



## Agrega Tipinin Ağır Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerine Etkisi

### Effect of Aggregate Type on Radiation Attenuation Properties of Heavyweight Concretes

Merve Gümüş<sup>1</sup> , Şükrü Demir<sup>1</sup> , Özer Sevim<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/04/2020

Kabul / Accepted: 20/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

#### Öz

Ağır betonların farklı kullanım alanlarına oranla en yaygın kullanım alanının nükleer enerji santralleri olduğu bilinmektedir. Nükleer enerji santralleri enerji çağını yaşayan günümüz dünyasında bir hayli öneme sahip olan aynı zamanda da bazı tehlikeleri beraberinde getiren yapı kompleksidir. Bu tehlikelerden en önemlisi herhangi bir patlama durumu söz konusu olduğunda bu yapıların radyasyon sızdırma ihtimallerinin olmasıdır. Bundan dolayı nükleer enerji santrallerinin inşasında kullanılacak olan betonların dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin titizlikle tasarlanması gerekmektedir. Tüm bunlar çalışma konusunun ne derece önemli ve incelenmeye değer olduğunu göstermektedir. Çalışma kapsamında kalker kırmataş, barit ve siderit olmak üzere 3 farklı tip agrega kullanılarak üretilen betonların ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve radyasyon soğurma özellikleri incelenmiştir. Yapılan testlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Sonuçta farklı agrega tiplerinin betonun ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve radyasyon soğurma özelliklerini etkilediği tespit edilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Kalker Agregası, Barit Agregası, Siderit Agregası, Ağır Beton, Gama Işını, Nötron Soğurma”

#### Abstract

It is known that the most common usage area of heavyweight concrete compared to different usage areas is nuclear power plants. Nuclear power plants are a complex of structures that are of great importance in today's world, which also lives the energy age, but also brings some dangers. The most important one of these dangers is that these structures have the possibility of radiation leakage in case of any explosion situation. Therefore, the strength and durability properties of concretes that will be used in the construction of nuclear power plants should be designed meticulously. All these shows how important and worthy this study subject is. In the scope of the study, ultrasonic pulse velocity, compressive strength and radiation attenuation properties of concretes produced using 3 different types of aggregate, crushed limestone, barite and siderite were investigated. The results of the tests were interpreted comparatively. As a result, it has been determined that different aggregate types affect the ultrasonic pulse velocity, compressive strength and radiation absorption properties of concrete.

#### Key Words

“Limestone Aggregate, Barite Aggregate, Siderite Aggregate, Heavyweight Concrete, Gamma Ray, Neutron Attenuation”

## 1. Giriş

Beton inşaat endüstrisinde en çok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini hala sürdürmektedir. Bu durumun nedenleri; üretiminin kolaylığı, bakım ve onarım maliyetinin az olması, kolay şekil verilebilmesi ve dış etkilere karşı yüksek performans göstermesi olarak sıralanabilir (Mehta, 2006; Neville, 1995). Fakat bazı yapılar için normal betonun yeterli gelmediği durumlarda farklı tasarımlara sahip özel betonlar kullanılmaktadır. Bu betonlardan biri de yüksek yoğunluk ve düşük maliyet özellikleri ile özel yapıların (köprü ayakları, istinat duvarı, baraj vb.) kayma ve devrilmeye karşı emniyetlerinin sağlanmasında kullanılan ağır betondur (Özturan, 2013).

Ağır beton etüv kuru durumdaki birim hacim ağırlığı  $2600 \text{ kg/m}^3$ 'ten büyük, genellikle etüv kuru tane yoğunluğu  $3000 \text{ kg/m}^3$  üzerinde olan doğal ağır agregalar kullanılarak veya yapay ağır agregalar kullanılarak üretilen betondur (TS EN 206, 2002). Dünyada uzun zamandan beri kullanılmakta olan ağır betonlar başlangıçta kayma ve devrilmeye karşı emniyet sağlamak amacıyla kullanılmışlardır (Kılınçarslan vd., 2011). Kullanım alanlarının genişlemesi askeri mühimmat depoları, istinat depoları, sığınak yapıları ve petrol sondaj boru hatları gibi yapıların inşasına olanak vermiştir (Yılmaz, 2009). Günümüzde nükleer enerji santrallerinin gelişmesiyle birlikte temel bilimler tıp bilimleri enerji üretimi ve askeri alanlarda kullanılmaya başlanan radyasyona karşı ağır betonun ne derece önemli olduğu ortaya konmuştur (Kılınçarslan vd., 2007). Betonun birim ağırlığının artmasıyla radyasyona karşı soğurma performansı da artmaktadır. Kullanılan malzemenin yoğunluğu ne kadar büyük ise radyasyon zırlama yeteneği de o kadar yüksektir (Özen vd., 2016).

Radyasyona karşı normal beton zırhlılarının geniş olması ve aynı koruyuculuğu birim ağırlıklarının fazla olması sebebiyle daha az zırh kalınlığı ile sağlayan ağır betonların önemini daha da arttırmıştır (Baradan vd., 2015; Demir vd., 2020). Bu sayede ağır betonların zırh kalınlıklarının azaltmak mümkün olmuştur (Mehta ve Monteiro, 2006). Özellikle nükleer santrallerde kullanılan kalın beton tabakaların çevreledikleri reaktörleri desteklemek ve yüksek radyasyon seviyesinden korunmak gibi iki temel işlevi bulunmaktadır (Yousef vd., 2008).

Bu betonlarda kullanılan agregaların seçimi, karışımın belirlenmesi, üretim ve yerleştirme esasları normal betonlara göre daha hassasiyet isteyen uygulamalardır. Ağır betonların radyasyona karşı zırh olarak kullanılmasından dolayı dayanım ve dayanıklılık özellikleri yüksektir. Ayrıca nükleer enerji santrallerinin silolarından kullanılacak olan ağır betonların basınç dayanım özellikleri önemlidir. Bu yapılar daha yüksek gerilme değerlerine maruz kaldığından dolayı yapıların ağır beton ile üretilmesi yapı tasarımında daha iyi sonuçlara ulaştığı belirtilmektedir (Baradan vd., 2015). Radyasyona karşı koruyucu yapısal beton duvarlarda ağır betonun basınç dayanımlarının 20-35 MPa aralığında olması yeterli iken, reaktör betonlarında bu dayanımların 60-75 MPa aralığında olması gerektiği belirtilmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006).

Nükleer santrallerde meydana gelen patlamalarla birlikte erimiş metallerin beton ile temas haline geçmesiyle metal ile beton arasındaki etkileşimi belirlemek amacıyla yapılan çalışmada yüksek sıcaklık etkisiyle betonda yüzey atmaları meydana geldiği gözlemlenmiştir (Sevon vd., 2010). Farklı karışımların nötron zırlamasında kullanılabilirliğini inceleyen bir çalışmada hematit-serpantin, ilmenit-limonit, bazalt-manyetit, ilmenit, çelik parçaları, çelik manyetit agregaları her biri ayrı karışımlarda kullanılarak beton karışımlarından numuneler üretilmiştir. Sonuçta yoğunluğu  $2,3$  ile  $5,11 \text{ gr/cm}^3$  betonlar üretilmiş ve içerisindeki kristalleşmiş suyun  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar dayanabilmesi nedeniyle nötron zırlama için en uygun agreganın serpatin agregası olduğu vurgulanmıştır (Baster, 1997). Ağır betonun üretimi esnasındaki segregasyonunu inceleyen çalışmada; farklı oranlarda akışkanlaştırıcı ve barit agregası kullanarak iki tip ağır beton üretilmişlerdir. Akışkanlaştırıcı katkı maddesinin ve çökme değerlerinin artmasının yoğunluk ve basınç dayanımı özelliklerini olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir (Revelta vd., 2009). Farklı agregalar tipleri kullanılarak üretilen ağır betonların radyasyon zırlama özelliklerinin araştırıldığı çalışmada; referans olarak kabul edilen normal agregalı beton ile barit agregalı betonlar karşılaştırıldığında barit oranının artmasının radyasyon zayıflatılmasında daha iyi sonuçlar verdiği bunun nedeninin de beton yoğunluğunun artmasının olduğu tespit edilmiştir (Akyıldırım, 2011). Radyasyon zırlama amacıyla barit agregalı ağır betonun kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada; s/ç oranının düşük olduğu serilerde C40 sınıfı beton üretilmediği tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni olarak s/ç oranının düşüklüğü barit agregasının beton içerisinde karıştırılmasının güç olduğu gösterilmiştir. Buna rağmen barit agregası ile C20 ve C30 sınıfı beton üretilmiştir. Ayrıca barit oranının artması lineer soğurma katsayısını olumlu yönde etkilemiştir (Kılınçarslan vd., 2007).

Yapılan detaylı literatür araştırması sonucunda farklı agregalar tipleri kullanılarak üretilen ağır betonların dayanım ve radyasyon zırlama özellikleri açısından en iyi performansa sahip ağır betonun tespit edilmesi konusunda eksiklikler görülmüştür. Çalışma kapsamında kalker kırmataş agregası ile üretilen normal beton, barit agregası ile üretilen ağır beton ve siderit agregası ile üretilen ağır betonun özellikleri karşılaştırılmış, dayanım ve radyasyon zırlama özellikleri açısından en iyi performansa sahip ağır beton sunulmuştur.

## 2. Deneysel Program

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çimento

Çalışma kapsamında CEM I 42,5 R tipi portland çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Portland çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Birleşimi (%)	CEM I 42,5 R
CaO	65,18
SiO <sub>2</sub>	13,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,42
MgO	1,29
Na <sub>2</sub> O	0,36
K <sub>2</sub> O	0,98
SO <sub>3</sub>	3,93
Fiziksel Özellikler	
Kızdırma Kaybı	1,97
Özgül Yüzey Alanı (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	3355
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,11

### 2.1.2. Agregalar

Çalışmada 3 farklı agregalar kullanılmıştır. Ankara-Kutludüğün mevkiinden kalker kırmataş agregası, Adana-Osmaniye mevkiinden barit agregası, Malatya-Hekimhan mevkiinden siderit agregası temin edilmiştir. Çalışma kapsamında maksimum agregası dane çapı 11,2 mm'dir. Çalışmada agregalar 0-4 mm ve 4-11,2 mm olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Siderit agregasının 0-4 mm olan sınıfının su emmesi çok yüksek olduğundan siderit agregası ile üretilecek ağır betonda 0-4 mm siderit agregası yerine 0-4 mm barit agregası kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ince ve iri agregaların tane yoğunluğu EN 1097-6 (2013) standardına uygun olarak belirlenmiştir ve Tablo 2'de agregalara ait yoğunluklar verilmiştir.

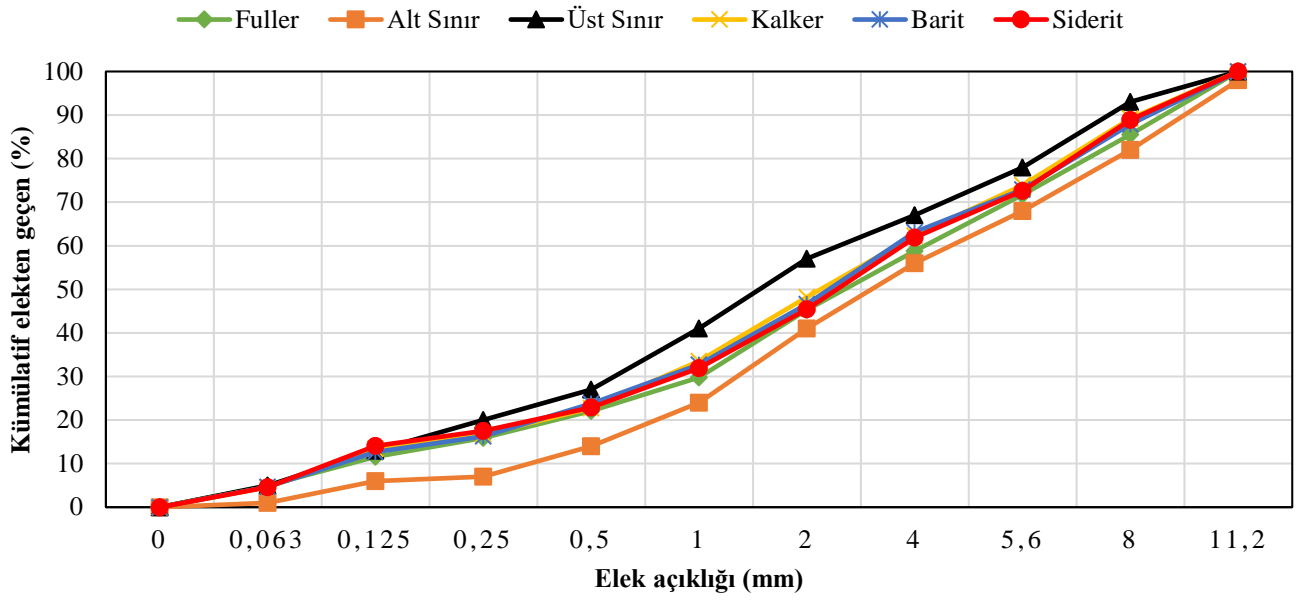
**Tablo 2.** Karışımlarda kullanılan agregalara ait özellikler

Agrega türü	Tane yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Su emme (%)
Kalker (0-4 mm)	2,65	1,9
Kalker (4-11,2 mm)	2,73	0,17
Barit (0-4 mm)	4,10	0,95
Barit (4-11,2 mm)	4,07	1,12
Siderit (4-11,2 mm)	3,65	0,61

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Elek analizleri

Çalışmada kullanılan agregalara ait elek analizi grafikleri Şekil 1'de verilmektedir. Beton karışımında kullanılacak olan agregaların tane dağılımı; EN 933-1 (2012)'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Karışımlarda kullanılan agregalara ait elek analizi grafiği

Şekil 1 incelendiğinde agrega boyutlarının alt sınır ve üst sınır eğri ileri arasında kaldığı ve fuller eğrisi ile karışımın granülometri eğrisinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum da betonun agrega gradasyonunun iyi özellikte olduğunu kanıtlamaktadır. Karışımlarda kullanılan agregaların granülometri eğrilerinin sınır değerleri arasında ve fuller eğrisi ile yakın değerlerde olmasının beton dayanımına olumlu yönde etki etmiştir.

### 2.2.2. Beton karışımlarının hazırlanması

Agrega granülometrileri oluşturulduktan sonra çimento, agregalar, akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak 3 seri beton oluşturulmuştur. Tablo 3'te beton karışımlarına ait veriler bulunmaktadır. Beton karışımları EN 802 (2016) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere siderit agregalı ağır betonda 0-4 mm barit agrega kullanılmıştır. Çalışma kapsamında siderit agreganın 0-4 mm olan kısmının su emmesinin yüksek olmasından dolayı 0-4 mm barit agrega kullanıldığı belirtilmiştir.

Tablo 3. Beton karışımlarına ait veriler (kg)

Malzeme	Normal	Barit	Siderit
Çimento	450	450	450
Su	180	180	180
Kalker kırmataş	971	-	-
Kalker kırmataş	787	-	-
Barit (0-4 mm)	-	1522	1424
Barit (4-11.2 mm)	-	1219	-
Siderit (0-4 mm)	-	-	-
Siderit (4-11.2 mm)	-	-	1126
Süper akışkanlaştırıcı	5.85	5.85	5.85
<b>Toplam</b>	<b>2393.85</b>	<b>3376.85</b>	<b>3185.85</b>
s/ç	0.40	0.40	0.40

### 2.2.3. Betonun kalıplara yerleştirilmesi ve kür uygulanması

Beton karışımları üretim tamamlandıktan sonra kalıplara yerleştirilmiştir. Numuneler kalıpta 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış,  $20 \pm 2$  °C'deki içi kirece doymun su ile dolu olan kür havuzuna bırakılmıştır. Beton numuneler 28 gün kür havuzunda kalmıştır. Beton karışımlarının kalıplara yerleştirilmesi ve bakımı TS 1247 (2018) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri ve gözlemler

28 gün kür edilen numunelere ultrases hız testi, basınç dayanımı testi ve radyasyon geçirgenliği testleri uygulanmıştır. Küp numuneler üzerinde ultrases hız testi ve basınç dayanımı testi yapılmıştır ve numunelerin birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir. Plaka numuneler üzerinde ise radyasyon geçirgenliği testi yapılmıştır.

#### 2.2.5. Basınç dayanımı deneyi

Çalışmada  $10 \times 10 \times 10$  cm boyutlu üretilen küp numuneler üzerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Deney EN 12390-3 (2010) standardına uygun olarak yapılmıştır.

#### 2.2.6. Radyasyon deneyleri

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin radyasyon geçirgenliklerinin tespiti için yapılan deneyler, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından yapılmıştır. Numuneler üzerinde nötron demetiyle ışınlama sonrası yavaş nötron soğurma katsayı tayini ve gama lineer azaltma katsayısı tayini deneyleri uygulanıp numunelerin radyasyon geçirgenlikleri tespit edilmiştir. Radyasyon geçirgenlik deneyleri için  $30 \times 30 \times 3,5$  cm boyutlarında üretilen numuneler daha hassas ölçüm yapılabilmesi için küçültülmüştür. Nötron soğurma katsayısının tayini için  $4 \times 3,5 \times 3$  cm boyutlu numuneler kullanılırken gama lineer azaltma katsayısının tayini için  $4 \times 3 \times 1,5$  cm boyutlu numuneler kullanılmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayısı tayininde kobalt ve sezyum kaynakları ile (Cs-137) 661,62 keV, (Co-60) 1173,23 keV ve (Co-60) 1332,51 keV enerjileri kullanılarak deney yapılmıştır. Nötron deneylerinde ise 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV enerjileri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Gama ışını lineer azaltma katsayılarının ölçümünde, HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayıları belirlenirken numune kalınlığı olarak tüm numunelerde 1,5 cm kullanılmıştır. Lineer azaltma katsayıları Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\ln \frac{I(x)}{I_0}}{x} \quad (1)$$

Burada; x: Hedef numune kalınlığı (cm),  $I_0$ : Numune yokken alınan sayım, IX: X kalınlığında alınan sayım,  $\mu$ : Deneysel olarak saptanan lineer azaltma katsayısıdır.

Çalışmada gama ışınları için radyasyon şiddetini yarıya düşüren zırhlama kalınlıkları olan yarı değer kalınlık değerleri Denklem 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

Burada;  $X_{1/2}$ : Yarı değer kalınlığı (cm),  $\mu$ : Deneysel olarak saptanan lineer azaltma katsayısıdır.

Nötron soğurma katsayısının tayini için yapılan ölçümlerde nötron aktivasyon monitörü olarak  $^{115}\text{In}(\text{n},\gamma) ^{116\text{m}}\text{In}$  nükleer reaksiyonu kullanılmıştır. Nötron soğurma katsayısı belirlenirken numune kalınlığı olarak tüm numunelerde 3 cm kullanılmıştır. Denklem 3 kullanılarak termal nötron soğurma katsayısı ölçülmüştür.

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma T x} \quad (3)$$

Burada; x: Hedef numune kalınlığı (cm),  $I_0$ : Orijinal nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları, IX: Hedef numuneyi geçen nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları,  $\Sigma T$ : Termal nötron soğurma katsayısıdır (makroskopik tesir kesiti).

### 3. Deneysel Bulgular

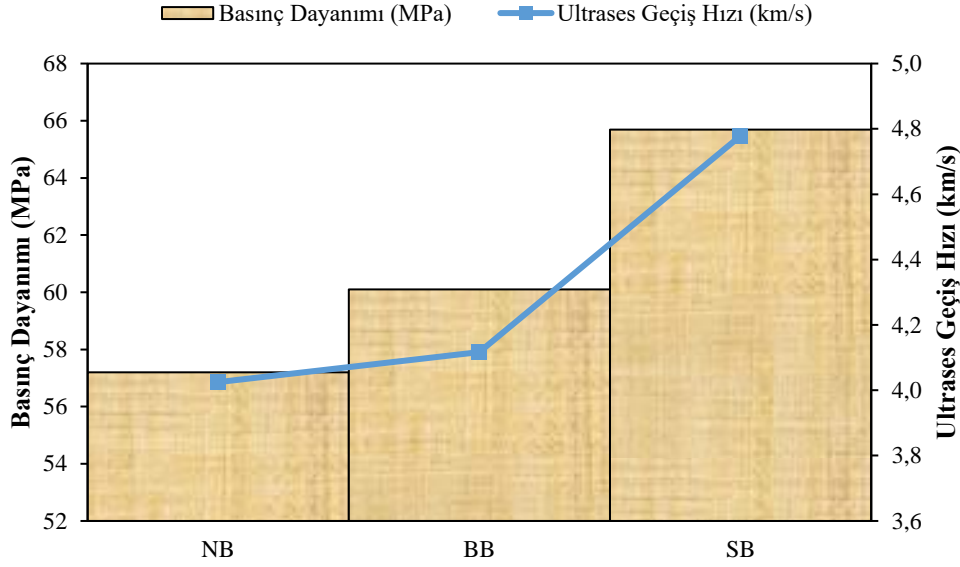
#### 3.1. Ultrases Geçiş Hızı Test Sonuçları

Ultrases geçiş hızı testi uygulanırken ortama gönderilen ultrasonik dalganın bir ortamda yayılma hızı, ortamın yoğunluğuna ve ortamın boşluk yapısına bağlıdır. Çalışma kapsamında ultrases geçiş hızı testi numunelerin boşluk yapısı hakkında fikir sahibi olmak için uygulanmıştır. Çalışmada kalker agregası kullanılarak üretilen normal beton NB, barit agregası kullanılarak üretilen ağır beton BB, siderit agregası kullanılarak üretilen ağır beton SB olarak isimlendirilmiştir. Şekil 2’de farklı agregası tipleri kullanılarak üretilen ağır betonların ultrases geçiş hızı değerleri verilmiştir.

Şekil 2’ye göre 3 tip betonun ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde; en yüksek ultrases geçiş hızı değerini siderit agregalı ağır betonun aldığı tespit edilmiştir. En düşük değer ise kalker kırmataş agregalı normal betonda tespit edilmiştir. Burada siderit agregalı ağır betonun boşluk yapısının diğer betonlara oranla daha az olduğu ve ağır betonların ağır agregası ile üretilmesinden dolayı daha yoğun bir yapıya sahip olması sebebiyle normal betondan daha yüksek ultrases geçiş hızı değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca ultrases geçiş hızı değerlerinin birbirine yakın olması betonların basınç dayanımlarının da birbirine yakın olması ile ilişkilendirilebilir.

### 3.2. Basınç Dayanımı

Yapılan çalışmada 3 tip betona ait basınç dayanım değerleri tespit edilmiş ve sonuçlar Şekil 2’de verilmiştir.

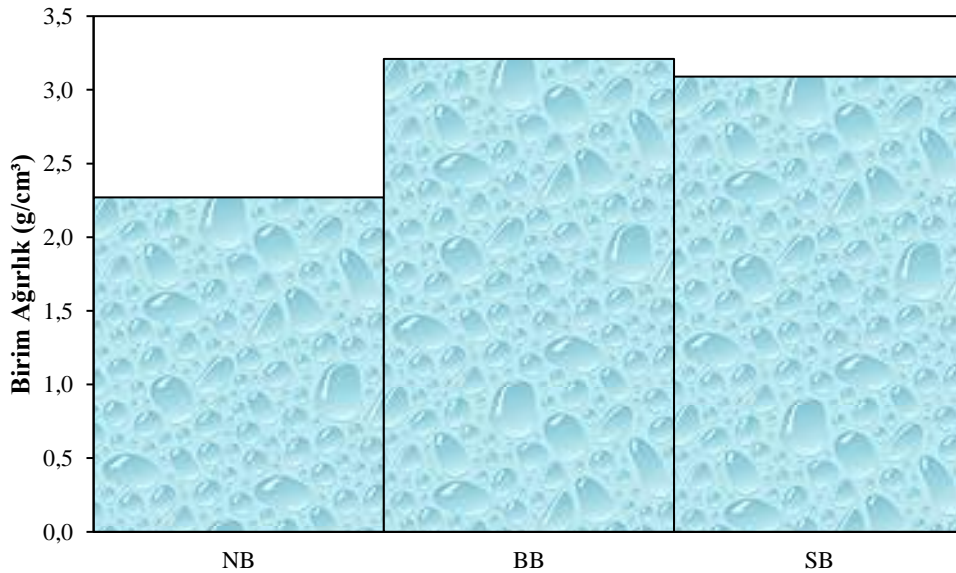


Şekil 2. Numunelerin basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları

Şekil 2’ye göre üretilen farklı tip betonların basınç dayanımları incelendiğinde; siderit agregalı ağır betonun 65,69 MPa, barit agregalı ağır betonun 60,1 MPa ve kalker kırmataş agregalı normal betonun 57,2 MPa basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımının siderit agregalı betonda tespit edilmesi ve barit agregalı beton ile kalker kırmataş agregalı betonun basınç dayanımlarının birbirine yakın olması ultrasese geçiş hızı değerlerini doğrular niteliktedir. Buradan boşluk yapısının ve agregat tipinin betonun basınç dayanım özellikleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca siderit agregat ile üretilen ağır betonun basınç dayanım özellikleri açısından ağır betonda kullanılabilir olduğu da belirtilmelidir.

### 3.3. Birim Hacim Ağırlık

Çalışma kapsamında numunelere ait birim hacim ağırlık değerleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir.



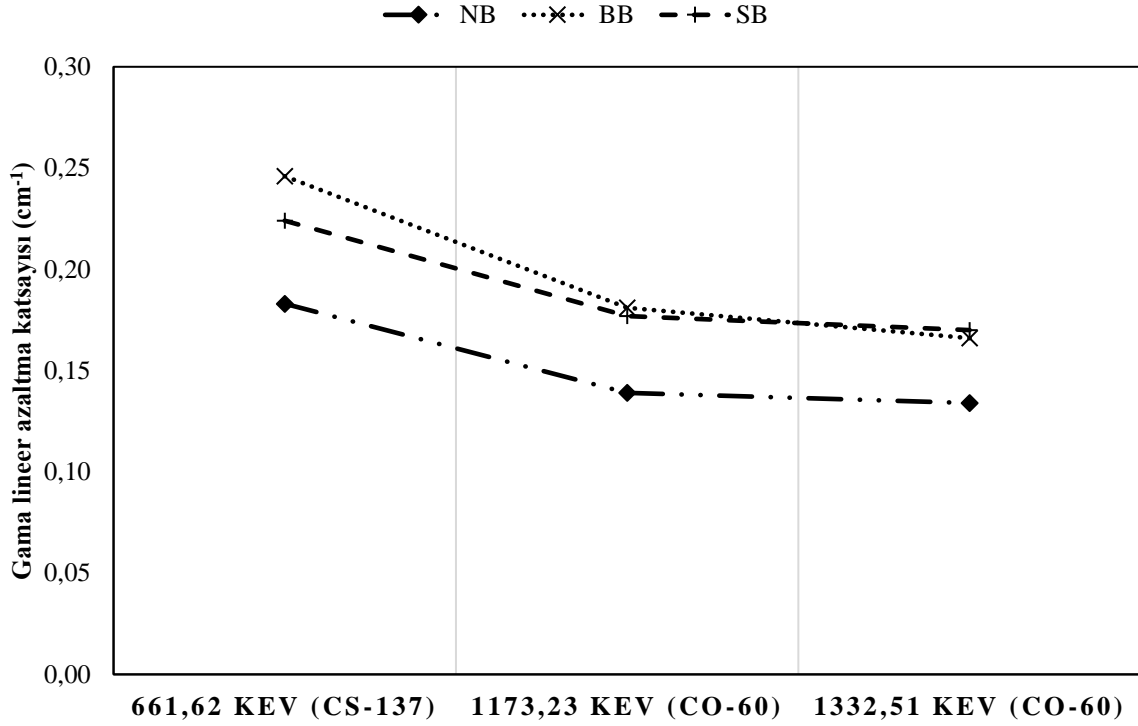
Şekil 3. Beton numunelere ait birim hacim ağırlık değerleri

Şekil 3 incelendiğinde ağır agrega ile üretilen ağır betonların kalker kırmataş ile üretilen normal betonun birim hacim ağırlığından daha fazla olduğu görülmektedir. En yüksek birim hacim ağırlık değeri  $3,21 \text{ g/cm}^3$  olarak barit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir. Siderit agregalı ağır betonun birim hacim ağırlığı  $3,09 \text{ g/cm}^3$  kalker kırmataş agregalı normal betonun birim hacim ağırlığı ise  $2,27 \text{ g/cm}^3$  olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar ağır agrega kullanılarak üretilen betonların birim hacim ağırlıklarının fazla olması gerektiğini doğrular niteliktedir.

### 3.4. Radyasyon Geçirgenliklerinin Tayini

#### 3.4.1. Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayini

Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayini  $4 \times 3 \times 1,5 \text{ cm}$  boyutlu numuneler üzerinde yapılmıştır. Çalışması kapsamında gama ışını lineer azaltma katsayısı tayini için (Cs-137) 661,62 keV, (Co-60) 1173,23 keV ve (Co-60) 1332,51 keV enerjileri kullanılmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayinine ait veriler Şekil 4'te verilmiştir.



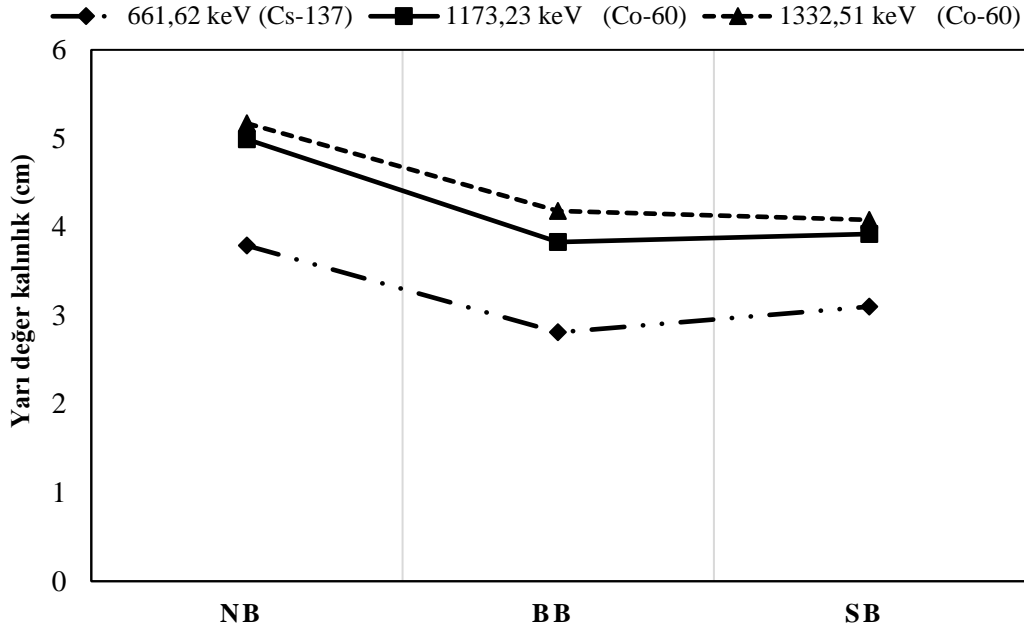
Şekil 4. Beton numunelere ait gama ışını lineer azaltma katsayıları

Şekil 4 incelendiğinde  $\mu$  (lineer azaltma katsayısı) değerleri görülmektedir. Lineer zayıflatma katsayısı malzemelerin ışın zayıflatma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Bu değer yüksek olması ise malzemenin radyasyonu tutabildiğini ve malzemede radyasyon geçirimsizliğinin düşük olduğunu bundan dolayı da malzemenin radyasyona karşı iyi bir kalkan olabileceğini göstermektedir.

661,62 keV enerji kullanılarak yapılan gama ışını soğurma testi sonuçları incelendiğinde 3 seri arasında en iyi değer barit agrega kullanılarak üretilen beton numunede olduğu tespit edilmiştir. Radyasyon geçirgenliği açısından en az radyasyon geçiren numunenin  $0,246 \text{ cm}^{-1}$  ile barit agrega ile üretilen ağır beton olduğu gözlemlenmiştir. Siderit agrega ile üretilen ağır betonun lineer azaltma katsayısının  $0,224 \text{ cm}^{-1}$  normal betonun ise  $0,183 \text{ cm}^{-1}$  olduğu tespit edilmiştir. 1173,23 keV enerji kullanılarak yapılan gama ışını soğurma testi sonucu incelendiğinde 3 seri arasında en iyi değerlerin barit agrega kullanılarak üretilen beton numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Radyasyon geçirgenliği açısından en az radyasyon geçiren numunenin  $0,181 \text{ cm}^{-1}$  ile barit agrega ile üretilen ağır beton olduğu gözlemlenmiştir. Siderit agrega ile üretilen ağır betonun lineer azaltma katsayısının  $0,177 \text{ cm}^{-1}$  ve normal betonun ise  $0,139 \text{ cm}^{-1}$  olduğu tespit edilmiştir. 1332,51 keV kullanılarak uygulanan gama ışını soğurma testi sonuçları incelendiğinde uygulanan test sonuçları arasında en iyi sonucu siderit agrega kullanılarak üretilen ağır betonun verdiği tespit edilmiştir. Ağır agrega kullanılarak üretilen beton numunelerinin normal agrega kullanılarak üretilen beton numunelere göre radyasyon geçirgenliği açısından çok daha iyi zırh görevi yaptığı, ağır agregaların radyasyon soğurmada daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Böylece radyasyona maruz kalabilecek bir yapıda radyasyon soğurma özellikleri açısından ağır agrega ile üretilen betonların daha iyi sonuçlar vereceği söylenebilir.

#### 3.4.2. Yarı değer kalınlıkları

Çalışma kapsamında gama ışını için yarı değer kalınlıkları gama ışınlarının enerjilerine bağlı olarak Şekil 5'te numunelere ait yarı değer kalınlıkları verilmiştir.

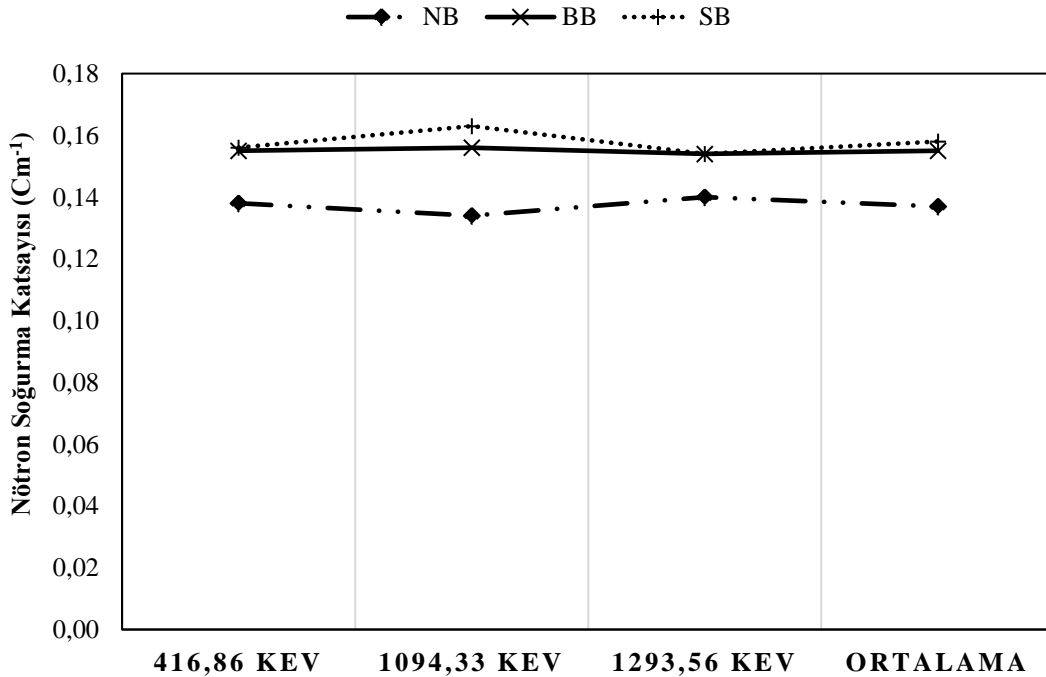


Şekil 5. Beton numunelere ait yarı değer kalınlıkları

Şekil 5'te radyasyon şiddetini yarıya düşüren zırhlama kalınlıkları görülmektedir. Görülen bu değerler radyasyon şiddetini yarıya düşüren malzeme kalınlıklarını ifade etmektedir. Gelen radyasyon şiddetini yarıya düşüren malzeme kalınlıkları açısından en iyi sonuçları barit agregası ile üretilen numunelerin verdiği görülmektedir. En düşük kalınlıklar barit agregalı ağır betonda elde edilmiştir. Kullanılan agregatlar arasında yoğunluğu en yüksek agreganın barit olması gama ışını soğurmasının yoğunlukla alakalı olduğunu göstermektedir. Yoğunluğu yüksek olduğundan en iyi soğurmayı barit agregalı ağır betonun yaptığı söylenebilir. Radyasyon zırhlama özelliği açısından ağır betonların normal betonlara göre daha iyi zırhlama yaptığı görülmektedir. Ağır betonların daha az kalınlık ile radyasyon şiddetini yarıya düşürebildiği görülmektedir.

### 3.4.3. Nötron soğurma katsayısının tayini

Nötron soğurma katsayısının tayini için  $4 \times 3.5 \times 3$  cm boyutlu numuneler, nötron deneylerinde ise 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV enerjileri kullanılarak okumalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da nötron soğurma katsayısına ait bulgular verilmiştir.



Şekil 6. Beton numunelere ait nötron soğurma katsayısı



Şekil 6 incelendiğinde üretilen numuneler arasında nötron radyasyonuna karşı koyabilen en iyi numunenin  $0,158 \text{ cm}^{-1}$  soğurma katsayısı ile siderit agregalı numuneler olduğu görülmektedir. Seriler içerisinde en iyi değeri siderit agregalı ağır betonun aldığı görülmüştür. Çünkü soğurma katsayısı yüksek olan malzemelerin radyasyonu soğurma güçleri de yüksektir. Barit agregalı ağır beton örneklerinin de radyasyon geçirgenliğine karşı koyma açısından iyi bir zırh malzemesi olduğu gözlenmektedir. Buradan ağır agregalı ile üretilen numunelerin radyasyona karşı zırhlama açısından olumlu özellik gösterdiği görülmektedir. Radyasyona maruz bırakılan numunelerde radyasyona engel olabilecek beton numunelerinin siderit ve barit agregalı ile üretilen beton numuneler olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma nükleer enerji santrallerinde kullanılan ağır betonlar için bir öngörü oluşturabilmek için yapılmıştır. Özellikle çalışmada kullanılan kalker, barit ve siderit agregalı ile üretilen betonlar çalışmanın özgün değerini ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında kalker, barit, siderit agregalı kullanılarak 3 farklı beton serisi üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve radyasyon soğurma özellikleri incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalara göre;

- Ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde en iyi ultrases geçiş hızı değerinin siderit agregalı ile üretilen ağır betonda tespit edilmiştir. Barit agregalı ağır beton ve kalker kırmataş agregalı normal betonların ultrases geçiş hızı değerlerinin yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ultrases geçiş hızı değerlerinin basınç dayanımı ile paralellik gösterdiği de gözlemlenmiştir. Ayrıca ağır betonlarda daha yüksek ultrases geçiş hızı değerlerinin tespit edilmesi ağır agregadan dolayı bu betonların daha az boşluklu yapıya sahip olmalarıyla ilişkilendirilmiştir.
- Benzer karışım oranlarında üretilen betonlarda en iyi basınç dayanımına  $65,65 \text{ MPa}$  ile siderit agregalı ağır betonun sahip olduğu tespit edilmiştir. Barit agregalı ağır betonun basınç dayanımının  $60,1 \text{ MPa}$  olduğu ve kalker agregalı normal betonun basınç dayanımının  $57,2 \text{ MPa}$  olduğu tespit edilmiştir.
- Birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde barit agregalı ile üretilen ağır betonun en yüksek birim hacim ağırlık değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ağır agregalı ile üretilen ağır betonların birim hacim ağırlık değerlerinin ağır agregalı ile üretilmelerinden dolayı kalker kırmataş ile üretilen normal betonun birim hacim ağırlık değerlerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Gama ışını lineer azaltma katsayısının değerleri incelendiğinde; radyasyon soğurmaya karşı zırh özelliği en iyi olan betonun barit agregalı ile üretilen beton olduğu gözlemlenmiştir. Gama lineer azaltma katsayısı ile beton yoğunluğu arasında bir orantı olduğu vurgulanmıştır.
- Nötron soğurma katsayılarına bakıldığında nötron geçirgenlik testine en iyi karşı koyabilen numunenin siderit agregalı ile üretilmiş olan numune olduğu görülmektedir. Nötron soğurma özelliği için de ağır betonların kullanılmasının daha iyi sonuçlar vermesi açısından önemi vurgulanmıştır.

Sonuç olarak ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve radyasyon soğurma özellikleri açısından ağır agregalı kullanımı betonadaki özellikler açısından iyi sonuçlar vereceği belirtilmelidir. Ayrıca ağır agregalı ile üretilen betonların nükleer enerji santrallerinde kullanılmasının normal betondan elde edilecek sonuçlardan daha iyi sonuçlar vereceği söylenebilir. Gerek basınç dayanımı gerekse radyasyon soğurma özellikleri olsun ağır beton kullanımının özellikle radyasyona maruz kalabilme ihtimali olan yapılarda kullanılması gerektiği vurgulanmalıdır. Özellikle ağır betonların normal betonlara göre daha az kalınlık ile radyasyon soğurabilmesi hem maliyet açısından hem de ince eleman üretilmesi gereken yerlerde radyasyonun soğurulabilmesi açısından önemli bir özellik olarak değerlendirilmelidir. İleriki çalışmalarda farklı ağır agregalı kullanılarak üretilen betonların radyasyon soğurma özellikleri, mekanik özellikleri ve kalıcılık özellikleri incelenebilir.

#### Referanslar

- Akyıldırım, H. (2011). Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Baradan, B., Yazıcı, H., & Aydın, S. (2015). Beton (2. Basım), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Baster, I.I. (1997). Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Shielding Concretes. *Annals of nuclear Energy*, 24(17):1389-1401.
- Demir, İ., Gümüş, M. & Gökçe, H.S. (2020). Gamma ray and neutron shielding characteristics of polypropylene fiber-reinforced heavyweight concrete exposed to high temperatures, *Construction and Building Materials*, 257:119596.

- Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C., & Akkurt, İ. (2007). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, 22(2):393-399.
- Kılınçarslan, Ş., Sancar, S., & Uzun, İ. (2011). Barit Agregalı Ağır Betonların Betonarmede Kullanılabilirliği. 6th International Advanced Technololies Symposium. (IATS11). Elazığ, Turkey.
- Mehta, P.K. (2006). Concrete. Structure, properties and materials, McGraw-Hill Education, New York.
- Mehta, P.K., & Monteiro, P.J.M. (2006). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (3. Edition), McGraw-Hill, USA.
- Neville, A.M. (1995). Properties of concrete (Vol. 4), Longman, London.
- Özen, S., Şengül, C., Erenoğlu, T., Çolak, Ü., Reyhancan, İ.A., & Taşdemir, M.A. (2016). Properties of heavyweight concrete for structural and radiation shielding purposes, Arabian Journal for Science and Engineering, 41(4):1573–1584.
- Özturan, T. (2013). Özel betonlar, THBB Hazır Beton Dergisi, 118:70–83.
- Revuelta, D., Barona, A., & Navarro, D. (2009). Measurement of Properties and of The Resistance to Segregation in Heavyweight, Self-Compacting Barite Concrete. *Materiales de Construcción*, 59(295):31-44.
- Sevon, T., Kinnunen, T., Virta J., Holmström, S., Kekki, T., & Lindholm, I. (2010). Hecla Experiments on Interaction Between Metallic Melt And Hematite-Containing Concrete, *Nuclear Engineering and Design*, 240:3586–3593.
- TS 1247, (2018). Beton Yapım Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Şartlarında), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206, Beton-Özellik. Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, (2010). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1, (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN-802. (2016). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, B. (2009). Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin Kullanımı ile Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Turkey.
- Yousef, S., AlNassar, M., Naom, B., Alhajali, S., & Kharita, M.H. (2008). Heat effect on the shielding and strength properties of some local concretes, *Progress in Nuclear Energy*, 50(1):22–26.