelerin radyoterapi veya röntgen bölümlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Üretiminde kullanılan özel agregalar genellikle barit (BaSO_4), limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) ve manyetit (Fe_3O_4) gibi demir içeren agregalardır. Ağır beton üretmek için özel agregası kullanılsa da özel bir çimentoya gerek yoktur. Beton yerleşmesi sırasında agregası granülometrisinde ayrışma olmamasına dikkat etmek yeterlidir. Tüm radyasyon tiplerinin zırh olarak kullanılan beton tarafından zayıflatılmasında, beton tarafından tutulan kısım ısı enerjisine dönmekte ve betonu ısıtmaktadır. En büyük sıcaklık reaksiyonların gerçekleştiği iç kısımda olmaktadır. Dolayısıyla sıcaklık iç kısımdan dışa doğru azalır. Bu da ısıl gerilmelerin oluşmasına neden olur (Gürsoy, 1997; Durmuş, Gürsoy, 2000).

Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Çelik lifli beton, içerisinde homojen dağıtılmış küçük teller bulunan ve ince veya ince-kaba agregası kullanılarak üretilmiş kompozit bir malzemedir. Çelik lif donatılı betonlar, 60'lı yılların başında geliştirilmiş ve lif tipleri üzerinde yıllar boyu süren araştırmalar ve uygulamalar, bu malzemeyi dünya çapında çeşitli uygulamalarda bilinen bir teknoloji haline getirmiştir. Lifli betonlarda sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan liflerin, beton içerisinde çatlak oluşumunu önlediği ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu nedenle betonarme kazık, yol, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrik yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alındığı bilinmektedir (Kozak, 2013).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında özel amaçlı üretilen ponza, barit ve çelik lifli beton çeşitlerinin gama radyasyonu karşısındaki davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir.

Elde edilen verilerin de yine özel olarak üretilen normal agregalı betondan elde edilen değerlerle kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, hafif, normal ve ağır beton sınıfına giren beton numuneleriyle deneysel çalışmalar yapılarak, gama radyasyonunu zayıflatma ve mekanik dayanımları yönünden değerlendirilip yorumlanması hedeflenmiştir.

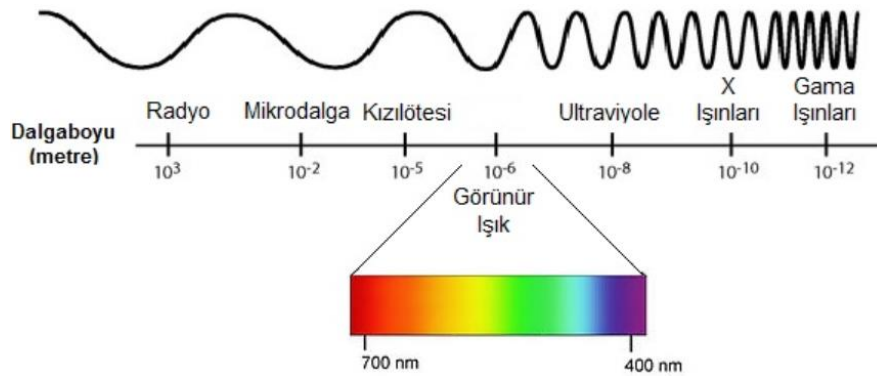
2. GAMA RADYASYONU VE ZIRHLAMA

Radyasyon temel olarak bir kaynaktan elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar şeklinde çıkan enerji veya bu enerjinin aktarımı biçiminde tanımlanabilir (Shultis, 1996). Tanımda geçen elektromanyetik dalgalar foton olarak adlandırılan ve ışık hızında hareket eden enerji paketçikleridir. Parçacıklar da atomun temel yapısını oluşturan parçacıklardır. Atomun bozunması olarak da tanımlanan radyasyon yayan kararsız atom çekirdeğinde kendiliğinden oluşan değişime radyoaktivite; bu radyoaktif atomlara da genellikle ilgili elementin radyonüklitleri veya radyoizotopları denir (TAEK, 2010). Bu bağlamda birçok radyasyon kaynağı bulunmaktadır.

Elektromanyetik veya parçacık tipi radyasyonda, etkileşilen atomun elektronunu koparacak kadar enerjisi varsa atomları iyonlaştırmış olup; radyasyon iyonlaştırıcı radyasyon olarak adlandırılır. Ancak etkileştiği atomdan elektron koparacak, atomu iyonlaştıracak enerjiye sahip değilse iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak sınıflandırılır. Farklı tiplerdeki iyonlaştırıcı radyasyonun madde ile etkileşimi de farklıdır ve hepsi farklı malzemelerle etikili bir biçimde durdurulabilir (TAEK, 2010).

2.1 Gama Radyasyonu

Durgun kütlesi sıfır olan, ışık hızıyla hareket eden fotonlar elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik radyasyon ailesi Şekil 2.1 deki spektrumda verilmektedir.



Şekil 2.1 : Elektromanyetik spektrum.

Gama ışınları, diğer elektromanyetik radyasyonlar arasında, en yüksek frekansa ve en düşük dalga boyuna sahiptirler.

Kaynağı atomun çekirdeği olan gama ışınları, atom çekirdeğindeki enerji seviyelerindeki farklılıktan meydana gelir. Çekirdek, bir alfa veya beta parçacığı fırlattıktan sonra genellikle kararlı durumda olmaz. Kararsız haldeki çekirdeğin fazla enerjisi elektromanyetik radyasyon olarak yayınlanır. Yüksüz olduğu için elektrik ve manyetik alanda sapma görülmez ve şiddeti madde içinde üstel bir fonksiyon şeklinde azalma gösterir. Parçacık radyasyonuna göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri, yani giricilikleri çok yüksek, ancak iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise daha azdır. Gama ışınları, alfa ve betalara göre daha yüksek enerjili ve daha girici ışınlardır. Zırhlamaları kurşun tuğlalarla yapılır (TAEK, 2010).

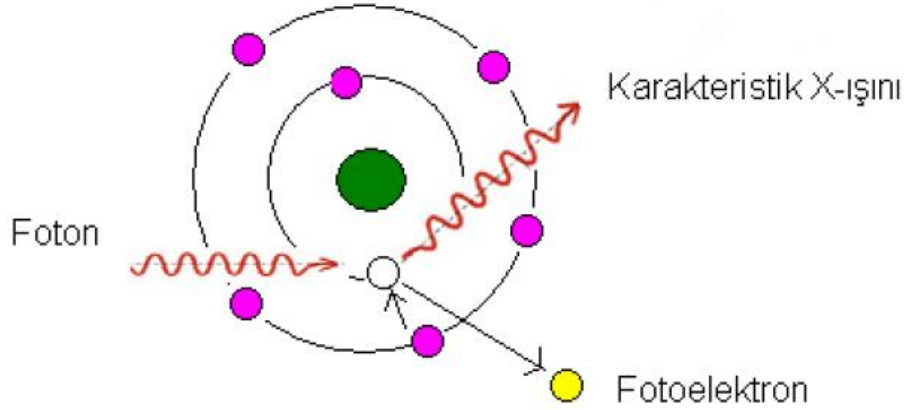
2.2 Gama Radyasyonunun Madde ile Etkileşme Mekanizmaları

Gama radyasyonunun madde ile etkileşimi genel olarak üç farklı yolla gerçekleşir. Bunlar; Fotoelektrik Etki, Compton Saçılması ve Çift Oluşumu'dur. Diğer etkileşme türleri (Rayleigh saçılması, Bragg saçılması, fotobozunum ve nükleer rezonans saçılması) için foton azalma ve enerji depolanması önemsizmeyecek kadar azdır ve genelde ihmal edilir (Martin, 2006).

2.2.1 Fotoelektrik etki

Fotonların ışık hızında hareket etmesi, durgun kütleye sahip olmaması gibi özellikleri vardır. Bu özelliklerden bir diğeri de fotonun bir dalga olup, bir parçacık gibi madde ile etkileşebilmesidir. Fotonların iç yapısı ve fotonun nelerden oluştuğu tam olarak bilinmezken, elektrona benzer olduğu, fiziksel bir boyutunun olmadığı ve alt bileşenlerine parçalanmadığı bilinmektedir (Martin, 2013). Fotoelektrik olayda fotonlar, hedef atomlarının çoğu kez iç yörünge elektronları ile etkileşime girer ve enerjileri bağlanma enerjilerinden yüksekse yörüngeden elektron fırlatılır. Foton kaybolarak enerjisinin tamamını elektrona aktarır. Elektronun fırlatılmasıyla boş yörüngede açılan boşluk başka bir yörünge elektronu tarafından doldurulurken karakteristik X-ışını yayımlanır (Şekil 2.2). Fotoelektrik olay oluşması için başlangıç fotonunun enerjisinin, elektronun bağlanma enerjisinden büyük olması gerekir. Ayrıca fotoelektrik olay oluşması olasılığı, fotonun ve bağlanma enerjisinin birbirine

en yakın ancak fotonun enerjisinin bir miktar daha fazla olduğu durumlarda en y\u00fcksektir (Martin, 2013).

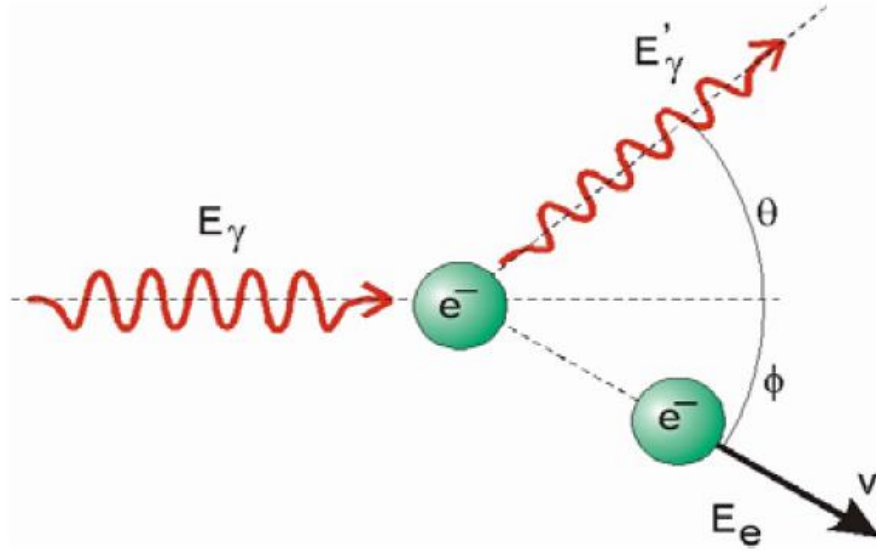


Şekil 2.2 : Fotoelektrik olay (Oto, 2012).

Fotoelektrik olayda saçılan foton yoktur, foton soğurulmuş olur. Fotoelektron da madde içinde kısa mesafede durdurulur. Atom elektron kaybettiğinden iyonize olur. Fotoelektronlar coulomb etkileşimi ile diğ er atomların elektronları ile etkileşir ve etkileştiği atomları da iyonize eder.

2.2.2 Compton saçılması

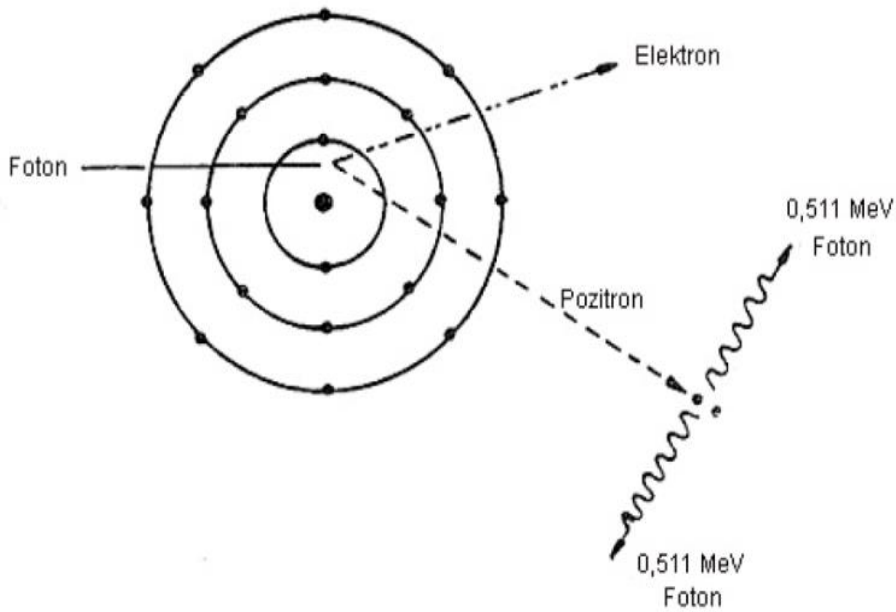
Foton atomun elektronuyla esnek çarpışma gerçekleştirdiğinde Compton Saçılması meydana gelir. Çok yüksek enerjili fotonların bir atomla etkileşime girdiği zaman belirli açılarla saçılması olarak da tanımlanabilir. Compton saçılması fotonların yalnızca dalga tabiatında değil parçacık olarak da değerlendirilmesi gerektiğinin bir göstergesidir. Foton genellikle atomun yörünge elektronuna çarparak onu yörüngesinden fırlatır, bu fırlatılan elektron compton elektronu olarak adlandırılır. Gerçekleşen esnek çarpışmada enerji ve momentum korunur. Gelen foton enerjisinin bir kısmını elektrona transfer eder ve bu foton geliş yönünden sapar (Şekil 2.3). Fotonda kalan enerjiyi başlangıç enerjisi ve sapma açısı belirler. Sapma açısı ne kadar küçükse enerji o kadar çok korunmuş olur. Saçılmadan sonra foton yok olmaz, atom iyonize olur, enerjisini aktarır ve yönü değişir. Compton saçılmasında saçılan fotonun enerjisi 0.51 MeV'den büyük olamaz ve fotonun enerjisi ne kadar yüksekse compton saçılmasının gerçekleşme olasılığı o kadar düşük olur. Bir compton saçılmasından sonra tekrar compton saçılması gerçekleşebilir (Martin, 2013).



Şekil 2.3 : Compton Saçılması (Oto, 2012).

2.2.3 Çift oluşumu

Çift oluşumunun gerçekleşebilmesi için başlangıç foton enerjisinin 1,02 MeV'den büyük olması gerekmektedir. Yeterince yüksek enerjiye sahip bir foton atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse çekirdeğin elektromanyetik alanıyla etkileşerek negatron ve pozitron olmak üzere bir çift oluşumuna neden olur (Şekil 2.4). Yani elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur. Çift oluşumunda fotonun tüm enerjisi iki elektronun kütlesine dönüşür ve bu Einstein'ın özel görelilik teorisinin örneklerinden biridir (Martin, 2013).



Şekil 2.4 : Çift Oluşumu (Martin, 2013).

2.3 Lineer ve Kütle Zayıflatma Katsayıları

Gama ve X-ışınları bir malzemeden geçerken fotoelektrik olay, compton saçılması, çift oluşumundan dolayı ışın demetinin şiddetinde azalma olur ve bu azalma eksponansiyeldir. Başlangıçta şiddeti I_0 olan bir foton, dx kalınlığındaki bir malzemeden geçerken şiddetinde dI kadar azalma olur. Işın şiddetindeki azalma, fotonun içinden geçtiği malzemenin kalınlığı ile doğru orantılıdır ve denklem (2.1) ile bulunur.

$$dI = -\mu I_0 dx \quad (2.1)$$

$$dI/I_0 = -\mu dx \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'nin sonlu bir x kalınlığına göre integrali alındığında, dar bir foton demetinin x kalınlığındaki bir soğurucudan geçerken foton şiddetindeki değişim elde edilir.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.3)$$

Lineer zayıflatma katsayısı soğurucu ortamda birim uzunluk başına etkileşim olasılığını verir. Birimi cm^{-1} dir. Toplam lineer zayıflatma katsayısı (μ), fotoelektrik (τ), Compton (σ) ve çift oluşumu (κ) katsayılarının toplamından denklem (2.4) ile bulunur.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.4)$$

Foton soğurulmasını veren bu üstel bağıntı, teorik olarak, bir foton demetinin tam olarak soğurulmasının asla gerçekleşmeyeceğini ifade eder. Ancak pratikte üstel azalma veya soğurulma, demet şiddetini algılanamaz düzeylere azaltmak için kullanılabilir.

Lineer zayıflatma katsayısının maddenin yoğunluğuna (ρ) oranına kütle zayıflatma katsayısı denir ve μ_p ile gösterilir. Kütle zayıflatma katsayısı,

$$\mu_p = \mu / \rho \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanır (Kaplan, 1989).

2.4 Radyasyondan Korunma

ICRP (International Commission on Radiological Protection) tarafından radyasyondan korunmanın 3 temel ilkesini sağlamak amacıyla radyasyondan korunma sistemi oluşturulmuştur. Bu 3 temel ilke gerekçelendirme, optimizasyon ve doz sınırları

başlıkları altında toplanır. Gerekçelendirme; net bir yarar sağlamayacak radyasyon uygulamalarından kaçınılmasını ifade eder. Optimizasyon ilkesinde ise tedavi amaçlı tıbbi ışınlamalar hariç, radyasyona maruz kalmayı gerektiren uygulamalarda bireysel dozun büyüklüğü, ışınlanacak kişilerin sayısı, olası tüm ışınlamalar için, ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurularak mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanmalıdır. Kişilerin alacakları doz (medikal olanların dışında) sınırlandırılmalıdır. Kısaltması “ALARA” olarak kullanılan, “As Low As Reasonable Achievable” prensibi mümkün olan en düşük dozun alınmasının sağlanması prensibidir. Doz sınırları; riski minimize etmek için herhangi bir bireyin normal çalışma koşullarında kabul edilemez sınırlarda doz almasını önlemeyi amaçlar.

Radyasyondan korunma yöntemleri radyasyon maruziyetinin dışarıdan veya içeriden olmasına göre değişir.

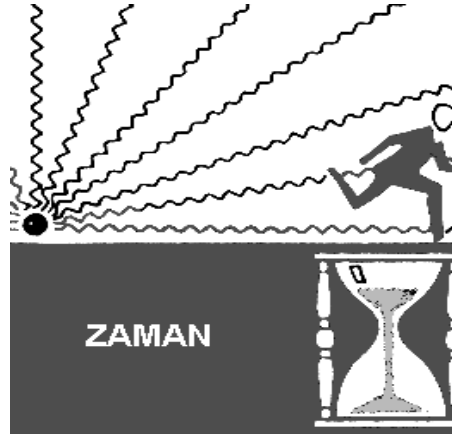
2.4.1 Vücut dışı ışınlamadan korunma

Oluşumundan itibaren, yerkürede bazı radyoaktif maddeler bulunmaktadır. Yer kabuğuna ait radyasyon düşük konsantrasyonda bütün toprak ve kayalara dağılmış olarak bulunur. Granit, kumtaşı ve kireçtaşı gibi bazı kayalar, uranyum, toryum ve bunların bozunum ürünleri ile K-40 gibi doğal radyoaktif maddeleri içerir. Bu maddelerin neredeyse hepsi gama ışını yayınlar ve vücudumuzu eşit olarak ışınlamaktadır.

Yapı malzemeleri; taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda radyoaktif olabilirler. Bütün bunlardan dolayı maruz kaldığımız radyasyon dozu, yerin jeolojik yapısına ve oturduğumuz evin yapısında kullanılan inşaat malzemesine bağlı olarak değişmektedir.

Dış radyasyon ayrıca X-ışını veya diğer radyasyon üreten cihazlardan ve radyoizotoplardan kaynaklanır. Dış radyasyondan korunmada zaman, mesafe ve zırhlama olmak üzere 3 temel madde vardır.

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 radyasyon maruziyeti azaltılmış olur. Radyasyon üreten bir cihaz ya da radyoaktif bir kaynağın bulunduğu ortamda ne kadar az zaman geçirilirse o kadar az doza maruz kalınarak radyasyondan mümkün olduğunca korunma sağlanmış olur (Şekil 2.5).

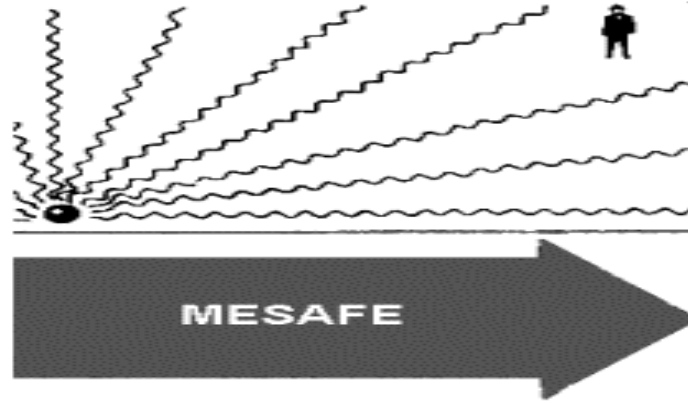


Şekil 2.5 : Radyasyondan korunmada zaman faktörü (Akyıldırım, 2011).

Radyoaktif kaynakla veya radyasyon cihazı ile ışınlamanın yapıldığı sırada kaynakla aramızdaki mesafe ne kadar fazla ise o kadar az doza maruz kalınır (Şekil 2.6). Gama radyasyonu ile gerçekleştirilen çalışmalarda uzaklığın önemi alfa ve beta kaynaklarına göre daha fazladır. Radyasyon dozu mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azalmaktadır (Ters kare kuralı). Ters kare bağıntısı;

$$D_2 = D_1 \left(\frac{x_1}{x_2} \right)^2 \quad (2.6)$$

olarak verilmektedir.



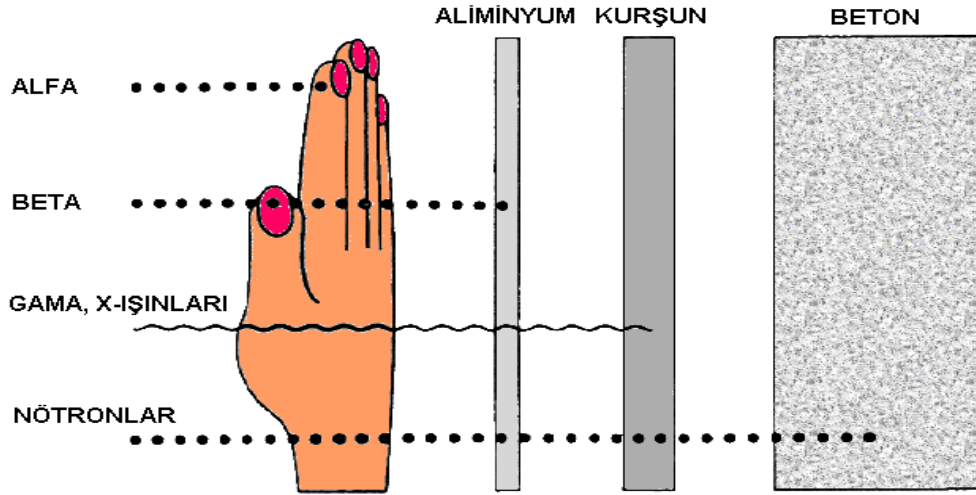
Şekil 2.6 : Radyasyondan korunmada mesafenin etkisi (Akyıldırım, 2011).

Canlı veya cansız sistemlerin radyasyon kaynağından gelen radyasyondan korunması, radyasyon maruziyetinin ortadan kaldırılması ya da maruz kalınacak radyasyon miktarını en aza indirmek için radyasyon kaynağı ile korunmak istenen sistem arasına koyulan engellere zırh, sistem ve korunacak canlı veya cansız malzeme arasına zırh koyma işlemine de zırhlama denir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Radyasyondan korunmada zırlama (Akyıldırım, 2011).

Radyasyonun madde ile etkileşimleri radyasyon tipine ve enerjisine göre değişir (Lowenthal ve Airey, 2001). Radyasyon zırlama, radyasyonun bu çeşitliliğinden kaynaklanan etkileşim mekanizmalarından ve geometrik tasarımından dolayı karmaşık bir işlemdir (Martin, 2006). Şekil 2.8’de genel olarak radyasyon çeşitlerine göre zırlama malzemeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Radyasyon türlerine göre farklı zırh malzemeleri (Yılmaz, 2011).

2.4.2 Vücut içi ışınlamadan korunma

Radyasyon maruziyeti doğada yalnızca yapay yollardan kaynaklanmaz. Doğada kendiliğinden de bulunmasından kaynaklı olarak yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan da belli miktarlarda radyasyon vücuda alınır. Bu doğal radyoaktivite nedeni ile vücudumuz doğal olarak radyasyona maruz kalmaktadır. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. İç ışınlama kaynaklarından alınan yıllık

ortalama etkin doz miktarının yaklaşık 0.3 mSv olduğu ve bunun yarısının Potasyum-40'tan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (UNSCEAR, 2000).

2.5 Yarı Değer Kalınlık

Engel oluştururken malzemeden geçen ışın şiddetini, malzemeye gelen ışın şiddetinin yarısına düşüren kalınlık yarı değer kalınlık (YDK) olarak tanımlanır. Aynı şekilde malzemeden geçen ışın şiddetini başlangıçtaki ışın şiddetinin onda birine düşüren kalınlık da onda bir değer kalınlığı (ODK) olarak adlandırılır. YDK ve ODK sırasıyla Denklem (2.7) ve Denklem (2.8) ile hesaplanır.

$$YDK = \ln 2 / \mu \quad (2.7)$$

$$ODK = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (2.8)$$

Yarı değer kalınlık ve onda bir değer kalınlık hızlı ve tutarlılığı yüksek zırhlama hesapları yapmaya yarayan iki önemli faktördür (Martin ve diğ., 2012). Zırhın veya soğurucu malzemenin başlangıçtaki radyasyon seviyesini sırasıyla yarıya ve onda birine indiren YDK ve ODK değerleri aynı zamanda gama zırhlamasının verimliliğini hesaplamada da kullanılır (Akkurt ve diğ., 2012; Lopez ve diğ., 2005). Belirli kalınlıktaki materyalden geçen radyasyon miktarı, belirli fotonların enerjileri ve malzemenin öz kütle ve atom numarası gibi bazı karakteristik özellikleri ile belirlenir. YDK hem belirli radyasyon tiplerinin penetrasyon yeteneğini hem de belirli malzemeden geçen radyasyon miktarını hesaplamada en sık kullanılan belirleyici faktördür. Yani YDK ve ODK değerleri bilindiğinde malzemenin diğer kalınlıklardaki ilerleme miktarları da kolayca hesaplanabilir.

3. BETON

Hazır beton standart olarak çimento, su, agrega karışımıyla, gerektiğinde bu karışıma katkı malzemesi de eklenerek elde edilebilen bir yapı malzemesidir. Başlangıçta sadece bir karışım olup, plastik veya akışkan bir kıvamdadır. Daha sonra şekil verilip, zamanla katılaşıp sertleşir. Böylelikle mukavemet kazanarak en önemli yapı malzemelerinden biri haline gelir. Malzeme karışım oranları genellikle %10 çimento, %15 su, %75 agrega olarak kullanılır. Ancak gerekli olması halinde katkı malzemesi kullanılabilir. Katkı malzemesi miktarı çimento ağırlığının %2'sini geçmeyecek şekilde hesaplanarak eklenir (MEB, 2012).

3.1 Beton Türleri

TS EN 206-1 standartlarına göre beton 3 sınıfa ayrılır. Bunlar normal beton, hafif beton ve ağır betondur. Bu beton türlerine ait birim hacim ağırlıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Beton türlerinin yoğunlukları.

Beton türü	Yoğunluk (kg/m ³)
Normal Beton	2000-2600
Hafif Beton	800-2000
Ağır Beton	>2600

Taze betonda aranan özellikler; işlenebilirlik, uygun kıvam, agrega maksimum büyüklüğü, taze beton sıcaklığı ve birim ağırlık olarak listelenebilir. İşlenebilirlik özelliği betonun homojenliğini kaybetmeden karıştırılabilmesi, taşınıp yerleştirilebilmesi ve sıkıştırılabilmesi olarak tanımlanabilir. İşlenebilirliğin ölçüsü kıvamdır. İşlenebilirlik özelliği yüksek olan taze betonda vibratör masası kullanılarak boşluksuz bir yerleştirme yapılabilir. Kıvam ise akıcılık derecesini ifade eder. Ayrıca taze betonun kendi ağırlığı altında hareket edebilmesi olarak da tanımlanır. Betonun kıvamı, kullanılacağı yere, işlenebilmesine ve döküm yapılacak yere ne şekilde taşınacağı göz önünde bulundurularak dikkatle hesaplanmalıdır. Taze betonun

sıcaklığı TS EN 206-1 standartlarına göre en az 5 °C olmalıdır. Betonun yapımında kullanılacak en iri agrega tane büyüklüğünün, döşeme derinliği, pas payı, donatı aralığı gibi özelliklerle uyumlu olacak şekilde seçilmesi gerekir (MEB, 2012).

3.2 Özel Amaçlı Betonlar

Geleneksel betonun yetersiz kaldığı veya istenilen özellikleri karşılayamadığı durumlarda özel beton kullanımı zorunlu hale gelir. Bu nedenle özel beton tipleri, kullanılan malzeme, karışım oranları, özellikleri ve kullanım alanları bakımından çeşitlilik gösterir. Farklı kullanım alanları için özel amaçlarla geliştirilmiş bir çok beton türü bulunmaktadır. Bunlar genelde bazı beton özelliklerinin değiştirilip, amaca uygun şekilde iyileştirilmesi veya betona istenilen yeni özelliklerin kazandırılması amaçlanarak geliştirilir. Özel amaçlı betonlar çoğu zaman kullanılan agrega ve kimyasal katkı değiştirilerek veya bunların kullanım oranları değiştirilerek elde edilir. Bazı özel tip betonlar uzun süredir yaygın kullanımda olup, bazıları ise beton sektörüne yeni kazandırılmaktadır. Ağır betonlar, polimer betonlar, püskürtme betonlar, prepakt betonlar ve su altında betonlar özel amaçlı beton türlerindendir (Özturan, 2013). En yaygın kullanıma sahip olan betonlar ise hafif betonlar ve ağır betonlardır. Bu tez çalışmasında üretilen özel amaçlı betonlar hafif beton, ağır beton ve çelik lifli betondur.

3.2.1 Hafif beton

TS EN 206-1 standartlarında yoğunluğu 800 kg/m³ ‘ten büyük olup 2000 kg/m³ ‘ü geçmeyen betonlar hafif beton olarak tanımlanır (TSE, 2002). Özel betonları farklı özellikteki agregalar kullanarak, katkı malzemesi ekleyerek, yapım yönteminde değişiklikler yaparak üretmek mümkündür. Bu farklı özellikteki agregayı hafif agrega seçerek, yapıda hafiflik, ses ve ısı izolasyonunda avantaj sağlayan hafif beton üretilir (Türel, 2007).

Günümüzde normal betonların kullanım alanı çok fazla olmasına rağmen birim ağırlıkları yüksek olduğundan yapılarda ağırlığın artmasına neden olurlar. Yapılarda ağırlığın artması, olası bir deprem durumunda yapıya etkiyecek yatay yüklerin değerini artırır. Bu nedenle betonarme yapılarda taşıyıcı hafif betonların kullanılması yapının toplam ağırlığını azaltacağından, deprem anında yapıya etkiyecek yatay yüklerin değerini de azaltır. Bu da depremden kaynaklanabilecek hasarın azaltılmasını

sağlar. Yapı malzemesi olarak hafif betonların ağırlıkları hafif olmasına rağmen dayanımlarının yüksek olması, ekonomik olması, termik iletkenlik katsayısının düşük olması, ses yalıtımının iyi olması ve betonarme kalıbına uyguladığı basıncın daha düşük olması en büyük avantajlarıdır. Ancak hafif betonların su emme oranlarının ve porozite özelliklerinin normal betondan yüksek olması nem ve geçirimsizliğe karşı yalıtım gerektirmesine sebep olmaktadır. Ayrıca elastisite modülü gibi bazı özelliklerin de normal betona göre düşük olması, yapı tasarımında farklı hesap yöntemlerinin kullanılmasını gerektirir (Alduai, 1999).

Hafif beton üç şekilde elde edilebilir (Neville, 1995). Birinci yol, normal ağırlığa sahip agregalar yerine, daha hafif, daha çok boşluğa sahip yapay veya doğal agregalar kullanılarak üretmektir. Ponza, diatomit, volkanik cüruf ve küller doğal hafif agrega olarak kullanılırken, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil ve sleyt, sinterize uçucu kül ve yüksek fırın cürufları gibi malzemeler ise yapay hafif agrega türleridir (Baradan,2000). Hafif beton üretiminde ikinci yol ise betonun içinde fiziksel veya kimyasal yollarla boşluklar açmaktır. Bu boşluklara da üretilen gaz ve köpük betonlarla yüksek oranda hava sürüklenmiş betonlar eklenerek beton hafifletilmiş olur. Üçüncü olarak, normal betondan ince agregaların çıkarılması yoluyla kumsuz hafif beton üretilir. 1600-2000 kg/m³ birim hacim ağırlığa sahip normal agregalı kumsuz hafif betonların birim ağırlığı, agregayı hafif seçerek üretilen hafif agregalı kumsuz betonlarda 650 kg/m³'e kadar düşürülebilir. Türkiye'de bu üç yoldan en yaygın kullanılanı boşluklu doğal veya yapay agrega kullanılarak yapılan hafif beton üretimidir. Doğal hafif agregalardan en yaygını özellikle pomza, volkanik tuf ve volkanik cüruftur. Ülkemizde pomza taşı Orta ve Doğu Anadolu'da büyük rezervleri bulunan bir taştır. Pomza boşluklu bir yapıya sahip, silika esaslı, sünger görümlü ve birim hacim ağırlığı 1 gr/cm³ den az volkanik bir doğal hafif agregadır. Gözeneklerinin birbiriyle bağlantısız olmasından dolayı ısı ve ses iletkenliği oldukça düşüktür. Bu nedenle yalıtım betonları üretiminde ve taşıyıcı hafif betonların üretiminde tercih edilebilir (Oğuz ve Türker, 1997).

3.2.2 Ağır beton

Doğal veya yapay agregalar kullanılarak birim ağırlığı 2600 kg/m³'den büyük olan beton çeşitleri ağır beton sınıfına girer. Ağır agregalarla üretildiğinden normal betona göre %50-100 daha yüksek birim ağırlığa sahiptir (TSE, 2002). Günümüzde ağır

betonlar nükleer enerji santrallerinde, tıbbi amaçlı radyasyon ya da radyoaktif malzeme kullanan birimlerde, nükleer araştırma ve deney laboratuvarlarında radyasyona karşı zırhlama malzemesi olarak kullanılmaktadır (Topçu, 2003). Zırhlama için kullanılabilir başka malzemeler de vardır ancak bu malzemeler tercih edildiğinde aynı korumayı sağlamak için kalınlıkların çok büyük olması gerektiğinden, daha ekonomik ve daha etkin bir korumayı makul fiziksel özelliklerle sağlayabilmesi bakımından ağır betonlar büyük avantaj sağlar (Baradan ve diğ., 2002). Radyasyon zırhlama malzemesi olarak kullanılacak bir ağır beton türünde, taşıyıcı olmayan kalın kütle beton basınç dayanımlarının yaklaşık 14 MPa, taşıyıcı beton duvarlar kullanılması durumunda ise beton dayanımlarının 20-35 MPa arasında olması gerekmektedir. Nükleer enerji santrallerinde kullanılacak olan ağır betonun ise 28 günlük dayanımının 60-75 MPa olması gerekmektedir (Baradan ve diğ., 2012).

Ağır beton üretiminde yapay veya doğal agregalar kullanılabilir. Doğal agregalardan en yaygın olanlar barit (BaSO_4), limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), ilmenit (FeTiO_3), viterit (BaCO_3), geotit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) gibi agregalardır. Demir saçmaları, kurşun parçacıkları, ferrosilikon, ferrofosfor ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_3$) ise yapay agrega olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bor minerali de ağır beton yapımında kullanılır. En uygun olarak kullanılan baryum sülfat da denilen barit betona zarar vermemesi ve birim ağırlığını 3600 kg/m^3 'e kadar çıkarabilmesinden dolayı tercih edilir. Agregalar olarak magnetit ve limonit kullanılan betonlarda birim ağırlıklar $3400\text{-}3600 \text{ kg/m}^3$ arasında iken, demir parçacıkları tek veya diğer agregalarla beraber kullanıldığında birim ağırlık $5500\text{-}6500 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar yükselbilmektedir (Baradan ve diğ., 2012).

3.2.3 Çelik lifli beton

Çelik lifli betonlar betonda süneklik özelliğinin gerekli olduğu durumlarda tercih edilir. Normal betonlara kıyasla süneklik, çekme dayanımı ve tokluk gibi özelliklerinin yüksek olması tercih sebebidir. Betonda lif içeriğinin artmasıyla işlenebilirlik özelliği ciddi ölçüde azaldığından, bu problemi çözmek için akışkanlaştırıcılar kullanılır. İşlenebilirliği artırmak ve homojen bir lif dağılımı sağlayabilmek için iri agrega miktarının az kullanılması gerekmektedir. Karma suyu olarak temiz ve içilebilir özellikte bir su kullanılmalıdır. Hidratasyon özelliğini etkilememesi ve liflerin yapısını bozmaması için zararlı bileşenlerden kaçınılması gerekmektedir (Ersoy, 1985).

3.3 Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımı (Mukavemet)

Mekanik özelliklerden en önemlisi betonun mukavemetidir. Çünkü betonun diğer tüm özellikleri, mukavemet değerleri ile paralellik gösterir. Bundan dolayı basınç dayanım testi sonuçları ile betonun kalitesini ve sınıfını belirlemek mümkündür (MEB, 2012).

Betonun basınç dayanımı genel olarak, beton numunesine belli bir eksende etkiyen basınç yükü altındaki davranışı sonucunda tespit edilir. Bu davranışta kırılmaya karşı direnç ne kadar fazla ise betonun basınç dayanımı o kadar yüksektir. Ayrıca basınç dayanımı fonksiyonu zamana bağlı bir fonksiyon olduğundan son mukavemet değerini uzun süre sonra alır (Akman, 1997; Postacıoğlu, 1969). Betonun basınç dayanım değeri agrega özelliklerinden, çimento özelliklerinden, karma suyundan, su/çimento oranından ve kompansiteden etkilenir.

3.3.1 Agrega özelliklerinin basınç dayanımına etkileri

Beton hacminin yaklaşık yüzde yetmiş beşini oluşturan agrega, maliyetinin de düşük olmasından dolayı genellikle betonda dolgu malzemesi olarak kullanılır. Agregasız hazırlanan betonlarda beton karışımı kuruyup sertleştikçe hacminde meydana gelen değişiklikler çok büyük olurken; agrega kullanılarak üretilen betonlarda bu hacim değişikliği (büzülme) ve betonlarda çatlamlar ihmal edilebilir derecelere inmektedir (Erdoğan, 1995). Ayrıca agrega tane dayanımı, betonun basınç dayanımı ile doğru orantılıdır. Gözenekli yapıya sahip, hafif agregalar kullanılması betonun mukavemetini düşüreceği gibi, ağır agrega kullanılması mukavemeti artırmaktadır (Postacıoğlu, 1986).

3.3.2 Çimento özelliklerinin basınç dayanımına etkileri

Betonu oluşturan ve basınç dayanımına etki eden temel bileşenlerden biri olan çimento, beton üretim aşamasında su ile temas ettiği andan itibaren kimyasal tepkimeler başlamış olur. Başta çimento hamuru denilen kıvamda olan karışım, bu tepkimeler devam ettikçe yerini daha sert ve dayanımı yüksek olan bir yapıya bırakır. Çimento hamuru, betonu oluşturmak için kullanılan agregaların yüzeyini kaplamak ve taneler arası boşluğu kapatarak bağlayıcılık yapmak üzere kullanılır (Erdoğan, 1995). Çimentonun özelliklerinin üretilecek betonun basınç dayanımına etkisi hidrasyon ile olur. Beton bileşenleri karıştırıldıktan birkaç saat sonra plastik özelliği kaybolmuş katı bir yapı oluştururlar. Buna neden olan ve çimento ile suyun tepkimesi sonucu oluşan

kimyasal reksiyona hidratasyon denir. Hidratasyon hızlı gerçekleştiğinde çimentonun mukavemeti yüksek değerlere daha hızlı ulaşır. Ancak bu durum en son mukavemet değerinde bir yükselme sağlamaz, yalnızca süreci hızlandırır. Ayrıca çimentonun inceliğinin artması da betonun mukavemet kazanmasını hızlandırır (Gündoğdu, 1997).

3.3.3 Karma suyunun basınç dayanımına etkileri

Beton üretiminde en başta yapılan beton tasarımında hesaplanan karışım suyu oranlarına sadık kalınarak beton karışımı hazırlanmalıdır. Bu hesaplardan fazla oranda karışım suyu kullanılması halinde betonun dayanımı azalır. Daha az su kullanılması ise hidratasyonun tam gerçekleşmemesine neden olur. Beton karışımı içindeki tüm agregaların yüzeyi ıslanmayacağından aderans zayıflar. Dolayısıyla betonun işlenebilirlik özelliğinin kaybedilmesine yol açabilir (Postacıoğlu, 1986). Betonda kullanılacak karma suyu TS 500'e göre asidik özellikte olamaz, yani pH derecesi 7 veya 7'den büyük olmalıdır (TS 500, 2001).

3.3.4 Su/Çimento oranının basınç dayanımına etkisi

Beton üretiminde kullanılan karma suyunun optimum değerden sapmasının ve çimentonun karakteristik özelliklerinin ve miktarının basınç dayanımına etkileri ayrı ayrı bilinmektedir. Bu iki faktörün bir arada değerlendirilmesi ise su/çimento (W/C) oranını meydana getirir. W ve C aynı beton karışımında bulunan sırasıyla su ve çimento oranını ağırlık cinsinden ifade eder. W/C oranı ile basınç dayanımı ters orantılıdır. Bir betonda W/C oranı arttıkça, basınç dayanımı da o kadar azalır (Postacıoğlu, 1987). W/C oranının düşük olması, çimento daneleri arası mesafenin de o kadar küçük olması anlamına gelmektedir (Collepari ve Gököz, 1989).

3.3.5 Kompasite ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği gerçek hacim kompasite olarak tanımlanır. Yani kompasitenin küçük olması, betondaki boşlukların da bir o kadar büyük olduğu anlamına gelir. Bu boşluklu yapı ise porozite olarak adlandırılır. Porozite malzemeye gözenekli bir yapı katacağından malzemenin dayanımını azaltması ile doğrudan ilişkilidir (Postacıoğlu, 1987). Agregas konsantrasyonu betonların elastisite modüllerini artırdığından, agregas konsantrasyonunun artması da basınç dayanımını artırır (Yıldırım, 199

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında özel amaçlı beton sınıfına giren ponza, barit ve çelik lifli betonların Cs-137 ve Co-60 radyoizotopları kullanılarak, 662 ve 1250 keV enerjili gama radyasyonunu zayıflatma özellikleri incelenmiş ve normal beton ile karşılaştırmalı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan beton numuneler ve deney düzeneği hakkında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

4.1 Deneyde Kullanılan Beton Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada 4 farklı türde beton numune üretilmiştir. Beton numuneler, Karadeniz ve Marmara Bölgesi'ndeki hazır beton santrallerinde hizmet veren Muhammet Gümüştaş A.Ş. nin Ayazağa tesisinde üretilmiş, testler İkitelli tesisinde gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan beton çeşitlerinin üretimi için gerekli olan ponza, barit ve çelik lif temin edildikten sonra beton karışımı elde edilmeden önce tüm malzemelere beton üretimine uygunluğunun test edilmesi için başta elek testi olmak üzere fiziksel testler uygulanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Özel beton üretiminde kullanılan ponza, barit ve çelik lif malzemeler.

Normal ve özel amaçlı betonların üretimine geçmeden önce deneme betonu oluşturulmuştur. Farklı beton türleri için karışımda yer alacak malzeme miktarları ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan çimento miktarı

1 m³'te 480 kg olacak şekilde sabit tutularak kıyaslama için olarak sağlanmıştır. Beton modelinde C30 tipinde beton tasarlanmıştır ancak KYB (kendiliğinden yerleşen beton) kullanılacağından mukavemet değerlerinin C30'dan yüksek olacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.1 : Normal, çelik lifli (Dramix), Ponza ve Baritli deneme betonu özet tablosu.

Malzeme	DENEME 2018-557			DENEME 2018-558		DENEME 2018-559		DENEME 2018-559		
	1m³	13 dm³		1m³	13 dm³	1m³	9 dm3	1m³	13 dm³	
Çimento	480	6,240		480	6,240	480	4,320	480	6,240	
Cüruf	0	0,000		0	0,000		0,000	0	0,000	
Su	168	2,184		168	2,184	180	1,620	168	2,184	
PONZA	0	0,000		0	0,000	400	3,600	0	0,000	
1 No Mıcır	700	9,100		700	9,100	150	1,350	1640	21,316	
Taş Tozu	0	0,000		0	0,000	200	1,800	0	0,000	
Taş Tozu (Cebeci)	571	7,425		545	7,087		0,000	750	9,745	
Doğal Kum	453	5,893		453	5,893	470	4,230	0	0,000	
Katkı Tipi	CHRYSO 4140-4	1,5		CHRYSO 4140-4	1,7	CHRYSO 4140-4	1,4	CHRYSO 4140-4	1,5	
BİRİM MAALİYET										
Katkı Miktarı	2214 7,20 1121 0,00	93,6 0,0		2214 8,16 1121 0,00	106,1 0,0	2214 6,72 1121 0,00	60,5 0,0	2214 7,20 1121 0,00	93,6 0,00	
Kullanılan Malzeme Kaynakları	1 No Mıcır: Dalbay/Cebeci K.Kum: Dalbay/Cebeci D.Kum: Kuzey İstanbul			Dramix = 28 KG 1 No Mıcır: Dalbay/Cebeci K.Kum: Dalbay/Cebeci D.Kum: Kuzey İstanbul		PONZA 1 No Mıcır: Dalbay/Cebeci K.Kum: Dalbay/Cebeci D.Kum: Kuzey İstanbul		1 No Mıcır: BARİT K.Kum: BARİT		
Toplam	2380			2355		1887		3045		

Ponzanın su emme özelliği dikkate alınarak, su çimento oranının (S/Ç) ponza katkılı beton için 0.375, diğer betonlar için 0.35 olmasına karar verilmiştir. Normal beton üretiminde agrega olarak mıcır (Dalbay/Cebeci), taş tozu (Cebeci) ve doğal kum (Kuzey İstanbul) kullanılmıştır. Çelik lif ve ponza katkılı beton üretiminde de normal beton için kullanılan agregalardan yararlanılmıştır. Baritli beton hazırlanırken mıcır ve taş tozu yerine barit kullanılmıştır. Taze beton yoğunlukları normal, çelik lifli, ponza katkılı ve baritli beton için sırasıyla 2380, 2355, 1887 ve 3045 kg/m³ olmuştur. Yoğunluk sınıflandırmasına göre iki normal, bir hafif ve bir ağır beton çeşidi elde edilmiştir.

Beton karışımlar, deneme betonu özet tablosunda verilen değerler dikkate alınarak, Gümüştaş Beton, Ar-Ge laboratuvarında hassasiyetle hazırlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Beton karışımların hazırlanması.

Mikserde karışım elde edildikten sonra her beton çeşidinde kıvamlılık kontrol edilmiştir. Taze beton çökme testinde (Slump testi) tüm betonlar için değerler birbiriyle örtüşmüştür. Daha sonra tüm betonların kütlesi ölçülerek birim ağırlığı hesaplanmıştır. Bu ölçümlerden sonra vibratör masası hazırlanarak her bir beton grubundan 6'şar adet numune (basınç dayanımı ve radyasyon deneyleri için 3'er adet) elde etmek üzere çapı 10 cm ve yüksekliği 20 cm olan silindir kalıplara dökülmüştür. Bu aşamada arada herhangi bir boşluğun kalmaması için vibratör masasında titreşimlerle tüm karışımın kalıplara tam olarak yerleşmesi sağlanmıştır. Bütün numuneler olası bir karışıklığı engellemek için etiketlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.3 : Taze betonun kalıplara alınması ve etiketlenmesi.

Prizini alan beton numuneleri 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca 20°C sıcaklıktaki kirece doymun suda kürlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Beton numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.

Beton numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra basınç-dayanım testlerine ve levha kesim işlemine hazır hale gelmiştir. İkitelli beton laboratuvarına getirilen numuneler, deney düzeneklerine uygun hale getirilmek üzere tıraşlama ve kesim işlemine sokulmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Beton numunelerin tıraşlama işlemi.

Tüm yüzeylerin düzgün olması mukavemet testinin yapılacağı press cihazının sağlıklı sonuç vermesi için önemlidir. Her beton grubundaki numunelerden 3'er tanesi

kullanılarak 28 günlük k rl me sonundaki basınc-dayanım testleri yapılmıştır (şekil 4.6).



şekil 4.6 : Beton numunelerin basınç dayanım testi.

Gama radyasyonunu zırhlama özelliklerinin incelenebilmesi için, herbir beton grubundaki numuneden 2, 3, 4 ve 6 cm lik bloklar kesilip pürüzlü yüzeyler tekrar tıraşlanmıştır. Bu bloklar kullanarak 2 cm den 8 cm'ye kadar değişen kalınlıklardan ölçümler alınarak beton numunelerin gama radyasyonunu zayıflatma oranları tespit edilebilmiştir. Gama geçirgenlik deneyleri için hazırlanan beton numuneler şekil 4.7'de görülmektedir.



(a)  elik Lifli Beton



(b) Ponzalı Beton



(c) Normal Beton



(d) Baritli Beton

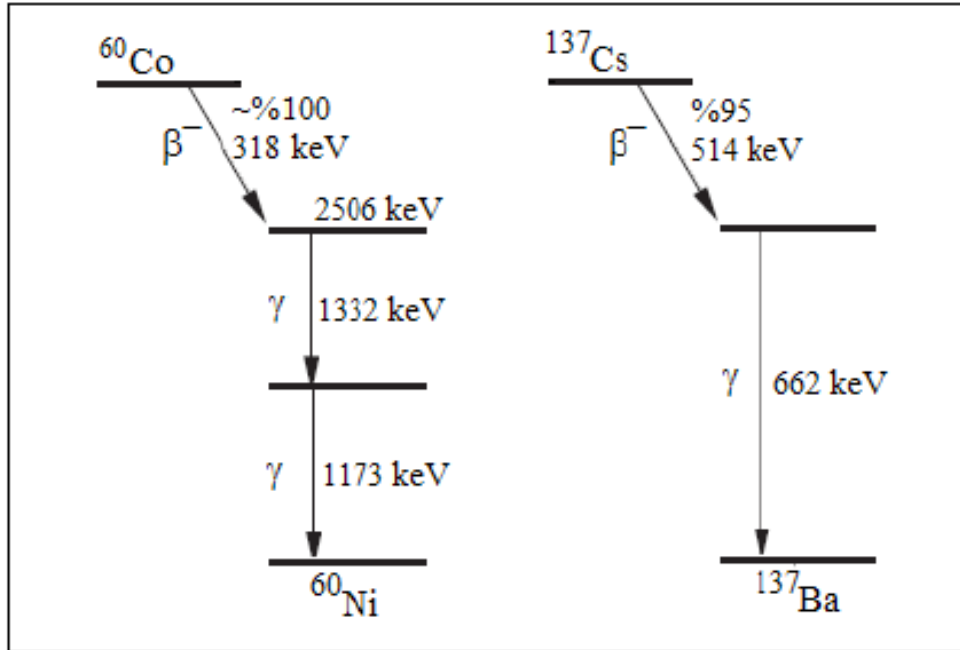
şekil 4.7 : Gama geçirgenlik deneyi için hazırlanan beton numuneler.

4.2 Deney Düzeneği

Beton numunelerin gama radyasyonunu zayıflatma özellikleri Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)’nde gama kalibrasyon laboratuvarlarında incelenmiştir. Deneylerde, tıp ve endüstride yaygın kullanımı olan Co-60 ve Cs-137 gama radyoizotop kaynakları kullanılmıştır. Böylelikle 662 keV ve 1250 keV enerjili fotonlarla deneyler gerçekleştirilmiştir. Farklı laboratuvarlarda yer alan Co-60 ve Cs-137 kaynakları için ayrı deney düzenekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan düzeneklerde deneylere başlanmadan önce kaynakların deney esnasındaki aktiviteleri kontrol edilmiştir. Söz konusu gama kaynaklarının özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Gama kaynaklarının bozunum şemaları ise Şekil 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.2 : Co-60 ve Cs-137 Radyoizotoplarının Özellikleri.

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü (yıl)	Enerjisi ve Bolluğu (keV)	Deney Tarihindeki Aktivitesi
Cs-137	30.1	662 (%100)	20 mCi
Co-60	5.23	1170 (%100) 1330 (%100)	5 Ci



Şekil 4.8 : Kullanılan radyoizotopların bozunum şeması (Martin, 2013).

4.2.1 Co-60 deney düzeneği

Co-60 radyoizotop kaynağı ile yapılan çalışmalar Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM), Sekonder Standart Dozimetri Labotatuvarı (SSDL) Co-60 Gama Kalibrasyon Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde kullanılan dozimetre sistemi iyon odası ve elektrometreden oluşmaktadır (Şekil 4.10). Çizelge 4.2'de ölçüm sisteminin özellikleri verilmektedir.



Şekil 4.9 : PTW İyon Odası ve Elektrometre.

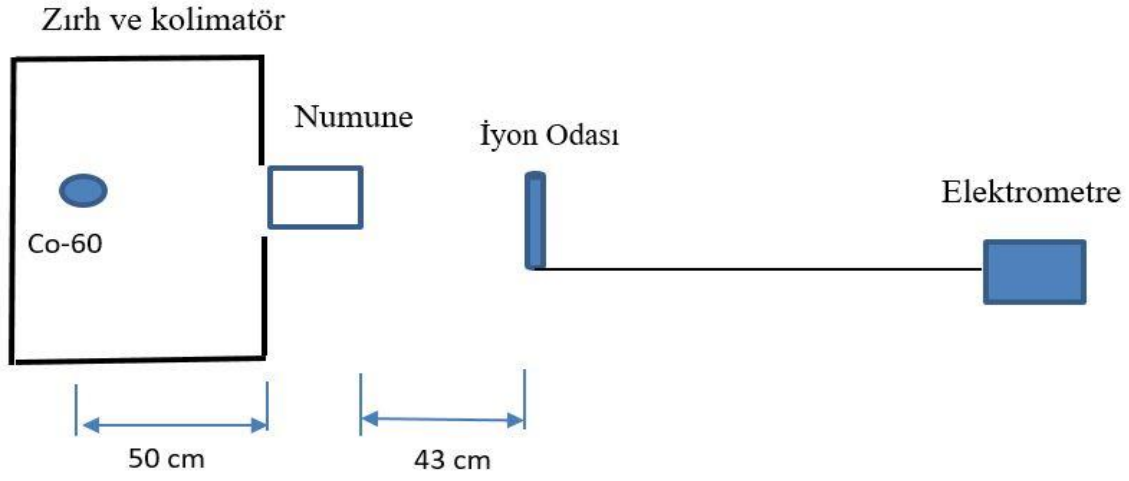
Çizelge 4.3 : İyon Odası ve Elektrometrenin Özellikleri.

	Elektrometre	İyon Odası
Marka	PTW UNIDOS	PTW
Model	10002	30013
Seri No	20221	5383

PTW iyon odası ve elektrometre, Co-60 ve lineer hızlandırıcılarda üretilen çeşitli enerjilerdeki fotonlar ve hızlandırılmış elektronlar kullanılarak uygulanan ışın tedavisi sürecinde yapılan doz planlama işleminde referans değerlerinin belirlenmesi ve ışınlama sistemlerinin kalite kontrol işlemlerinde kullanılmaktadır. Cihaz Gy, C, Gy/dk, C/dk gibi farklı radyasyon birimlerinde ölçüm yapabilmektedir. Bu çalışmada ölçümler nC biriminde elde edilmiştir.

Şekil 4.11'da şematik gösterimi verilen deney düzeneğinde görüleceği üzere kaynak ile numune arası 50 cm, numune ile iyon odası arası 43 cm olarak düzenlenmiştir. Kaynak, numune, iyon odası mesafesinin bütün deneylerde aynı olmasına dikkat edilmiştir. Beton numune, ebatlarından dolayı ekstra bir düzeneikle desteklenmiştir. Bu

ek düzenele numunelerin sabitlenmesi ve hizalanması sağlanmıştır. Co-60 deney düzeneği Şekil 4.11’de verilmektedir.



Şekil 4.10 : Co-60 Deney Düzeneğinin Şematik Görünümü.



Şekil 4.11 : Co-60 Deney Düzeneği.

Şekil 4.12’deki Picker cihazı ile Co-60 kaynağının açılıp kapanması ve yukarı aşağı hareketi kontrol edilirken PTW UNIDOS cihazı ile iyon odasından gelen sayımlar okunmuştur.



Şekil 4.12 : Co-60 kontrol ünitesi (Picker).

4.2.2 Cs-137 deney düzeneği

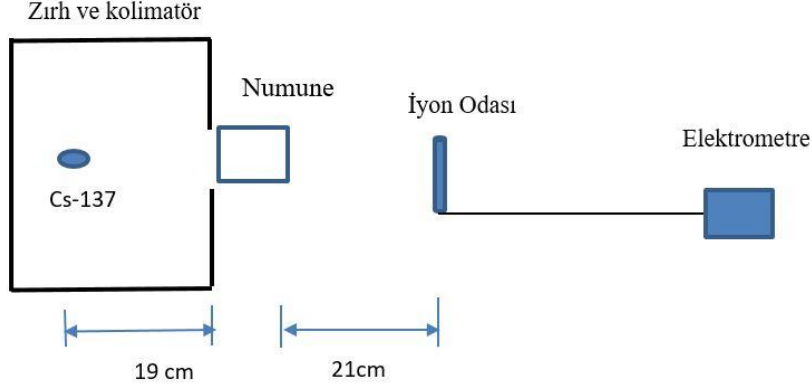
Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarı'nda kalibrasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği bir diğer laboratuvar da Cs-137 Gama Kalibrasyon Laboratuvarıdır. Burada radyoaktif madde bulunduran veya radyasyonla çalışan merkezlerde, nükleer tıp birimlerinde veya sanayi kuruluşlarında radyasyondan korunma amaçlı kullanılan çeşitli portatif radyasyon ölçer cihazların Cs-137 ve X-ışını kaynakları kullanılarak kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Co-60 ölçümleri tamamlanan numuneler Cs-137 Gama Kalibrasyon Laboratuvarına getirilmiştir. Cs-137 deney düzeneğinin genel görüntüsü Şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.13 : Cs-137 Deney Düzeneği.

Cs-137 gama kaynağı ile oluşturulan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.14'te verilmektedir. Ölçümler Co-60 deneylerinde kullanılan PTW marka iyon odası ve elektrometre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14 : Cs-137 Deney düzeneğinin şematik görüntüsü.

4.3 Deneylerin Yapılışı

Bu çalışmada, 2 farklı gama kaynağı ve 4 farklı beton türü için deneyler yapılmıştır. Ölçüm geometrisi en kalın beton numunesine (8 cm) göre planlanmıştır ve deney boyunca geometrinin aynı kalmasına dikkat edilmiştir.

Deney düzeneği hazırlandıktan sonra ilk olarak kaynak kapalı durumdayken boş sayım alınarak çevresel radyasyon düzeyi kontrol edilmiştir. Kaynak kapalıyken alınan bu sayım, sistem tarafından otomatik olarak kaydedilip hesaba katılarak, daha sonra alınan sayımlardan çıkarılmaktadır. Elektrometreden okunan sayımlar bu çevresel radyasyon şiddetinin otomatik olarak çıkarılmış halidir.

Çevresel radyasyon ölçümünün ardından, gama radyasyon kaynağı ile iyon odası arasına beton numuneler yerleştirilmeden başlangıç ölçümleri alınmıştır. Beton numunelerin ölçümüne geçildiğinde, 2 cm kalınlıktan başlanarak ve her seferinde birer cm artırmak suretiyle 8 cm kalınlığa kadar üçer kez ölçüm alınarak 2,3,4,5,6,7, ve 8 cm kalınlığındaki beton numuneler için ortalama değerler elde edilmiştir. Her bir ölçüm 1 dakika süreyle alınmıştır.

Numune yokken alınan başlangıç ölçümlerinin (I_0) beton numuneler varken alınan ortalama ölçüm sonuçlarına (I) oranı hesaplanmıştır. Böylece, çalışılan beton türlerine ilişkin olarak Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için zayıflatma oranları (I_0/I) elde edilmiştir.

Zayıflatma oranının kalınlıkla değişimi Origin8 programı kullanılarak grafik haline getirilmiş ve buradan hareketle lineer zayıflatma katsayıları hata mertebeleri ile birlikte belirlenmiştir. Lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak zırlama için önemli bir parametre olan yarı değer kalınlık değerleri elde edilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, biri normal diğer üçü özel amaçlı beton sınıfına giren 4 grup beton numunenin Cs-137 (662 keV) ve Co-60 (1250 keV) gama kaynaklarını zayıflatma özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, zayıflatma oranlarının kalınlıkla değişimini veren grafiklerden hareketle beton numunelerin lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra, lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak zırhlama için önemli parametrelerden biri olan yarı tabaka kalınlık değerleri elde edilmiştir. Deney sonuçları, her bir beton grubu için ayrı ayrı ele alındıktan sonra karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca, beton numunelerin 28 günlük kürlleme işleminden sonraki basınç dayanım testi sonuçları verilmiştir.

5.1 Beton Numunelerin 662 ve 1250 keV Enerjili Fotonları Zayıflatma Oranları

Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile 4 farklı numune grubu için gerçekleştirilen deneylere ilişkin sonuçlar alt bölümlerde verilmektedir. Deneyde ölçümler nC (nano Coulomb) biriminden alınmıştır ve 0 cm kalınlık olarak gösterilen veri, kaynak açıkken ancak numune yokken alınan ölçümü göstermektedir.

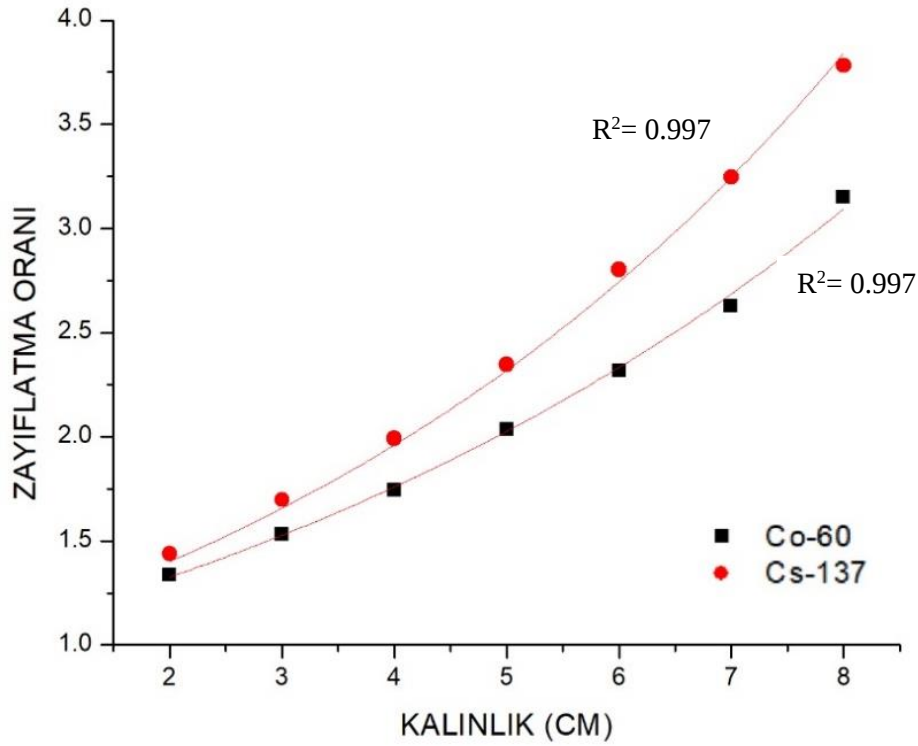
İlk olarak, zayıflatma oranının (I_0/I) numune kalınlığı ile değişimi Origin8 programı kullanılarak eksponansiyel olarak çizdirilmiştir. Eğri denklemlerinden hareketle beton numunelerin lineer zayıflatma katsayılarına ulaşılmıştır. Tüm beton çeşitleri için bu değerler tablolarla verilerek kıyaslaması yapılmıştır.

5.1.1 Normal beton deney sonuçları

Normal beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları kullanılarak elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.1’de ortalama ölçüm değerleri ve standart sapmalarıyla birlikte, Origin8 programı kullanılarak çizilen zayıflatma oranının kalınlıkla değişim grafiği ise Şekil 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 : Normal betonun Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için zayıflatma oranları.

Radyoizotop	Beton Kalınlığı (cm)	Ölçüm (nC)			Ortalama Ölçüm (nC)	Standart Sapma	Zayıflatma Oranı
		1	2	3			
Co-60 (1.25 MeV)	0	2.457	2.457	2.458	2.460	5.77E-4	1
	2	1.842	1.842	1.842	1.842	0	1.335
	3	1.607	1.607	1.607	1.606	5.77E-4	1.531
	4	1.412	1.412	1.412	1.412	0	1.742
	5	1.209	1.208	1.209	1.208	5.77E-4	2.035
	6	1.062	1.062	1.062	1.062	0	2.316
	7	0.936	0.936	0.936	0.936	2.88E-4	2.627
	8	0.781	0.781	0.781	0.781	0	3.147
	0	26.070	26.030	25.970	26.000	5.03E-2	1
Cs-137 (0.662 MeV)	2	18.040	18.110	18.110	18.080	4.04E-2	1.437
	3	15.310	15.320	15.310	15.310	5.77E-3	1.697
	4	13.050	13.060	13.060	13.050	5.77E-3	1.991
	5	11.080	11.080	11.080	11.080	0	2.346
	6	9.260	9.290	9.280	9.270	1.52E-2	2.802
	7	8.000	8.010	8.010	8.000	5.77E-3	3.247
	8	6.880	6.870	6.870	6.870	5.77E-3	3.782



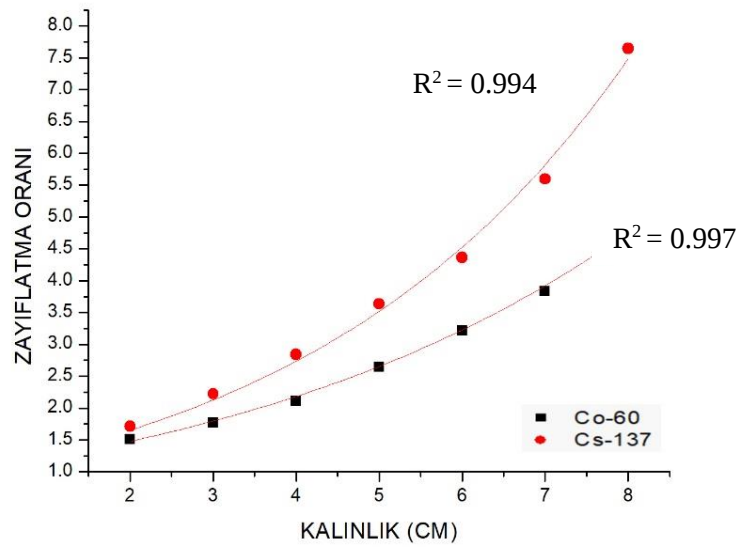
Şekil 5.1 : Normal beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişimi.

5.1.2 Baritli beton deney sonuçları

Baritli beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları kullanılarak elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.2’de, zayıflatma oranlarının kalınlıkla değişimi ise Şekil 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : Baritli beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları ile elde edilen zayıflatma oranları.

Radyoizotop	Beton Kalınlığı (cm)	Ölçüm (nC)			Ortalama Ölçüm (nC)	Standart Sapma	Zayıflatma Oranı
		1	2	3			
Co-60 (1.25 MeV)	0	2.457	2.457	2.458	2.460	5.77E-4	1
	2	1.630	1.631	1.630	1.630	5.77E-4	1.508
	3	1.388	1.389	1.388	1.388	5.77E-4	1.772
	4	1.167	1.167	1.167	1.167	0	2.108
	5	0.930	0.931	0.930	0.930	2.89E-4	2.645
	6	0.764	0.764	0.764	0.764	0	3.217
	7	0.643	0.643	0.643	0.643	0	3.825
	8	0.506	0.506	0.506	0.506	0	4.861
Cs-137 (0.662 MeV)	0	26.070	26.030	25.970	26.000	5.03E-2	1
	2	15.190	15.180	15.190	15.186	5.77E-3	1.712
	3	11.680	11.720	11.700	11.700	2.00E-2	2.222
	4	9.140	9.160	9.150	9.1500	1.00E-2	2.841
	5	7.150	7.150	7.150	7.1500	0	3.636
	6	5.970	5.940	5.960	5.956	1.53E-2	4.364
	7	4.640	4.650	4.650	4.646	5.77E-3	5.595
	8	3.400	3.400	3.400	3.400	0	7.647



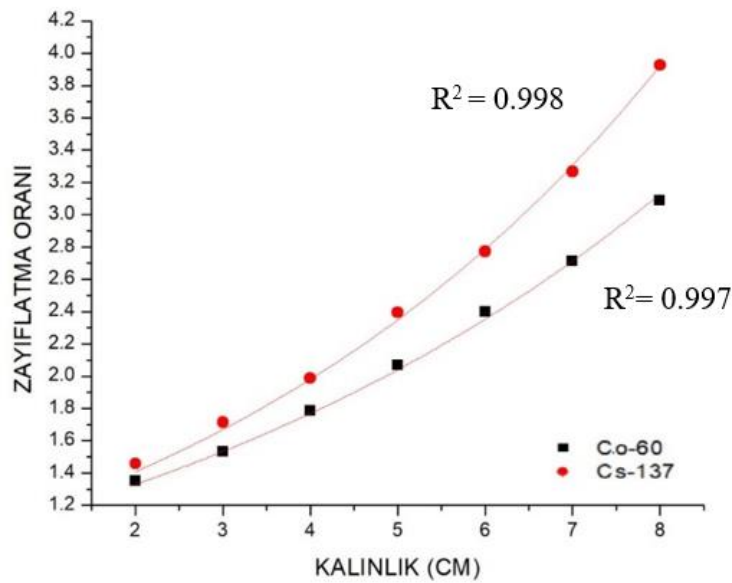
Şekil 5.2 : Baritli beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişimi.

5.1.3 Çelik lifli beton deney sonuçları

Çelik lifli beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları kullanılarak elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.3’de, zayıflatma oranlarının kalınlıkla değişimi ise Şekil 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3 : Çelik lifli beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları ile elde edilen zayıflatma oranları.

Radyoizotop	Beton Kalınlığı (cm)	Ölçüm No (nC)			Ortalama	Standart Sapma	Zayıflatma Oranı
		1	2	3			
Co-60 (1.25 MeV)	0	2.457	2.457	2.458	2.460	5.77E-4	1
	2	1.823	1.822	1.822	1.822	5.77E-4	1.349
	3	1.605	1.605	1.605	1.605	0	1.532
	4	1.378	1.378	1.378	1.378	0	1.785
	5	1.189	1.189	1.189	1.189	0	2.068
	6	1.026	1.026	1.026	1.026	0	2.397
	7	0.907	0.907	0.907	0.907	2.89E-4	2.711
	8	0.797	0.797	0.797	0.797	0	3.086
	0	26.070	26.030	25.970	26.000	5.03E-2	1
Cs-137 (0.662 MeV)	2	17.800	17.850	17.820	17.823	2.52E-2	1.458
	3	15.190	15.140	15.160	15.163	2.52E-2	1.714
	4	13.060	13.100	13.080	13.080	2.00E-2	1.987
	5	10.860	10.850	10.860	10.856	5.77E-3	2.394
	6	9.360	9.390	9.370	9.373	1.53E-2	2.773
	7	7.940	7.970	7.960	7.956	1.53E-2	3.267
	8	6.610	6.630	6.620	6.620	1.00E-2	3.927



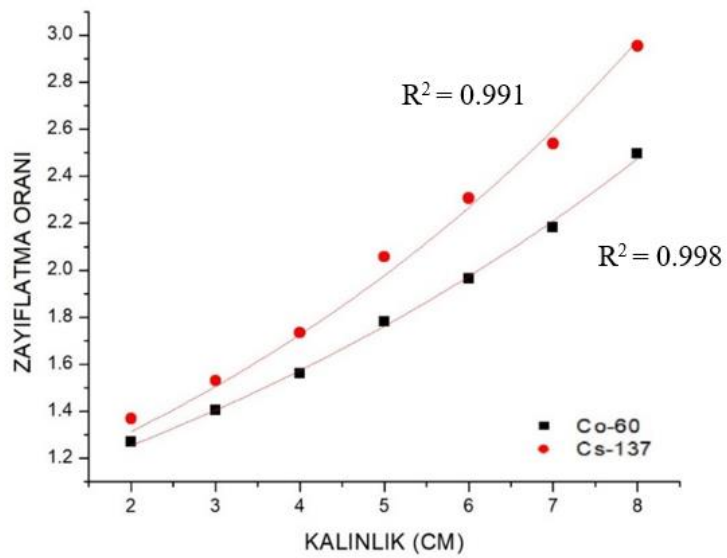
Şekil 5.3 : Çelik lifli beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişimi.

5.1.4 Ponzalı beton deney sonuçları

Ponzalı beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları kullanılarak elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.4’de, zayıflatma oranlarının kalınlıkla değişimi ise Şekil 5.4’de verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Ponzalı beton için Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları ile elde edilen zayıflatma oranları.

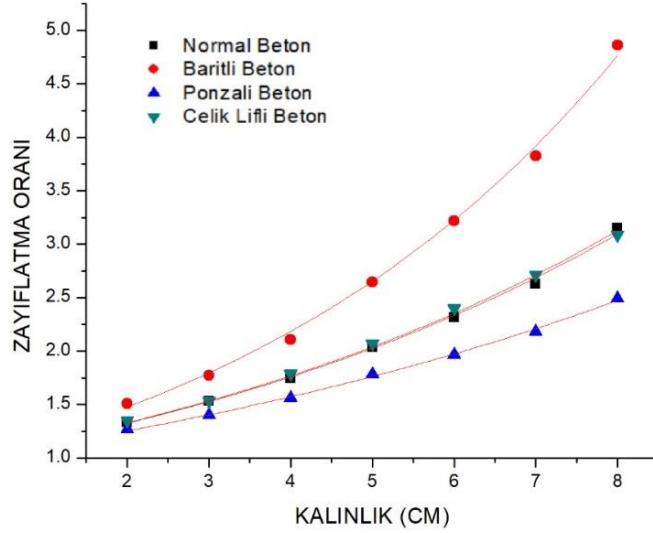
Radyoizotop	Beton Kalınlığı (cm)	Ölçüm (nC)			Ortalama Ölçüm (nC)	Standart Sapma	Zayıflatma Oranı
		1	2	3			
Co-60 (1.25 MeV)	0	2.457	2.457	2.458	2.460	5.77E-4	1
	2	1.936	1.937	1.937	1.936	5.77E-4	1.270
	3	1.751	1.751	1.751	1.751	0	1.404
	4	1.576	1.576	1.576	1.576	0	1.560
	5	1.381	1.381	1.381	1.381	0	1.781
	6	1.252	1.252	1.252	1.252	0	1.964
	7	1.127	1.127	1.127	1.127	0	2.182
	8	0.986	0.986	0.986	0.986	0	2.494
Cs-137 (0.662 MeV)	0	26.070	26.030	25.970	26.000	5.03E-2	1
	2	18.980	19.020	19.000	19.000	2.00E-2	1.368
	3	17.010	16.980	16.990	16.993	1.53E-2	1.530
	4	15.000	14.960	15.000	14.986	2.31E-2	1.734
	5	12.640	12.640	12.640	12.640	0	2.056
	6	11.250	11.290	11.270	11.270	2.00E-2	2.307
	7	10.260	10.230	10.240	10.243	1.53E-2	2.538
	8	8.820	8.780	8.800	8.800	2.00E-2	2.954



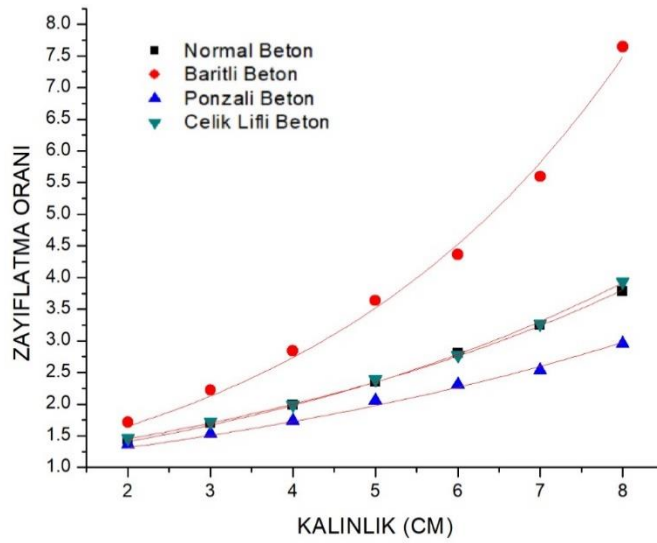
Şekil 5.4 : Ponzalı beton için zayıflatma oranının kalınlıkla değişimi.

5.2 Co-60 ve Cs-137 Gama Kaynakları İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Mukayeseli değerlendirme yapılabilmesi için Co-60 gama kaynağı ile 4 beton türü için elde edilen deney sonuçları Şekil 5.5’de birarada verilmektedir. Benzer şekilde Cs-137 gama kaynağı için hazırlanan grafik Şekil 5.6’da görülmektedir.



Şekil 5.5 : Co-60 gama kaynağı ile 4 beton türü için zayıflatma oranının kalınlıkla değişimi.



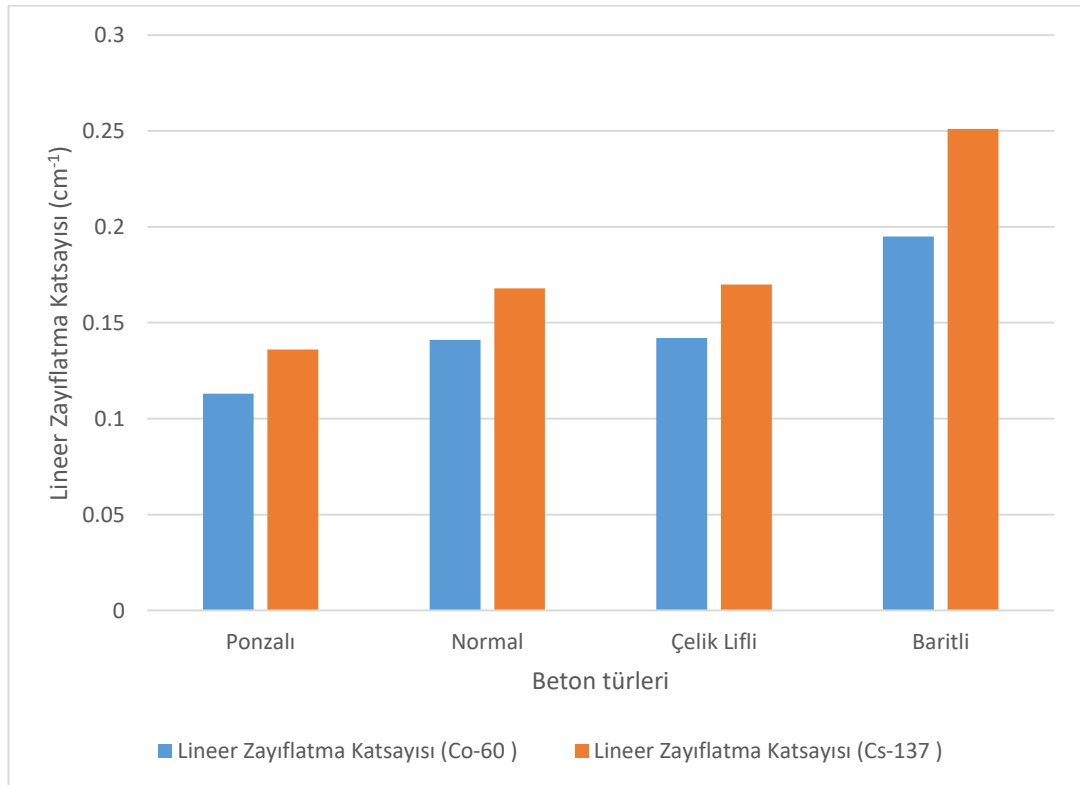
Şekil 5.6 : Cs-137 gama kaynağı ile 4 beton türü için zayıflatma oranının kalınlıkla değişimi.

5.3 Beton Numunelerin Lineer ve Kütle Zayıflatma Katsayıları

Şekil 5.1-Şekil 5.4’de verilen zayıflatma oranının kalınlıkla değişim eğrilerinden hareketle lineer zayıflatma katsayıları elde edilmiştir. Daha sonra Denklem (2.5) kullanılarak kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Beton numunelerin Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için elde edilen lineer ve kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 5.5 ve Şekil 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Beton numunelerin Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için elde edilen lineer ve kütle zayıflatma katsayıları.

Beton türü	Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm^{-1})		Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm^2/g)	
	Co-60	Cs-137	Co-60	Cs-137
Ponzalı	0.113±0.602E-3	0.136±1.440E-3	0.05988	0.07207
Normal	0.141±0.939E-3	0.168±0.998E-3	0.05924	0.07058
Çelik Lifli	0.142±0.805E-3	0.170±0.834E-3	0.06029	0.07525
Baritli	0.195±1.220E-3	0.251±1.900E-3	0.06404	0.08243



Şekil 5.7 : Beton numunelerin Co-60 ve Cs-137 için lineer zayıflatma katsayıları.

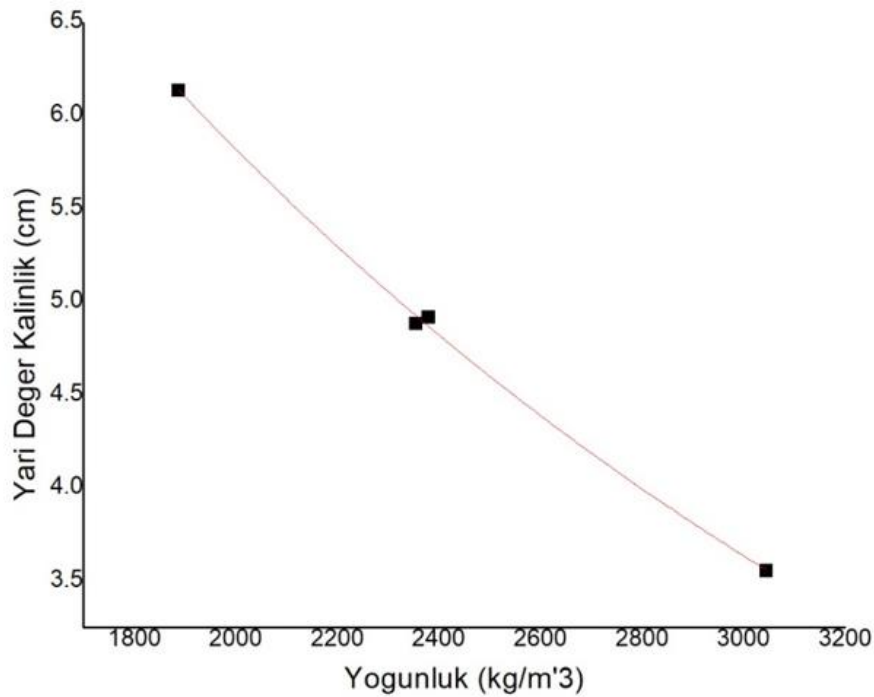
5.4 Beton Numunelerin Yarı Değer Kalınlıkları

Denklem 2.7 kullanılarak yarı değer kalınlıklar her numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm beton örneklerine ilişkin yarı değer kalınlık değerleri Çizelge 5.6'da verilmektedir.

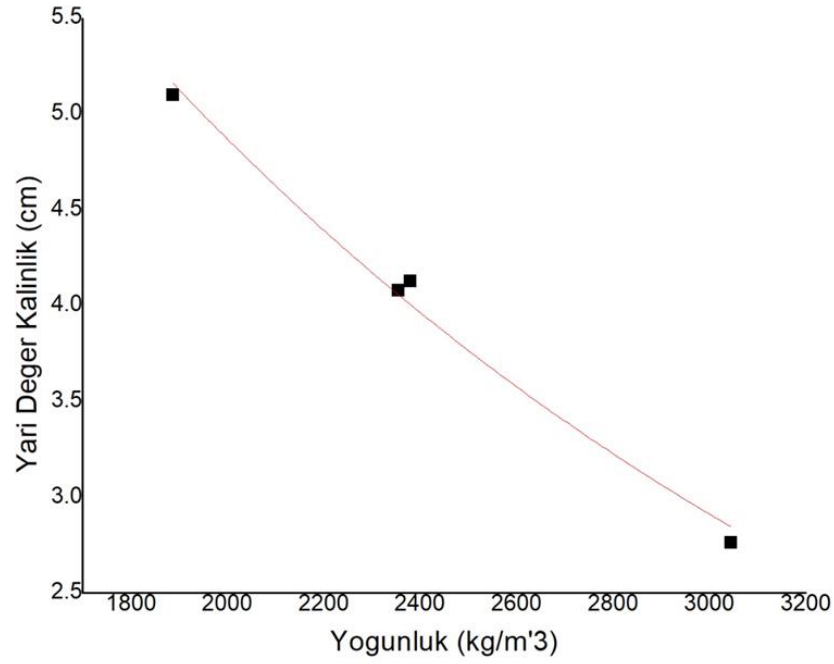
Yarı değer kalınlıkların beton yoğunluğu ile değişimi ise daha rahat yorumlanabilmesi için Origin 8 programında çizdirilmiştir. Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için yarı değer kalınlıkların beton yoğunluğu ile değişimi sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da görülmektedir.

Çizelge 5.6 : Beton numunelerin Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için Yarı Değer Kalınlıkları.

Beton Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Yarı Değer Kalınlık (cm)	
		Co-60	Cs-137
Ponzalı	1.887	6.134	5.096
Normal	2.355	4.916	4.125
Çelik Lifli	2.380	4.881	4.077
Baritli	3.045	3.554	2.761



Şekil 5.8 : Co-60 gama kaynağı için yarı değer kalınlığının yoğunlukla değişimi.



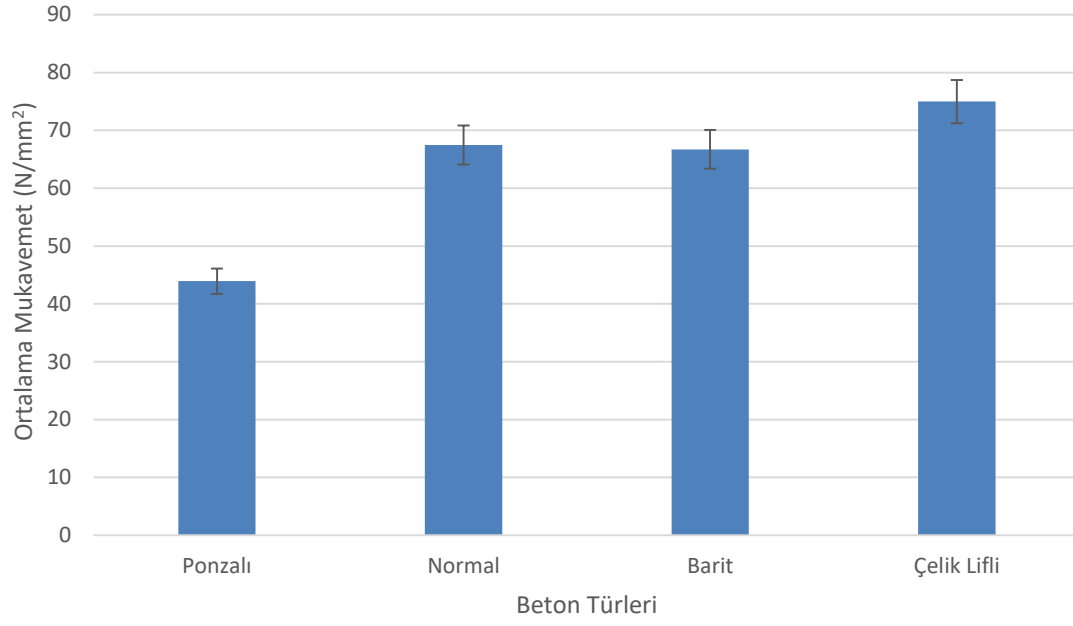
Şekil 5.9 : Cs-137 gama kaynağı için yari değer kalınlığının yoğunlukla değişimi.

5.5 Beton Numunelerin Basınç Dayanım Testleri

Her beton türünden üçer numune ile 28 günlük basınç dayanım testleri yapılmış ve deney raporları kullanılarak çizelge haline getirilmiştir. Beton numunelerin ortalama mukavemet değerleri Çizelge 5.7 ve Şekil 5.10’da görülmektedir.

Çizelge 5.7 : Beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.

Beton Türü	Deney No	Alan (mm ²)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Kuvvet (kN)	Mukavemet (N/mm ²)	Ortalama Mukavemet (N/mm ²)
Normal	1	7850	1570	3680	525.75	66.97	67.49
	2	7850	1570	3670	533.50	67.96	
	3	7850	1570	3675	530.25	67.55	
Baritli	1	7850	1570	5430	530.90	67.63	66.72
	2	7850	1570	5485	529.00	67.39	
	3	7850	1570	5485	511.40	65.15	
Ponzalı	1	7850	1570	3015	352.00	44.84	43.93
	2	7850	1570	2960	340.85	43.42	
	3	7850	1570	2970	341.65	43.52	
Çelik Lifli	1	7850	1570	3750	585.55	74.59	74.97
	2	7850	1570	3750	585.50	74.59	
	3	7850	1570	3760	594.40	75.72	



Şekil 5.10 : Beton numunelerin ortalama mukavemetleri.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, inşaat sektöründe kullanılan normal ve özel amaçlı betonların gama radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, 4 farklı kalınlıkta normal ve özel amaçlı beton (baritli, çelik lifli ve ponzalı) numuneler üretilmiştir. TS EN 206-1 standartlarına göre, çalışılan betonlardan biri (ponzalı) hafif beton, biri (baritli) ağır beton ve diğer ikisi (normal ve çelik lifli) normal beton sınıfına girmektedir (Çizelge 3.1). Böylece, deneylerde 3 farklı beton sınıfından numune ile çalışılmıştır. Numunelerin 28 günlük kütleme işleminin ardından gama radyasyonunu zırlama özellikleri ve basınç dayanımları incelenmiştir.

Çalışma, gama geçirgenlik yöntemine uygun bir deney düzeneği ile yapılmıştır. 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 numunelere ilişkin elde edilen sonuçlardan (Çizelge 5.1 - Çizelge 5.4) yararlanılarak Origin 8 bilgisayar programı ile çizilen zayıflatma oranının (I_0/I) kalınlıkla değişimi grafiklerinden (Şekil 5.1-Şekil 5.4) beton numunelerin lineer zayıflatma katsayılarına ulaşılmıştır. Artan malzeme kalınlığına bağlı olarak zayıflatma oranının baritli beton için en fazla, ponzalı beton için ise beklenildiği şekilde en düşük olduğu görülmüştür (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6). Yoğunlukları birbirine yakın olan normal ve çelik lifli betonlar için birbirine yakın zayıflatma oranları elde edilmiştir.

Çalışılan beton numunelerin tamamında, enerjisi daha az olan Cs-137 gama kaynağı için elde edilen zayıflatma oranları, Co-60 gama kaynağı ile elde edilen değerlerden daha fazla olmuştur (Şekil 5.1-Şekil 5.4). Bu da gama kaynaklarının enerjileri nedeniyle ortaya çıkan ve beklenen bir sonuçtur.

Numunelerin, Co-60 gama kaynağı ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen lineer zayıflatma katsayıları normal beton için 0.141 cm^{-1} , çelik lifli beton için 0.142 cm^{-1} , ponzalı beton için 0.113 cm^{-1} ve baritli beton için 0.195 cm^{-1} olarak elde

edilmiştir. Cs-137 gama kaynağı için ulaşılan sonuçlar ise aynı sıralama ile 0.168, 0.170, 0.136 ve 0.251 cm⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, spesifik bir enerji için numune yoğunluğu azaldıkça lineer zayıflatma katsayısının da azaldığı görülmektedir. Ayrıca gama radyasyonunun enerjisi arttıkça her bir malzeme için lineer zayıflatma katsayısının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 5.7). 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 saçılması ve Çift oluşumuna 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.

Beton numuneler için tespit edilen yarı değer kalınlıklar incelendiğinde (Çizelge 5.6) gama radyasyonunun enerjisi arttıkça yarı değer kalınlıkların arttığı görülmektedir. Ayrıca baritli beton için en düşük ve ponzalı beton için en yüksek yarı değer kalınlık değerleri elde edilmiştir. Yoğunlukları birbirine yakın olan normal ve çelik lifli betonlar için yarı değer kalınlıklar birbirine yakın bulunmuştur (Şekil 5.8-Şekil 5.9). Beklentimiz doğrultusunda malzemelerin yoğunluğu arttıkça yarı değer kalınlıklarının azaldığı tespit edilmiştir.

Beton numunelerin basınç dayanım testi sonuçlarına göre en yüksek mukavemet değeri 74.97 N/mm² ile çelik lifli betonda elde edilmiştir (Çizelge 5.7). En düşük mukavemet değeri ise 43.93 N/mm² ile ponzalı beton için bulunan değerdir. Normal ve baritli beton numunelerin mukavemet değerleri birbirine oldukça yakın tespit edilmiştir. Kullanılan agregaların özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan bu sonuç da beklentimiz doğrultusundadır.

Sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde, ponzalı betonun gama radyasyonunu zırlama ve mukavemet yönünden diğer beton türlerinin gerisinde olduğu tespit edilmiştir. Çelik lifli beton numunelerin mukavemeti diğerlerinden yüksek olmakla birlikte radyasyonu zayıflatma bakımından normal betonla yakın sonuçlar elde edilmiştir. Baritli beton numunelerin mukavemeti normal betona yakın olup radyasyonu zayıflatma bakımından normal betona göre Co-60 kaynağı için %28 ve Cs-137 kaynağı için %33 daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, standartlara uygun olarak üretilen normal beton ve özel amaçlı betonların 662 keV ve 1250 keV enerjili gama radyasyonunu zırhlama özellikleri ortaya çıkartılmış ve literatürle de uyumlu olarak baritli beton için gama radyasyonunu zırhlama özelliğinin diğerklerinden daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, I., Akyıldırım, H.,** (2012). Radiation transmission of concrete including pumice for 662, 1173 and 1332 keV gamma rays. Nucl. Eng. Des. 252, 163-166.
- Akkurt, I., Günoglu, K., Basyigit, C., Akkaş, A.,** (2013). Acta Phys. Pol. A 123, 374.
- Akman, M.S.** (1997-1998). İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Yaz Yarıyılı Ders Notları, 121 s, İstanbul.
- Alduaij, J., Alshaleh, K., Haque, M. N., Ellaithy, K.,** (1999). Lightweight Conerete in Hot Coastal Areas. Cement & Conerete Composites 21,453-458.
- ASTM C637.73,** (1973). Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete, American Society for Testing and Materials.
- Aydın S.,** (2008). Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice. *Fire Safety Journal* 43 (2008) 610–617.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S.,** (2012). Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Bideci, Ö.S., Bideci, A., Gültekin, A., H., Oymael, S., Yıldırım, H.,** (2014). Polymer coated pumice aggregates and their properties. Composites: Part B (2013), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.>, 2013.10.009.
- Collepari, M., Gököz, N.Ü.** (1989). Betonda Zaman İçerisinde Dayanıklılık. Birinci Ulusal Beton Kongresi, cilt (5), 67:78, İstanbul.
- Çağlayan, M. ve Kahrıman, A.,** (2003). Alternatif Beton Agregası Olarak Pomza ve Kent Mobilyalarında Kullanılabilirliği. III Ulusal Kırma Taş Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 285-291.
- Devlet Planlama Teşkilatı,** (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2617, ÖİK:628, ss:73.
- Durmuş, A. ve Gürsoy, Y.,** (2000) Doğu Karadeniz Bölgesi doğal agregalarından biriyle üretilen ağır betonun başlıca özellikleri, Hazır Beton Yayın Organı, Hazır Beton Dergisi, sayı:38-39-40.
- Ekinci, C.E.** (2008). Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, Ankara: Data
- Erdoğan T.Y.** (1995). Beton Oluşturan Malzemeler Çimentolar Türkiye Hazır Beton Birliği, 120 s, Ankara.
- Ersoy U.,** (1985). Betonarme Temel İlkeler Taşıma Gücü Hesabı Cilt I, Evrim. Yayınevi.
- Evans, D.R,** (1955). The Atomic Nucleus, McGraw-Hill, New York, 610 s.

- Gül, R. ve Bingöl, F.,** (2002). “Betonun Yangın Dayanımına Genel Bir Bakış” DSİ Teknik Bülteni, No 99, 3-18.
- Gündüz L., Saruşık A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur İ., Çankıran, O.,** (1998). Pomza Teknolojisi, Isparta.
- Gündüz, L., Uğur, İ.,** (2005). The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. Cement and Concrete Research, 35, 1859–1864.
- Gürsoy, Y.,** (1997) Doğu Karadeniz Bölgesi doğal ağır agregalarından biriyle üretilen ağır betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 136 sayfa.
- International Atomic Energy Agency,** "Radiation Safety", IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, 1996.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP)** Report, 1977.
- Johns, H.E., Cunningham, J.R.,** (1983). The Physics of Radiology, C. Thomas
- Kaplan, M.F.** (1989). Concrete Radiation Shielding, John Wiley & Sons, Newyork, 470s.
- Kaplan, M.F.** (1989). Concrete Radiation Shielding. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Krane, K.S.** (2002). Nükleer Fizik-II. Palme Yayıncılık, No: 195, 460s. Ankara.
- Krane, K.S.** (2011). Nükleer Fizik I. Palme Yayıncılık, Ankara.
- Kozak, M.** (2013). Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, SDU Teknik Bilimler Dergisi, 5(3), 26-35.
- Martin, A., Harbison, S., Beach, K., Cole, P.,** (2012). An Introduction to Radiation Protection, 6th ed. Chapman and Hall, London.
- Martin, J.E.,** (2013). Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Neville, A.M.,** (1995). Properties of Concrete. Lorignan, New York.
- Oğuz, C., Türker, F.,** (1997). Pomza Betonda Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler, 1. Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Isparta, s:81-87.
- Oto, B.** (2012). Barit, Manyetit, Bazı Bor Mineralleri ve Atıklarını İçeren Beton Numunelerinin Gama Radyasyon Soğurganlıkları ve Nötron Tutma Kapasitelerinin Araştırılması. *Doktora Tezi*. Yüzüncüyıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- P. Sprawls.,** (1993), The Physical Principles of Medical Imaging, 2nd ed., Aspen Publication, NY, USA.
- P.O. López, G. Rajan, E.B. Podgorsak,** Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, Chapter 16: Radiation Protection and Safety in Radiotherapy, International Atomic Energy Agency, 2005, p. 600.

- Postacıoğlu, B.**, (1969). Yapı Malzemesi Ders Notları İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Postacıoğlu, B.**, (1986). Beton Cilt-1 Bağlayıcı Maddeler Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 171 s, İstanbul. Postacıoğlu B 1987. Beton Cilt 2 Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 404 s, İstanbul
- Shultis, J. K., Richard E. Faw**, (1996). Radiation Shielding, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- TS 500** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 81 s, Ankara.
- TS EN 206-1** (2002). Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, TSE, Ankara.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)**, (2010). Radyasyondan Korunma, (<http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/166-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/440-bolum-06-radyasyondankorunma.html>) (Erişim Tarihi: 05.04.2019)
- Türkmen, İ.**, (1997). Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:83
- Turner, L.W., (Edited by Boyes, W.)**, (2003). Radiation (Chapter 41). Instrumentation Reference Book. Elsevier.Yayınları.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)**, (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation, vol. I. United Nations Sales Publication, New York.
- Yıldırım, H.**, (1995). Agregat Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Dilek KAYA

E-posta : kayadi@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM :

- 2015 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü'nde ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nda staj yaptı.
- 2016-2018 yılları arasında özel bir kurumda Eğitim Danışmanlığı ve Öğrenci Koçluğu yaptı.
- 2018- Halen özel olarak Akıl ve Zeka Oyunları Eğitmenliği yapmaktadır.