

**DENGE AĞIRLIĞI VE RADYASYONLU
ORTAMLARDA ZIRH İŞLEVİ AMACINA YÖNELİK
AĞIR BETON TASARIMI**

SÜLEYMAN ÖZEN



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DENGE AĞIRLIĞI VE RADYASYONLU ORTAMLARDA ZIRH İŞLEVİ
AMACINA YÖNELİK AĞIR BETON TASARIMI**

İnşaat Müh. SÜLEYMAN ÖZEN

Doç. Dr. Ramazan LİVAOĞLU
(Danışman)

Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR
(İkinci Danışman)
İstanbul Teknik Üniversitesi

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2013

TEZ ONAYI

Süleyman ÖZEN tarafından hazırlanan “Denge Ağırlığı ve Radyasyonlu Ortamlarda Zırh İşlevi Amacına Yönelik Ağır Beton Tasarımı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ramazan LİVAOĞLU

İkinci Danışman : Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR /İstanbul Teknik Üniversitesi

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
Yapı Anabilim Dalı
İmza

Üye : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye : Doç. Dr. Ramazan LİVAOĞLU
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye : Doç. Dr. Babür DELİKTAŞ
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye : Doç. Dr. Gökhan Ekrem ÜSTÜN
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü

.../.../...

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/08/2013
Süleyman ÖZEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DENGE AĞIRLIĞI VE RADYASYONLU ORTAMLARDA ZIRH İŞLEVİ AMACINA YÖNELİK AĞIR BETON TASARIMI

Süleyman ÖZEN

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan LİVAOĞLU
İkinci Danışman: Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR

Denge ağırlığı betonu üretimi, zararlı ışınlarla karşı zırh betonu uygulamaları ve ağır beton kullanımı içeren diğer farklı amaçlar için karışım tasarımında en geçerli yöntem ağır agregaların kullanılmasıdır. Normal bir beton gibi ağır betonun da hacminin yaklaşık %75'ini agrega oluşturmaktadır. Bundan dolayı, agregaların kalitesi ağır betonun özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu amaç için, ağır agrega türünün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine, kırılma davranışına ve radyasyona karşı zırhlama performansına etkisini araştırmak amacıyla bir deneysel çalışma yapıldı. Bu çalışmada, ülkemizde mevcut olan demir cevheri, tufal, iki tür barit ve çelikhane cürufu ağır agregalarıyla betonlar üretildi. Ayrıca, Hollanda'dan getirilen ve doğal bir mineral olan manyetit agregasıyla da bir diğer ağır beton karışımı hazırlandı. Bütün betonlarda; su/çimento oranı, çimento dozajı, en büyük agrega boyutu ve karışım agregasının granülometrisi sabit tutuldu. Bu çalışma kapsamında; söz konusu ağır agregalar kullanılarak üretilen altı beton karışımında basınç dayanımı, elastisite modülü, yarma-çekme dayanımı gibi mekanik özellikler yanında eğilme etkisinde kırılma davranışı incelendi. Elde edilen deney sonuçları, kullanılan ağır agrega tipinin betonun mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir. Mekanik özelliklerde en yüksek performans demir cevheri ve çelikhane cürufu ağır agregalarıyla elde edilirken en yüksek kırılma enerjisi değerleri ise tufal, manyetit veya çelikhane cürufu ve demir cevheri karışımına sahip betonlarda elde edildi.

Bu araştırmanın ikinci amacı ise, demir cevheri, tufal, iki tür barit ve çelikhane cürufu ağır agregaları kullanılarak üretilen ağır betonların radyasyona karşı zırhlama özelliklerini değerlendirmektir. Bu ilave amaca varmak için, manyetit dışındaki beş karışımın her birinden alınan çapı 15cm, kalınlıkları ise 6, 15, 21 ve 30 cm olan numuneler radyasyon atenuasyon katsayılarını belirlemek üzere deneye tabi tutuldu. Ağır betonun birim ağırlığı 3820 ila 3012 kg/m³ arasında değiştirilirken atenuasyon katsayısının 0,265 ila 0,224 1/cm arasında kaldığı, ağır agrega tipinden bağımsız olduğu ve sonuçta bu katsayısının belirlenmesinde belirleyici faktörün betonun birim ağırlığı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ağır beton, Ağır agrega, Denge ağırlığı betonu Radyasyon Zırhlama

2013, ix + 72 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN OF HEAVY WEIGHT CONCRETE FOR BALANCE WEIGHT AND SHIELDING OF RADIOACTIVE ENVIRONMENTS

Süleyman ÖZEN

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Ramazan LİVAOĞLU
Second Supervisor: Professor Mehmet Ali TAŞDEMİR

In production of counterweight concrete and shielding concrete applications against hazardous radiations as well as various other applications that involve use of heavyweight concrete, the most significant method of mix design involves use of heavyweight aggregates. Similar to normal weight concrete, approximately 75% of the volume of heavyweight concrete is occupied by aggregates. Thus, the quality of the aggregate significantly affects the properties of heavyweight concrete. An experimental study was carried out to investigate the effect of heavyweight aggregate type on the physical and mechanical properties, fracture behaviour under bending and radiation shielding performance. In this study, concrete samples were produced using iron ore, steel mill scale, two types of barite and steel slag which are heavyweight aggregates, available in Turkey. An additional heavyweight concrete mixture was produced using magnetite as a natural mineral heavyweight aggregate imported from Netherlands. In all concrete samples produced, water/cement ratio, cement content, maximum aggregate size and the combined grading of aggregate used in the mixture were kept constant. Within the scope of this research, in addition to the mechanical properties such as compressive strength, modulus of elasticity and splitting tensile strength, the fracture behavior under bending was also investigated. Experimental results show that the type of heavyweight aggregate used affects the properties of heavyweight concretes. In terms of basic mechanical properties, the best performances were obtained when iron ore and steel slag were used while the highest fracture energy values were reached in concretes with steel mill scale, magnetite or the mixture of steel slag and iron ore. The second objective of this research was to evaluate the radiation shielding properties of heavyweight concrete with iron ore, steel mill scale and two types of barite or steel slag used as aggregates. To achieve this additional objective, samples with 15 cm diameter and 6, 15, 21 and 30 cm in length were taken from all concrete mixtures, except for the case where magnetite was used, and were tested to determine the radiation attenuation coefficient. The experimental results showed that the attenuation coefficient varied between 0.265 and 0.224 1/cm, while the unit weight of heavyweight concrete was changed from 3820 to 3012 kg/m³. It can be concluded that the dominant factor in the determination of attenuation coefficient is the unit weight of heavyweight concrete, and this coefficient is independent of the type of heavyweight aggregate.

Key words: Heavyweight Concrete, High density aggregate, Counterweight concrete, Shielding Radiation

2013, ix + 72 pages.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bilgi, deneyim ve yakın ilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR ve Doç. Dr. Ramazan LİVAOĞLU' na şükranlarımı sunarım. Ayrıca, mekanik özellikler ve kırılma davranışı deneyleri sırasındaki yakın desteği dolayısıyla İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Cengiz Şengül'e teşekkürü bir borç bilirim.

Radyasyon geçirimsizlik konusunda yapılan deneylere olan katkıları dolayısıyla İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü'nden Prof. Dr. Üner Çolak'a, Prof. Dr. İskender Atilla Reyhancan'a, Dr. Muhittin Okka' ya ve Yüksek Mühendis M. Sahip Kızıldaş'a şükranlarımı sunarım.

İ.T.Ü.'deki Yüksek Lisans tez çalışmalarım boyunca aldığım “ Türkiye Çimento Müstahsiller Birliği (TÇMB) - İz Bırakanlar Bursu”nun önemli katkısı olmuştur. Bundan dolayı, TÇMB Yönetim Kurulu Başkanlığına teşekkür borçluyum.

Agregaların kimyasal özellikleri konusundaki desteği için Akçansa-Betonsa Teknoloji Merkezi'nden Teoman Erenoğlu'na ve ağır betonların üretimindeki destekleri dolayısıyla Betonsa'dan Hakan Ekime ile Gürkan Sarman'a teşekkür ederim. Ayrıca, bu tezde araştırmalarımın katkısı olan Arçelik A.Ş.' ye, ağır agregaların temininde başta Uğur Beton olmak üzere ADO Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'den Jeoloji Müh. Ulucan Gerçek'e ve İMECE Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti.' den Maden Müh. Mustafa Erdoğan ve Maden Y. Müh. Haldun Lütfullahoğlu'na, Aydınlar Madencilik Ltd. Şti.' ne ve manyetit ağır agregalarının teminindeki desteklerinden dolayı Metacore'dan Arzu Cantekin'e teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Süleyman ÖZEN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Genel	1
1.2 Amaç ve Kapsam	2
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Ağır Betonlar.....	4
2.2 Ağır Agregalar	5
2.2.1 γ veya X Işınlarnn Zırhlanmasında Kullanılan Ağır Agregalar.....	6
2.2.2 Nötron Parçacıklarının Zırhlanmasında Kullanılan Agregalar	7
2.3 Ağır Betonların Kullanım Alanları	9
2.4 Radyasyon	9
2.4.1. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	10
2.4.2. Radyasyon Soğrulması.....	14
2.4.3. Radyasyon Korunma Yöntemleri.....	16
2.5 Literatür Özeti	19
3. MALZEMELER VE DENEY YÖNTEMLERİ	29
3.1. Malzemeler.....	29
3.1.1. Agregalar.....	29
3.1.1.1. Agregaların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	37
3.1.2. Çimento	43
3.1.3. Kimyasal Katkı.....	44
3.2. Yöntem.....	44
3.2.1. Karışımlar.....	44
3.2.1.1. Agregalı Karışım Oranları.....	44
3.2.1.2. Beton Karışımları	47
3.2.2. Yapılan Deneyler	48
3.2.2.1. Basınç Deneyleri	48
3.2.2.2. Yarma-Çekme Deneyi.....	51
3.2.2.3. Eğilme Deneyi.....	52
3.2.2.4. Radyasyon Geçirimsizlik Deneyi.....	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. Beton Basınç Deneyi Sonuçları	57
4.2. Yarma-Çekme Deneyi Sonuçları	58
4.3. Eğilme Deneyi Sonuçları	59
4.3.1. Beton Numunelerin Eğilme Dayanımları	59
4.3.2. Beton Numunelerin Kırılma Enerjileri	60
4.4. Radyasyon Geçirimsizlik Deneyi Sonuçları.....	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
α	Alfa Taneciği
β	Beta Taneciği
γ	Gama Taneciği
X	X Işını Simgesi
MeV	Mega Elektron Volt
KeV	Kilo Elektron Volt
σ	Compton Soğurma Katsayısı
κ	Çift oluşumu soğurma katsayısını
τ	Fotoelektrik Etki Kısmi Zayıflatma Katsayısı
μ	Lineer Azalım Katsayısı
μ_m	Kütle Azalım Katsayısı
Cs	Sezyum Simgesi
Cs-137	Sezyumun Radyoaktif İzotop Simgesi
^{137}Cs	Sezyumun Radyoaktif İzotop Simgesi
I_0	Zayıflatılmamış Radyasyon Şiddeti
I	Zayıflatılmış Radyasyon Şiddeti
ρ	Yoğunluk
MgO	Magnezyum Oksit Simgesi
SiO ₂	Silisyum dioksit Simgesi
Fe ₃ O ₄	Manyetit Simgesi
MnO	Mangan Oksit Simgesi
CaO	Kalsiyum Oksit Simgesi
T	Tufal Agregası Kullanılarak Üretilmiş Ağır Beton
D	Demir Cevheri Agregası Kullanılarak Üretilmiş Ağır Beton
B1	Barit1 Agregası Kullanılarak Üretilmiş Ağır Beton
B2	Barit2 Agregası Kullanılarak Üretilmiş Ağır Beton
G	Çelikhane Cürufu, Demir Cevheri ve Taştozu Agregaları Kullanılarak Üretilmiş Ağır Beton
V	Hacim
m_1	Kalıp Ağırlığı
m_2	Beton ile Dolu Olan Kalıp Ağırlığı
kN	Kilo Newton
f_{ct}	Yarmada Çekme Dayanımı
F	Kırılma Yüğü
L	Numunenin Yükleme Parçasına Temas Çizgisi Uzunluğunu
d	Numunenin En Kesit Boyutunu
W_0	Yük-Sehim Eğrisi Altında Kalan Alan (N/m)
G_f	Kırılma enerjisi (Joule/m ²)
m	Kirişin Mesnetleri Arasında Kalan Kısmın Ağırlığı (kg)
g	Yer Çekim İvmesi
δ	Kirişin Göçme Sırasındaki Deformasyonu
A_{lig}	Çentik Açıldıktan Sonraki Etkin Alan
x	Soğurucunun Kalınlığını

P	Yük
L	Mesnetler Arası Açıklık
B	Kiriş Enine Uzunluğu
H	Kiriş Yüksekliği
a	Çentik Yüksekliği
F_{net}	Eğilme Dayanımı

Kısaltmalar Açıklamalar

LVDT	Linear Variable Differential Transformer
ÇAAD	Çatlak Ağız Açılma Deplasmanı
HpGe	High Purity Germanium
MR	Manyetik Rezonans
BT	Bilgisayarlı Tomografi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Alfa (α) bozunması.....	11
Şekil 2.2.	β^- bozunumu.....	12
Şekil 2.3.	β^+ bozunumu.....	12
Şekil 2.4.	Elektron yakalama.....	13
Şekil 2.5.	Gama (γ) bozunması.....	14
Şekil 2.6.	X ve γ ışınlarının soğurulması.....	18
Şekil 3.1.	Tufal agregası.....	30
Şekil 3.2.	Demir cevheri agregası.....	33
Şekil 3.3.	Barit agregası.....	34
Şekil 3.4.	Çelikhane cürufu agregası.....	35
Şekil 3.5.	Kullanılan Barit 1 agregası elek analizi.....	37
Şekil 3.6.	Kullanılan Barit 2 agregası elek analizi.....	38
Şekil 3.7.	Kullanılan Demir Cevheri agregası elek analizi.....	38
Şekil 3.8.	Kullanılan Tufal agregası elek analizi.....	39
Şekil 3.9.	Kullanılan Çelikhane Cürufu ve Taş Tozu agregalarının elek analizi.....	39
Şekil 3.10.	Kullanılan Manyetit agregası elek analizi.....	40
Şekil 3.11.	Betonlara ait agrega karışımlarının granülometrileri ($D_{max}=4$ mm).....	46
Şekil 3.12.	Betonlara ait agrega karışımlarının granülometrileri ($D_{max}=8$ mm).....	46
Şekil 3.13.	Basınç deneyi.....	49
Şekil 3.14.	Elastisite modülünün tespit edilmesi.....	50
Şekil 3.15.	Yarma çekme deneyi.....	51
Şekil 3.16.	Yarma çekme deneyi.....	52
Şekil 3.17.	Eğilme deneyi.....	53
Şekil 3.18.	Çentikli örnek üzerinde üç noktalı eğilme deneyi ve yük – sehim eğrisinin şematik gösterimi.....	54
Şekil 3.19.	Eğilme deneyi sonucunda kırılma biçimleri.....	55
Şekil 3.20.	HpGe detektör.....	55
Şekil 3.21.	Radyasyon geçirimsizlik deney düzeneği.....	56
Şekil 4.1.	Basınç dayanımlarının değişimi.....	57
Şekil 4.2.	Elastisite modüllerinin değişimi.....	58
Şekil 4.3.	Yarma-Çekme dayanımları değişimi.....	59
Şekil 4.4.	Eğilme dayanımları değişimi.....	60
Şekil 4.5.	Kırılma enerjileri değişimi.....	61
Şekil 4.6.	B1 betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri.....	61
Şekil 4.7.	B2 betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri.....	62
Şekil 4.8.	T betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri.....	62
Şekil 4.9.	D betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri.....	62
Şekil 4.10.	G betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri.....	63
Şekil 4.11.	M betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri.....	63
Şekil 4.12.	Demir cevheri ve çelikhane cürufu betonlarının kalınlıklara göre radyasyon geçirgenlikleri.....	64

Şekil 4.13.	Barit 1 ve Tufal betonlarının kalınlıklara göre radyasyon geçirgenlikleri.	64
Şekil 4.14.	Barit 2 betonlarının kalınlıklara göre radyasyon geçirgenlikleri	64
Şekil 4.15.	Betonlarının lineer azalım katsayıları	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Hematit genel özellikleri.....	7
Çizelge 3.1. Manyetin genel özellikleri	29
Çizelge 3.2. Agregaların özgül ağırlık ve su emme değerleri.....	41
Çizelge 3.3. Agregaların kimyasal özellikleri.....	442
Çizelge 3.4. Çimentonun fiziksel özellikleri.....	43
Çizelge 3.5. Çimentonun kimyasal özellikleri	43
Çizelge 3.6. Çimentonun mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 3.7. Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri.....	44
Çizelge 3.8. Gerçek beton bileşimleri (kg/m^3) ve taze beton özellikleri	48

1.GİRİŞ

1.1 Genel

Teknolojinin gelişimi ile birlikte, insan sağlığını tehdit eden seviyede radyasyon yayan cihazların kullanımı da yaygınlaşmıştır. Bu tür cihazların bulunduğu yapılar için sadece dayanım ilkesine bağlı olarak gerçekleştirilen tasarım yeterli olmamakta, yeterli geçirimsizlik gibi koşulların da sağlanması gerekmektedir. Radyasyon etkilerine maruz bu tür yapıların tasarımında, kullanıcıların zararlı ışınların olumsuz etkilerine karşı korunmaları gerekmektedir. Bu bağlamda zararlı etkilere karşı korumalı bir alan yaratma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu alanların oluşturulabilmesi için en önemli unsur, radyasyon kaynağı ile radyasyona maruz kalan ortam arasına, zırhlama elemanının yerleştirilmesidir (Kılınçarslan ve ark. 2007). Bu maksatla günümüzde zırhlama elemanı olarak, radyasyon tutuculuk özellikleri dikkate alınarak özgül ağırlığı yüksek malzemeler kullanılmaktadır. Kurşun ve ağır beton bu malzemelerden yaygın olarak kullanılanlardır. Ağır betonlar özellikle maliyet açısından günümüzde daha fazla tercih edilmektedir.

Genel olarak betonlar birim ağırlıklarına göre üçe ayrılmaktadır. Birim ağırlıkları yaklaşık 2400 kg/m³ olan betonlar normal beton olarak isimlendirilmektedir. Bu tip geleneksel betonlar günümüzde en yaygın kullanılan betonlar olup yapılarda taşıyıcı sistemlerin inşasında kullanılmaktadır. Hafif betonlar ise birim ağırlıkları 2000 kg/m³'ten az olan betonlardır. Buna karşın birim ağırlığı 2600 kg/m³'ün üstünde olan betonlar, ağır beton olarak adlandırılır. Ağır betonları diğer betonlardan ayıran en önemli husus ağır agregalar kullanılmasıdır. Betonların birim ağırlıkları arttıkça radyasyona karşı kalkan etkisi de artmaktadır. Sonuçta ağır beton uygulaması ile hem korumalı bir hacim oluşturulmakta, hem de uygun yapı taşıyıcı sistemi teşkil edilmektedir.

Radyasyon; en genel anlamda dalga, parçacık ya da foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerji olarak tanımlanabilmektedir. Burada hedeflenen radyasyon nedeniyle insanlar üzerinde oluşabilecek zararlı etkilerin azaltılmasıdır. Bu işlem, radyasyon kaynağı ile insan arasına zırhlama malzemesi konulmasıyla

gerçekleştirilebilir. X, α , β ve γ ışınlarının başka cisimlere çarpması ile meydana gelen nötron ışınları atom ağırlıkları küçük olan elementler tarafından durdurulmaktadır (Price ve ark. 1957). X ve γ ışınlarının zırhlanması, zırh malzemesinin yoğunluğuna bağlıdır (Shapiro 1972). Ağır beton uygulaması ile meydana getirilen zırhlama işlemi ile, söz konusu yapı malzemesinin birim ağırlığının yüksek olmasından dolayı X ve γ ışınları sönmümlenirken karışım suyundan gelen hidrojen atomları ile nötron ışınlarından oluşacak, zararlı etkiler azaltılmaktadır. Bu amaçla günümüzde ağır betonlar, çoğunlukla nükleer santrallerde, tıpta ve radyasyonlu ortamlarda X, γ ve nötron ışınlarına karşı sıklıkla kullanılmaktadır. Bu betonlarla gerçekleştirilen bu işlem bir tür zırhlama olarak adlandırılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir diğer zırhlama tekniği ise, radyasyona maruz kalan mekanın duvarlarına kurşun plaklar yerleştirilmesidir. Yapılan bu işlem oldukça maliyetli olduğundan büyük hacimler için genellikle tercih edilmemektedir. Ağır betonların yaygın olarak kullanılması, diğer zırhlama malzemeleri ile karşılaştırıldığında maliyetinin oldukça düşük olması nedeniyle, hem pratik hem de ekonomiktir. Daha önce de ifade edildiği gibi, bir taraftan zırhlama işlemi gerçekleştirilmekte diğer taraftan yapı taşıyıcı sistemi aynı tür malzeme ile teşkil edilebilmektedir.

Yukarıda belirtilen zırhlama işleminden başka, ağır betonlar çamaşır makinası ve katener direkleri için denge ağırlığı elemanlarının üretiminde de kullanılmaktadır. Ayrıca, ağır betonlardan, deniz tabanına uygulanan batırma tüplerinin ağırlaştırılması amacıyla da yararlanılmaktadır.

1.2 Amaç ve Kapsam

Çalışmanın başlıca amacı; radyasyona maruz kalan hacimlerde kullanılan ağır betonların mekanik ve radyasyon zırhlama özelliklerini araştırmak olarak seçilmiştir. Diğer taraftan, ağır betonun zırhlama özelliğinin yanında; yapılarda taşıyıcı sistem amaçlı kullanılmasından dolayı basınç dayanımı, elastisite modülü, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi gibi bazı mekanik özelliklerinin araştırılması da ön plana çıkmıştır.

Deneysel olarak yürütülen zırh betonu uygulamalarına yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışmada manyetit, barit, demir cevheri, tufal ve çelikhane cürufu gibi ağır agregalar kullanılmıştır. Bu agregaların fiziksel özellikleri incelenmiş, bunlarla oluşturulan beton karışımlarda öncelikle ön deneyler yapılarak, işlenebilirlik ve tasarımları incelenmiş, daha sonrasında uygun karışım oranları ile beton üretimleri yapılmıştır. Manyetit, demir cevheri, tufal, iki tür barit ve çelikhane cürufu gibi 6 farklı ağır agrega ile üretilen betonlar üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, ayrıca manyetit ağır agregası ile üretilen betonlar dışındaki tüm ağır betonlar 662 KeV enerjiye sahip sezyum (Cs-137) kaynağından gelen γ ışınlarına maruz bırakılmış ve her bir agrega türünden üretilen ağır betonlar için lineer azalım katsayıları bulunarak, radyasyon zırhlama özellikleri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Ağır Betonlar

Geleneksel betonlar; çimento, normal agrega, kimyasal ve/veya mineral katkı maddesi ve su ile üretilmektedir. Betonun hacminin yaklaşık %70' ini oluşturan agreganın birim ağırlığı, betonun fiziksel ve mekanik özellikleri değiştirmede önemli bir parametredir (Khatita ve ark. 2009). Bundan dolayı da betonların sınıflandırılmasından birisi de birim ağırlığa göre yapılmaktadır. Birim kütlesi 2600 kg/m³' ten büyük olan betonlar, ağır betonlar olarak sınıflandırılmaktadır. Ağır betonların üretimi ile geleneksel betonların üretimi karşılaştırıldığında, tek fark agrega olarak ağır agregalar yani birim hacim ağırlıkları normal agregalara oranla daha yüksek olan agregaların beton karışımında kullanılmasıdır. Dolayısıyla ağır betonların üretiminde bazı özel agregalardan faydalanılmaktadır. Ağır betonlarda genellikle ağır agrega olarak; barit, limonit, manyetit, demir cevheri, tufal, ilmenit, hematit ve çelikhane cürufu kullanılmaktadır. Ağır betonların ortamdaki radyasyonun yayılmasını sınırlamak amaçlı kullanıldığı düşünülürse, betonun içerisinde bulunan agrega cinsi ve miktarı radyasyona karşı korumada en önemli bileşenlerdir (Akkurt ve ark. 2006). Zırlama, zararlı olan radyasyonun dozununun insanların sağlığına zarar vermeyecek duruma getirmek için radyasyon kaynağı ile insanlar arasında konulan radyasyon absorbe edici engellerdir (Kaçar 2006). Radyasyon zırlama özellikleri incelendiğinde; ağır betonların hangi element ve bileşiklerden oluştuğu önemlidir. Çünkü bu bileşikler ve elementler betonun birim ağırlığını belirlediğinden, radyasyon türüne göre farklı davranış gösterebilirler (Demir 2009). Bundan dolayı betonun birim ağırlığı arttıkça radyasyon zırlama özelliği de artmaktadır (Akkurt ve ark. 2012). Ayrıca betonun zırlama özelliğini artırmak için beton kalınlığı da önemli faktördür. Bu yüzden radyasyon geçirimsizliğine karşı olan zırlama dayanımı, zırlama kalınlığıyla doğrudan ilişkiye sahiptir (Topçu 2003). Bundan dolayı beton karışımında kullanılacak ağır agrega; maruz kalınacak radyasyona karşı hem betonun birim ağırlığını hem de beton kalınlığını göz önüne alarak belirlemek gerekmektedir.

2.2 Ağır Agregalar

Ağır agregaların genel olarak özgül ağırlıkları $3,5 \text{ kg/dm}^3$ ' ten büyük iken normal agregalarda ise bu değerler $2,4 - 2,6 \text{ kg/dm}^3$ civarlarındadır. Beton üretiminde kullanılan bu ağır agregalar ortamın maruz kalacağı radyasyon türüne göre değişiklik göstermektedir.

Zararlı ışıklardan olan X ve γ ışınlarına karşı zırhlamayla, nötron zırhlaması farklıdır. Nötronların madde etkileşimleri daima bir maddenin atom numarasına bağlı olarak değişiklik göstermez, bir izotop belirli soğurucu özellik gösterirken, o izotopun komşuları kısmen geçirici özelliğe sahip olabilir. Aynı zamanda soğurma ikincil γ ışınlarının oluşmasıyla meydana gelir ve bu ışınların miktarı ve enerjileri bir maddeden diğerine değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, bir reaktör için zırh malzemesi, o reaktörün belirgin özelliklerine göre seçilmelidir. Radyoaktif kaynaktan çıkan hızlı nötronların yavaşlatılması elastik ve elastik olmayan saçılım ile gerçekleşir. Yüksek atom numarasına sahip elementler elastik olmayan saçılmalarda etkili olmaktadır. Bu yüzden demir ve baryum taşıyan agregalar nötron kalkanı olarak kullanılabilir. Ancak hafif elementler elastik saçılmalarda daha etkili olduklarından en düşük atom numarasına sahip hidrojen saçılmaları en iyi sonuç verecektir (Topçu 2006). Hidrojen ve oksijen beraber çimento jelinde su, çimentoda serbest su olarak veya bazı su içeren agregalarda karışımı oluşturan bir madde olarak bulunur. Diğer yandan hafif bir izotop olan Boron izotopu, kısmen çok yüksek nötron soğurma kapasitesine sahiptir. Bu arada nötron yakalama sırasında oldukça az nüfuz etme gücüne sahip olan $0,48 \text{ MeV}$ 'lik γ ışınları ortaya çıkar. İyi bir nötron kalkanı için elastik olmayan saçılımı sağlayacak olan demir, nötron yakalamak ve elastik saçılımı sağlamak için su ve ikincil ışın problemini azaltmak için Boron izotopu bileşenlerini içermelidir (Demir 2009). Bor tuzları yavaş veya orta enerjili nötronların soğurulmasında önemli rol oynadıkları için tercih edilen bir malzemedir. Yalnız bazı bor tuzları suda eridiğinden dayanımın düşmesinden dolayı, suda erimeyen bor tuzları tercih edilmektedir. Genelde demir-çelik fabrikalarının atıkları olan demir cevheri içeren agregalar ya da demir kırıntıları gibi sanayi atıkları, agrega olarak kullanılabilir. Ancak biçimleri çoğunlukla uygun olmadığından veya yağ içermesinden dolayı karışımda sorunlar oluşturabilirler.

Ağır beton içinde agregalar temiz olmalı ve imento matrisi ile gerekli bağı yapabilmek için yabancı maddelerden, yağdan ve zararlı malzemelerden arınmış olmalıdır. Agregalar düz ve uzun parçacıklardan arınmış ve Şekil olarak kabaca küp veya küre Şekline yakın olmalıdır. Eğer karışımında kullanılan agregaların ağırlıklarında fazla fark oluşursa, ayrışmaya neden olacağından agrega karışım oranları bu durum düşünülerek yapılmalıdır.

X,  ışınları ve nötronlara karşı kalkan oluşturmak amaçlı üretilen betonlarda kullanılan agregaları 3 gruba ayırabiliriz:

- 1) Demir veya baryum içeren doğal ve yapay agregalar,
- 2) Hidratlı doğal agregalar,
- 3) Barit içeren agregalar (Topçu 2006).

İlk grup yüksek atom numarasına sahip olan ve X ile  ışınlarını soğurma özeliğine sahip malzemeleri içerir. İkinci grup, nötronları zayıflatmada oldukça etkili suyu içeren agregalardan oluşur. Üçüncü grup, nüfuz etme özeliğine sahip yüksek enerjili  ışınlarını üretmeyecek Şekilde, termal nötronları soğurma özeliğine sahip olan Boron izotopu içeren agregalardır (Dusil ve Beier 1989).

Ağır beton üretiminde yaygın biçimde kullanılan ağır agregalar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

2.2.1  veya X Işınlarının Zırhlanmasında Kullanılan Ağır Agregalar

Kullanılan ağır agregalar genellikle barit, limonit, manyetit, hematit ve ilmenit ile demir cevheri, tufal ve elikhane cürufu gibi sanayi atıklarıdır. Ağır betonlarda kullanılmak üzere seçilen agregaların özgül ağırlıkları: genellikle $4,0 \text{ gr/cm}^3$ 'ün üzerinde olur. Normal betonlarda ise bu değer $2,6 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. En çok kullanılan agrega barittir. Doğadan %90 saflıkta elde edilen bu kayaç kırma taş gibi betonda kullanılır. Karışım hesaplarında herhangi bir değeriklik yoktur (Dusil ve Beier 1989).

Hematit: Fe_2O_3 formundaki demir mineralidir. Kan taşı olarak da bilinen hematitin en yaygın rengi kırmızı-kahverengidir (Anonim 2013a). Mohr sertliği 5-6 arasında olup ve saf mineral içinde $5,26 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlığa sahiptir. Rengi açık kırmızıdan sönük kırmızıya hatta griye kadar farklı renklere sahiptir. Metalik ya da mat olabilir. Hidrotermal damarlarda ve magmatik kayalarda aksesuar minerali olarak bulunabilir. Volkanik kayaçlarda, birçok metamorfik kayada, kontakt metamorfik yataklarda, birincil veya ikincil olarak sedimanter kayalarda yaygın olarak oluşabilir (Anonim 2013b). Hematitin genel özellikleri Çizelge 2.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Hematit genel özellikleri

	Kimyasal Formül	%Fe	Özgül Ağırlık	Sertlik	Renk	Kristal Cinsi	Diğer
Hematit	Fe_2O_3	69.9	5.2	5.0-6.0	Kırmızı	Hekzagonal romboedr	Manyetik değil

Limonit: $Fe_2O_3.H_2O$ yapısında bir demir mineralidir. Sertlik derecesi 4–5,5 olup $2,9 - 4,3 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlığa sahiptir. Rengi demir siyahıdır ve oldukça manyetik bir bileşiktir.

İlmenit: Kimyasal bileşimi $FeTiO_3$ ismi kristal demir titanyum oksittir. Kristal sistemi hegzagonal olup kristal biçimi levhamsı kristalli, masif, yoğun ve taneseldir. Sertlik derecesi 5 – 6 arasında ve özgül ağırlığı $4,72 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Siyah renkli, siyah-kahverengimsi kırmızı çizgi renklerine sahip ve metalik parlaklıktadır. Hematitten çizgi rengeyle, manyetitten manyetik özelliği ile kolayca ayrılabilir. Birçok magmatik ve metamorfik kayada bulunan aksesuar mineralidir. Kuvars damarlarında, pegmatitlerde ve bazı gnayslarda hematit ve kalkopirit ile birlikte bulunur.

2.2.2 Nötron Parçacıklarının Zırhlanmasında Kullanılan Agregalar

Nötron soğurulması ilk aşama hızlı nötronların yutulabilecekleri enerji düzeylerine kadar yavaşlatılmaları ile gerçekleştirilir. Nötron yavaşlatılmasında en etkili element hidrojenidir. Nötron zırhlama işleminde ikinci aşama yavaşlatılmış olan nötronların zırh içinde soğurulmasının sağlanmasıdır. Bunu sağlayan elementlerin, nötron yakalama reaksiyonları sonucu γ ışını yayınlamalarının düşük olması ve malzemede radyoaktif

kaynaklar yaratmamaları istenir (Topçu 2006). Bunun için en uygun element bor, cevher olarakta bor içerikli kolemanit, üleksit ve tinkal agregaları örnek verilebilir. Türkiye dünyadaki en büyük kolemanit yataklarına sahiptir. Kolemanit içerisinde hidrojen bulundurması sebebiyle hızlı nötronların yavaşlatılmasında etkilidir. Bor çekirdekleri ancak nötron yavaşlaması arttıkça etkili olmaktadır. Kolemanit termal nötron yutma tesiri kesiti yüksek olan bor elementi içerir. Bu nedenle kolemanit katkı betonlar termal nötron akısı karşısında daha etkilidir. Kolemanitli beton içerisinde termal akı normal betona göre yaklaşık olarak 1/4000 oranında azalmaktadır (Topçu 2006).

Kolemanit: Kimyasal bileşeni $\text{CaB}_3\text{O}_4 (\text{OH})_3 \text{H}_2\text{O}$ olup kristal sistemi monokliniklidir. Kristal biçimi çoğunlukla eş boyutlu ve kısa prizmatik kristalli, masif, yoğun, taneseldir. Sertlik derecesi 4,5 ve özgül ağırlığı $2,42 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Renksiz, beyaz ve şeffaf-yarı şeffaftır. Camsı parlaklığa sahiptir. Ayrıcı özelliği kristal formu, mükemmel dilinimi ve diğer boratlardan daha sert olmasıdır. Kurak iklim bölgelerindeki playa ve tuz göllerinde boraks ile birlikte oluşur. Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kestelek yataklarında ve A.B.D' de bulunur.

Üleksit: Kimyasal bileşeni $\text{NaCaB}_5\text{O}_9.8\text{H}_2\text{O}$ olup kristal sistemi trikliniklidir. Kristal biçimi genellikle iğnemsî kristalli; merceksi ya da nodüler, ışınal, pamuk yumağı şeklindedir. Sertlik derecesi 2,5 ve özgül ağırlığı $1,955 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Beyaz, renksiz, ipeksi ve şeffaftır. Camsı parlaklığa sahiptir. Ayrıcı özellikleri pamuk yumağı şekli, düşük yoğunluğu, soğuk suda çözünmeyip sıcak suda çözünmesidir. Boraks yataklarının bulunduğu alanlardaki sedimanter kayalarda genellikle kolemanit ile birlikte bulunan bir evaporit mineralidir.

Tinkal: Kimyasal bileşeni $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7.10\text{H}_2\text{O}$ renksiz ve saydam olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde bulunabilir. Sertliği 2-2,5 ve özgül ağırlığı $1,7 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. B_2O_3 içeriği %36,5'dir. Tinkal çabuk bozunarak suyunu kaybederek tinkalkonite dönüşebilir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Türkiye'de Eskişehir-Kırka yatağında bulunmaktadır (Şimşek 2006).

2.3 Ağır Betonların Kullanım Alanları

Ağır betonlar ilk kez kaymaya ve devrilmeye meyilli yapıların güvenliğini artırmak amacıyla kullanılmışlardır (Osma 2002). Bundan dolayı, katener direklerinde ve çamaşır makinelerinde denge ağırlığı elemanı olarak yaygın uygulama alanı bulmaktadır. Günümüzde ağır betonlar çoğunlukla nükleer santrallerde ve reaktörlerde yapıların duvarlarında ve tıpta radyasyona maruz kalan röntgen, BT, MR ve onkoloji gibi bölümlerin duvarlarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Nükleer enerjinin gelişimiyle birlikte bu alanlarda kullanılan cihazlarda bazı objelerden geçebilme özelliğine sahip ve insanlar için zararlı olan X , α , β ve γ ışınlarından korunabilmek için ağır betonlar kalkan olarak kullanılmaya başlandı. Bu kullanım alanına ek olarak ağır betonlar, batırma tüp tünellerdede kullanılmaktadır. Köprü ayakları, baraj gövdeleri, askeri mühimmat depo duvarları, beton reaktör siloları ve istinat duvarlarında ağır betonlar bölgesel olarak kullanıldıklarında denge açısından yapı sistemlerine önemli katkılar sağlayabilmektedirler.

2.4 Radyasyon

Radyasyon maddenin içerisine soğrulan ve transfer edilen enerjinin elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçiminde yayınımlı veya aktarımı olarak tanımlanabilir. Radyasyon, parçacık ve dalga tipi radyasyon olarak iki kısımda incelenebilir.

Parçacık radyasyonu belli bir kütle ve enerjiye sahip hızlı hareket eden ufak parçacıkları ifade eder. Bir parçacığın enerjisi, kütlesi ve hızıyla belirlenmektedir. Bunlar α parçacıkları veya He^{++} çekirdeği, β^- parçacıkları, elektronlar (e^-), pozitronlar (β^+) veya pozitif olarak yüklenmiş elektronlar, nötronlar (n), çoğunlukla hidrojen çekirdeği olan yüksek enerjili protonlardan (p^+) ibaret olan primer kozmik ışınlardır (Johns ve Cunningham 1983).

Elektromanyetik radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir ve dalga boyu

veya frekansıyla ifade edilir. Bu dalgaların yayılmaları için belli ortama ihtiyaçları yoktur ve ilerlemelerinde bir cisme çarpmadıkları sürece enerji kaybına uğramazlar. Bu dalgaların boşlukta yayılım hızları 3×10^8 m/sn' dir.

Radyasyon madde ile etkileşimi bakımından iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan olmak üzere iki şekilde incelenir. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü iyonlar oluşturabilir. Doğada radyoaktif elementlerden, sürekli iyonlaştırıcı radyasyonun etkisinde kalınır. Doğal radyoaktif maddeler solunan havaya, yenen yiyeceğe kadar her yerde bulunmaktadır. Endüstri ve tıp alanında kullanılan X ışınları ile radyoaktif maddeler diğer iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarıdır. İyonlaştırıcı radyasyonlara, duman dedektörleri, televizyonlar gibi bazı tüketim maddeleri ile nükleer güç santralleri de eklenebilir. Bu ürünlerin çalışmaları iyonlaştırıcı radyasyonlara bağlıdır fakat yapıları nedeni ile yayınlanan radyasyon doğal çevre radyasyonundan çok küçüktür ve zor ölçülebilir (Lamarch 1977).

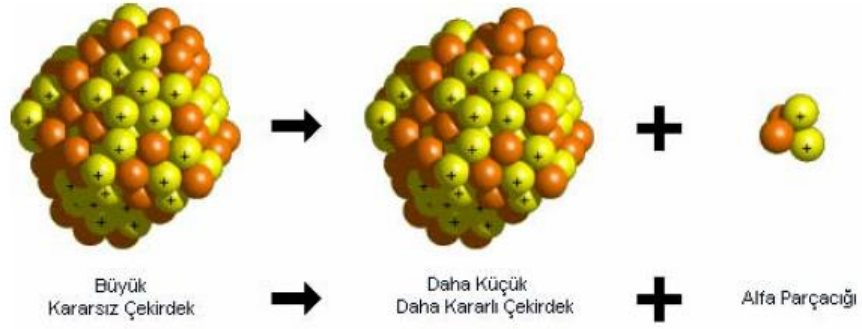
2.4.1. Radyoaktif Bozunma Türleri

Genel olarak radyoaktif bozunma aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır

- a) Alfa (α) Bozunması
- b) Beta (β) Bozunması
- c) Gamma (γ) bozunması
- d) Nötron Yayını

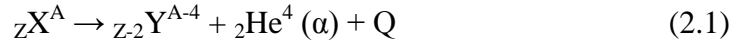
a) Alfa (α) Bozunması

Çekirdeğin kararsızlığı hem nötron hem de proton fazlalığından meydana geliyor ise iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak daha küçük ve kararlı bir çekirdeğe bozunur (Şekil 2.1). α parçacıkları yüksek hızlı helyum çekirdekleri olup bazı radyoaktif çekirdekler ve parça hızlandırıcıları tarafından yayınlanmaktadır. Ayrıca dalga boyları büyük olduğundan geçme özelliği azdır ve kağıt yaprağı ile durdurulabilir (Karakuzu 2007).



Şekil 2.1. Alfa (α) bozunması

Alfa bozunmasında ana çekirdek, iki proton ve iki nötron kaybederek kütlesi 4 birim, yükü ise 2 birim azalır. Bu nükleer parçalanma;



bağıntısı ile ifade edilirken burada ${}_Z X^A$ kararsız haldeki ana çekirdek, ${}_{Z-2} Y^{A-4}$ kararlı halde gelen ürün çekirdek, ${}_2 \text{He}^4 (\alpha)$, alfa parçacığı ve Q ise parçalanma enerjisi olup ürün çekirdek ve alfa parçacığı arasında paylaşılır. Alfa parçacığı elektron kaybetmiş Helyum (He) atomudur. Bozunmadan dolayı ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını momentumun korunumu yasasına göre küçük kütleye sahip olan alfa parçacığı alır. α parçacıkları kısa mesafelerde hızlarını çabuk kaybederler. Ancak havada yoğun iyonlaşmaya neden olurlar (Krane 1988).

b) Beta (β) Bozunması

Beta parçacıkları birkaç radyoaktif madde tarafından yayınırlar. Radyoaktif çekirdekler tarafından yayımlanan β parçacıkları hiç yoktan başlayıp maksimum seviyelere kadar giden enerji spektrumuna sahiptir. β ışınlarının katı maddeler içinden geçebilme yetenekleri fazla olmamakla birlikte hava içinde uzun mesafelere kadar yayılabilmektedir. Bu nedenle β parçacıkları yayımlayan radyoizotoplar insanlar için radyasyon tehlikesi oluşturmaktadır (Karakuzu 2007). Beta bozunması 3 grupta incelenir. Bunlar;

- β^- Bozunması
- β^+ Bozunması
- Elektron Yakalanması

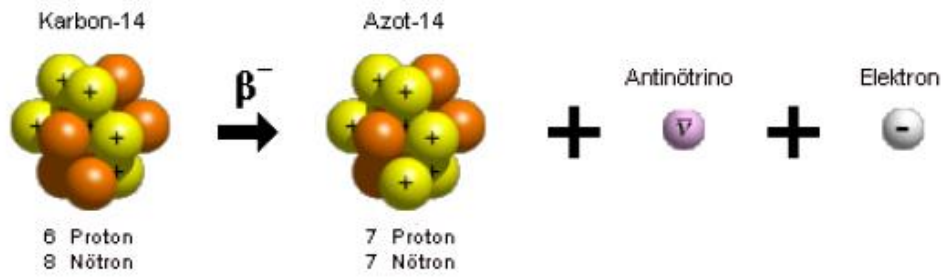
β^- Bozunması: Çekirdekdeki nötron fazlalığı sonucu nötronun bozunuma uğrayarak bir protona, bir elektrona ve durgun haldeki kütlesi sıfır olan antinötrinoya dönüşmesi olayıdır. Yapıdaki antinötrino parçalanma esnasında enerjinin, momentumun ve açısal momentumun korunumunu sağlar. β^- Bozunması,



veya

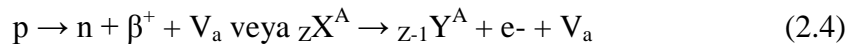


bağıntısıyla verilir (Şekil 2.2). Eşitlikte n nötronu, p protonu, e^- (-) parçacığını, $\bar{\nu}_e$ antinötrinoyu, ${}_Z X^A$ kararsız haldeki ana çekirdek, ${}_{Z+1} Y^A$ kararlı hale gelen ürün çekirdeği ifade etmektedir (Annunziata 2003).

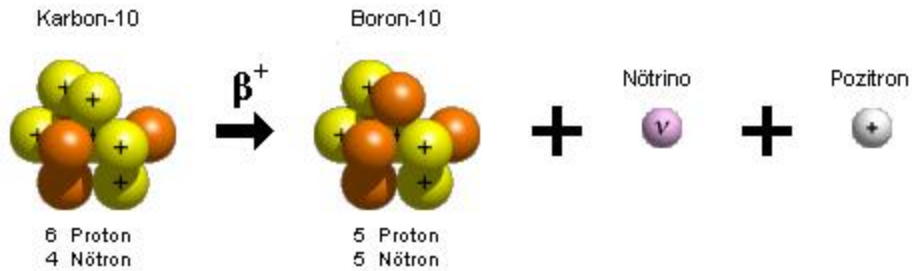


Şekil 2.2. β^- bozunumu

β^+ Bozunması: Atomun kararsızlığı nötron azlığı veya proton fazlalığından meydana geliyorsa, çekirdek içinde bir protonun bozunuma uğrayarak bir nötrona, pozitrona ve bir nötrino parçacığına dönüşmesi olayıdır. β^+ Bozunması



eşitliğiyle ifade edilir. Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır (Şekil 2.3). Böylece pozitron yayınlayan çekirdeğin proton sayısı bir eksilerek kendinden bir önceki elementin atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez.



Şekil 2.3. β^+ bozunumu

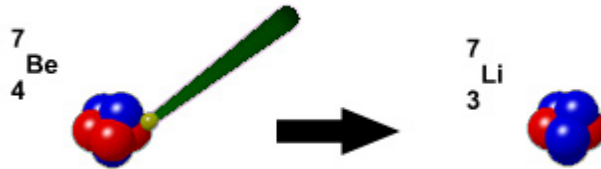
Elektron Yakalama: Çekirdek K yörüngesinden bir elektronu kapar ve çekirdek içindeki bir protonun nötrona dönüşmesine neden olur (Şekil 2.4). Bu olay sonucunda nötron ve nötrino oluşur. Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır. Elektron yakalanması sonucunda ürün çekirdeğin karakteristiği olan X ışını yayınlanır (Beiser 1972). Elektron yakalama



veya



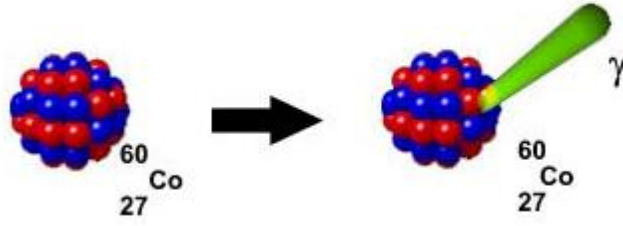
denklemleri ifade edilir.



Şekil 2.4. Elektron yakalama

c) Gama (γ) Bozunması

Gama radyasyonu bir atom çekirdeğinin yeniden düzenlenmesi sırasında yayınlanır ve karakteristik X ışınlarında olduğu gibi spektrumları bir çizgi serisinden oluşmaktadır. Çekirdekteki enerji fazlalığından dolayı veya nüklid bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra hemen kararlı (temel enerji seviyesi) durumuna geçemez, bozunmada oluşan nüklid hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini hemen elektromanyetik özellikte olan bir γ ışını radyasyonu şeklinde yayımlar (Şekil 2.5). Bu şekilde bozunan yarı kararlı nüklidin atom ve kütle sayılarında bir değişim olmaz, bu nedenle bu bozunmaya izometrik bozunma adı verilmiştir.



Şekil 2.5. Gama (γ) bozunması

γ ışını yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür, ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı ömürlü γ ışını yayımlanması da vardır (Magill ve Galy 2005). Enerji spektrumları ise kesiklidir. γ enerjileri 0,1 MeV ile 3 MeV arasında bulunmaktadır. γ radyasyonu X ışınlarından daha büyük enerjili elektromanyetik dalgalardır ve yüksek geçme kabiliyetine sahiptir.

d) Nötron Yayını

Eğer çekirdek yüksek uyarılma enerjisine ve nötron sayısına sahip ise aşağıdaki denkleme göre nötron yayımlar (2.7). Çekirdekte nötronun bağ enerjisi kütle numarası ile değişirse de çoğu zaman bağ enerjisi ortalama 8 MeV civarındadır. Böylece, eğer çekirdeğin uyarılma enerjisi 8 MeV değerinden küçük ise nötron yayımlayarak bozunur (Mısır 2001). Nötronlar, geçebilme yetenekleri son derece yüksek olan parçacıklardır. Nötronlar, atmosferde atomların çarpışmaları sonucu, uzaydan ve nükleer reaktörün içerisindeki bazı atomların parçalanmaları sırasında meydana gelir (Kılınçarslan 2004).



2.4.2. Radyasyon Soğrulması

Radyasyonlar doğrudan ve dolaylı iyonlayıcı olarak ikiye ayrılırlar. Doğrudan iyonlayıcı radyasyonlar α , β ve ağır iyonlar gibi elektrik yüklü tanecikler olup, dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar ise X ve γ ışını gibi elektromagnetik radyasyonlar ve nötronlardan meydana gelir. Dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar, madde ile etkileşim

halindeyken iyonlayıcı özellikleri olan ikincil radyasyonlar meydana getirir ve böylece iyonlaşma oluşur.

X ve γ ışınları elektromagnetik dalgalardır bu yüzden madde ile etkileşimleri aynıdır. Bu ışınların zayıflatılmaları temelde foton-madde ara etkileşmeleri ile meydana gelir. Foton maddesel çekirdek değil bir enerji paketidir ve kütlesi yoktur. Foton ışık hızı ile gider veya yörünge elektronu ile çarpışarak yok olur. γ ışınları kararsız atomun çekirdeğinden yayınlanırken, X ışınları hızlandırılmış elektronların yüksek atom numaralı hedef atomlarının çekirdeklerine yaklaştıklarında çekirdeğe çarpmasıyla oluşur. Her iki ışın da elektrik yüküne sahip değildir ancak atomla etkileştiklerinde iyonlaşma meydana gelir. Elektrik yükleri olmadığından etkileştikleri madde içerisinde çekilme ve itilmeye maruz kalmazlar ama yolları üzerindeki parçacıklarla çarpışmalar yaparlar (Karakuzu 2007).

X ve gama ışınları madde içinde başlıca üç çeşit etkileşim ile enerji kaybeder;

- a) Atomun iç yörüngesine elektronları ile etkilenecek oluşan Foto Elektrik Olayı,
- b) Atomun dış yörünge elektronları ile oluşan Compton Olayı,
- c) Atomun çekirdeğine yakın bir yerde bir pozitron ve bir elektron meydana getirmesi ile oluşan Çift Oluşumu olayıdır.

Bu üç olayın olma ihtimali, X ve gama ışınlarının enerjileri ile etkileşilen maddenin atom numarasına bağlı olarak değişir. Gelen radyasyonun şiddetindeki azalmaya radyasyonun zayıflaması veya zayıflatılması, etkileştiği maddede terk edilen enerjiye de soğurulma denilir.

a) Foto Elektrik Olayı

Fotoelektrik olayda ortama giren γ ışını etkileşme sonucunda ortam içindeki atomun K veya L tabakasından elektron söker. Bütün enerjisini bağlı bulunduğu elektrona vererek kendisi yok olur ve elektrona kinetik enerjisini kazandırır. Bu enerji çok küçük

olduğundan dolayı saçılan elektron gelen γ ışınının enerjisinin büyük bir kısmına sahip olur.

Fotoelektrik olay, düşük enerjili γ ışınları tarafından meydana getirilir. Bu olay sonucu atomdan kopan elektron hafif yüklü parçacık olarak ortamla etkileşir. Bu etkileşme atomların iyonizasyonuna sebep olur.

b) Compton Saçılması

Gamma ışınlarının saçılması 1920'lerin başında Arthur H. Compton tarafından keşfedilmiştir. İncoherent saçılma, $h\nu$ enerjili bir fotonun zayıf bağlı ve serbest bir elektrona çarparak, geliş doğrultusuyla açı yapacak şekilde daha az bir enerjiye saçılması olayına denir. Bu olay genellikle (0,1 - 10 MeV) enerji aralığındaki gammaların madde ile etkileşmelerinde baskın görülür. İncoherent saçılma olayında enerji ve momentum korunur.

c) Çift Oluşum Olayı

Atomların çekirdeklerine yakın bölgelerinde yüksek elektriksel alanlar vardır. Yüksek enerjili gamma ışınları bu elektriksel alanların içinden geçerken yok olurlar, ve elektron-pozitron çifti oluştururlar. Bu olaya çift oluşum olayı denir. Çift oluşum için harcanan gamma ışınlarının enerjilerinin geri kalan kısmı, elektrona, pozitrona ve çekirdeğe kinetik enerji olarak aktarılır. Çekirdek, elektron ve pozitrona göre çok ağır olduğu için çekirdeğe aktarılan kinetik enerji yok denecek kadar azdır. Bundan dolayı ihmal edilir (Karakuzu 2007).

2.4.3. Radyasyon Korunma Yöntemleri

İnsanların radyasyondan etkilenmesinin biyolojik zararları olduğu bilinen bir gerçektir. Maruz kalınan dozun sadece izin verilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır. Dış

radasyon kaynaklarından korunmanın zaman, mesafe ve zırlama gibi üç temel kuralı vardır.

a) Zaman Kuralı

Radyasyonla yapılan işlemlerde alınan doz; doz hızı ile zamanın çarpımıdır. Zaman ne kadar artarsa alınan dozda o kadar artar. Bundan dolayı radyasyon alanında ne kadar az süre kalınırsa o kadar az doz alınacağı açıktır. Radyoaktif kaynağın ve cihazın yanında ne kadar kısa sürede işlem tamamlanırsa o kadar kısa süre radyasyona maruz kalınmış olunur. Doz hızının önceden bilinmesi ile bu bölümde çalışacak personelin çalışma sürelerinde düzenlemede bulunulabilir.

b) Mesafe Kuralı

Bir radyasyon alanının şiddeti, kaynaktan uzaklık arttıkça azalır. R yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayınlayan bir nokta kaynak olması durumunda; kürenin yüzeyindeki akı kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Bu kanun ters kare kanunu olarak bilinir (Eaves 1964). Kaynağın boyutlarının kaynakla söz konusu nokta arasındaki uzaklık ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olması yani kaynağın nokta kaynak olması halinde geçerlidir. Belirli bir uzaklıktaki doz hızı değeri biliniyorsa boşluk veya havadaki başka bir uzaklık için doz hızı değeri aşağıdaki denklemde verildiği gibi uzaklıkların kareleriyle ters orantılı olarak hesaplanır (2.8). Denklem 2.8 'de D_1 kaynaktan d_1 uzaklığındaki doz hızını, D_2 kaynaktan d_2 uzaklığındaki doz hızını belirtmektedir.

$$D_1 \times d_1^2 = D_2 \times d_2^2 \quad (2.8)$$

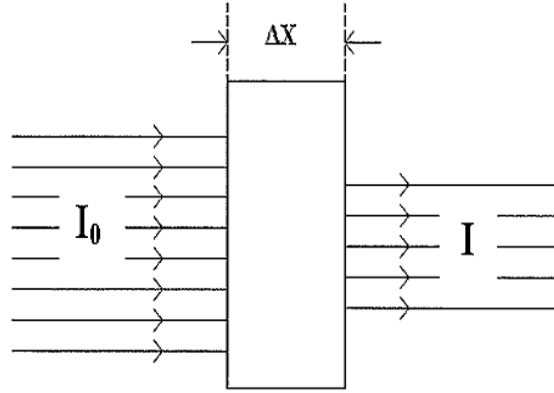
c) Zırlama Kuralı

Radyasyon kaynağına olan uzaklığın ve kaynak yakınında çalışma süresinin sınırlanması radyasyon dozunu yeterince azaltamıyorsa, zırlama uygulaması yapılması gerekir.

Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu dozdan etkilenme olasılığı olan kişiler arasına kurşun, tuğla, beton, duvar gibi malzeme konulmasına zırhlama denilmektedir. Zırhlamanın amacı radyasyon kaynağı ile çalışılacak yer arasına radyasyonu tamamen soğuracak veya şiddetini izin verilebilecek doz seviyelerine kadar azaltacak özellikte bir engel konulmasıdır. Radyasyon dozunu azaltan malzemelere ise zırh malzemeleri denilmektedir. Zırh malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve γ ışınlarını zırhlama performansı o kadar yüksektir. Zırhlama, cihazın zırhlanması ve cihazın bulunduğu ortamın zırhlanması olarak iki farklı şekilde yapılır. Cihazın zırhlanması kolimatörlerin kullanılması ve dış koruyucu bölmelerinin takviyesi ile yapılır. Şekil 2.6’ da görüldüğü üzere I_0 ışını Δx kalınlığındaki bir madde üzerine gelip I şiddetinde çıkarak ΔI kadar azalırsa

$$\Delta I = -\mu \cdot I \cdot \Delta x \quad (2.9)$$

bağıntısı yazılabilir. Literatürde bu yasaya Beer-Lambert Yasası denir (Eaves 1964, Goswami ve Chaudhuri 1973, Mudahar ve ark. 1991).



Şekil 2.6. X ve γ ışınlarının soğurulması

Denklemden μ zırh malzemesinin lineer azalım katsayısı olup her zırh malzemesine ait bir sabittir. Bu eşitliğin integrali alınır;

$$I_0 = I \cdot e^{-\mu x} \quad (2.10)$$

elde edilir. Denklemden I_0 zırhlama malzemesinden çıkan, I zırhlama malzemesine giren radyasyon şiddetini ve x soğurucunun kalınlığını göstermektedir.

Lineer soğurma katsayısı. τ ;fotoelektrik soğurma katsayısını, σ ; Compton soğurma katsayısını ve κ ; çift oluşumu soğurma katsayısını göstermek üzere (2.11) eşitliğinde verilen üç ayrı enerji kaybetme olayının soğurma katsayılarının toplamına eşittir. Lineer azalım katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına oranı ile kütle azalım katsayısı (μ_m) (2.12) eşitliği ile elde edilir.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.11)$$

$$\mu_m = \mu/\rho \quad (2.12)$$

Bu bağıntılar ile radyasyon zırhlamada kullanılacak malzemelerin azalım katsayıları belirlenerek radyasyon geçirimsizlik özellikleri incelenebilir.

2.5 Literatür Özeti

Kullanım alanları ve endüstrinin gereksinimlerine paralel olarak ağır betonlar geçmişte çeşitli yönleriyle araştırılmıştır. Ülkemizdeki konuyla ilgili çalışmalar ise agrega tipinin ağır betonun mekanik özellikleri ve zırhlama özellikleri üzerinde etkileri üzerine yoğunlaşmaktadır.

Akyüz (1977), gamma ışınlarından korunmak için barit agregalı betonların tasarımını yapmış ve bunlar üzerinde kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Barit miktarı arttıkça dayanımın artmadığını, rötrenin bir miktar azaldığını, Baritin artışıyla birlikte lineer yutulma katsayısı arasında kuvvetli bir korelasyonun (0,987) varlığına işaret etmiştir.

Coşkun (2010), ağır betonlarda Barit agregası kullanarak üretilen betonların özelliklerini ve betonun radyasyon zırhlanmasındaki etkisini incelemiş, Barit agregalı beton karışımlarının çeşitli fiziksel özellikleri, teorik olarak hesaplanan ve hedeflenen radyasyon zırhlanmasına ve işlenebilirliğe sahip karışım üzerinde çalışmıştır.

Kılınçarslan ve ark. (2007) tarafından belli oranlarda Barit ve normal agrega kullanarak C20, C30 ve C40 gibi üç farklı dayanım sınıfına sahip ağır betonlar üretilmiştir. Elde edilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri ile radyasyon soğurma katsayıları bulunmuştur. Aynı çalışmada, beton bileşimleri ve agregadaki artan barit miktarıyla

beton dayanım değerleri ve lineer soğurma katsayılarının değişimi incelenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, barit oranı artışı ile lineer soğurma katsayısının arttığı, fiziksel ve mekanik dayanımlarda değişmenin olduğu tespit edilmiştir.

Yılmaz (2009), Muş ilinden elde edilen Barit, öncelikle radyasyon geçirgenlik özelliğini daha sonra mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada, Barit ve geleneksel agrega belli oranlarda beraber kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. Elde edilen bulgularda; beton numunelerin su emme yüzdeleri karşılaştırıldığında, karışımlarda Barit oranının artmasıyla su emme yüzdelerinin düştüğü belirlenmiştir. Numunelerin ultrases deney sonuçları incelendiğinde betondaki Barit oranı arttıkça ultrases geçiş hızının da arttığını gözlemlemiştir ve bu deneye göre barit oranı arttıkça beton dayanımının azaldığını tespit etmiştir. Isıl iletkenlik deneyleri sonucunda Baritli beton ile kontrol betonu arasında önemli bir fark olmadığı ve tüm numunelerin ısıl iletim katsayılarındaki farkın %2 ile sınırlı kalması malzemenin kararlı ve homojen bir dağılıma sahip olduğu gösterilmiştir. Buna göre Barit içerikli betonların yalıtım açısından üstünlüğü olmadığı ancak çok fazla sakıncasının da bulunmadığı gözlemlendiği ifade edilmiştir. Radyasyon geçirimsizlik deneylerinde ışın kaynağı olarak X ışını, sezyum (Cs-137) ve kobalt (Co-60) ışın kaynakları kullanılmıştır. 100 kV, 150 kV ve 200 kV'lik X ışınlarına maruz bırakılan numunelerin kalınlığı ve beton karışım içerisindeki Barit oranı arttıkça radyasyon geçirimsizliklerinde azalmalar gözlemlendiklerini ifade etmektedirler. Barit oranı arttıkça lineer zayıflama katsayılarının arttığı belirtilen çalışmada, 662 keV ve 1250 keV'lük enerjilere sahip Cs-137 ve Co-60 ışın kaynaklarına maruz bırakılan numunelerde beton kalınlığı ve Barit oranı arttıkça radyasyon geçirimsizliklerinde çok az değişiklikler meydana geldiğine işaret etmektedirler. Buna bağlı olarak lineer zayıflama katsayılarının da her karışım numunesi için birbirlerine yakın değerler elde edildiği, 200 keV enerjiye kadar, enerji arttıkça lineer zayıflama katsayısı önemli derece azalmalar gözlemlendiği, 200-650 keV arasında ise lineer zayıflama katsayısında çok düşük değerlerde azalmalar belirlenmiş olmakla birlikte 650 keV üstü enerjilerde katsayının sabit olduğu ifade edilmektedir.

Akgün ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada barit agregası kullanılarak 0,30, 0,35, 0,40, 0,50, 0,55 ve 0,60 su/çimento oranlarına sahip ağır betonların fiziksel ve

mekanik özellikleri incelenerek bunları geleneksel betonunkilerle karşılaştırılmış ve böylece ağır betonun kırılma mekanizması açıklanmıştır. Bu durum, Doğu Karadeniz Bölgesi Giresun ili, Dereli ilçesi doğal ağır agregalarından biri olan barit agregasıyla üretilen ağır beton bileşiminin optimum tasarım koşullarıyla belirlenmiştir. Üretimde kullanılan ağır agregaların granülometrik dağılımının beton içerisinde boşluk oranını minimum düzeyde tutacak şekilde tasarım yapılmasını belirtmiş bununla çatlama riskini düşüreceğini açıklanmıştır. Bundan dolayı, çalışmalarda boşluk oranı ve çatlak riskini minimum yapabilmek için tasarımlarında su/çimento oranını 0,40 'ın altına indirgenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Ağır betonların ayrışma riskinin geleneksel betonlara göre daha elverişli olmasından dolayı ağır betonu yerleştirmede daha fazla önem verilmesi gerektiğini belirtilmiştir. Ağır ve geleneksel betonların kırılma mekanizmalarının incelenmesi, kırılmaların agrega petrografik yapısından bağımsız olmadığını ve kırılmaların agrega dayanım yetersizliğinden meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yapı emniyeti için dayanım kadar sünekliğin de gerekli olduğu dikkate alındığında ağır betonların radyasyona karşı koruyucu beton perde ve ağırlık gerektiren özel yapılar hariç diğer yapılarda kullanılması pek uygun olmadığını belirtmişlerdir.

Kılınçarslan ve ark. (2010) Barit agregası, normal agrega ile mineral- kimyasal katkı malzemeleri kullanılarak yüksek dayanımlı betonlar üretmişlerdir. Üç farklı beton karışımı hazırlanmış çalışmada agrega olarak sadece barit içeren, sadece geleneksel agrega içeren ve yarısı barit yarısı normal agrega içeren karışımlar hazırlanıp üretilmiştir. Sertleşmiş betonların fiziksel, mekanik özellikleri ve dürabilitesi incelenmiştir. Dürabilite açısından ağır betonların servis ömrü boyunca karşılaşılabileceği düşünülen magnezyum sülfat ve sodyum sülfat etkilerine karşı dayanımı araştırılmıştır. Sülfat etkisine maruz bırakılmış beton numunelerin basınç dayanımlarının, kimyasal ve mikro yapılarının değişimleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar neticesinde yüksek basınç dayanıma sahip ağır betonların sülfata karşı basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. Magnezyum sülfat etkisinin daha tahrip edici bir özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Oran olarak en fazla barit agregalı betonlar sülfattan etkilenmiş olmasına karşın basınç dayanım değeri en yüksek dayanımlı beton olduğu ifade edilmiştir.

Demir (2009), X ve γ ışınlarına karşı zırh oluşturmak amaçlı yoğunluğu yüksek olan barit cevheri, nötron parçacıklarını durdurmak için ise bor türevli kolemanit cevherinden ve normal agregalar kullanılarak ağır betonlar üretilmiştir. Çalışmada numunelerin mekanik, fiziksel özelliklerinin yanı sıra radyasyon soğurganlıkları araştırılmış, beton içerisindeki agrega, çimento ve suyun kimyasal bileşiklerinin miktarı her karışım için XCOM programı kullanarak belirtilen enerjilerde kütle azaltma katsayıları teorik olarak belirlenmiştir. Teorik sonuçlar esas alınarak radyasyon zırhlama kapasitesi yüksek olan beton türleri için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Beton numuneler üzerinde 3., 7., 14., 21. ve 28. Günlerde ultrasonik dalga geçirgenlik ve 28. günde basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir beton türü için 28 cm uzunluğundaki prizma betonlar belli kalınlıklarda (1, 3, 5, 7, 9 cm) kesilmiştir. Belli enerjilerdeki nötron parçacıkları γ ve X ışını için beton soğurganlıkları CdTe katihal dedektörü, sintilasyon sayacı, iyon odası, He nötron dedektörü ve doğrusal hızlandırıcı (LINAC) kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan foton enerjilerinin değerleri 59,5 keV, 80 keV, 276 keV, 303 keV, 356 keV ve 383 keV, 663 keV, 1,25 MeV, 6MV ve 18MV dir. Sonuç olarak yeni karışım oranlarıyla barit agregalı betonların γ veya X ışınına karşı, kolemanit agregalı betonların ise nötronlara karşı daha iyi soğurgan oldukları tespit edilmiştir. Nötronların hafif elementlerle elastik ve inelastik saçılmalar yaparak enerjilerini kaybettikleri ve soğrulmalarının arttığı gözlemlenmiştir. Radyasyon soğurganlıkları incelendiğinde bor ürünleri olan tinkal ve üleksit agregalı betonların her ikisi de benzer özellik göstermiştir. Her iki agrega türüne PbO, PbSO₄ ve Fe₃O₄ kimyasal malzemelerinin katılması, 1,33 MeV'lik enerji hariç, hep olumlu olmuştur. Tüm sonuçlar incelendiğinde foton radyasyon soğurmada en iyi beton türünün teorik olarak barit agregasına %10 PbO katkılı beton türü olduğu belirlenmiştir.

Kaçar (2006) Delphi programlama dilini kullanılarak 0,001 MeV ile 10000 MeV enerji aralığında radyasyonlu ortamlarda kullanılan zırh malzemelerinin zırh kalınlık hesap programı geliştirmiştir. Zırh kalınlığı hesaplama programında kurşun, barit agregalı ağır beton ve normal betondan oluşan karışımlar için çalışmalar yapılmıştır. Uygulanan zırh kalınlığı hesaplama programında kurşun barit agregalı ağır beton ve normal betondan

oluşan zırhlar içerisinde gerek kullanım kolaylığı ve ekonomikliğı gerekse radyasyon tutuculuk özellikleri ile barit agregalı ağır betonlar önerilmektedir.

Topçu (2003) yaptığı çalışmada ağır betonların su/çimento oranının öneminden bahsetmiştir. Ayrıca, çimento dozajının optimum bir değerde tutulması gerektiğini ifade etmektedir. Çünkü radyoaktif geçirimsizliğı sağlamak için dozajın yeterince yüksek, betondaki rötre çatlaklarını önlemek içinde dozajın yeterince düşük olması gerekmektedir. En uygun su/çimentoyu belirlemek için 2 farklı çimento, 7 farklı su/çimento değerlerinde barit agregası kullanarak ağır beton üretimi gerçekleştirmiş bunlar üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Karışımların homojen dağılımını sağlamak için ince agrega miktarı artırılmıştır. Ağır beton için öncelik radyoaktif geçirimsizliğı sağlamak olduğundan çimento dozajı ilk olarak seçilirken beton dayanımı ikinci sırada önem kazanmıştır. Çünkü ağır beton yapılardan genellikle taşıyıcıdan ziyade duvar fonksiyonu olarak düşünülmüştür. Deneylerde su/çimento oranları 0,30 ile 0,50 arasında değişen değerlerle üretimler yapılmıştır. Su/çimento 0,40 oranına sahip ağır betonlarda maksimum dayanım ve daha iyi bir işlenebilirlik gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda ağır beton için uygun su/çimento miktarı 0,40 ve çimento dozajının 350 kg/m^3 'ten az olmaması gerektiğı belirlenmiştir.

Sakra ve Hakim (2004) nükleer reaktörlerde kalkan olarak kullanılan ağır betonlarda yüksek sıcaklığın önemli bir işleve sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında 250, 500, 750 ve 950°C gibi farklı yüksek sıcaklıklar altında 1, 2 ve 3 saat gibi zamanlarda ağır betonların fiziksel, mekanik ve radyasyon geçirimsizlik gibi özelliklerini incelemişlerdir. Karışımlarında iki farklı ağır agrega ilmenit, barit ve geleneksel agregalar kullanılmıştır. Ağır betonların (baritten ve ilmenitten “demir titanyum oksit minerali” üretilmiş) ve normal betonların fiziksel, mekanik özellikleri ile radyasyon geçirimsizliğini karşılaştırmalı biçimde incelenmiştir. Nötronlardan yakalanan enerji ve kalkan duvara giren gama ışınları zırhlama malzemesinin içinde biriktirilir ve ısı olarak serbest bırakılır bu yüzden zırhlama malzemesindeki toplam ısı miktarı oldukça önemli olduğu ifade edilip özellikle radyasyon kaynağına yakın olan zırhlama tabakasında ciddi ısı artışları meydana gelebilir. Öte yandan γ ışını zırhlama testleri kobalt (Co-60) ve sezyum (Cs-137) kaynakları ile gerçekleştirilmiştir. Her numuneden farklı kalınlıklarda

betonlar 15 dakika radyasyona maruz bırakılmışlardır. Bunların her biri için azalım katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlara göre ilmenitten yapılmış beton, baritle ve normal agregayla üretilen betonlara göre yüksek yoğunluğa ve elastisite modülüne sahip, düşük geçirimsizliğe, ayrıca yüksek basınç, çekme ve eğilme dayanımlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. İlmenitle üretilmiş beton γ ışınlarının geçirimsizliğinde büyük öneme sahip olmakla beraber yüksek sıcaklık durumunda bile geçirimsizliği diğerlerine göre az olduğu bulunmuştur. İlmenitle üretilmiş beton mekanik özellikler bakımından baritle üretilmiş betondan daha üstün, geleneksel agregayla üretilmiş betonların ise en düşük mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark agregaların rijitliğine ve şekline bağlanmıştır. İlmenit agregası köşeli bir yapıya sahipken çakıl yuvarlak bir yapıya sahip olması yüksek ilmenitle üretilen betonun daha yüksek dayanım kazanmasına sebep olmuştur.

Kan ve ark. (2004) tarafından yapılan araştırmada, agregaya olarak sadece demir cevheri kullanarak ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmadaki üretimler Tayvandaki Kuosheng Nükleer Santralına uygulanmıştır. Karışımlarda 0.48 su/çimento oranı sabit hacimce %0, 10, 20, 40 ve 48,8 oranlarında metalik agregalar eklenerek üretimler gerçekleştirilmiştir. Ağır betonun elastisite modülü sıradan harçtan daha yüksek ve demir cevherinin miktarındaki artmayla yükselmiştir. Karışımda demir cevheri miktarı artmasıyla beton basınç dayanımı artarken çekme dayanımı azalmaktadır. Hacimce %40 metal içerikli agregaya kullanılması betonun hem yüksek dayanım göstermesini hem de daha yüksek tokluk dayanımına sahip olmasını sağlamıştır. Taze betonda demir cevheri oranı arttıkça hava boşlukları artmakta bu da ağır betonun dalga hızı azalmasına neden olmuştur. Ağır betonun kırılma davranışı sıradan harca benzemektedir. Kiriş kırılmaları deneye tabi tutulduğunda çatlaklar orta kısımlarda görülmüştür.

Revuelta ve ark. (2009) ağır betonun üretimi esnasında segregasyonu incelemiştir. Deneysel çalışmada barit ağır agregası kullanılarak su/çimento oranları aynı olan iki tip ağır beton üretilmiştir. İlk olarak işlenebilirliğin karışım dozunun etkisini belirlemek için 20 cm altında çökme değerine sahip ağır betonlar ve kendiliğinden yerleşen beton kıvamında ağır beton üretimi yapılmıştır. Kendinden yerleşen ağır beton %1,8 kimyasal

akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak gözlemlenmiştir. Yalnız taze betonda kusmalar gözlemlenmiştir. Çapı 15 cm olan yüksekliği 70 cm silindir numuneler üretilerek segregasyon olup olmadığı gözlemlenmiştir. Elekler kullanılarak numunenin üst ve alt kısımları incelenmiş ve iri taneli agrega oranı %98 olarak tespit edilmiştir. Karışımlarda 0,125 mm altı ince taneli malzeme miktarı 160 – 240 lt/m³ olması önerilmektedir.

Gencel ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda kolemanit içeren betonlar üzerine çalışmalar yapmışlardır. Betonların çökme değerleri, hava içerikleri, basınç dayanımları, çekme dayanımları, Schmidt sertliği, elastisite modülleri, donma-çözünme dayanıklılıkları, birim ağırlıkları ve ultrases hızı değerleri gibi mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Kolemanit kalsiyum bor mineral esaslı ve özgül ağırlığı 2,4 gr/cm³ malzemedir. Kolemanit ile üretilmiş betonlar radyasyon zırhlama olarak yaygın olarak kullanılmasına rağmen nükleer uygulamalarda kullanılan betonlar yapısal ve mühendislik özellikleri bakımından yeterli olması gerektiğini belirtmişlerdir. Üretilen taze betonlardaki işlenebilirliğe bakıldığında %30' a kadar kolemanit içermesi uygun görülmüştür. Hava içerikleri kontrol edildiğinde %30' a kadar kolemanit içeren betonların %1,5 hava içerdiği, ancak %30 üstü kolemanit içeren betonlarda topaklaşmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca karışımdaki kolemanit miktarı arttıkça basınç ve çekme dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak beton karışımlarda %10 ile %50 oranları arasında kolemanit agregası negatif etkilere sebep olmakta, %50 üstü kolemanit agregası priz süresinde gecikmelere sebep olmuştur. Çalışmada işlenebilirlik ve beton dayanımı düşünüldüğünde kabul edilebilir oran %30 olarak öngörülmüştür.

Baster (1997) hematit-serpantin, ilmenit-limonit, bazalt-manyetit, ilmenit, çelik parçaları, çelik manyetit agregaları her biri ayrı karışımlarda kullanılarak beton karışımları oluşturulup üzerinde 10KeV tan 1 GeV'a kadar enerjiye sahip fotonlarda lineer sönümlenme ve kütle sönümlenme katsayıları hem teorik hem de deneysel olarak hesaplanıp ve karşılaştırılmıştır. Üretilen beton yoğunlukları 2,3 ile 5,11 gr/cm³ arasında birim ağırlığa sahiplerdir. Kütle sönümlenme katsayıları karışımı oluşturan malzemelerin kimyasal bileşimlerinden hesaplanmıştır. Bunu hesaplamak için elementlerin yoğunluğu, atom numaraları, mikroskopik kesit alanı ve elementin oransal olarak

ağırlığı kullanılmıştır. Beton yoğunlukları geleneksel beton için 2,3, hematit-serpantin için 2,5, ilmenit-limonit için 2,9, bazalt-manyetit için 3,05, ilmenit için 3,5, çelik parçaları için 4, çelik manyetit için 5,11 gr/cm³ belirlenmiştir. Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak hesaplanan katsayılar arasında %5 ile %17 arasında farklılıklar olduğu gözlemlenmiş, deneysel hata oranı %10 olarak kabul edilirse değerler uygun görülmüştür. Deneyler ve hesaplar sonucu yoğunluğu yüksek olması ve içerisinde yeteri kadar hidrojen bulunmasından dolayı nötron zırlamak ve foton sönmek için en uygun karışım ilmenit ve limonit betonu olarak tespit edilmiştir. Nötron zırlamak için en uygun agrega serpantin olduğu ifade edilmiştir. Çünkü içerisinde bulunan kristalleşmiş suyun 500°C sıcaklığa kadar dayanabildiği görülmüştür. Bu yüzden nötron zırlamak için en pratik yöntemim hematit-serpantin karışımı olması tespit edilmiştir. Yalnızca radyasyon azalımı düşünüldüğünde, çelik-manyetitten oluşan karışım elde edilen yüksek yoğunluğundan dolayı daha iyi sonuç vermektedir.

Akkurt ve ark. (2011) çalışmalarında baritle üretilen ağır betonların kimyasal etkiler sonucu meydana gelen korozyona karşı radyasyon zırlama açısından etkileri incelenmiştir. Bu amaçla baritle üretilen betonların 662, 1773 ve 1332 keV' da ölçülen lineer azalım katsayıları üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Yalnız lineer azalım katsayıları foton enerjisi, zırlama malzemesinin yoğunluğu ve atom numarası ile değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Üretilen numunelerde 6 aylık bir periyotta radyasyon geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır. Numuneler sodyum hidroksit ve sodyum sülfata maruz bırakılmaları sonucu 6 aylık dilim boyunca her ay ölçümler yapılmış buna göre zamanla lineer azalım katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Böylece numunelerin radyasyon geçirgenlikleri artmıştır.

Mortazavi ve ark (2010) çalışmalarında kolemanit ve galenit mineralleri kullanarak ekonomik ve yüksek performanslı ağır beton üretmişlerdir. CoGa beton numuneleri γ ışını ve nötron geçirimsizlikleri incelenmiştir. Ayrıca geleneksel betonda üretilmiş böylece ağır betonla karşılaştırma fırsatı sağlanmıştır. Üretilen CoGa beton numunelerin birim ağırlıkları 4100 – 4650 kg/m³ arasında, geleneksel betonun birim ağırlığı 2300 – 2650 kg/m³ arasında olarak belirlenmiştir. Bu numunelerin basınç

dayanımları ve γ ışını geçirgenlikleri incelendiğinde CoGa beton karışımının daha üstün özellik gösterdiği belirtilmiştir.

Makarious ve ark. (1996) çalışmaların ilmenit agregası kullanarak beton karışımlar hazırlamışlardır. Üretilen farklı kalınlıkta numuneler üzerinde γ ışını ve nötron geçirimsizliklerini incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında ilmenit betonunun yoğunluğu arttıkça zırhlama verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Mostofinejad ve ark. (2012) çalışmalarını barit agregasından ağır betonun ve geleneksel betonun γ ışın geçirgenliklerini ve 28 günlük basınç dayanımlarını incelemişlerdir. Silis dumanı içeren ve içermeyen karışımlar üretilmiştir. γ ışını azalım katsayıları hem deneysel hem de XCOM programı kullanılarak hesaplanmış karşılaştırmalar yapılmış, aralarındaki farkın %30 - %40 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Karışımlarda bağlayıcı olarak çimentonun bir kısmının yerine silis dumanı kullanılması karışımın yoğunluğunun azalmasından dolayı γ ışını azalım katsayılarının düşmesine neden olmuştur. Beton numunelerde sabit su/çimento oranı ile çimento dozajının artmasıyla γ ışını azalım katsayılarının azaldığı görülmüş, sabit çimento dozajı ile su/çimento oranının artmasıyla yine γ ışını azalım katsayılarının azaldığı belirlenmiştir.

Kharita ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada hematit agregası kullanılarak üretilen ağır betona karbon tozu ekleyip bunun betonun zırhlama özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Farklı oranlarda karbon tozu ekleyip beton numunelerin mekanik ve radyasyon azalım özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmalarında üretimde çimento miktarları, su/çimento oranı sabit tutulmuş karbon tozu %3 ile %12 arasında değişen miktarlarda eklenip karışımlar oluşturulmuş, karbon miktarının artımıyla taze betonun işlenebilirliği artırılmış, γ ışınına maruz bırakılan numunelerde karışımdaki karbon tozu miktarı arttıkça beton birim ağırlığının azaldığı buna bağlı olarak da zırhlama özelliğinin zayıfladığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı incelendiğinde %6' ya kadar karbon tozunun artması dayanım değerini artırmış, %6 'dan sonra dayanım değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Genel olarak düşünüldüğünde %15' e kadar karbon miktarını arttırmak radyasyon zırhlama özelliği bakımından önemli etkilere sebep olmamakta,

mekanik ve teknolojik özelliklerini arttırmaktadır. Bu çalışmada hematit betonu için önerilen karbon tozu miktarı %6 olarak ifade edilmiştir.

3. MALZEMELER VE DENEY YÖNTEMLERİ

3.1. Malzemeler

Bu çalışma kapsamındaki ağır beton karışımları için manyetit, tufal, demir cevheri, iki tür barit (Barit 1 ve Barit 2) ve çelikhane cürufu gibi ağır agregalar seçilmiştir. Ayrıca, çelikhane cürufu içeren betonda kalker kırma kumu da kullanılmıştır. Öncelikle manyetit ağır agregası kullanılarak ön deneyler gerçekleştirilmiş daha sonra her bir ağır agredan ayrı ayrı karışımlar oluşturulmuştur. Tüm karışımlarda aynı CEM I 42,5R türü çimento kullanılmış olup her karışımda su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Yeterli işlenebilmeyi sağlayabilmek için bir akışkanlaştırıcı katkı maddesi de karışımlara eklenmiştir.

3.1.1. Agregalar

a) Manyetit

Spinal yapısındaki ferrimanyetik, Fe_3O_4 formülüyle gösterilen demir mineralidir. 5,5 ve 6,5 derecesinde sertliğe sahip olup özgül ağırlığı $5,2 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Metom; Aik Nalkonik ya da tortul kayalıklarda bulunur. Manyetit yüksek yoğunluklu agregalar arasında yaygın kullanıma sahip önemli bir maden cevheridir. Sülfür yataklarında, metamorfik kayalarda, pegmatitlerde ve değişik magmatik kayalarda oluşabilen bir demir mineralidir. Bölgesel metaformik kayalarda ve bunların temas bölgelerinde ve yüksek sıcaklıklı hidrotermal damarlarda sıkça rastlanır. Yataklarda bulunuşu kristal görünümündedir. Manyetitin genel özellikleri Çizelge 3.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Manyetitin genel özellikleri

	Kimyasal Formül	%Fe	Özgül Ağırlık	Sertlik	Renk	Kristal Cinsi	Diğer
Manyetit	Fe_3O_4 ($FeO.Fe_2O_3$) spinel	72.4	4.5-5.3	5.5-6.5	Gri-Siyah	İzometrik oktaedr	Kuvvetli manyetik

b) Tufal

Çelik üretimi sonrası kütük olarak yarı ürün formunda katılaştırılan çelik, nihai şeklini almak üzere sıcak olarak haddelenir. Bu işlem esnasında, yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan çelik yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan ince demir oksit tabakasına tufal denmektedir (Anonim 2012). Teknik adıyla tufal, “Steel Mill Scale” olarak bilinmektedir. Tufal, esas olarak çelik yüzeylerinde yüksek sıcaklıklarda oksitleyici koşullarda oluşan demiroksit esaslı kabuktur (Şekil 3.1). Sıcaklık ve süreye bağlı olarak kabuk kalınlığı artar. Tufal, çeliğin bileşiminde bulunan elementlerin oksitlerini içerir. Çelikte bulunan karbonun oksitlenmesi karbondioksit gazı vereceğinden, tufalda pratik anlamda karbon bulunmamaktadır. Bu durumda, yapı çeliği üreten bir işletmede kabaca %1,0 – 2,0 MnO, %0,5 – 1,0 SiO₂ ve %95 - 98 Fe₃O₄ bileşiminde tufal oluşacağı beklenir.



Şekil 3.1. Tufal agregası

Demir-çelik üretim tesislerinde üretilen çeliğin yaklaşık %3'ü kadar tufal elde edilebilir. Çelik üretim tesislerinde tufalın oluştuğu iki ana proses vardır. Bunlar kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir (Taşdemir 2012).

- **Çelikhane Biriken Tufal**

Sürekli döküm makinelerinde üretilen kütüklerin (slab veya blum) yüzeylerinde oluşan kabuklar çelikhane tufalıdır. Bu kabuklar kütüklerin soğumaları sırasında “genleşme/büzülme” farkları nedeniyle ve kütüklerin taşınmaları sırasında sürtünme ve çarpmalarla çelik yüzeylerinden koparlar. Tav fırını öncesindeki bölgede biriken tufallar bölgenin başka maddelerle kirlenmemeleri nedeniyle temizdirler. Diğer bir deyişle bu tufallar çevreden gelen yağ, toz ve toprakları içermezler (Taşdemir 2012).

- **Haddehanede Biriken Tufal**

Tufalın oluştuğu ikinci proses haddehanedir. Kütükler haddeleme öncesi tav fırınlarında haddelenme sıcaklıklarına kadar ısıtılırlar. Bu işlem sırasında da çelik yüzeylerinde tufal oluşur. Kütükler daha sonra haddelenmek üzere tav fırınlarından hadde bandına nakledilir. Haddelemenin başlangıcında tufallar basınçlı su ile çelik yüzeylerinden koparılır ve temizlenir. Bunlar haddehane tufallarıdır. Bu bölgede biriken tufallar bölgenin özelliğine bağlı olarak yağlı ve kirli olabilir (Taşdemir 2012).

Dökümhanede biriken tufalın ağır beton üretimi için yağ içermemesi gerekir. Çünkü yağ, betonda çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansı (yapışmayı) olumsuz biçimde etkilemektedir. İşletmelerde; haddehanede biriken tufal, tav fırını öncesi biriken tufaldan yani çelikhane tufalından çok daha fazladır.

Denge ağırlığı üretim tesisine gelen tufal büyük ölçüde haddehane tufalı ve kısmen de çelikhane tufalının rastgele bir karışımıdır. Denge ağırlığı üretim tesislerinde tufal ayrıca bir elemeden geçirilmektedir. Çünkü tufalın uzun, yassı ve yapraksı biçimi taze betonun preslenmesine ve dayanımına olumsuz etki yapmaktadır. Ancak, elendikleri sırada iyi kalitede olan ve tane büyüklüğü levha şeklinde (para şekilli) olan bazı taneler elek üstünde kalmaktadır. Bu elek üstünde kalan temiz ve kaliteli malzeme değerlendirilmelidir (Taşdemir 2012).

Bunun için aşağıdaki iki öneri gerçekleştirilerek tufal kalitesi arttırılabilir:

- 1) Çelikhanede biriken tufal ayrı stoklanır. Bir kırıcıdan geçirildikten sonra uygun ve kullanılabilir bir boyuta getirilebilir. Böylece temiz olan tüm tufal değerlendirilebilir.
- 2) Haddehanede biriken tufal ayrı olarak stoklanmalıdır ve demir dışı tüm kirli malzemeler uzaklaştırılır ve uygun bir tane dağılımı (granülometri) elde edilir.

Böylece iki malzeme, tane dağılımı bakımından beton agregasında maksimum doluluğu sağlayacak oranlarda karıştırılarak üniform ve temiz bir tufal girdisi olarak denge ağırlığı üretiminde birlikte kullanılabilir (Taşdemir 2012).

• **Tufalda Kirliliğin Belirlenmesi (Çok İnce Malzeme Tayini)**

Tufaldaki çok ince malzeme miktarının saptanması çok önemlidir. Ancak, tufalda 63 mikronun altına geçen ince malzemenin ne kadarının çelik tozu, ne kadarının kil ve silt gibi çamurlu madde olduğu konusunun açığa çıkarılması gerekir. Bunun için, 63 mikron altına geçen malzemenin sürekli biçimde izlenmesi önemlidir. Çünkü dayanımı olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, 63 mikronun altına geçen malzemenin aşırı artması çimentonun arttırılmasını gerektirir. Bu da istenmeyen bir durumdur (Taşdemir 2012).

Çok ince malzeme miktarı TS EN 933-1'e göre yapılacaktır. Yıkama ile 63 mikron altına geçen malzeme kurutulacak, demir tozları mıknatısla toplandıktan sonra geri kalan malzeme kil ve silt olarak değerlendirilecektir. Böylece 63 mikron altına geçen kil ve silt miktarı hacmen %3'ü aşmamalıdır (Taşdemir 2012).

• **Tufal İçin Diğer Deneyler**

Tufal için su emme ve özgül ağırlık ile granülometri deneyleri sırasıyla TS EN 1097-6 ve TS EN 933-1'e göre ve haftada en az bir kez yapılmalıdır. Gerektiğinde bu deneylerin sıklığı arttırılmalıdır.

c) **Demir Cevheri**

Demir madenlerinden elde edilen bir agregadır (Şekil 3.2). Demir cevherinde çok ince malzeme miktarı tufaldaki gibi yapılmalıdır. Deney sıklığı haftada en az 1'dir.

İyi bir normal beton için öngörüldüğü gibi demir cevherinde de 63 mikron altına geçen kil ve silt benzeri çok ince malzeme sınırlandırılmalı ve hacmen %3'ü aşmamalıdır. Çok ince malzemenin hacmen %3'ü, ağırlıkça %1'i aşması halinde eğer malzeme kum inceliğinde ise kum eşdeğeri ve metilen mavisi deneyleri de yapılmalıdır. Kum eşdeğeri en az %70 olmalı, metilen mavisi değeri ise 1,5'u aşmamalıdır (Taşdemir 2012).

Demir cevherinde özgül ağırlık, su emme ve granülometri deneyleri de haftada en az 1, gerektiğinde daha sık yapılmalıdır. Deney yöntemleri TS EN 1097-6 ve TS EN 933-1'de tanımlanmıştır.



Şekil 3.2. Demir cevheri agregası

d) Barit

Mat, bazen yarı saydam olan barit, camsı veya reçine parlaklığına sahiptir (Şekil 3.3). Doğada ince taneli veya toprak görünümlü olanı da görülmektedir. Barit genellikle beyaz renklidir, fakat sarı, esmer, pembe, açık yeşil, açık mavi, gri ve siyah renkli olanlarına da rastlanmaktadır. Atom ağırlığı 137,06 olan Baryum elementi doğada bol miktarda bulunmaktadır. Sertliği 2,5–3,5 olup, özgül ağırlığı 3,9- 4,6 kg/dm³ arasında değişir. Erime noktası 1580°C' dir. Kimyasal bileşimi BaSO₄ şeklinde olup, %65,7 BaO, %34,30 SO₃ içerir. Barit suda erimez. Ancak soğuk asit içinde erimeyen barit kaynayan sülfürik asit içinde eriyebilir. Barit metalik olmayan minerallerin en ağırıdır. İlk kullanılışı özgül ağırlığı ve beyaz özelliğinden dolayı boya, kâğıt ve cam endüstrilerinde olmuştur. Ayrıca 1926 yılından sonra petrol ve tabii gaz aramalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda ise barit ilavesi ile yapılan ağır beton, nükleer

santrallerde γ ışınlarını absorbe etme özelliklerinden dolayı fazla miktarda kullanılmaya başlanmıştır. Nükleer santrallerde kullanılan, ağır beton yapımına ilave edilen baritin özgül ağırlığının 4 gr/cm^3 ve üzerinde olması aynı zamanda sülfürlü mineral içermemesi gerekir. Sülfürler zamanla beton içerisinde çatlama yapabilmektedirler. Baritin ağır beton üretiminde kullanılabilmesi için kum ve çakıl büyüklüğünde kırılması gerekli olup kil ve silt içermemelidir (Ayan 1979).



Şekil 3.3. Barit agregası

e) Çelikhane Cürufu

Çelikhane cürufu çelik üretiminin bir yan ürünüdür (Şekil 3.4). Bu cürufun ağır agrega olarak değerlendirilmesi konusunda günümüze kadar yapılan çalışmalar çok kısıtlıdır. Denge ağırlığı betonlarında hacim sabitliğini bozabilecek başlıca oksit bileşenleri MgO ve CaO'dir. Yeterli incelemeler yapılmadan kullanılmaları sakınca yaratabilir. Çelikhane cürufunu kullanmada en önemli sorun betonda hacim sabitliğinin bozulması olabilir. Ayrıca, fiziksel özellikler bakımından da istenen koşullar sağlanmalıdır. Çelikhane cürufundaki toplam MgO miktarı %5'i aşmamalıdır. Çelikhane cürufu refrakter tuğla kırıkları içermemelidir. Ayrıca, pota cürufu çelikhane cürufuna karıştırılmamalıdır. Çelikhane cürufundaki serbest CaO miktarı %1'i aşmamalıdır (Taşdemir 2012).



Şekil 3.4. Çelikhane cürufu agregası

- **Çelikhane Cürufu İçin Fiziksel Deneyler**

Çelikhane cürufunda çok ince malzeme miktarı tufaldaki gibi yapılmalıdır. Ağır betonda kullanım için çelikhane cürufunda 63 mikron altına geçen kil ve silt miktarı hacmen %3'ü aşmamalıdır. Çok ince malzemenin hacmen %3'ü, ağırlıkça %1'i aşması halinde eğer malzeme kum inceliğinde ise kum eşdeğeri ve metilen mavisi deneyleri de yapılmalıdır. Kum eşdeğeri en az %70 olmalı, metilen mavisi değeri ise 1,5'u aşmamalıdır. Çelikhane cürufunda özgül ağırlık, su emme ve granülometri deneyleri de haftada en az 1, gerektiğinde daha sık yapılmalıdır. Deney yöntemleri TS EN 1097-6 ve TS EN 933-1'de tanımlanmıştır.

- **Çelikhane Cürufu İçin Hacim Sabitliği Deneyleri**

Hızlandırılmış Genleşme Deneyleri

Çelikhane cürufunda toplam MgO miktarı %5,5'u aşması halinde çimentodaki yöntemle benzer biçimde fakat aşağıdaki oranlarda Le Chatelier hacim sabitliği deneyleri yapılabilir.

Referans çimento hamuru (CEM I)

%20 Cüruf + %80 CEM I hamuru

%40 Cüruf + %60 CEM I hamuru

%60 Cüruf + %40 CEM I hamuru

Üretimden 24 saat sonra başlamak üzere Le Chatelier iğnelerindeki açılmalar aşağıdaki çevrime göre ölçülür:

- 4 saat kaynar suda kaynatma,
- 4 saat 60°C’de etüvde kurutma,
- 16 saat su içinde tutma. Böylece, her aşamada iğnelerin yaptığı açılma veya kapanmalar kaydedilmektedir.

Bu hızlandırılmış deney 10 çevrim olarak planlanır. Le Cahtelier iğnelerinin toplam açılması cüruf miktarı arttıkça artmaktadır. Ancak, Le Chatelier iğnelerindeki artış %60 Cüruf + %40 CEM I hamuru için 10mm’yi aşmamalıdır. Eğer, 10 tekrar sonunda iğnelerdeki toplam açılma 10mm’yi aşarsa aşağıdaki ıslanma - kuruma deneyi yapılır ve istenilen şekil değiştirmeyi aşmaması gerekir (Taşdemir 2012).

Uzun Süreli Islanma - Kuruma Deneyleri (Soak – Dry Tests)

Eğer hızlandırılmış deneyler sonrasında, Le Cahtelier iğnelerinin toplam açılması %60 Cüruf + %40 CEM I hamuru için 15mm’yi aşarsa aşağıdaki ıslanma-kuruma deneyi yapılır. Bu deneyler, TS EN 12467 standardına göre yapılır.

Deneylerde, ya 6’şar adet 40x40x160 mm’lik uçları pimli, en çok çelikhane cürufu içeren ve özel olarak üretilen prizmatik numunelerde, ya da yine en çok çelikhane cürufu içeren ve nemli toprak kıvamında presleme ile üretilen betonlardan kesilerek çıkarılan 40x40x140 mm boyutundaki prizmatik numuneler üzerinde 28. günde yapılır.

Bu yöntemle göre her iki grup prizmalar aşağıdaki çevrime tabi tutulur:

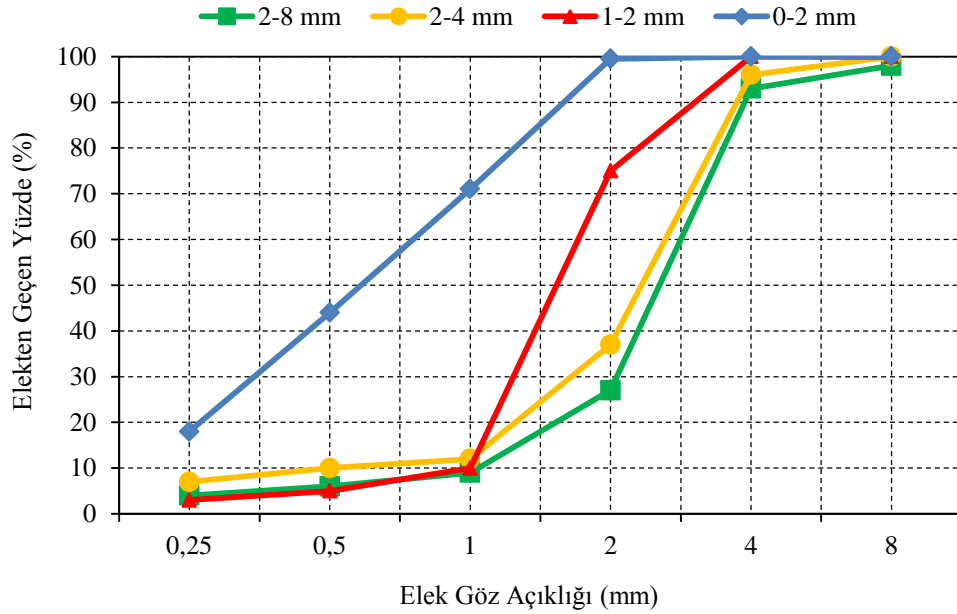
- Numuneler sıcaklığı 5°C’nin üstünde olan suda 18 saat tutulur, çıkarıldıktan sonra boyları hassas bir cihazla ölçülür.
- Daha sonra numuneler sıcaklığı 60°C olan bir etüvde 6 saat tutulduktan sonra tekrar boy değişimleri ölçülür.

Böylece, her gün bir çevrim yapılır. Toplam çevrim sayısı 50’dir. Bu ıslanma kuruma deneyleri sonunda, hacim sabitliği bozulmamalı ve 50. tekrardan sonra toplam şekil değiştirme %0,5’i geçmemelidir (Taşdemir 2012).

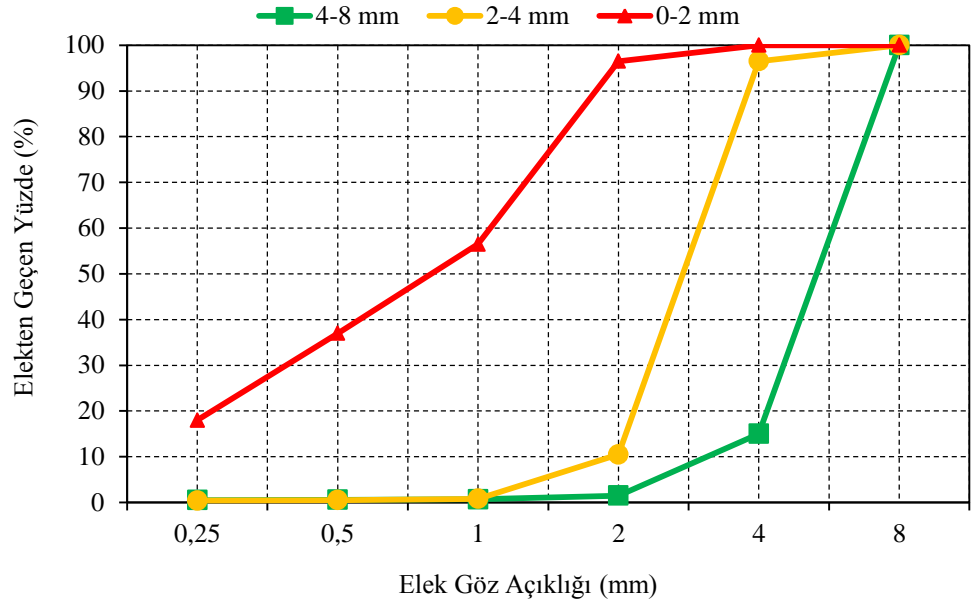
3.1.1.1. Agregaların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bu çalışmada deneysel çalışmaların başlangıcında ilk olarak agrega deneyleri gerçekleştirilmiştir. Agregaların elek analizleri yapılarak granülometrik tane dağılımları hesaplanmış, özgül ağırlıkları ve ağırlıkça su emme miktarları bulunmuştur. Ayrıca agregaların kimyasal analizleri de yapılmıştır.

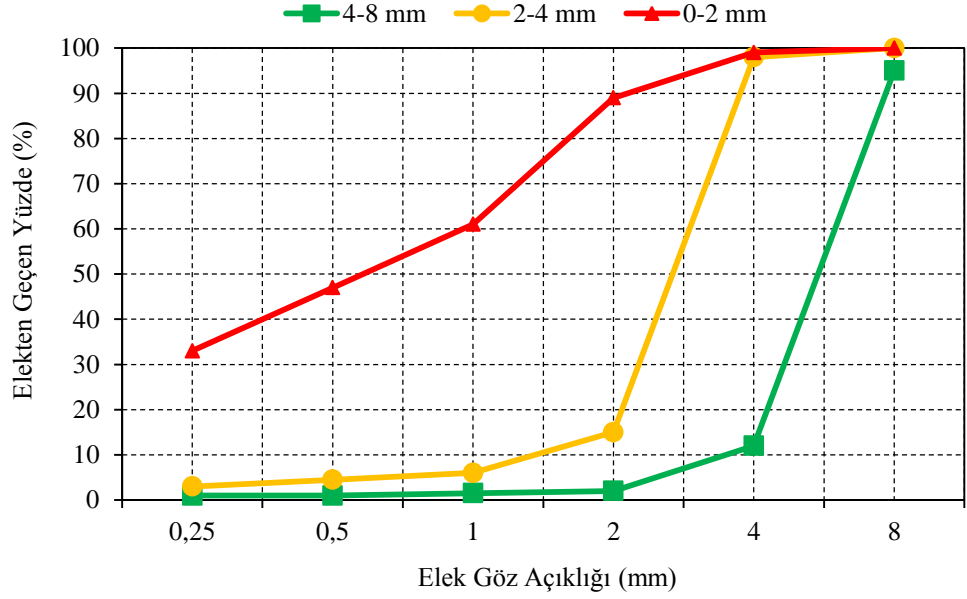
Elek analizi için agrega deneyleri yapmak üzere saklanan numuneler, TS EN 933-1:2012' ye uygun olarak etüve konulmuş, 24 saat sonra etüvden çıkarılmıştır. Deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde üst üste yerleştirilmiştir. Kurutulup tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine konmuş ve eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işlemi sonunda her elekte kalan malzeme tartılmıştır. Bu işlemler incelemeye konu edilen her bir agrega için gerçekleştirilerek elde edilen granülometrik dağılımlar Şekil 3.5-3.10'da sunulmaktadır.



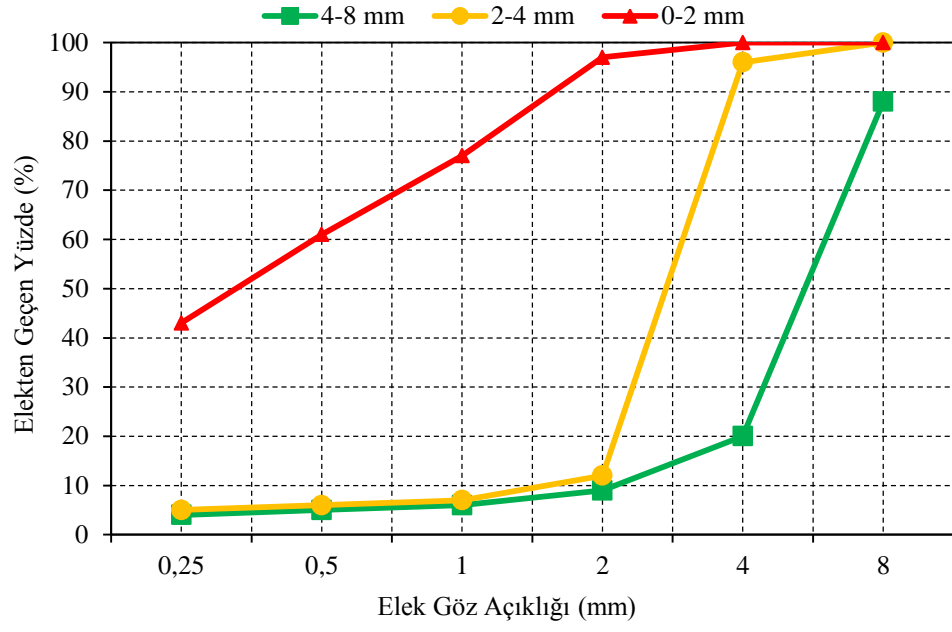
Şekil 3.5. Kullanılan Barit 1 agregası elek analizi



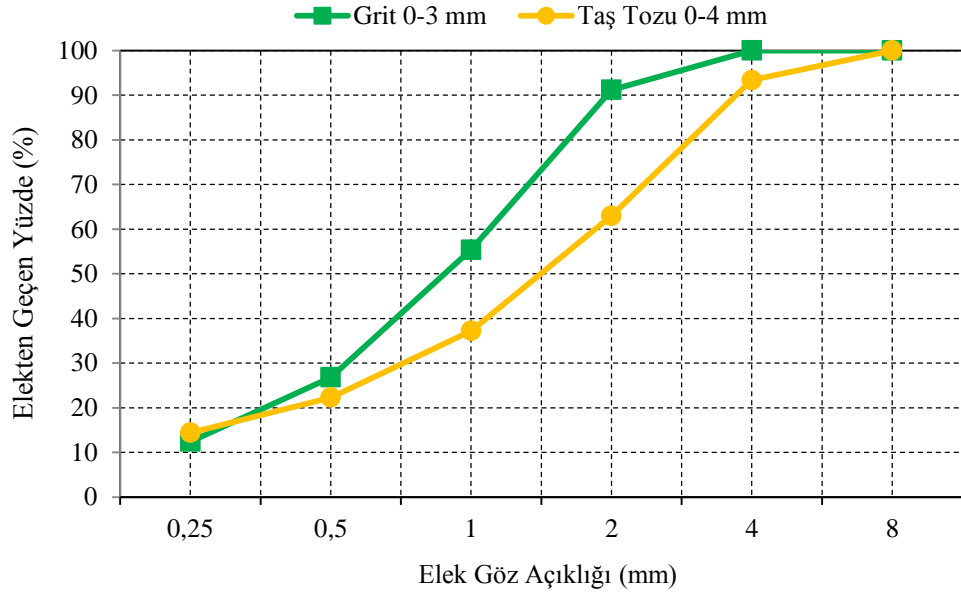
Şekil 3.6. Kullanılan Barit 2 agregası elek analizi



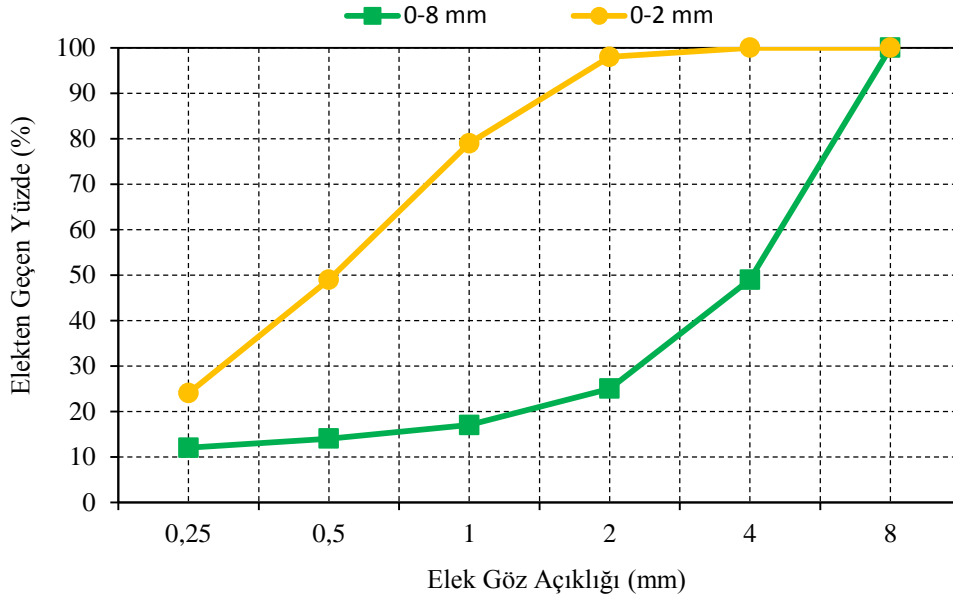
Şekil 3.7. Kullanılan Demir Cevheri agregası elek analizi



Şekil 3.8. Kullanılan Tufal agregası elek analizi



Şekil 3.9. Kullanılan Çelikhane Cürufu ve Taş Tozu agregalarının elek analizi



Şekil 3.10. Kullanılan Manyetit agregası elek analizi

Agregaların su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı TS EN 1097-6' ya göre piknometre yöntemi kullanılarak rastgele alınmış numuneler üzerinde yapılmıştır. Özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi bulguları her grup agregalar için bulunmuştur (Çizelge 3.2). Ayrıca karışımlarda kullanılan agregaların kimyasal analizleri Çizelge 3.3 – 3.4' de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Agregaların özgül ağırlık ve su emme değerleri

Agrega türü	Tane boyut aralığı (mm)	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Su emme (%)
Tufal	0 – 2	4,96	0,1
	2 – 4	4,80	0,4
	4 – 8	4,93	0,4
Barit 1	0 – 2	4,06	0,8
	1 – 2	4,12	0,4
	2 – 4	4,25	0,3
	2 – 8	4,16	0,5
Barit 2	0 – 2	4,08	0,3
	2 – 4	4,00	0,2
	4 – 8	3,94	0,2
Demir Cevheri	0 – 2	4,24	0,2
	2 – 4	4,33	0,1
	4 – 8	4,39	0,4
Manyetit	0 – 2	5,13	0,3
	0 – 8	4,73	0,2
Çelikhane Cürufu	0 – 3	3,60	0,3
Taş Tozu	0 – 4	2,70	1,0

Çizelge 3.3. Agregaların kimyasal özellikleri

Oksit bileşeni (%)	Tufal	Demir Cevheri	Çelikhane cürufu	Barit 1	Barit 2	Manyetit	Taş Tozu
CaO	-	26,25	3,74	0,84	10,85	0,20	52,59
SiO ₂	1,56	16,18	4,03	1,92	0,02	0,65	1,12
Al ₂ O ₃	-	2,33	2,17	1,12	0,58	-	-
Fe ₂ O ₃	97,52	42,28	75,60	0,03	2,07	-	2,67
MgO	-	4,28	2,13	0,50	1,34	-	0,25
K ₂ O	0,06	0,29	0,08	0,02	0,11	0,02	0,10
Na ₂ O	0,04	0,25	0,07	0,03	0,02	0,06	0,05
SO ₃	0,32	-	-	31,95	23,35	-	0,45
P ₂ O ₅	-	-	-	0,02	0,25	-	-
TiO ₂	-	-	-	<0,02	2,16	-	-
MnO	-	-	-	0,20	-	-	-
SrO	-	-	-	<0,02	0,90	-	-
Ba	-	-	-	54,26	36,28	-	-
PbO	-	-	-	<0,02	0,14	-	-
BaSO ₄	-	-	-	92,20	61,64	-	-
CaCO ₃	-	-	-	1,50	19,38	-	-
MgCO ₃	-	-	-	1,29	3,05	-	-
Fe ₃ O ₄	-	-	-	-	-	97,7	-
P	-	-	-	-	-	0,025	-
S	-	-	-	-	-	0,01	-
Kızdırma kaybı	5,14	6,13	11,48	1,35	9,83	-	42,74

3.1.2. Çimento

Bu çalışma için üretilen numunelerin tümünde AKÇANSA çimento tesislerinden temin edilen CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentolar TS EN 197-1:2012 standartına uygun olarak üretilmiştir. Çimentonun TS EN 196-3 ve TS EN 196-6 standartlarına uygun olarak belirlenmiş fiziksel özellikleri Çizelge 3.4’ de verilmektedir. Çimentonun TS EN 196-2 standartına uygun olarak belirlenmiş kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.5 de gösterilmektedir. Diğer taraftan TS EN 196-1 standartına göre belirlenmiş çimento mekanik özellikleri Çizelge 3.6’da sunulmaktadır.

Çizelge 3.4. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Analiz Değerleri
Yoğunluk (gr/cm ³)	3110
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3280
Priz Başlangıç (dakika)	203
Priz Bitiş (dakika)	285
Hacim Sabitliği (mm)	3

Çizelge 3.5. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	Standart Şartları	Analiz Değerleri (%)
SiO ₂ (çözünabilir)		21,13
Çözünemez kalıntı	≤ 5,0	0,41
Al ₂ O		4,98
Fe ₂ O		3,73
CaO		65,23
MgO		1,13
SO ₃	≤ 4,0	3,09
Kızdırma kaybı	≤ 5,0	1,29
Cl ⁻	≤ 0,10	0,0429
Na ₂ O / K ₂ O		0,28/0,78
Serbest kireç		1,6
C ₃ S		55,80
C ₂ S		18,50
C ₃ A		6,90
C ₄ AF		11,40
LSF(kireç standardı)		0,95

Çizelge 3.6. Çimentonun mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Standart Şartları(MPa)	Analiz Değerleri (MPa)
Erken dayanım (2 gün)	$\geq 20,0$	28,3
Erken dayanım (7 gün)	-	44,7
Standart dayanım (28 gün)	$\geq 42,5$ $\leq 62,5$	57,2

3.1.3. Kimyasal Katkı

Taze betonda işlenebilmeyi arttırmak amacı ile Polikarboksilat Eter esaslı bir süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı katkı, betonun uzun süreli akışkanlığını sağlama ve erken yüksek dayanım kazandırma özellikleriyle yüksek dayanım ve dayanıklılık özellikleri istenen hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş yeni nesil katkı malzemesidir. Segregasyon riski olmadan kendiliğinden yerleşen ve sıkışan beton üretiminde kullanılır. Karışımda kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri Çizelge 3.7’ de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri

Kimyasal içeriği	Polikarboksilat eter zincirleri
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,050 - 1,080 kg/dm ³
Klor İçeriği % (EN480-10)	< 0,1
Homojenlik	Homojen
pH değeri	5-7

3.2. Yöntem

3.2.1. Karışımlar

3.2.1.1. Agrega Karışım Oranları

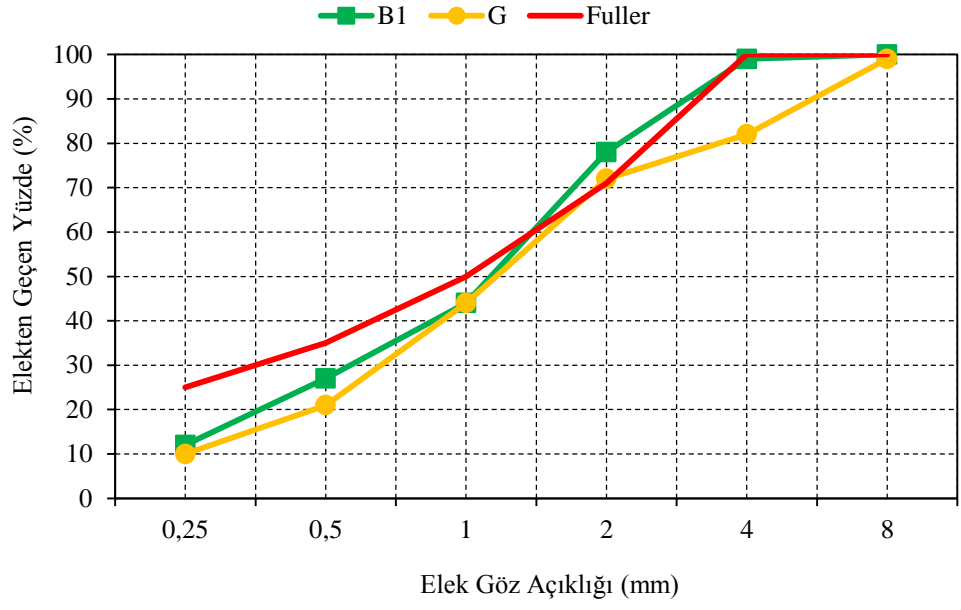
Küçük boyutlu prefabrike elemanlarda iri agreganın kullanımı homojenlikte çeşitli sorunlar oluşturduğundan karışımlarda en büyük agreganın boyutu 8 mm’ de sabit tutulmuştur

(Mindess ve Young 1981). Her bir agrega türü için, betonda kullanılan agrega karışımlarının granülometrisi Fuller Parabolüne yakın olacak şekilde belirlenmiştir. Fuller eğrisinin ordinatları

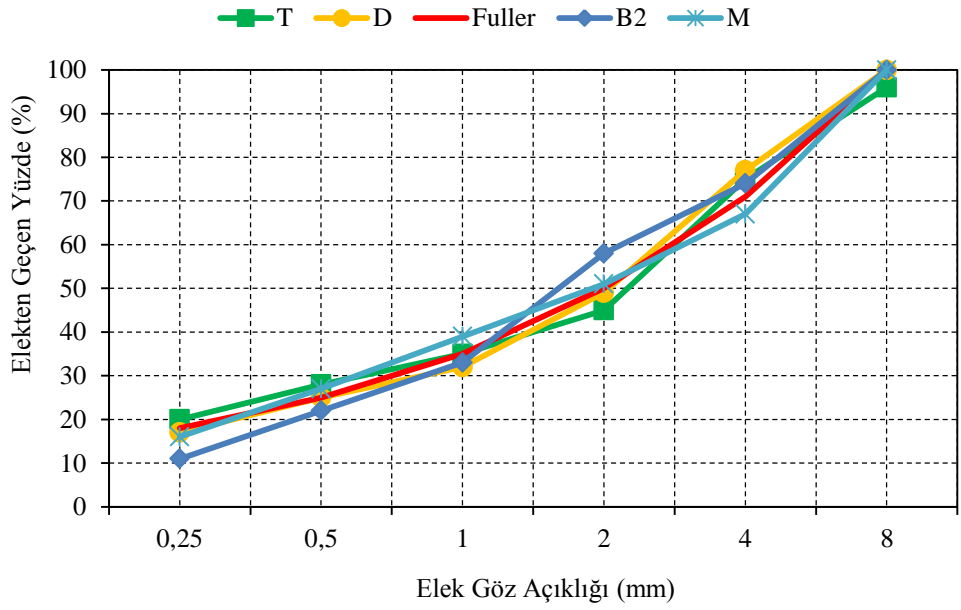
$$P = 100 \times \sqrt{\left(\frac{d}{D}\right)} \quad (3.1)$$

formülüne göre hesaplanmıştır. Burada; D en büyük agrega boyutunu, d ise 0,25 ile 8 mm arasındaki herhangi bir agrega boyutunu ifade etmektedir. Betonlara ait agrega karışımlarının granülometrileri Fuller Parabolü ile birlikte maksimum tane boyutuna göre Şekil 3.11 ve Şekil 3.12' de verilmektedir. Şekillerin incelenmesinden görüldüğü gibi her bir betonda agrega karışımının granülometrisi Fuller parabolüne yakındır.

Üretilen her beton karışımı için; granülometri, etkin su/çimento oranı ve çimento dozajı sabit tutulmuştur. Tüm agregalar, yüzey kuru – suya doymun durumda kullanılmıştır. Üretilen betonlar T, D, B1, B2, G kodlarıyla isimlendirilmiştir. Burada T ve D harfleri sırasıyla Tufal ve Demir cevheri ile üretilen betonları, B1 ve B2, sırasıyla Barit 1 ve Barit 2 ile üretilen betonları, G harfi agrega olarak çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum içeren betonu, M harfi ise Manyetit ile üretilen betonu göstermektedir. Diğer betonlardan farklı olarak G betonunda beklenen birim ağırlığı sağlamak için çelikhane cürufuna yeteri kadar demir cevheri ve yeterli işlenebilirliği elde etmek için de kırma kum eklenmiştir.



Şekil 3.11. Betonlara ait agrega karışımlarının granülometreleri ($D_{max}=4$ mm)



Şekil 3.12. Betonlara ait agrega karışımlarının granülometreleri ($D_{max}=8$ mm)

3.2.1.2. Beton Karışımları

Çalışmada yukarıda da ifade edilen 6 farklı ağır agrega kullanılarak ağır beton karışımları hazırlanmıştır. Bunlardan beş beton karışımında mineralojik kökeni farklı tek tür agrega kullanılırken, son beton karışımında yüksek oranda ağır agregalar (çelikhane cürufu, demir cevheri) yanında normal agrega olarak kırma kum kullanılmıştır. Böylece, toplam 6 farklı beton karışımı elde edildi. Her bir beton sınıfı için çimento dozajları ve etkin su/çimento oranları sabit tutulmuştur. Betonların toplam su/çimento oranları ise agreganın su emme kapasitesine göre bir miktar değişmektedir. Betondaki etkin su, agrega tanelerinin emdiği suyun dışında kalan ve yeterli işlenebilmeyi de sağlayan karışım suyudur (Neville 1997). Üretimde işlenebilmenin artırılması için farklı oranlarda süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Düşey eksenli, karıştırıcılı, 45 lt kapasiteli pan-mikserde gerçekleştirilen her bir seri için her üretimde taze betonun çökmesi - yayılması ve taze beton birim ağırlığı belirlenmiştir.

Çökme deneyinde standart slump hunisi kullanılmıştır. Beton, bu huninin üzerine yerleştirilen doldurma başlığından 3 tabaka şeklinde yerleştirilmiş ve her bir tabaka 25 defa şişlenmek suretiyle sıkıştırılmıştır. Doldurma ve sıkıştırma işlemlerinden sonra kesik huni düşey şekilde yukarıya doğru çekilerek alınmış, kalıbın alınmasından hemen sonra kalıp üst yüzey seviyesi ile çöken beton kütesinin en yüksek noktası arasındaki mesafe (h) ölçülerek taze betonun çökmesi (slump) belirlenmiştir (TS EN 12350-2). Slump değeri S5 olarak tespit edilmiş ayrıca yayılma miktarları da incelenmiştir (TS EN 206-1).

Taze betonun birim ağırlığı TS EN 12350-6'ya uygun gerçekleştirilen testlerle bulunmuştur. Numuneler için beton karışımlarının hazırlanmasında TS EN 12390-2'deki esaslar dikkate alınırken, TS EN 12390-2'de öngördüğü şekilde hazırlanan ve beton karışımlarından alınan deney örneklerinin, betonun tüm özelliklerini taşımasına özen gösterilmiştir. Üretilen betonların gerçek bileşimleri Çizelge 3.8' de verilmektedir.

Çizelge 3.8. Gerçek beton bileşimleri (kg/m³) ve taze beton özellikleri

	M	T	D	B1	B2	G
Çimento	533	546	559	550	550	551
Su	144	153	156	154	154	154
Su/Bağlayıcı	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Süper akışkanlaştırıcı	16	20	18	15,36	16,5	40,9
Agrega 0-2 mm	1712	1243	1364	2028	1503	1571
Agrega 2-4 mm	509	902	696	552	305	228
Agrega 4-8 mm	1030	927	7006	35	751	480
Beton birim ağırlığı	3853	3820	3447	3334	3278	3012
Hava içeriği(%)	3,30	4,7	2,26	3,52	3,58	5,62
Yayıma (cm)	40	50	47	60	60	50

3.2.2. Yapılan Deneyler

Üretilen betonlar kalıplara dökülmüş ve numuneler üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır, 72. güne kadar 20 ± 2 °C sıcaklıkta su içerisinde bekletilerek normal kür uygulanmıştır. Üretilen betonlardan M betonunda basınç ve eğilme deneyleri gerçekleştirilerek basınç ve eğilme dayanımları, elastisite modülleri ve kırılma enerjileri belirlenmiştir. T, D, B1, B2 ve G beton numunelerinde basınç, yarma-çekme, eğilme ve radyasyon geçirimsizlik deneyleri yapılarak basınç, yarma ve eğilme dayanımlarının yanında elastisite modülleri, kırılma enerjileri ve radyasyon soğurma katsayıları belirlenmiştir.

3.2.2.1. Basınç Deneyleri

Çalışmada tahribatlı yöntem kullanılarak 3000 kN kapasiteye sahip beton test presi ile betonların standart basınç dayanımları belirlenmiştir. Yükün etkiyeceği alan belirlendikten sonra yükün bütün alana düzgün olarak yayılmasını sağlamak amacıyla numunelerin kalıba temas etmeyen üst yüzeyleri başlıklanmıştır. Başlıklama işleminden sonra numuneler 24 saat sertleşmeye bırakılmış sonrasında basınç dayanım deneyi yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Basınç deneyi

Yükleme hızı darbe etkisi yapmayacak şekilde 3 kN/s olarak standartlara uygun olarak ayarlanmıştır. Doğru bir ölçüm yapabilmek için yavaş hızda yükleme yapılarak belirli yükleme değerlerindeki şekil değiştirmeler kontrol edilmiştir. Deney numunesinin kırıldığı andaki en yüksek yük değeri okunmuştur. Her bir beton için 72 günlük basınç deneyi sonuçları çapı 100 mm ve yüksekliği 200 mm olan 3'er adet silindir numune üzerinde elde edilmiştir. Elastisite modülleri her bir beton karışımı için 3 adet silindir numunelerden, basınç yüklemesi altında elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafiğinde eğrinin yükselen %35'lik kısmının eğiminden hesaplanmıştır (Şekil 3.14). Beton numunelerin basınç dayanımları TS EN 12390-3 standartına uygun olarak belirlenmiştir.

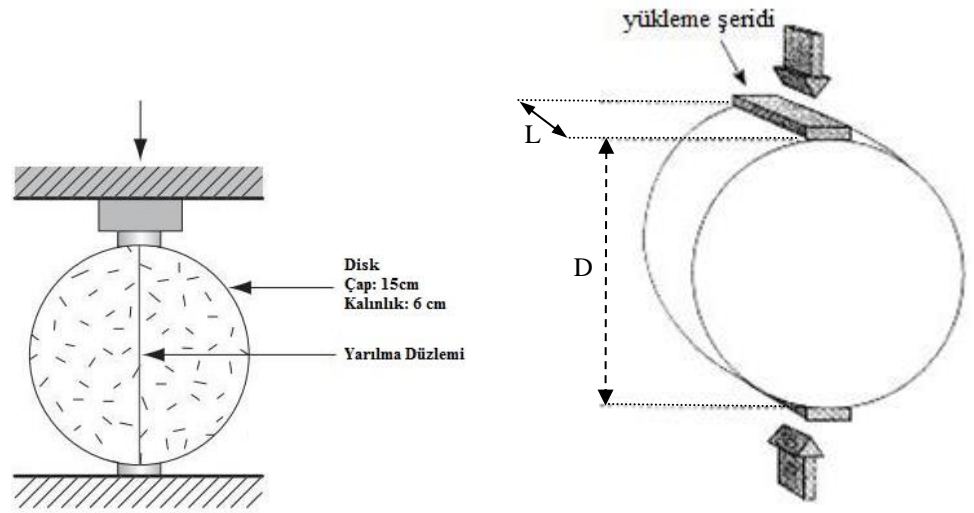


Şekil 3.14. Elastisite modülünün tespit edilmesi

Beton içyapı bakımından incelendiğinde en zayıf bölge agrega-çimento hamuru ara yüzeyidir ve bu temas yüzeyi dayanımlarda önemli rol oynamaktadır. Düşük dayanımlı betonlarda ara yüzeyde daha fazla boşluk vardır ve zayıftır. Böylece, mikro çatlaklar daha kolay ve hızlı büyürler. Bu nedenle su/çimento oranı düşük olan bu tür betonlarda agreganın dayanımının beton dayanımına etkisi büyük önem kazanır. Bu çalışma kapsamındaki yüksek dayanımlı betonlarda, su/çimento oranının düşük olmasından dolayı, agrega-çimento hamuru temas yüzeyi daha boşluksuzdur. Bu ara yüzeyindeki gerilme dağılımı düzgündür. Böylece, mikro çatlakların oluşumu ve gelişimi daha yüksek gerilmelerde meydana gelir. Bu betonlarda ara yüzey kuvvetli olduğundan dolayı oluşacak çatlakların agreganın içinden geçme olasılığı artar ve böylece beton dayanımı yükselir, sonuçta beton dayanımında agreganın dayanımı daha büyük önem taşır. Çalışmada kullanılan agregalar değişik kaynaklardan temin edilmiş olup yüzey özellikleri yanında tanelerin küp ve küreye yakın şekillere sahip olması da önem taşımaktadır. Söz konusu çalışmada dayanımların yüksek olması sebebiyle agrega türüne bağlı olarak beton dayanımlarında önemli farklılıkların meydana gelmesi beklenir.

3.2.2.2. Yarma-Çekme Deneyi

Yarma deneyinde, bir düzlem boyunca çizgisel biçimde uygulanan kuvvet sonucu oluşan çatlak agreganın içinden geçmektedir (Şekil 3.15). Yük, otomatik kontrollü deney makinesi kullanılarak yükleme hızının sürekli kalıp kalmadığı kontrol edilmiş ve darbe etkisi oluşturulmadan numune kırılıncaya kadar kesintisiz yük uygulanmıştır. Otomatik kontrollü deney makinesi kullanılarak ulaşılan en büyük yük kaydedilmiştir.



Şekil 3.15. Yarma çekme deneyi

Betonların yarma çekme dayanımının belirlenmesi amacı ile üretilen altışar adet 150 mm çap ve 60 mm yüksekliğindeki disk numunelerde TS EN 12390-6'ya uygun olarak Şekil 3.16'da görüldüğü gibi yarma deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.16. Yarma çekme deneyi

Deneyde yarma aparatının içine yerleştirilen numunelerin kırma yükü belirlenmiştir. Yarma çekme dayanımı f_{ct} (MPa) (3.2) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times D} \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda, f_{ct} yarma çekme dayanımını (MPa), F kırılma yükünü (N), L numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğunu (mm), D ise numunenin en kesit boyutunu (mm) ifade etmektedir.

3.2.2.3. Eğilme Deneyi

Serilerin eğilme dayanımı ve kırılma enerjilerinin belirlenebilmesi için 70 x 70 x 280 mm boyutlarındaki prizmatik kiriş numunelere sulu kesimle çentik açılarak üç noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Eğilme deneylerinde kullanılan kiriş numunelerin mesnetler arası açıklık 220 mm alınmıştır. Tüm eğilme deneyleri INSTRON 5500R kapalı çevrimli deplasman kontrollü 100 kN kapasiteli deney makinesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyden önce kiriş açıklığının ortasında 28 mm derinliğinde çentikler açılmış, böylece yük taşıyan etkin kesit 70x42 mm olmuş, bu çentiklere yerleştirilen çatlak ağzı açılma deplasmanı ölçen cihazın kullanılması ile çatlak genişliği kontrol edilerek deneyler yapılmıştır. Deney sırasında, aynı anda yük-sehim eğrisi “LVDT” ile yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ise “çatlak ağzı açılma

deplasmanı ölçer” ile ölçülmüştür (Şekil 3.17). Kırılma enerjisi değerleri; etkin kesit ve RILEM TC 50- FMC’nin önerileri dikkate alınarak yük-sehim eğrisi altında kalan alandan yararlanılarak hesaplanmıştır.



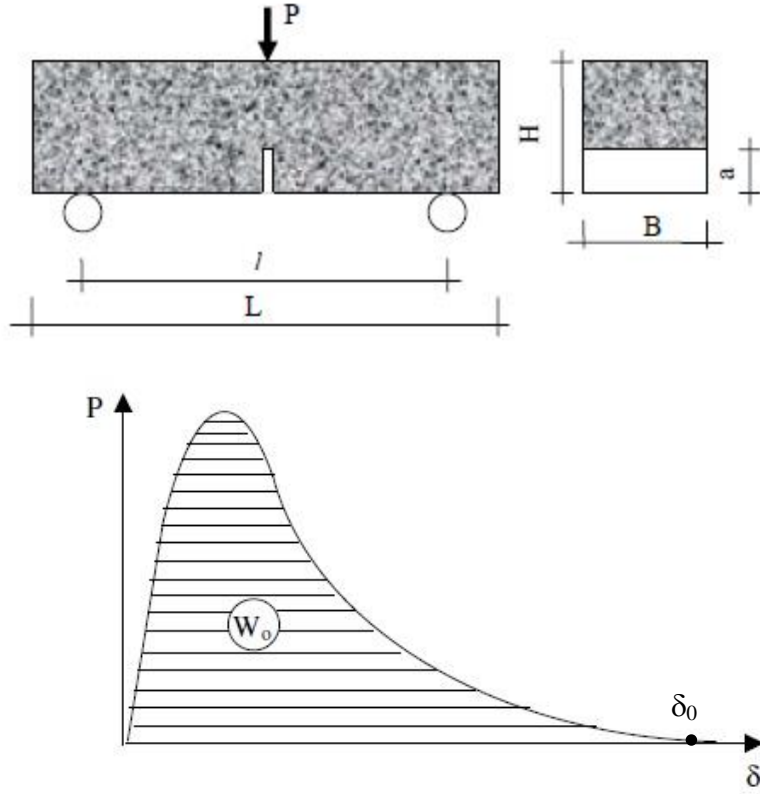
Şekil 3.17. Eğilme deneyi

Üç noktalı eğilme deneyinden ayrıca çentikli numunelerin eğilme dayanımları

$$F_{net} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times B \times (H - a)^2} \quad (3.3)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu ifadede P, L, B, H ve a sırasıyla üç noktalı eğilme deneyinde kaydedilen en büyük yük, mesnet açıklığı, kiriş eni, kiriş yüksekliği ve çentik derinliğidir.

Kırılma enerjisi (G_F), çatlak doğrultusuna paralel düzlemdeki birim yüzey alanında bir çatlak oluşturmak için gereken enerji miktarı olarak tanımlanabilir (RILEM 50-FMC, 1985). Beton gibi yarı-gevrek malzemelerin kırılma enerjisi, çentikli kiriş örnekler üzerinde 3 noktalı eğilme deneyi ile belirlenebilir (RILEM 50-FMC 1985 ve Hillerborg 1985). Kırılma enerjisi, çentikli beton kiriş üzerinde 3 noktalı eğilme deneyi yapıldığında, örnek iki parçaya ayrılana kadar yük – sehim altında kalan alan hesaplanarak belirlenir (Şekil 3.18).



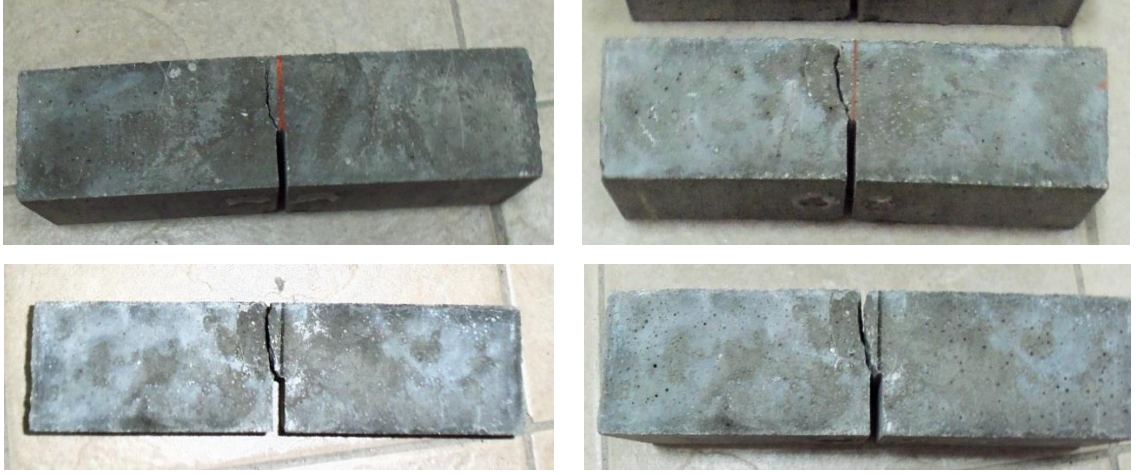
Şekil 3.18. Çentikli örnek üzerinde üç noktalı eğilme deneyi ve yük – sehım eğrisinin şematik gösterimi

Kırılma enerjisi

$$G_F = \frac{W_0 + m \cdot g \cdot \delta_0}{A_{lig}} \quad (3.4)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda W_0 yük-sehım eğrisi altında kalan alan (N/m), m kirişin mesnetleri arasında kalan kısmın ağırlığı (N), g yer çekim ivmesi, δ kirişin göçme sırasındaki deformasyonu ve A_{lig} ise çentik açıldıktan sonraki etkin alan ($A_{lig}=(H-a) \cdot b$)' dir. Kırılma enerjisinin birimi N/m veya Joule/m²' dir.

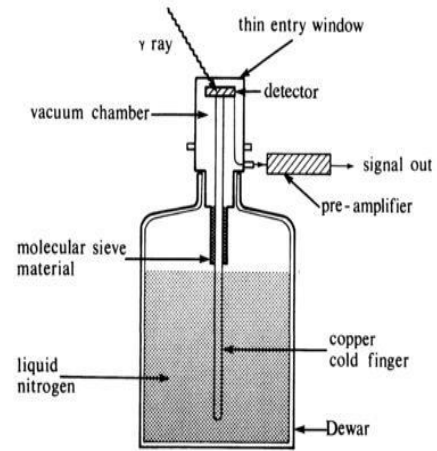
Deney sonrası numunelerin kırılma biçimleri Şekil 3.19' da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Eğilme deneyi sonucunda kırılma biçimleri

3.2.2.4. Radyasyon Geçirirlik Deneyi

Gamma spektrometresi çevre örneklerinin analizinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Deneysel çalışma İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsünde yapılmış ve γ ışın kaynağı olarak ^{137}Cs radyoizotopu (Sezyum-137) kullanılmıştır. Sezyum-137 radyoizotopu 662 KeV enerjisi olan fotonlar sağlamaktadır. γ spektrometrik analizleri, yüksek saflıkta germanyum dedektörü (Hyper Pure Germanium Detector - HpGe) yardımıyla yapılmıştır (Şekil 3.20). Fotonlar elektronik ortamda Genie2000 programı kullanılarak sayımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.20. HpGe detektör

Deneyleerde öncelikle referans ölçümü olarak da adlandırılan I_0 ölçümü yapılmıştır. Bunun için radyoaktif kaynak ile detektör arasında beton yokken, belirli bir süre kaynağın radyasyon şiddeti ölçülmüştür. Tüm beton türleri için ayrı ayrı I_0 referans ölçümü kullanılmıştır. Daha sonra zayıflatma deneyine tabi tutulacak olan farklı kalınlıklarda her bir beton türü kaynak ile detektör arasına belli süre konularak beton tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddetini temsil eden I şiddeti için ölçüm gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.21). Her beton türünün 4 farklı kalınlıktaki (6, 15, 21, 30 cm) örnekleri için ölçümler yukarıda açıklandığı gibi tekrarlanarak zayıflatma katsayıları

$$\mu = \frac{\ln(I_0/I)}{x} \quad (3.5)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Her bir beton türü için farklı kalınlıklarda hesaplanan μ katsayılarından her bir beton türünün lineer azalım katsayıları (μ) hesaplanmıştır.

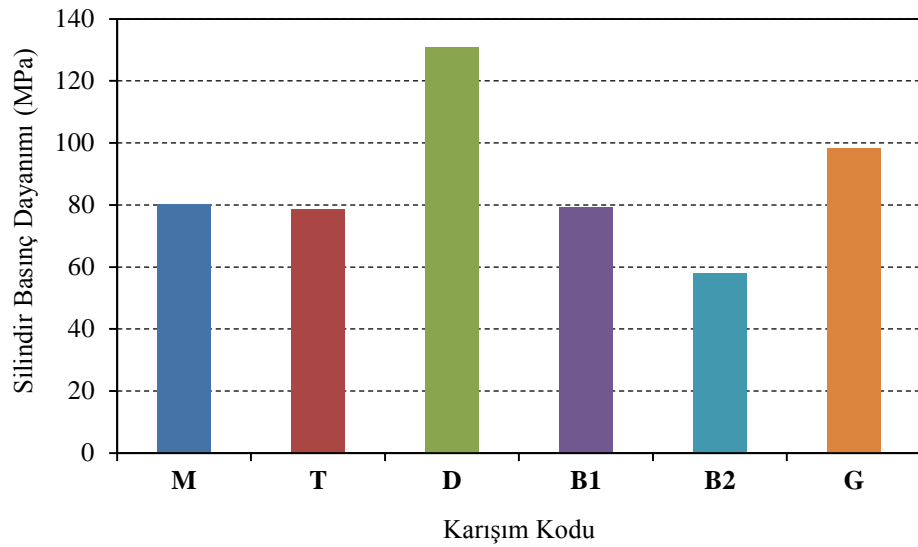


Şekil 3.21. Radyasyon geçirimsizlik deney düzeneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Beton Basınç Deneyi Sonuçları

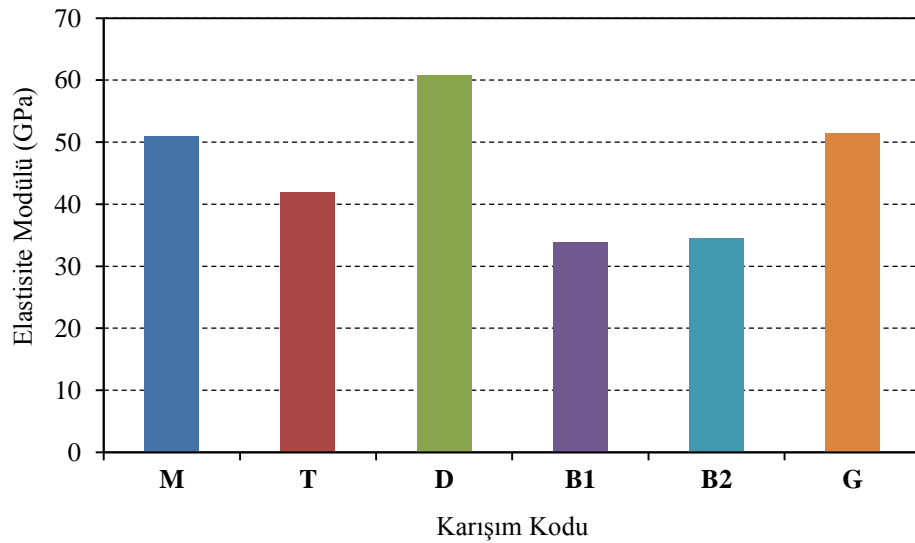
Üretilen betonların basınç dayanımları Şekil 4.1' de verilmektedir. Bu betonların silindir basınç dayanımları incelendiğinde demir cevheri betonunun en yüksek dayanım verdiği görülmektedir. Daha sonra ikinci en yüksek basınç dayanımlı olanı demir cevheri, çelikhane cürufu ve kırma kum ile üretilen betondur. Farklı yörelerden temin edilen ve farklı tane yoğunluğuna sahip barit agregalarından üretilen betonların yaklaşık aynı birim hacim ağırlığa sahip betonlar olmasına karşın basınç dayanımlarının birbirinden farklı değerler aldığı görülmektedir. Eşit çimento dozajı ve su/çimento oranına sahip betonlar arasından en yüksek ve en düşük basınç dayanımına sahip betonlar incelendiğinde demir cevheri betonu ile Barit2 betonu arasında yüzde %55 dayanım farkı olduğu görülmektedir. Tufal, Manyetit ve Barit1 betonları karşılaştırıldığında silindir basınç dayanımlarının birbirlerine yakın değerler verdiği görülmektedir.



Şekil 4.1. Basınç dayanımlarının değişimi

Betonların elastisite modülleri Şekil 4.2.' de görülmektedir. Üretilen betonlarda hesaplanan elastisite modülleri incelendiğinde demir cevheri betonunun en yüksek

modüle sahip olduğu anlaşılmaktadır. Daha sonra ikinci en yüksek elastisite modülünü manyetit betonu ile çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum agregalı karışımın verdiği gözlemlenmektedir. İki farklı baritten üretilmiş betonların basınç dayanımları birbirlerinden farklı değerler alırken elastisite modülleri birbirlerine çok yakın değerler vermektedir. En yüksek ve en düşük elastisite modülüne sahip demir cevheri ve Barit2 betonları incelendiğinde aralarındaki farkın %50 olduğu görülmektedir. Betonların elastisite modülleri sıralandığında barit içerenlerin elastisite modüllerinin en düşük ve birbirlerine yakın oldukları sonucuna varılmaktadır.

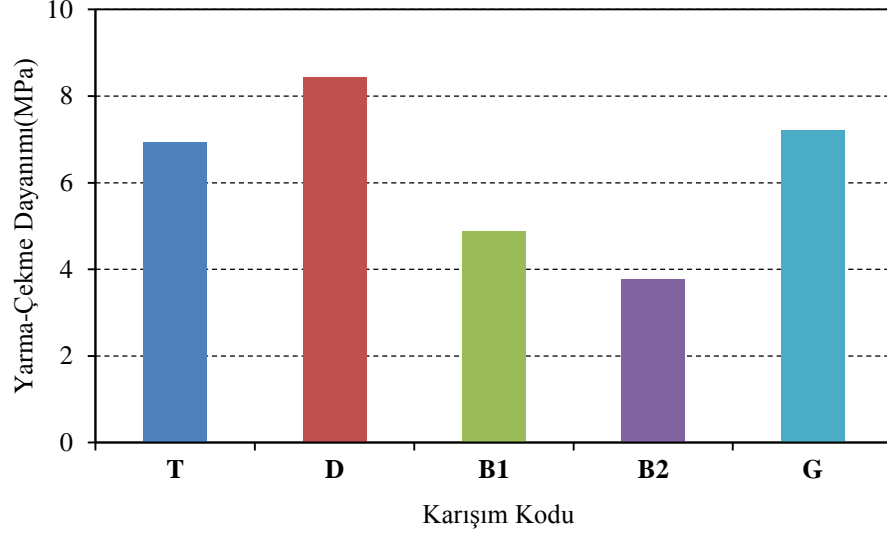


Şekil 4.2. Elastisite modüllerinin değişimi

4.2. Yarma-Çekme Deneyi Sonuçları

Yarma deneyinde, bir düzlem boyunca çizgisel biçimde uygulanan kuvvet sonucu oluşan çatlak agreganın içinden geçmektedir. Bu deney sonuçları incelendiğinde, demir cevheri betonunun en yüksek yarma-çekme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. İkinci en yüksek yarma-çekme dayanımına demir cevheri, çelikhane cürufu ve kırma kum içeren betonunun (G) sahip olduğu, aynı zamanda tufal betonunun da G betonuna çok yakın değer aldığı gözlemlenmektedir. En düşük yarma-çekme dayanımı Barit 2 betonunda elde edilmiştir. En düşük yarma-çekme dayanımına sahip Barit 2 betonu, en

yüksek yarma-çekme dayanımına sahip demir cevheri içeren betonun %55'i kadardır (Şekil 4.3).



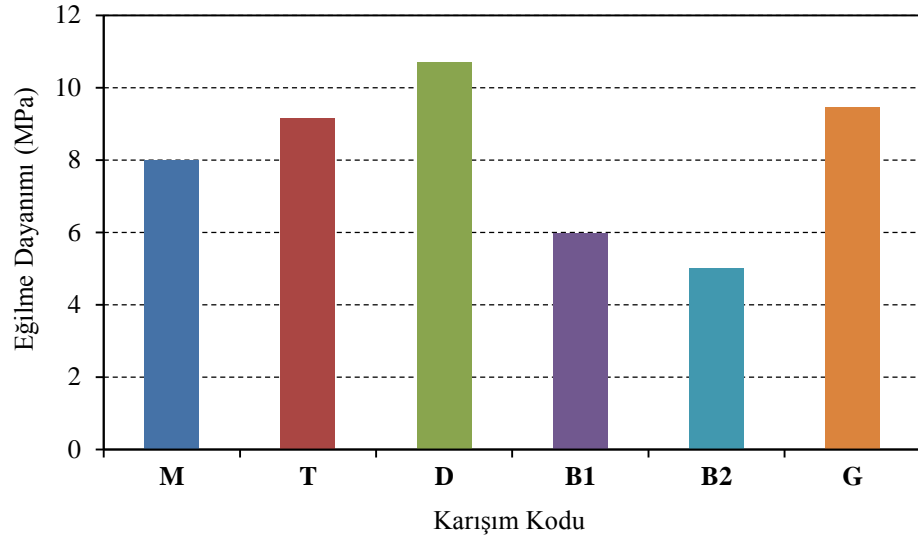
Şekil 4.3. Yarma-Çekme dayanımları değişimi

4.3. Eğilme Deneyi Sonuçları

Eğilme deneyi sonucunda beton kiriş numunelerin eğilme dayanımları, kırılma enerjileri ve yükleme esnasında yük-sehim, yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı grafikleri elde edilmiştir.

4.3.1. Beton Numunelerin Eğilme Dayanımları

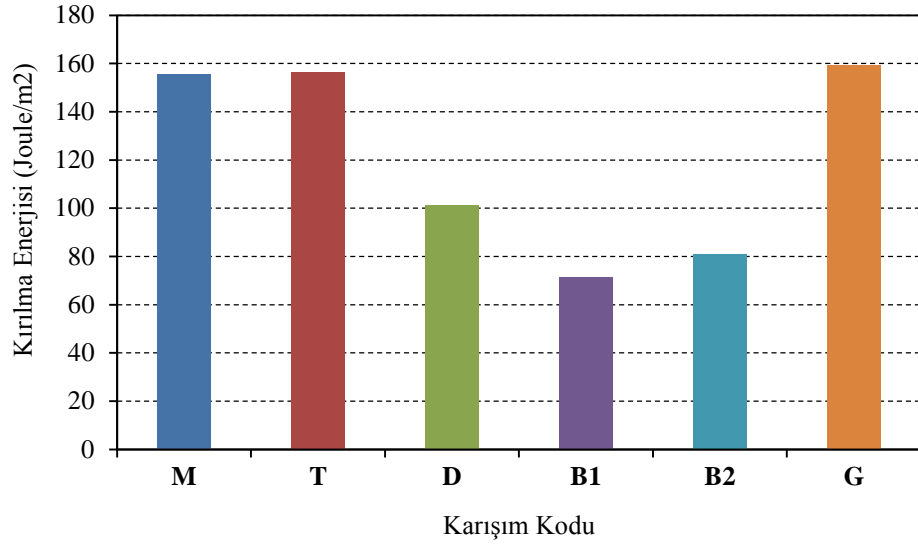
Eğilme dayanımları incelendiğinde sonuçların yarma-çekme dayanımlarına benzer eğilim sergilediği sonucuna varılmaktadır. Eğilme dayanımı en yüksek olan demir cevheri betonudur. Daha sonraki en yüksek değerler ise çelikhane cürufu içeren beton ile tufal betonudur. Barit 1 ve Barit 2 betonları diğer dört betona kıyasla oldukça düşük eğilme dayanımlarına sahiptirler. En düşük eğilme dayanımına sahip Barit 2 betonu, en yüksek eğilme dayanımlı demir cevheri betonunun %50'si kadardır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Eğilme dayanımları değişimi

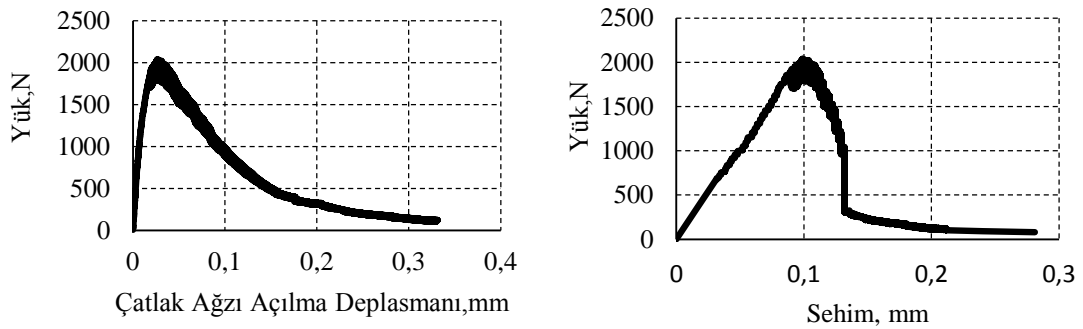
4.3.2. Beton Numunelerin Kırılma Enerjileri

Şekil 4.5’ de görüldüğü gibi en yüksek kırılma enerjisi değerleri tufal (T), manyetit (M) ile çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum karışımını içeren betonda (G) elde edilmiştir. Bunun nedeni, tufal ve çelikhane cürufu içindeki çelik parçalarının ve manyetit agregasının bir tür lif benzeri donatı işlevi görmesidir. Söz konusu betonların yük-sehim veya yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı eğrilerinin tepe noktası sonrasında diğer bir deyişle şekil değiştirme yumuşaması bölgesinde bu tür metalik malzemelerin çatlak gelişimini frenlemede önemli katkı yapacakları beklenir (Şekil 4.8 ve 4.9). Bu üç betondan sonra en yüksek değer; demir cevheri içeren betonlarda görülmüş, baritli betonlarının kırılma enerjileri ise bir birine yakın çıkmıştır.

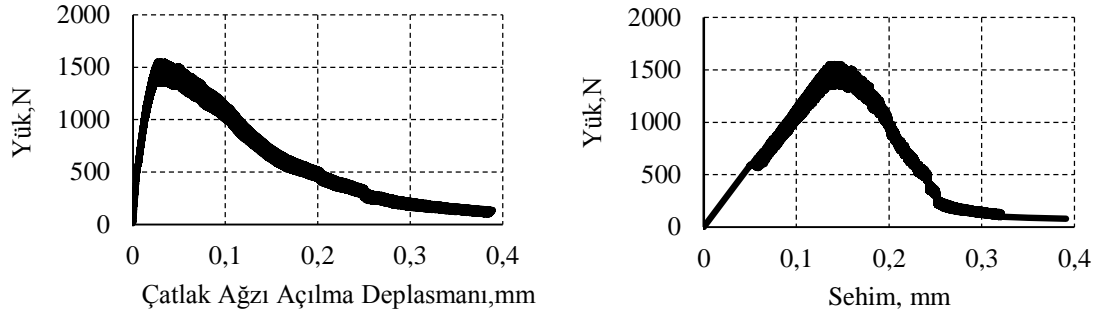


Şekil 4.5. Kırılma enerjileri değişimi

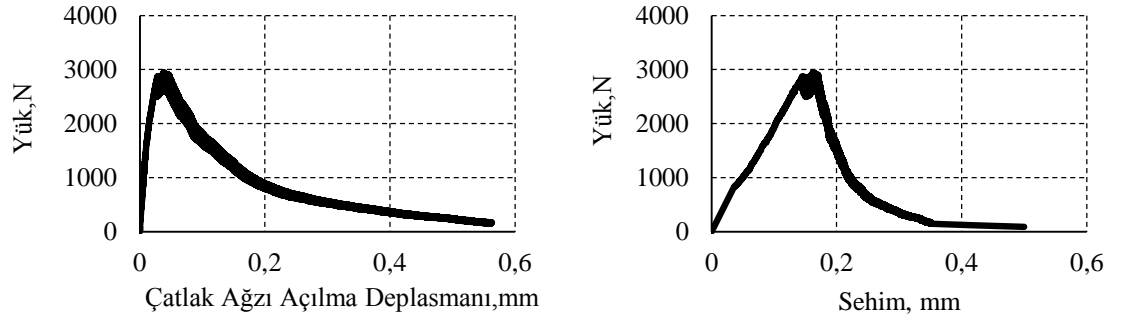
Çentikli beton kiriş numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi yapıldığında kirişin öncelikle belirli bir sehim yaptığı ve daha sonra matrisin çatlayıp çentikten başlayan çatlakın artan sehimle birlikte açıldığını görülmektedir (Şekil 4.6 – 4.11). Çatlak ağzı açılma deplasmanı kiriş orta noktası düşey deplasmanından daha büyük miktarlarda olacağı öngörülmektedir. Şekiller incelendiğinde en yüksek çatlak ağzı açılma deplasmanlarıyla sehimlerin tufal (T) betonu ile çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum karışımını içeren betonda (G) gerçekleştiği tespit edilmiştir.



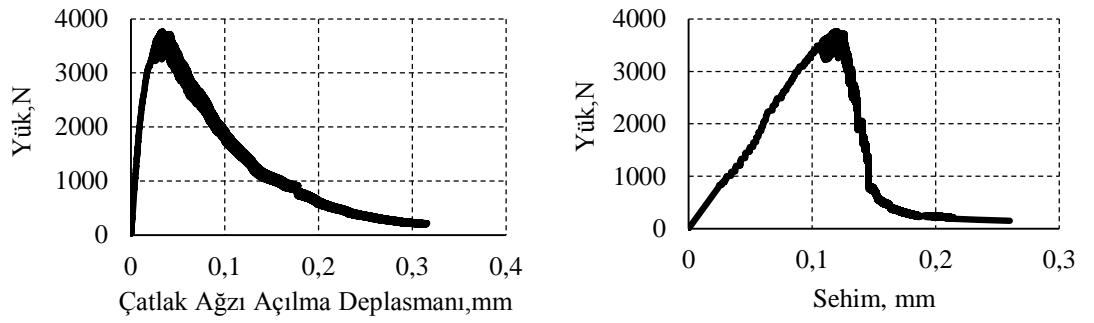
Şekil 4.6. B1 betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri



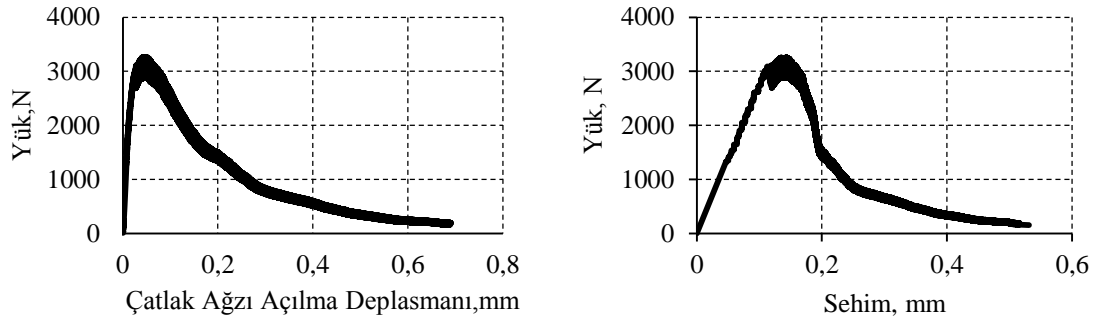
Şekil 4.7. B2 betonunun yük-çatlak ağız açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri



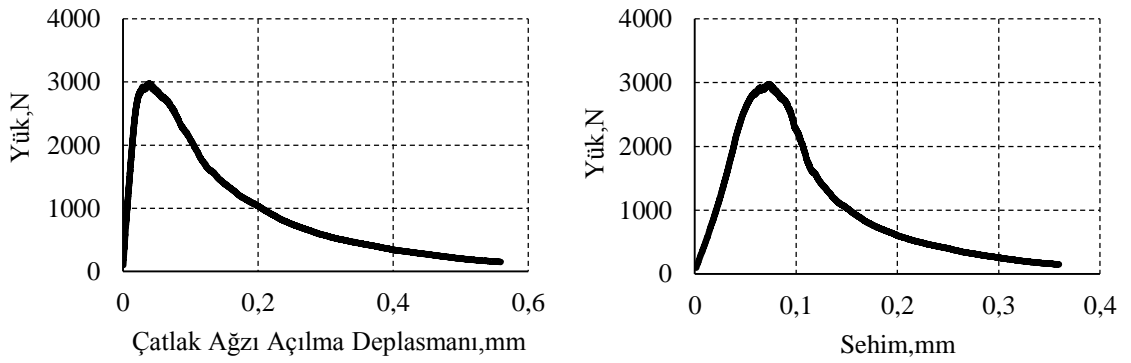
Şekil 4.8. T betonunun yük-çatlak ağız açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri



Şekil 4.9. D betonunun yük-çatlak ağız açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri



Şekil 4.10. G betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri

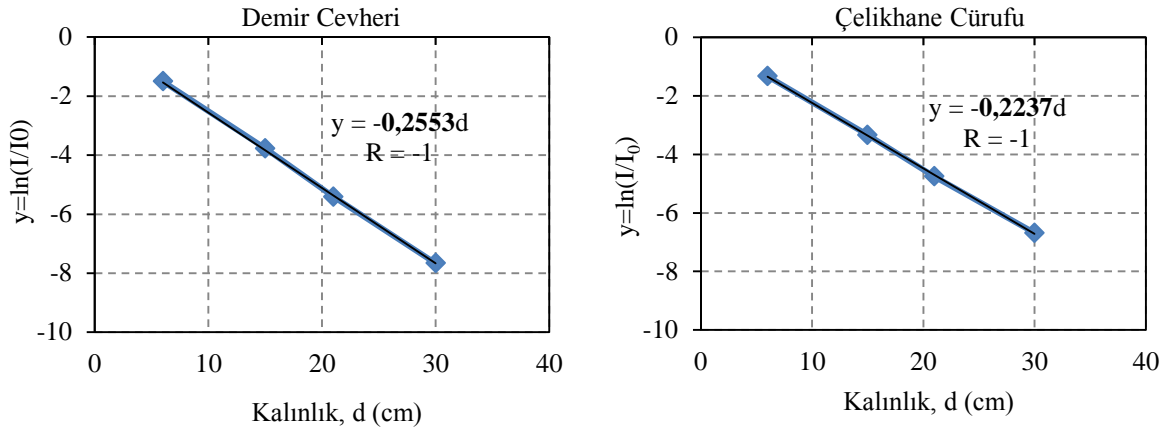


Şekil 4.11. M betonunun yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ve yük-sehim eğrileri

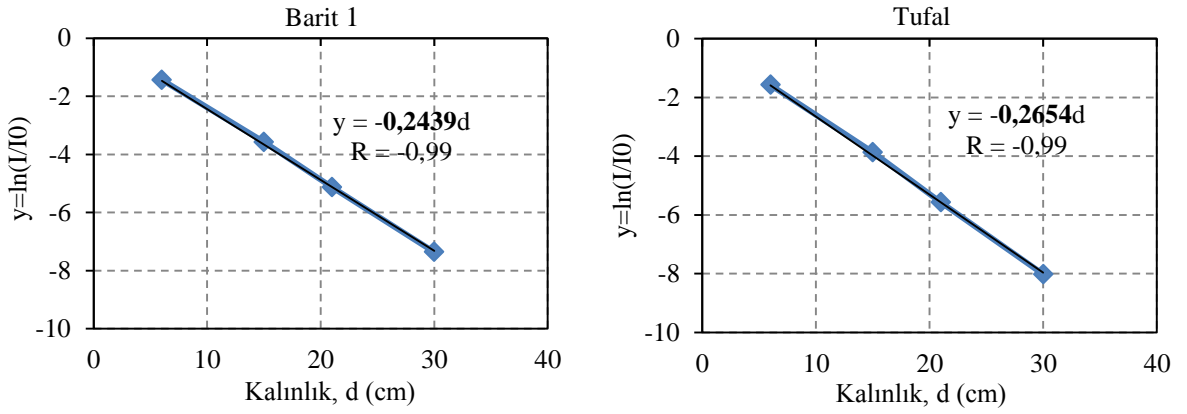
4.4. Radyasyon Geçirimsizlik Deneyi Sonuçları

Beş farklı tip agregadan üretilmiş betonun γ ışın kaynağı olarak, Cs-137 radyoizotopu kullanılarak ortaya çıkan radyasyonlar için lineer azalım katsayıları (μ) araştırılmıştır. Fotonun madde ile etkileşimi dolayısı ile fotonun madde tarafından soğrulması betonlarda kullanılan agregaya ve beton kalınlıklarına bağlı olarak değişmektedir. Herbir beton türü için beton kalınlığı olarak 6, 15, 21 ve 30 cm kalınlığında numuneler kullanılmıştır.

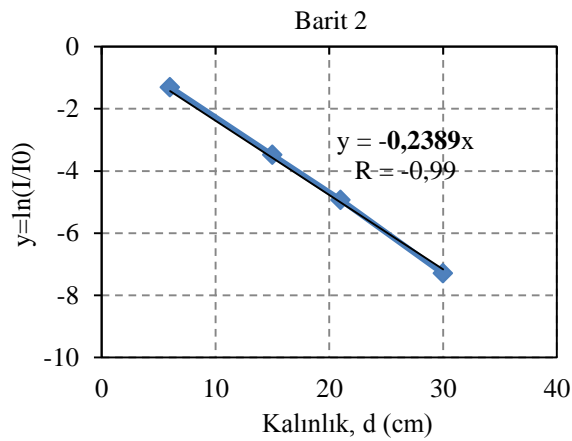
γ ışınlarına maruz bırakılan numunelerin radyasyon geçirgenlik ölçümleri yapılmış, her beton türü için kalınlık arttıkça radyasyon geçirgenliklerinin azaldığı bir eğriyle tutarlı bir eğilim gözlemlenmiştir (Şekil 4.12-4.14).



Şekil 4.12. Demir cevheri ve çelikhane cürufu betonlarının kalınlıklara göre radyasyon geçirgenlikleri

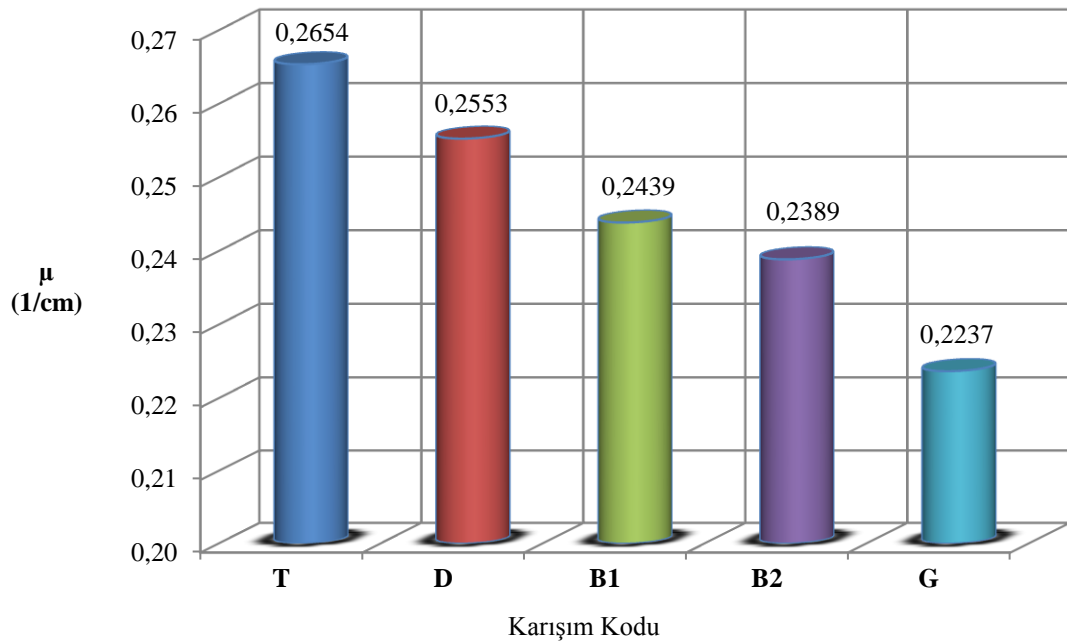


Şekil 4.13. Barit 1 ve Tufal betonlarının kalınlıklara göre radyasyon geçirgenlikleri



Şekil 4.14. Barit 2 betonlarının kalınlıklara göre radyasyon geçirgenlikleri

Şekillerde görüldüğü gibi kaynak önündeki beton kalınlığı arttıkça geçirimsizliğin azaldığı tespit edilmiştir. Şekillerde her kalınlıktaki noktalardan geçecek biçimde doğru çizildiğinde bu doğruların eğimi o beton türünün lineer azalım katsayılarını vermektedir. Şekil 4.15’ te görüldüğü gibi farklı beton türlerine göre lineer azalım katsayıları gösterilmiştir. Bu katsayılar beton birim ağırlığıyla doğru orantılı olarak değişiklik göstermiştir. Tufal agregasından üretilmiş T betonu en yüksek birim ağırlığına ve en yüksek lineer azalım katsayısına sahiptir. Beton serileri arasında birim ağırlık düşüştükçe lineer azalım katsayısının da azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 4.15. Betonlarının lineer azalım katsayıları

Lineer azalım katsayısıyla radyasyon geçirimsizlik arasında ters orantı mevcuttur. Lineer azalım katsayısı arttıkça numunenin radyasyon geçirgenlik özelliği de artmaktadır. Çelikhane cürufu agregası içeren beton en düşük birim ağırlığa sahip olmakla birlikte yüksek radyasyon geçirme özelliğine sahiptir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sunulan bu Yüksek Lisans Tez Çalışması kapsamında varılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Demir cevheri içeren betonların silindir basınç dayanımları belirgin bir biçimde yüksektir. Demir cevheri ve çelikhane cürufu agregalarının birlikte kullanıldığı beton bileşimine ait basınç dayanımının ise, demir cevheri içeren bileşim hariç tüm diğer birleşimlerinden daha yüksektir. Manyetit, tufal ve Barit 1 ağır agregası ile üretilen betonların basınç dayanımları hemen hemen aynıdır. Özgül ağırlığı yüksek olan Barit 1 agregası içeren betonun basınç dayanımının, özgül ağırlığı daha düşük olan Barit 2 agregası ile üretilen betonun basınç dayanımına göre daha yüksektir.

2. Demir cevheri içeren betonların elastisite modülü belirgin bir biçimde yüksektir. Bunu sırasıyla; manyetit ve çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum agregalarının birlikte kullanıldığı betonların elastisite modülleri izlemektedir. Barit agregası içeren betonları elastisite modülü değerleri daha düşük olup aralarında belirgin bir fark görülmemektedir.

3. Demir cevheri içeren betonların yarma-çekme dayanımları en yüksektir. Bunu, çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum ile üretilen beton ile tufal içeren beton izlemektedir. Barit agregası içeren betonların yarma-çekme dayanımlarında; özgül ağırlığı yüksek olan Barit 1 agregası içeren betonun, özgül ağırlığı daha düşük olan Barit 2 agregası içeren betondan daha yüksek yarma-çekme dayanımına sahip olduğu görülmektedir.

4. Demir cevheri içeren betonların eğilme dayanımının diğer betonlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum agregalarını birlikte içeren beton ile tufal içeren betonun eğilme dayanımı demir cevheri ile üretilen betondan sonra ikinci sırada eğilme dayanımı değerine sahip betonlar oldukları, bunları manyetit ile üretilen betonun eğilme dayanımı izlemektedir. Diğer taraftan, barit agregası içeren iki farklı beton birleşiminin eğilme dayanımlarının, basınç

ve yarma-çekme dayanımları ile benzer eğilime sahip oldukları, diğer bir deyişle daha düşük değerler aldıkları görülmektedir.

5. Tufal ve manyetit ile çelikhane cürufu, demir cevheri ve kırma kum içeren betonun diğer betonlara kıyasla daha fazla enerji yutma yeteneğine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Böyle bir davranışta, yük-sehim ve yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı eğrilerinin tepe noktası sonrasında bu betonların içerdiği çelik parçacıklarının taşıyıcı lif işlevi yüklendikleri ve bu metalik parçacıkların gelişen çatlakları frenlemede etkili oldukları görülmektedir.

6. Ağır betonun birim ağırlığı 3820 ila 3012 kg/m³ arasında değiştirilirken atenüasyon katsayısının 0,265 ila 0,224 1/cm arasında kaldığı, ağır agrega tipinden bağımsız olduğu ve bu katsayısı için belirleyici faktörün betonun birim ağırlığı olduğu sonucuna varılmaktadır.

KAYNAKLAR

Anonim, 2012. Tufal Raporu. Marzinc Marmara Geri Kazanım San. ve Tic. A.Ş., İstanbul Türkiye.

Anonim, 2013a. Hematit. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Hematit>, (Erişim Tarihi: 02.05.2013).

Anonim, 2013b. Hematit.

<http://www.mta.gov.tr/v2.0/madenler/mineraller/index.php?id=hematit>, (Erişim Tarihi: 02.05.2013).

Akgün, Y., Durmuş, A., Durmuş, A. 2007. Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri, *İMO Dergisi*, 465-474.

Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., Akkurt, A. 2006. Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cem. Concr Comp.*, 28: 153-157.

Akkurt, İ., Başyigit, C., Akkaş, A., Kılınçarslan, Ş., Mavi, B., Günoğlu, K. 2012. Determination of Some Heavyweight Aggregate Half Value Layer Thickness Used for Radiation Shielding. International Congress on Advances in Applied Physics and Materials Science, 2011, Antalya.

Akyüz, S. 1977. Gamma Işınlardan Korunmada Barit Agregalı Ağır Beton, *İTÜ Dergisi*, 35:(5), 59-69.

Annunziata, M.F. 2003. Handbook of Radioactivity Analysis. Elsevier Science, Philadelphia, USA, 1282 pp.

Ayan, M. 1979. Dünyada Barit ve Geleceği, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Baster, I. I. 1997. Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Shielding Concretes. *Ann. Nucl. Energy*, 24(17): 1389-1401.

Beiser, A. 1972. Basic Concepts of Physics. 2nd Ed., Addison-Wesley Publishing Company, London, England.

Coşkun, A. 2010. Ağır Betonlarda Barit Agregasının Kullanımı ve Beton Özelliklerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon.

Demir, F. 2009. Bor ve Barit Agregalı Ağır Betonların Nötron Parçacıkları X ve γ Işınları İçin Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Erzurum.

Dusil, G., Beier, B. 1989. High-Density concrete for radiation shielding in construction of nuclear power, *Betontechnik*, 10(3), 84-87.

Eaves, G. 1964. Principles of Radiation Protection. Iliffe Books, London, 185 pp.

Gencel, O., Brostow, W., Ozel, C., Filiz, M., 2010. An investigation on the concrete properties containing colemanite. *International Journal of Physical Sciences*, 5(3):216-225.

Hillerborg, A. 1985. The theoretical basis of a method to determine the fracture energy G_f of concrete. *Materials and Structures*, 18(106): 291 – 296.

Johns, H.E., Cunningham, J.R. 1983. The Physics of Radiology, Charles C. Thomas Publishers, New York, USA, 767 pp.

Kaçar, A. 2006. Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitim Anabilim Dalı, Isparta.

Kan Y. C., Pei K. C., Chang C. L. 2004. Strength and Fracture Toughness of Heavy Concrete with Various Iron Aggregate Inclusions. *Nuclear Engineering and Design*, 228(1-3): 119–127.

Karakuzu, A. 2007. Kimyasal Etkilerin Betonların Radyasyon Zırhlama Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Isparta.

Khatita, MH., Yousef, S., AlNassar, M. 2009. The effect of carbon powder addition on the properties of hematite radiation shielding concrete. *Prog. Nucl. Energy*, 51(2): 388-392.

Kılınçarslan, Ş. 2004. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. *Doktora Tezi*, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., Akkurt, İ. 2007. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22(2): 393-399.

Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., Uzun, İ. 2010. Ağır Betonların Sülfat Etkisinde Mekanik Özellikleri. *SDU International Technologic Sciences*, 2(2): 60-71.

Krane, S.K. 1987. Introductory Nuclear Physics. Wiley, New York, USA, 845pp.

Lamarch, J. R. 1977. Introduction to Nuclear Engineering. Addison-Wesley Publishing Company, USA.

Magill, J., Galy, J. 2005. Radioactivity, Radionuclides, Radiation. Springer, New York, USA, 259 pp.

Mısır, M. Ş. 2001. Radyoaktif Elementlerin Endüstriyel Alanda Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hatay.

Mindess, S., Young, J.F. 1981. Concrete. Prentice-Hall, New Jersey, USA, 671 pp.

Mortazavi, S. M. J., Mosleh-Shirazi, M. A., Roshan-Shomal, P., Raadpey, N., Baradaran-Ghahfarokhi, M. 2010. High-Performance Heavy Concrete as a Multi-Purpose Shield. *Radiation Protection Dosimetry*, 142(2-4): 120-124.

Mostofinejad, D., Reisi, M., Shirani, A. 2012. Mix Design Effective Parameters on γ -ray Attenuation Coefficient and Strength of Normal and Heavyweight Concrete. *Construction and Building Materials*, 28(1): 224-229.

Neville, A.M. 1997. Properties of Concrete. John Wiley & Sons, New York, USA, 844 pp.

Osma, Y. 2002. Barit ile elde edilen ağır betonun fiziksel ve mekanik özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitim Anabilim Dalı, Isparta.

Price, B. T., Horton, C. C., Spinney, K. T. 1957. Radiation Shielding. Pergamon Press, London, England, 350 pp.

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.

RILEM Technical Committee 50-FMC 1985. Draft Recommendation: Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of threepoint bend test on notched beams. *Materials and Structures*, 18(106): 287-291.

Sakra, K., EL-Hakim, E. 2004. Effect of High Temperature or Fire on Heavy Weight Concrete Properties. *Cement and Concrete Research*, 35(3): 590-596.

Shapiro, J. 1972. Radiation Protection. Harward University Press, USA, 339 pp.

Şimşek, O. 2006. Kırka Tinkal Cevherinin Dekriptasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, EOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir.

Taşdemir, M.A. 2012. Farklı Agregalarla Üretilen Ağır Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Teknik Rapor, Arçelik A.Ş.

Topçu, I.B. 2003. Properties of heavyweight concrete produced with barite. *Cement and Concrete Research*, 33(6): 815-822

Topçu, İ. B. 2006. Beton teknolojisi. 319-334, Eskişehir.

TS EN 933-1:2012, 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini - Eleme metodu. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6, 2002. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1, 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 196-3, 2010. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 196-6, 2010. Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 6: İncelik Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 196-1, 2009. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 196-2, 2010. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun kimyasal analizi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350-2, 2010. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350-6, 2010. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206-1, 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-2, 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-6, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12467, 2013. Düz levhalar - Elyaf Takviyeli Çimento Kullanılarak İmal Edilmiş - Mamul Özellikleri Ve Deney Metotları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Yılmaz, B. 2009. Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin Kullanımı İle Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : SÜLEYMAN ÖZEN
Doğum Yeri ve Tarihi : KARABÜK, 1986
Yabancı Dili : İNGİLİZCE

Eğitim Durumu:

Lise : MALATYA TURGUT ÖZAL ANADOLU LİSESİ,2004
Lisans : YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, 2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ 2012-ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ

İletişim (e-posta) : sozen@uludag.edu.tr