

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MUŞ YÖRESİNDEN TEMİN EDİLEN BARİT'İN KULLANIMI İLE
ELDE EDİLEN AĞIR BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Berivan YILMAZER

Tez Yöneticisi

Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

FIRAT ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
(FÜBAP) KOORDİNASYON BİRİMİ 1556 NO'LU PROJE

ELAZIĞ, 2009

TEŐEKKÖR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN'e yardım ve anlayışından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma projemi destekleyen Fırat Üniversitesi Proje Araştırma Birimi FÜBAP'a, Radyoaktivite deneylerimi olur kılan TAEK (ÇNAEM), Standart Dozimetri Laboratuvarından Sayın Dr. Doęan YAŐAR'a ve diğer alışanlara,

Isıl iletkenlik deneylerim için yardımlarını esirgemeyen 9 Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliğinden Prof. Dr. İsmail H. TAVMAN'a, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Arş. Gör. Alpaslan TURGUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana destek olan ve yardımda bulunan, başta Sayın Alper Polat ve Sentez Metal İnşaat San.ve Tic. Ltd. şti. yöneticileri olmak üzere tüm özel kişi ve kurumlara teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	i
TABLolar LİSTESİ	ii
SİMGELER LİSTESİ	iii
KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Beton Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2. Radyasyon Hakkında Genel Bilgiler	4
2.2.1. Radyoaktif Işıma Türleri	7
2.2.2. Radyoaktif Yarılanma Süreleri	8
2.2.3. Radyoaktivite Ölçümleri ve Birimleri	9
2.3. Baritli Beton Hakkında Genel Bilgiler	11
2.3.1. Agregası	12
2.3.2. Çimento	13
2.3.3. Karışım Suyu	13
2.3.4. Kimyasal Katkılar	14
2.3.5. Mineral Katkılar	14
3. UYGULAMALAR	15
3.1. Numunelerin Hazırlanması	15
3.1.1. Kullanılan Materyaller	16
3.1.2. Elek Analizi Deneyi ve Agregası Dağılımının Tayini (Granülometri)	18
3.1.3. Beton Karışım Hesaplarının Yapılması	20
3.1.4. Numunelerin Dökülmesi ve Saklanması	22
3.2. Numunelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesi	22
3.2.1. Su Altı ve Doygun Yüzey Kuru Ağırlık, Kuru Ağırlık, Hacim, Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Yüzdelerinin Ölçülmesi	23
3.2.2. Ultrases Hızlarının(PGH) Ölçülmesi	26
3.2.3. Isıl İletkenliklerinin Ölçülmesi	27
3.2.4. Basınç Dayanımının Ölçülmesi	30
3.3. Numunelerin Radyasyon Geçirgenliğinin Ölçülmesi	32
4. SONUÇLAR	42
KAYNAKLAR	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum	5
Şekil 2.2. Elektromanyetik Spektrum	6
Şekil 3.1. Deneylerde Kullanılan Küp Numuneler	15
Şekil 3.2. Standart Dozimetri Cihazları	17
Şekil 3.3. Basınç Ölçüm Aleti	18
Şekil 3.4. En Büyük Tane Çapına Bağlı Olarak Agregat Granülometri Sınır Eğrileri	19
Şekil 3.5. Agregaların Elek Analizine Tabi Tutulması	19
Şekil 3.6 Slump Deneyi	21
Şekil 3.7. Beton Numunesinin İç Yapısı	22
Şekil 3.8. Su Altı Ağırlığı Ölçme Terazisi	23
Şekil 3.9. Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarının Karşılaştırılması	25
Şekil 3.10. PGH (Ultras) Ölçüm Cihazı	26
Şekil 3.11. Hot Wire Yöntemiyle Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı	29
Şekil 3.12. Basınç Deneyinin Yapılması	34
Şekil 3.13. Küp Numunelerin Ölçüm Sonrası Görünümü	35
Şekil 3.14. X Işınları Ölçüm Cihazı	39
Şekil 3.15. X Işınları Dozimetri Cihazları	39
Şekil 3.16. Sezyum Ölçüm Cihazı	41
Şekil 3.17. Cobalt Ölçüm Cihazı	43

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Betonların Sınıflarına Göre Dayanımları	4
Çizelge 2.2. Bazı radyoaktif izotoplar, yarı ömürleri ve yaydığı ışın türleri	9
Çizelge 2. 3. Birim Hacim Kütlelerine Göre Agrega Çeşitleri	12
Çizelge 3.1. Barit Test Raporu	16
Çizelge 3.2. 1000 gr'lık karışım için kullanılacak agreg a miktarları	20
Çizelge 3.3. Deneyde kullanılan agreg a miktarları	20
Çizelge 3.4. Numunelerin Su Altı ve Doymun Yüzey Kuru Ağırlığı, Kuru Ağırlık, Hacim, Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Yüzdeleri	24
Çizelge 3.5. Numunelerin Su Emme Yüzdelerinin Karşılaştırılması	25
Çizelge 3.6. PGH Ölçüm Sonuçları	27
Çizelge 3.7. Hot Wire Cihazı Ölçüm Ayarları	30
Çizelge 3.8. Numunelerin Isı İletkenlik Katsayıları	30
Çizelge 3.9. Numunelerin Isı İletkenlik Katsayılarının Tablo ile Gösterilmesi	31
Çizelge 3.10. Numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımları	34
Çizelge 3.11. Lineer Enerji Katsayıları, m (1/cm)	36
Çizelge 3.12. Normal Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları	37
Çizelge 3.13. %10 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları	37
Çizelge 3.14. %20 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları	37
Çizelge 3.15. %30 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları	38
Çizelge 3.16. %40 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları	38
Çizelge 3.17. %50 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları	38
Çizelge 3.18. Betonların X Işını 100 kV (85 keV) Ölçüm Sonuçları	40
Çizelge 3.19. Betonların X Işını 150 kV (118 keV) Ölçüm Sonuçları	40
Çizelge 3.20. Betonların X Işını 200 kV (164 keV) Ölçüm Sonuçları	41
Çizelge 3.21. Betonların Cs-137 Işını (keV) Ölçüm Sonuçları	42
Çizelge 3.22. Betonların Co-60 Işını (1250 keV) Ölçüm Sonuçları	43
Çizelge 3.23. Enerjiye göre Lineer Zayıflama Katsayısı Grafiğı	44

SİMGELER LİSTESİ

α	: Alfa Işınları
β	: Beta Taneciği
γ	: Gama Işınları
n	: Nötron Işınları
C	: Coulomb
Gy	: Gray
eV	: Elektron Volt
keV	: Kilo elektron volt
Mev	: Milyon elektron Volt
$D_{\max}$	: Agregatör en büyük dane büyüklüğü
s/ç	: Su/Çimento oranı
V	: Hacim (dm ³)
a	: Numunenin suya doymuş havadaki ağırlığı (kg)
b	: Numunenin suya doymuş su altındaki ağırlığı (kg)
c	: Numunenin kuru birim hacim ağırlığı (kg)
g	: Numunenin kuru ağırlığı (kg)
d	: Numunenin ağırlıkça su emme oranı (%)
k	: Isı İletkenlik Katsayısı
Q	: Isı akışı (kcal/hm ²)
A	: Isı akımına dik yüzey alanı (m ²)
L	: Malzeme Kalınlığı (m, cm)
T1, T2	: Sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları (°C)
Ó	: Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa, N/mm ² , Kgf/cm ²)
P	: Kırılmanın olduğu maksimum yük (N, kgf)
L	: Mesnetler arası mesafe (cm)
W	: Mukavemet momenti
A	: Numunenin kesit boyu (cm)

KISALTMALAR LİSTESİ

MTA	: Maden Tetkik ve Arama
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BA	: Barit Agregası
NA	: Normal Agregası

ÖZET

Yüksek lisans Tezi

MUŞ YÖRESİNDEN TEMİN EDİLEN BARİT'İN KULLANIMI İLE ELDE EDİLEN AĞIR BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Berivan YILMAZER

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
2009

İleri teknoloji ile yaşadığımız günümüz dünyasında, radyasyonun yüksek olduğu nükleer santraller, röntgen odaları ve olası nükleer bomba saldırılarında kullanılabilecek sığınakların duvarlarında ağır beton kullanılması büyük önem taşımaktadır. Özgül ağırlığı normal agregadan fazla olan barit agregaları ile yapılan ağır betonlar, radyasyon ışınları karşısında, normal betonlara göre daha geçirimsiz bir yapı oluşturarak X ışınları ile diğer nötron ışınlarının insan vücuduna ulaşımını önlemede kullanılırlar.

Bu çalışmada, Muş ilinden elde edilen baritin, betonun başta radyasyon geçirgenliği özelliği olmak üzere mekaniksel ve fiziksel özelliklerine nasıl etki ettiği araştırılmıştır.

Deneyler sonucunda farklı oranlarda Muş yöresi barit agregası kullanılarak elde edilen betonun ağır beton yapımında kullanılabileceği kararına varılmıştır. Deneysel çalışmalar yapılırken Türk Standartlarından yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Barit, Ağır Beton, Radyasyon Zırhlaması

ABSTRACT

Master Thesis

RESEARCHING PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE PRODUCED USING BARITE OBTAINED FROM MUŞ

Berivan YILMAZER

Firat University
Institute of Sciences and Technology
Department of Construction
2009

In the high-tech world we live in today, using heavy concrete in nuclear plants, x-ray rooms and shelters that can be used during probable nuclear attacks is exceedingly important. Heavy concretes made of barite aggregates that has a higher density than normal aggregates are used to prevent x-rays and other neutron rays attain human body with it's impermeable structure.

In this case; the effects of barite obtained from Muş, on the mechanical and physical characteristics of concrete, leading the radiation permeability, is studied.

In the light of experiment results, it is concluded that; concretes produced combined with different percentage of barite aggregates obtained from Muş city can be used making heavy concrete. Turkish Standarts are used in the process of experiments.

Keywords: Barite, Heavy Concrete, Radiation Sheathing

1.GİRİŞ

Eski insanlar varoluşlarından itibaren vahşi doğaya karşı bir sığınma ihtiyacı hissetmişlerdir. Bu ihtiyaçlarını karşılamak için başlangıçta kendilerine ilkel barınaklar yapmışlar, zaman içinde teknolojinin ilerlemesine paralel olarak da bu barınakların yerini ihtiyaçlarına cevap verebilen, daha modern ve çok amaçlı kompleks yapılarla değiştirmişlerdir. Konutların dışında hastaneler, okullar, ibadethaneler, araştırma merkezleri ve eğlence merkezleri gibi pek çok yapı inşa etmişlerdir. Beton da bu yapılarda kullanılan ana malzemelerden biri olmuştur. Yapının çeşitliliğiyle birlikte kullanım amacına uygun farklı türlerde betonlar üretilmeye başlanmıştır. Örneğin pürüzsüz yüzey istenen büyük sathlarda kendinden yerleşen beton, kalıp yapımının zor olduğu tünel vb yapımlarda püskürtme beton, yapı ağırlığının az olmasının istendiği durumlarda hafif beton ve radyasyona karşı zırhlama yapılmak istenen yapıların duvarlarında ağır beton kullanılmaktadır. Standart beton dışındaki bu beton çeşitlerinin tümü özel betonlar adıyla isimlendirilmektedir.

Ağır betonlar, ilerleyen teknolojinin sonucunda nükleer enerjinin kullanımının artmasıyla birlikte, radyasyon yayan bu enerjinin olumsuz etkilerinden korunma ihtiyacından ötürü ortaya çıkmıştır. Özellikle radyasyonun yoğun olarak bulunduğu ortamlarda, insanlar radyasyonun kanserojen etkisine maruz kalmamak için, kendine korumalı bir alan yaratma ihtiyacı hissetmişlerdir. Bu alanların oluşturulabilmesi için de radyasyon kaynağı ile radyasyona maruz kalanlar arasına bir zırhlama elemanı koyulmalıdır. Öyle ki bu zırhlama elemanı hem korunaklı bir alan oluşturmali, hem de yapının inşaa şekline uygun olmalıdır. Tüm bu çalışmalar sonucunda zırhlama betonu olarak da adlandırılan ağır betonlar ortaya çıkmıştır.

Radyasyondan korunmanın 3 temel unsuru zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır. Radyasyon kaynağı ile insan arasına zırhlama malzemesi konulmasıyla maruz kalınacak doz azaltılır. X ve γ ışınlarının zırhlanması, zırh malzemesinin yoğunluğuna bağlıdır [1]. Radyasyon, dalga, parçacık ya da foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. X, α , β ve γ ışınlarının başka cisimlere çarpması ile meydana gelen nötron ışınları atom ağırlıkları küçük olan elementler tarafından durdurulur. γ ışınlarını geçirmemek için ise doğrudan doğruya yoğunluğu yüksek olan malzemeye ihtiyaç vardır [2]. Ağır betonlar 2,6 kg/dm³'ün üstündeki birim ağırlıkları nedeniyle radyasyon tutuculuk özelliği yüksek olan betonlardır. Aynı zamanda ağırlıklarının fazla olması da kullanılan yapı elemanının kayma ya da devrilmeye karşı mukavemetini artırır.

Genelde zırh betonlarının kalınlıklarıyla radyasyon geçirgenlikleri arasında direkt bir bağlantı vardır. Ayrıca ağır betonların büzölmeleri normal betonlardan %30 daha fazladır [3]. Ağır betondaki kimyasal reaksiyonlar sırasında daha fazla ısı açığa çıkmasından kaynaklanan bu

durum karşısında betonun çatlama yapmaması için kuruma sürecinde daha dikkatli olmak gereklidir.

Ağır betonlar cisimlerin içine rahatlıkla girebilen nötron ışınları ile X ve γ ışınlarına karşı radyasyon zırhlamada kullanılacağı için, yoğunluğu yüksek bir malzeme olan baritle yapılırlar. Barit, yüksek yoğunluğu sayesinde X ve γ ışınlarını tutarken, betonun bünyesinde bulunan ve atom ağırlıkları küçük olan su (H_2O) molekülleri ile de nötron ışınları tutulur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Beton Hakkında Genel Bilgiler

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.

Beton değişik bileşimler halinde yaklaşık 5000 yıldır kullanılmaktadır ancak beton teknolojisinin tarihi 1850 yıllarına, betonda ilk teçhizatın kullanılmasına kadar dayanmaktadır. Bu tarih, çimento patentinin alınışından 25 yıl kadar sonrasına rastlar. Betonarme yapıların önem kazanması 19. yüzyıl başında olmuştur. Beton malzemeleri ve sertleşmiş beton özellikleri hakkında en ayrıntılı araştırmaların yapılması ve karışım hesapları için esasların getirilmesi, 1950–1960 yılları arasına rastlar. Daha sonraki yıllarda betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, ekipman, kalitesinin devamlılığı, kalite kontrolü deneyleri, betonda ekonomiyi artırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iş programlaması, yönetimi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur. Ancak, betonun temel özellikleri konusunda 1950–1960 yıllarında getirilen esaslarda büyük bir değişiklik olmamıştır. Yalnız, gelişen teknoloji ile kullanılabilecek özel beton tipleri getirilmiştir.[4] Beton mutlak hacmi %75 agrega, %10 çimento ve %15 oranında sudan oluşur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının %5'inden fazla olmamak kaydı ile katkı maddesi ilave edilebilir.

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, agrega (kum, çakıl, kırma taş), kimyasal katkılar ve mineral katkılarıdır. Kimyasal katkılarla (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz...) mineral katkıları (taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı...) betonun performansını istediğimiz yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır. Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşıp sertleşerek agrega tanelerini (kum, çakıl, kırmataş) bağlar, yapıştırır, böylece betonun mukavemet kazanmasına imkân verir.

Dolayısıyla betonun mukavemeti,

- Çimento hamurunun mukavemetine
- Agrega tanelerinin mukavemetine
- Agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne (aderansına) bağlıdır.

Betonun standart basınç dayanımı 28 gün boyunca 20°C sıcaklıkta ve %100 nemli ortamda kür edilen, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin eksenel basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır. Gerilme cinsinden ifade edilen dayanım, kırılma yükünün, silindir numunenin yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir. Beton sınıfları concrete = beton

kelimesinin baş harfi olan "C" ile ifade edilir. Örneğin C20, 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 20 MPa yani 200 kgf/cm² olan betondur.

Çizelge 2.1. Betonların Sınıflarına Göre Dayanımları

Beton Sınıfı	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Eksenel Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
C16	16.0	1.4	27000
C18	18.0	1.5	27500
C20	20.0	1.6	28000
C25	25.0	1.8	30000
C30	30.0	1.9	32000
C35	35.0	2.1	33000
C40	40.0	2.2	34000
C45	45.0	2.3	36000
C50	50.0	2.5	37000

TS EN 206-1'e göre beton 3 sınıfa ayrılmıştır [5]:

- Normal beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000 kg/m³ 'ten büyük, 2800 kg/m³ 'ten küçük olan beton.
- Hafif beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 800 kg/m³ 'ten büyük, 2000 kg/m³ 'ten küçük olan beton.
- Ağır beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2800 kg/m³'ten daha büyük olan beton.

Betonun doğal kimyasal zararlara karşı dayanıklı olması, fiziksel ve kimyasal etkenler sonucu niteliklerini kaybetmemesi açısından karışım oranlarının tayini, hazırlama, döküm ve donma evrelerinin özenle takip edilmesi gerekir. Betonun zarar görmemesi için yeterli dayanıma sahip bulunması istenir. Özellikle ağır betonlardaki çatlama, dökülme, kırılma ya da aşınmalar, oluşan boşluklardan radyoaktif sızıntılar olacağından ağır beton işlevselliğini yitirmesine sebep olur. Bunun için Türkiye şartlarında yapılacak uygulamalar için gerekli koşullar Türk Standartlarında belirtilmiştir.

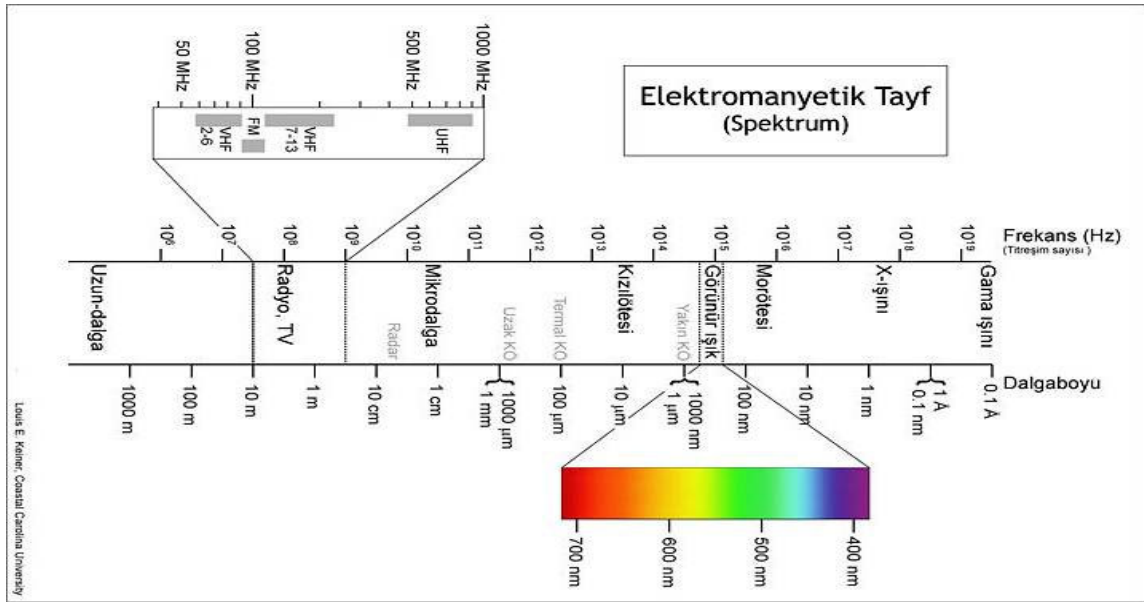
2.2. Radyasyon Hakkında Genel Bilgiler

Radyasyon en genel anlamıyla, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımı olarak tanımlanır.

Wilhelm Röntgen'in 1895 yılında x-ışınlarını bulmasından sonra, Henry Becquerel,

1896'da uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını belirlemiştir ve böylece ilk defa radyoaktif bir maddenin keşfi yapılmıştır. Becquerel bulduğu bu sonucu 2 Mart 1896'da kısa bir makale olarak Fransa Bilim Akademisi'ne sunmuştur. Bu buluşun ardından Marie ve Pierre Curie tarafından başka radyoaktif elementler bulunarak izole edilmiştir. Ernest Rutherford ise radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özelliklerini tespit etmiştir [6].

Madde atomlardan meydana gelmiştir. Atom ise, içerisinde proton ve nötronların bulunduğu bir çekirdek ile çekirdeğin çevresinde dönmekte olan elektronlardan oluşmaktadır. Herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, protonların sayısından fazla ise; bu tür maddelere kararsız atomlar denmektedir. Kararsız atomların çekirdeğindeki nötronlar alfa, beta, gama gibi çeşitli ışınlar yayarak parçalanırlar ve böylece kararlı yapıya dönüşürler. Bu dönüşüm içerisinde ortama ışın saçarak parçalanın maddelere "radyoaktif madde", çevreye yayılan alfa, beta ve gama gibi ışınlar ise "radyasyon" adı verilmektedir. Radyoaktif çekirdekler, kararlı bir yapıya ulaşıncaya kadar "**radyoaktif çekirdek bozunması**" olarak adlandırılan bir süreçte "**radyasyon**" yayarlar. Elektromanyetik spektrum X ışınları, ultraviyole ışınlar, görülebilen ışınlar, kızıl ötesi ışınlar, mikro dalgalar, radyo dalgaları ve manyetik alanlardan oluşurlar. Şekil 2.1.'de elektromanyetik spektrumda ışın türleri enerji yoğunluklarına göre sıralı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum

Şekil 2.2.'de elektromanyetik spektrumdaki değişik bölgelere ait fotonların dalgaboyu, frekans ve enerji kıyaslamalarını yapmaktadır [7].

Fotonun bölgesi	Dalgaboyu	Frekans (Hz)	Foton Enerjisi
Radyo Dalgası	1km	3×10^5	1 neV
Mikrodalga	1 cm	3×10^{10}	120 μ eV
Kızılötesi	10 μ m	3×10^{13}	120 meV
Görünür	550 nm	5×10^{14}	2 eV
Ültraviyole	100 nm	3×10^{15}	12 eV
X-ışını	0.05 nm	6×10^{18}	25 keV
Gama ışını	0.00005 nm	6×10^{21}	25 MeV

Şekil 2.2. Elektromanyetik Spektrum

Ultraviyole ışınları ve X ışınları çok yüksek elektromanyetik parçalar halinde yayıldığından kimyasal bağları kırabilecek enerjiye sahiptirler. Bu bağların kırılması iyonlaşma diye tanımlanır. İyonlaşan elektromanyetik radyasyonlar, hücrenin genetik materyali olan DNA'yı parçalayabilecek kadar enerji taşımaktadırlar. Zarar gören DNA'nın yapısı bozularak hem kanser gibi ölümcül tehlikesi olan hastalıklara neden olmakta, hem de genetik kodlarda deformasyon yaptığı için kuşaktan kuşağa geçebilecek kalıtsal bozukluklara sebep olmaktadır.

Radyasyonun etkisi; cins, yaş ve organa göre değişmektedir. Çocuklar ve büyüme çağındaki gençler ile özellikle göz en fazla etkilenen organ olup; görme zayıflığı, katarakt ve göz uyumunun yavaşlamasına sebep olmaktadır. Deri ise, radyasyona karşı daha dayanıklıdır. Geçmişte yapılan nükleer silah denemelerinden dolayı radyoaktif maddelerle yüklenmiş toz bulutları, atmosferin yüksek tabakalarına ve stratosfere yerleşerek, radyoaktif yağışlar halinde yavaş yavaş yeryüzüne inmekte ve çevrenin, özellikle yüzeysel suların kirlenmesine sebep olmaktadır. 1960'lı yıllarda en yüksek seviyeye çıkmış olan radyoaktif yağışlarda, nükleer silah denemelerinin havada yapılmasının yasaklanması sonucu, 1970'li yıllardan sonra azalma görülmüştür. Radyoaktif kirlenmeye örnek olarak gösterilebilecek olan Çernobil reaktöründe oluşan kazada, doğrudan etki sonucu 30'dan fazla insan hayatını kaybetmiş, yüzlerce kişi yaralanmış, sakatlanmış ve hastalanmıştır. Binlerce insan ise belirtileri sonradan çıkacak olan genetik etkilerle, nesilden nesile geçebilecek kalıcı izler taşımaktadır. Çernobil'deki kaza sebebiyle atmosfere karışan radyoaktif maddelerin, atmosferik hareketlerle: uzaklara taşınmasıyla, düştükleri yerlerde radyasyona sebep olmuştur. Bu olaydan en çok ülkemizin Çernobil'e yakın olan Karadeniz Bölgesi'nin etkilendiği tespit edilmiştir [8]. Atom bombası ve nükleer reaktörlerden enerji elde edilmesi, fisyon reaksiyonu ile (ağır bir çekirdeğin, hafif çekirdeklere ve nötronlara bölünmesi ile) gerçekleşir. Çekirdek fisyonu veya nükleer fisyon olayının tersi nükleer füzyon reaksiyonudur. Güneş enerjisinin bir bölümünde de meydana gelen çekirdek füzyonu, hidrojen çekirdeğinin helyum çekirdeğine dönüşmesi sırasında meydana

gelir. Hidrojen bombası füzyon reaksiyonu dayanır. Günümüzde füzyon reaksiyonlarının, çekirdek füzyonu reaktörlerinde, "elektrik enerjisi elde etmek amacıyla" kullanılması hususu gündemdedir.

Radyasyonun insan üzerindeki biyolojik etkileri 2 başlık altında incelenmektedir [9].

Deterministik Etkiler: Radyasyon dozunun vücudun herhangi bir doku veya organına hasar vermesi veya önemli reaksiyonlara neden olacak miktarda hücre ölümünü meydana getirmesi sonucunda ortaya çıkan etkilerdir. Örneğin; 5 Gy veya daha fazla dozun aniden alınması, uygun tedavi yapılmadığı takdirde kemik iliği ve sindirim sistemi hasarları nedeni ile ölümle sonuçlanabilir. 5 Gy'e kadar olan dozlarda uygun tedavi yapıldığı takdirde kişilerin hayatı kurtarılabilir. Ancak 50 Gy'lik doz alınması halinde medikal tedavi yapılsa bile kesinlikle ölüm gerçekleşir. Tüm vücudun değil de, vücudun belirli bir bölgesinin çok yüksek bir doz alması halinde ölüm olmasa da ışınlanan bölgede erken etkiler görülecektir. Örneğin cildin 5 Gy'lik dozu aniden alması halinde ciltte bir hafta içinde eritem (kızarıklık) ortaya çıkar. Benzer dozun üreme organları tarafından alınması halinde kısırlık meydana gelir. Bu tip etkiler radyasyonun deterministik etkileri olarak isimlendirilir. Bu tür etkiler ancak doz ve doz hızı bir eşik değeri geçtiği takdirde meydana gelir.

Stokastik Etkiler: Radyasyonun düşük dozlarda alınmasıyla ortaya çıkan etkilerdir. Etkinin ortaya çıkması için bir eşik değer söz konusu değildir. Stokastik etkiler nedeniyle kanser olma olasılığının saptanmasında belirsizlikler vardır. Düşük dozlara maruz kalmış kişilerde kanser ortaya çıkması halinde, bunun radyasyon nedeni ile olup olmadığını belirlemek mümkün değildir. Bunu ortaya koyacak somut veriler yoktur. Düşük dozlar için stokastik etkilerin ortaya çıkması olasılığı yüksek doz almış kişiler ve hayvan deneylerinin sonuçlarına dayanılarak tahmin edilmektedir.

Bu etkiler göz önünde bulundurularak halkın her yıl almasına izin verilen doz düzeyi 1 mSv'dir. 1 mSv doz nedeniyle kanserden ölme olasılığının ise 100000'de 5 olduğu varsayılmaktadır.

2.2.1. Radyoaktif Işıma Türleri

- **Alfa Işınları (α):** Alfa bozunması, radyoaktif çekirdekten kütle numarası 4 atom numarası 2 olan bir taneciğin ayrılması sonucu gerçekleşmektedir. Atom numaraları 83'ten büyük olan yani kararlılık kuşağının ötesindeki elementler (ağır elementler) kararlı nötron/proton oranına erişmek için, hem proton ve hem de nötron kaybederek kararlılık kuşağına ulaşmaya çalışırlar. Ayrılan tanecik aslında bir helyum çekirdeğidir. Örneğin Uranyum'un en bol bulunan izotopu uranyum-238 α bozunmasına uğradığı zaman toryum-234'e

dönüşür. Hızları saniyede 15.000 km kadar olan alfalar, bir kâğıtla tutulabilmekte, havada en fazla 10 cm mesafe alabilmektedirler. İnsan derisi alfa taneciklerini hücrelere ulaşmadan durdurabilmektedir.

- **Beta Işınları (β):** Beta taneciği aslında çekirdekten yayınlanan yüksek enerjili bir elektrondur. Beta bozunması sürecinde, radyoaktif çekirdekte bulunan bir nötron, bir proton ile bir elektrona dönüşür. Beta ışımasının tetikleyicisi alfa ışıması sonucu oluşan toryum-234'tür. Çok küçük kütleleri nedeniyle betalar, alfalara göre daha giricidirler ve madde içinde daha uzun yol almaktadırlar. Hızları sıfıra yakın değerlerle ışık hızı arasında olabilir. Havada birkaç metre mesafe alabilmektedirler. Birkaç milimetrelilik alüminyum levha bu ışınları durdurur. Beta ışınları, dış derideki ölü seviyeye nüfus eder, derinin iç kısmında durduğu için dış derideki dokulara yakarak zarar vermektedir.

- **Gama Işınları (γ):** Atom çekirdeğinin bozunumu sırasında salınan elektromanyetik dalgalarıdır. Gama ışınları tanecik değildir. Bunlar foton denilen kısa dalga boylu enerji paketçikleri akımlarıdır (x- ışınları benzeri) Alfa ve beta bozunması sırasında birçok atom çekirdeği uyarılmış birer yapıya (yüksek enerjili hale) ulaşırlar. Bu tür yüksek enerjili çekirdekler, gama ışıması yardımı ile rahatlama yolunu seçerler. Gamma ışıması sürdüren bir çekirdekte atom kütle numarası ve atom numarası değişikliğe uğramaz. Işık hızıyla hareket eden gamaların enerjileri çok yüksek olduğundan maddeye enerjilerini aktarana kadar epeyce yol alırlar ve ancak kurşun (Pb) ya da baritli beton gibi ağır özgül kütleli maddelerle durdurulabilirler.

- **Nötron Işınları (n):** Atom çekirdeklerinin doğal bozunumu sırasında salınan, elektriksel olarak yüksüz/nötral nötron parçacıkları akımıdır. Nötronun kütlesi, atom çekirdeğindeki artı yüklü protondan biraz daha büyüktür.

- **Röntgen Işınları:** Atomların dış kılıfındaki elektron bulutunda, elektronların, çekirdeğe oldukça yakın yörüngelerden daha aşağılara (dış ya da iç etkenlerle) atlaması sonucu ortaya çıkan elektromanyetik ışımlar olup, bunların dalga boyları 0,01 ile 10 nanometre arasında. Bunlar da gama ışınları gibi yüksek enerjili girici ışımlar olup, gamalardan tek farkları atom çekirdeklerinden değil, atomların iç elektron kılıfından salınmalarıdır.

2.2.2. Radyoaktif Yarılanma Süreleri

Kararsız yapıya sahip maddelerin her biri, ayrı birer bozunma hızına sahiptir. Radyoaktif izotopların (atom çekirdeklerinde aynı sayıda proton ve farklı sayıda nötron bulunan elementlerin) bozunma hızına "yarı-ömür" adı verilir ve yarı ömür " $t_{1/2}$ " olarak ifade edilmektedir. Yarı ömür, radyoaktif bozunmaya uğrayan kararsız atomların yarısının yok olması

için geçen zaman olarak da tarif edilir. Bu noktada özellikle vurgulanması gereken bir husus ise, radyoaktif özelliğe sahip farklı izotopların yarı ömürlerinin ve yayınladıkları radyasyon türlerinin farklı olduklarıdır.

Çizelge 2.2. Bazı radyoaktif izotoplar, yarı ömürleri ve yaydığı ışın türleri

Element	İzotop	Yarı Ömür	Verdiği Radyasyon
Hidrojen	${}^3_1\text{H}$	12 Yıl	Beta
Karbon	${}^{14}_6\text{C}$	5730 Yıl	Beta
Fosfor	${}^{32}_{15}\text{P}$	14 Gün	Beta
Potasyum	${}^{40}_{19}\text{K}$	$1.28 \cdot 10^9$ Yıl	Beta ve Gamma
Kobalt	${}^{60}_{27}\text{Co}$	5 Yıl	Beta ve Gamma
Stronsiyum	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	28 Yıl	Beta
Iyot	${}^{131}_{53}\text{I}$	8 Gün	Beta ve Gamma
Sezyum	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	30 Yıl	Beta
Polonyum	${}^{214}_{84}\text{Po}$	$1.28 \cdot 10^{-4}$ Saniye	Alfa ve Gamma
Radyum	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 Yıl	Alfa ve Gamma
Uranyum	${}^{235}_{92}\text{U}$	$7.1 \cdot 10^8$ Saniye	Alfa ve Gamma
Uranyum	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4.5 \cdot 10^9$ Saniye	Alfa

2.2.3. Radyoaktivite Ölçümleri ve Birimleri

Radyoaktif parçalanmanın bulunması ve şiddetinin ölçülmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Radyoaktif ışınlar, fotoğraf filmine aynen ışığın etkisini yaparlar, bununla birlikte, ışımanın bu yolla nicel ve nitel analizi kolay ve çabuk bir yol değildir. Radyoaktif ışınların analizi için, sintilasyon sayıcısı, wilson sis odası ve en çok kullanışlı olanı Geiger - Müller sayıcısıdır. Geiger - Müller sayıcısı, tüpe ince bir pencereden giren α - veya β - parçacıkları veya γ - ışıması tüpteki argon gazını iyonlaştırır ve Ar^+ iyonları oluşur. Tüpün elektronları arasına bir gerilim uygulanırsa, bu iyonlar bir elektriksel boşalmaya neden olurlar

ve puls verirler. Bu pulslerin şiddeti artırılarak (ve çoğu zaman bir sese dönüştürülerek) otomatik olarak sayılırlar. Radyasyonun ilk birimi Röntgen'dir. Bunun yerine yeni bir isme gerek duyulmadığı için aynı ismin üzerinden yeni birimin yürütülmesi düşünülmüştür. Yeni radyasyon birimi olarak da "Coulomb/kg" tarif edilmiştir. Normal hava koşullarında (0° ve 1 atm basınç) havanın 1 kilogramında 1 Coulomb pozitif ve negatif elektrik yükü taşıyan iyonlar meydana getiren x- veya γ - radyasyon miktarına "Coulomb/kg" denir.

1 Coulomb/kg 3876 R veya 1R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg'dır.

Nükleer teknolojinin ilerlemesiyle elde edilen yüksek enerjili X ışınlarının α , β ve nötron gibi radyasyonlarının ölçümünde coulomb/kg veya röntgen yetersiz kalmıştır. Bu nedenle her çeşit radyasyon ve madde için soğurulan doz birimi olarak "gray" tanımlanmıştır.

Herhangi bir maddenin kg başına 1 joule'lük enerji soğurması meydana getiren radyasyon dozuna "gray" denir ve kısaca "Gy" ile sembolize edilir.

Radyoaktif maddenin saniyedeki bozunma sayısına aktivite denir. Aktivitenin SI (Uluslararası Birim Sistemi) birimi "Becquerel" (Bq) olarak adlandırılır. Curie (Ci) SI öncesi kullanılan radyoaktivite birimidir.

Radyasyon enerjisi birimi (eV): 1 Elektron Volt (eV), bir elektronun 1 voltluk bir potansiyel farkı altında kazanacağı kinetik enerji miktarı. Bir elektron volt çok küçük olduğundan, bunun bin katı olan "kilo elektron volt" (keV) ve milyon katı olan "Milyon elektron Volt" (MeV) çok kullanılır. Atom çekirdeklerindeki dönüşümlerde ortaya çıkan enerjiler pratikte çok küçüktür.

Sonuç olarak [10]: Radyasyon, radyoaktif bir atom çekirdeğinin bozunması sonucu ortaya çıkar.

- Bir çekirdeğin kararlı olması çekirdekteki nötron/proton oranına bağlıdır.
- Kararlı nötron/proton oranına ulaşmak için çekirdekler bozunmaya uğrarlar ve bu şekilde kararlı hale geçmeye çalışırlar.
- Bu bozunmalar alfa (α), beta (β), ve gama (γ) bozunmaları olarak bilinir.
- Alfa (α) taneciği ${}^2_4\text{He}$ çekirdeğidir. Beta (β) taneciği bir elektrondur.
- Gama bozunması ise, sadece bir enerjidir.
- Her bir radyoaktif maddenin bir yarı ömrü ($t_{1/2}$) vardır. Yarı ömür "başlangıçtaki radyoaktif maddenin miktarının yarıya inmesi için geçen süre" olarak tanımlanır.
- Radyoaktivitenin zararlı etkileri insan hayatı üzerinde ölümcül rol oynar.
- Radyoaktivitenin yararlı etkileri özellikle tıpta ve endüstride kullanılmaktadır.

2.3. Ağır Beton Hakkında Genel Bilgiler

Ağır betonlar kayma ve devrilmeye karşı emniyette olmayan bazı özel yapılarda koruyucu momenti arttırmak amacıyla kullanılmakla beraber asıl kullanım alanları, radyoaktif maddelerin yaydığı nükleer ışıklardan özellikle cisimlerin içine girebilen öldürücü nötron ve γ ışınlarına karşı korunmak için gerçekleştirilen koruyucu beton perdelerdir. Hastanelerin ışın tedavi ve radyografi tesisleri, nükleer enerji santrallerinin koruyucu perdeleri, elektron depolama devreleri, askeri mühimmat depo duvarları, istinat duvarları, su altı petrol boru hatları, petrol sondaj kuyusu çeperleri ve radyoaktif maddelerin saklandığı öngerilmeli beton reaktör siloları ağır betonların kullanım alanlarına birer örnek teşkil etmektedir [11]. Radyoaktif reaksiyonlarda, maddelerin içine girebilme kabiliyeti yüksek olan nötron parçacıkları ile gama(γ) ışınları oldukça tehlikelidir. α , β parçacıkları ile X ve γ ışınlarının başka maddelere çarpması sonucu oluşan nötron parçacıkları atom ağırlıkları küçük olan elementler tarafından durdurulur. γ ışınlarını geçirmemesi için ise doğrudan doğruya yoğunluğu yüksek olan malzemeye gereksinim vardır. Ağır betonlar ise yoğunluğu yüksek olan agregalarla yapıldığından ağırlıkları ve radyasyon tutuculuk özellikleri yüksektir.

En çok kullanılan ağır agrega barittir. (BaSO_4) doğadan %90 aralıkta elde edilir. Barit kırmataş gibi elde edilir ve karışım hesaplarında herhangi bir özel durum yoktur. Ancak karıştırma sırasında ufalanma eğilimi olduğu için karıştırmaya da özen gösterilmelidir. Radyasyona karşı kullanılan betonlarda basınç dayanımı mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır. Aksi halde beton bünyesinde meydana gelen çatlaklardan X ve γ ışınları geçerek betonun kullanım amacına ulaşmasını engelleyebilir ve betonun verimliliğini düşürebilir.

Ağır beton üretiminde şu özelliklere dikkat edilmelidir [12]: Betonun birim ağırlığı 2.800 – 5.000 kg / dm^3 arasında olmalıdır.

- Betonun homojen olmasına dikkat edilmelidir.
- Çatlak meydana gelmemesi için dozaj 0.350 kg / dm^3 ’den büyük w/ç oranı 0.50’den küçük olmalıdır.
- Beton tabaka kalınlığı en fazla 25 cm. olmalıdır. Sıkıştırma yüksek frekanslı vibratörler kullanılmalıdır.
- Ağır betonun dökümünde karıştırıcıların tam kapasite ile doldurulmamaları gerekir, ağır betonun hazırlanması sırasında karıştırma süresi önemlidir. Aşırı karıştırma iri agreganın çöküp taze betonun segregasyonuna yol açar.

Ayrıca betonda çekme gerilmeleri yüksek olursa, gerilmeler nedeniyle oluşan çatlaklardan radyoaktif sızıntıların olacağı muhakkaktır[13].

2.3.1. Agreg

Beton içerisinde kullanılan ve betonun yaklaşık olarak %60-80'ini oluşturan kırmataş, kum-çakıl gibi malzemelere agrega denir. Agregalar doğal (kum-çakıl, kırmataş) ve yapay (yüksek fırın cürufu, genişletilmiş kil, perlit) olmak üzere iki farklı kökene sahiptir. Doğal taş yerine tuğla, kiremit gibi yeteri kadar sert ve sağlam bazı sanayi ürünleri veya atıkları kırma olarak kullanılır. Ancak her mineral kökenli malzeme veya endüstriyel atık, beton agregası olarak kullanılamaz. Agreg

Agreganın kalitesini etkileyen birçok fiziksel ve kimyasal özellikler vardır ki bu özellikler TS 706 EN 12620 standardında belirlenmiştir.

Agregalar özgül ağırlıklarına göre 3'e ayrılırlar.

Çizelge 2. 3. Birim Hacim Kütlelerine Göre Agreg

Agrega Tipi	Birim hacim kütlesi (kg / m^3)
Normal Agreg	2000–3000
Hafif Agreg	≤ 2000
Ağır Agreg	≥ 3000

Radyasyona maruz kalınan yerlerde organları tahrip eden γ ve X ışınlarından korumak için birim ağırlığı $2,6 \text{ kg/dm}^3$ 'den büyük olan betonun üretimine gerek vardır. Bu özellikte bir beton, ancak ağır agregaların kullanılması ile elde edilebilir. Bu maksatla kullanılan belli başlı agregaların cinsleri, bileşenleri ve özgül ağırlıkları aşağıda verilmiştir:

Barit $Ba SO_4$	özgül ağırlık	4.2 kg/dm^3
Magnetit Fe_3O_4	özgül ağırlık	4.6 kg/dm^3
Limonit $2 Fe_2O_3H_2O$	özgül ağırlık	3.7 kg/dm^3
Hematit	özgül ağırlık	$4,9 - 5,3 \text{ gr/cm}^3$
İlmenit	özgül ağırlık	$4,3 - 4.8 \text{ gr/cm}^3$
Çelik saçma ve parçaları	özgül ağırlık	$6,2 - 7,8 \text{ gr/cm}^3$

Ayrıca bor kökenli katkı maddelerinin de beton içerisinde nötron ışınlarını soğurdıkları belirlenmiştir [14]. Ağır betonda kullanılan baritin özgül ağırlığı $4,2 - 4,6 \text{ kg/dm}^3$ olup, sertliği

2,5-3,5 arasındadır. Erime noktası 1580° 'dir. Su içinde ve soğuk asit içinde erimeyen baritin, kaynayan sülfirik asit içerisinde hafifçe eriyebileceği tespit edilmiştir [15]. Kimyasal bileşimi BaSO₄ olan barit en çok bilinen baryum mineralidir. Beyaz, opak veya yarı şeffaf görünümlüdür. İçerdiği demirden dolayı kırmızı ve kahverengi, karbonlu maddelerden dolayı siyah, sarı, kırmızı ve mavi renklerde görülebilir. Metalik olmayan minerallerin en ağır olanıdır. Özgül ağırlığı 4.5 gr/cm³, sertliği 2.5-3.5 arasındadır [16]. Barit, doğada kristal ve amorf yapılı olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. Bileşiminin % 94'ünü genellikle saf BaSO₄, geri kalan kısmı ise silis, demir oksit ve prit teşkil etmektedir. Teknik literatürde bu agregalar bileşimlerinin % 85'inden fazlasının BaSO₄ olması ve özgül kütlelerinin de 4000-4300 kg/m³ arasında olması ile iyi barit olarak adlandırılmaktadır. Bu agregayla üretilen betonların birim kütleleri 2800 kg/m³'ün üzerinde olmaktadır. Ağır beton üretiminde kullanılan barit bileşiminde prit ve kalsiyum sülfatın bulunmaması ancak, bu kayaca daha iyi bir dayanım kazandırdığından, %3 - %5 arasında değişen oranlarda silisin bulunması tercih edilmektedir [17].

2.3.2. Çimento

Öğütülmüş kalkerin, diğer hammaddelerle belirli oranlarda karıştırılıp pişirilmesiyle klinker elde edilmektedir. Klinker, alçı taşı ve diğer katkı maddelerinin karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen toz halindeki bağlayıcıya çimento denir.

Çimento, su ile karıştırıldığında, hidratasyon reaksiyonları ve işlemleriyle priz alarak sertleşebilen ve sertleştikten sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde dahi sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzemedir. Çimentonun beton içerisindeki işlevi; agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevidir.

2.3.3. Karışım Suyu

Su, betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Betonun karılmasında kullanılan karışım suyu, iki önemli görevi yerine getirmektedir:

- * Çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak yağlayıcı etki yaratmak ve böylece betonun kolay karıştırılabilmesini, taze betonun yerleştirilmesini, özetle işlenebilmeyi sağlamak,

- * Toz halindeki çimento taneleriyle birleşerek ortaya çıkan çimento hamurunda hidratasyon denilen kimyasal reaksiyonları sağlamaktır.

Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir.

Beton karma suyu asit niteliğinde olmamalı, sülfat, değişik tuz vb. betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir.

2.3.4. Kimyasal Katkılar

Betonun kullanım amacına ya da yerine göre bazı özelliklerini iyileştirmek için beton içerisindeki çimento miktarı göz önünde bulundurularak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasallar katkı maddesi olarak adlandırılırlar. Katkı maddelerinin pek çoğu karışım suyuna katılır. Gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi yine gereğinden az kullanıldığı takdirde hiç bir faydası olmayabilir. Ancak şunun iyi bilinmesi gerekir ki kurallara uygun üretilmeyen bir betonun özelliklerini katkı maddeleri ile iyileştirmek mümkün değildir. Kurallarına uygun üretilen betonların da katkı maddeleri ile uyumu önceden yapılan deneylerle belirlenmelidir.

2.3.5. Mineral Katkılar

Betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak amacıyla kullanılan ince malzemeler mineral katkı olarak adlandırılırlar. Bu katkıların betona ek dayanım kazandırma özelliği olduğu kadar, betonun durabilite (kalıcılık) anlamında da performansını arttıırırlar. Tüm dünyada ve ülkemizde mineral katkıları zaman içinde her türlü fiziksel, kimyasal ve elektro-kimyasal dış etkilere karşı uzun ömürlü betonarme yapıların üretiminde portland çimentosu veya portland çimentosu klinkeri ile birlikte kullanılmaktadır [18]. Mineral katkı çeşitleri şunlardır:

- Silis dumanı
- Uçucu kül
- Yüksek fırın cürufu
- Tras

3. UYGULAMALAR

3.1. Numunelerin Hazırlanması

Beton karışım hesapları TS 802 standardı dikkate alınarak hazırlanmıştır [19]. Granülometrik eğriye göre ideal miktarları belirlenen agregaya, karışım oranına göre hazırlanan çimentonun ve suyun ilavesiyle numune harcı hazırlanmıştır. W/C oranı göz önünde tutularak nemli toprak kıvamında hazırlanan harç, çökme hunisi ile taze beton kıvam deneyine tabi tutulmuştur. Çökme miktarı 40 mm bulunan harç, yüzeyleri yağlanan kalıplara yerleştirilmiş ve mala ile üst yüzeyleri düzgünleştirilmiştir. Vibrasyon tablasında beton içerisinde boşluk kalmayacak şekilde sarsma işlemine tabi tutulmuştur. 24 saat süresince sıcaklığı $20 \pm 2^\circ\text{C}$ olan nemli laboratuvar ortamında kurutulan numunelerin kalıpları sökülüştür. Kalıptan alınan numuneler, 20°C kirece doymun suyun içerisinde konularak 28 gün bekletilmiştir. Sudan çıkarılan numuneler etüv kurusu halinde 28 günlük ölçümlere hazır hale getirilmiştir.

28 günlük dayanıma sahip numunelerin önce kuru birim ağırlıkları, su altı ağırlıkları ve suya doymun kuru yüzey ağırlıkları bulunmuş, hacimlerinin $0,97\sim 1\text{ dm}^3$ arasında kabul edilebilir değerler arasında kaldığı tespit edilmiştir. Ağırlıkça su emme yüzdeleri de tespit edilen beton numuneleri daha sonra tahribatsız deney metotlarından ultrases ölçme deneyine tabi tutularak PGH ölçümleri yapılmıştır. Son olarak küp numuneler basınç tablasında kırma işlemine tabi tutulmuş ve basınç dayanımları bulunmuştur. Isıl iletkenlik deneyi için $60\times 100\times 20\text{ mm}$ dikdörtgen kesitli numuneler kullanılmıştır. Şekil 3.1.'de küp numuneler görülmektedir.



Şekil 3.1. Deneylerde Kullanılan Küp Numuneler

Radyasyon geçirgenliği ölçülecek şekilde dökülen 35 mm kalınlığındaki numunelerden fazladan dökülen bir tanesi enlemesine kesilerek yapısındaki tane dağılımının düzgünlüğü gözle kontrol edilmiştir. 10 mm ve 35 mm kalınlığındaki diğer numuneler ise radyasyon geçirgenliği testlerine tabii tutulmuştur.

3.1.1. Kullanılan Materyaller

- Normal Agregası: TS 706 EN 12620'e uygun 0-16 mm yıkanmış kırmataş agregası kullanılmıştır.
- Barit Agregası: : Muş ilinden temin edilen barit agregaları kullanılmıştır. Beyaz renkte ve sülfürlü mineraller içeren bu baritin numunelerde zamanla çatlama yapabileceği dikkate alınarak malzemenin kilden arınmış olması şartı göz önünde tutulmuştur.
- Kullanılan baritin TPAO Araştırma Merkezi tarafından yaptırılmış olan test sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1. Barit Test Raporu

Laboratuvar Test No : W-387			Numunenin Geliş Tarihi : 14.09.2004				
Laboratuvar Numune No : 1503			Testin Bitiş Tarihi : 17.09.2004				
Numunenin Tarihi : 1 Ad Barit Num.			Numunenin Menşei : MTA Genel Müd.				
			İmalatçı Firma : Muş End.Dış Tic.A.Ş.				
Test Sebebi : MTA Genel Müdürlüğü'nün 14.09.2004 tarihli yazısı							
Numune No	Özgül Ağırlık	Suda Çözünen Katı	Elek Üstü Kalıntısı		Suda Çözünen Toprak Alkali Metaller	Performans Testi	
			200 Mesh	325 Mesh		Jips İlave Etmeden Önce	2.5 gr Jips İlave Edildikten Sonra
	gr/cm ³	% Ağır.	% Ağır.	% Ağır.	(ppm Ca)	AV(cp)	AV(cp)
1	4.27	0.056	1.6	5.3	2.8	93	103
AÇIKLAMALAR:							
Barit Numunesinin TS 919'a göre belirlenmesi istenen özellikleri yukarıda belirtilmiştir.							

- Çimento: Beton numuneleri için Elazığ Çimento Fabrikasında üretilen ve TS 22-2 EN 413-2' e uygun CEM I 42,5 portland çimentosu kullanılmıştır [20].

- Beton Karma Suyu: Beton numunelerinin yapımında Elazığ şebeke suyu kullanılmıştır. Yüksek W/C oranında betonun boşluklu yapısı artacağından, radyasyon geçirgenliğinin de artacağı muhakkaktır. Gereğinden düşük W/C oranı ise betonun basınç dayanımını düşürür. Karışım suyu oranı için 0.50 W/C oranı kullanılmıştır.

Numune Kalıpları: Oluşturulacak küp numuneler için iç boşluğu 100x100x100 mm döküm kalıplar, radyoaktivite testleri içinse 200x200x10 mm ve 300x300x35 mm plastik kalıplar kullanılmıştır.

Toplamda; 1x11 adet 60x100x20mm dikdörtgen numune (Isıl iletkenlik deneyi),

3x6 adet 100x100x100mm küp numune (Diğer fiziksel deneyler),

2x6 adet 200x200x10 mm plak numune (Radyoaktivite ölçümü),

3x6 adet 300x300x35 mm plak numune (Radyoaktivite ölçümü) hazırlanmıştır.

- Terazi: Numune ağırlıklarının ölçümünde 0,1 gr hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır.

- Ultrases Ölçme Cihazı (PGH Ölçüm Cihazı): Beton numunelerin karşılıklı iki yüzeyine tutulan diskler üzerinden betona ultrases akım verilerek, geçiş süresi cihaz üzerinden mikro saniye olarak okunmuştur. Bu deney, ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılmıştır [21].

- Isı İletim Katsayısı Ölçme Cihazı(Shoterm QTM-D2): Dokuz Eylül Üniversitesi ısı laboratuvarında bulunan, “Hot Wire” yöntemiyle çalışan ve 0.02-10 W/m.K aralığındaki ısı iletim katsayısını ölçebilen cihazla yapılmıştır.

- Dozimetri Cihazı: Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde yapılan radyasyon ölçümlerinde standart dozimetri cihazı ve Segatech CNC bilgisayar programı kullanılmıştır. Radyasyon geçirgenliğinde kullanılan dozimetri cihazı Şekil 3.2.’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Standart Dozimetri Cihazları

- Diğer Cihazlar: Laboratuvar aşamasında kullanılan cihazlar etüv, slump deney aleti, TS 1227 ISO 3310-1'e uygun kare gözlü elekler, cam balon, mikser, basınç ölçüm aleti vb. gibi malzemeler deneylerde kullanılmıştır. Şekil 3.3.'de basınç tablası görülmektedir.

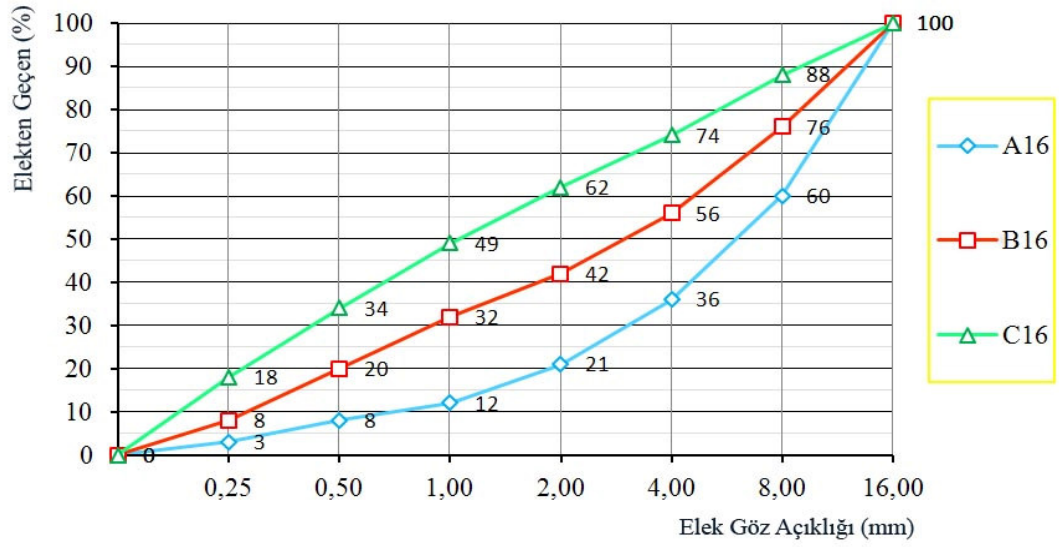


Şekil 3.3. Basınç Ölçüm Aleti

3.1.2. Elek Analizi Deneyi ve Agrega Dağılımının Tayini (Granülometri)

X ekseninde elek açıklıklarının, Y ekseninde ise %'lerin belirtildiği, farklı beton türlerine göre ideal ve ideal olmayan agreganın karışım yüzdelerinin gösterildiği eğriye granülometrik eğri denir. TS 706 EN 12620'deki kare elek açıklıkları büyükten küçüğe doğru 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm'dir.

Agrega karışımının boşluğunun en az, diğer bir ifade ile kompaktitenin en fazla olması istenir. Böylelikle betonda hem sağlam bir taşıyıcı iskelet oluşması, hem de boşlukları dolduracak çimento hamurunun azalması gerçekleştirilebilir [22]. Elek analizi ile, beton yapımında kullanılacak doğal veya yapay agregaların tane büyüklüğü dağılımı, tane sınıfları ve incelik modülü belirlenir. Elek analizi TS 3530 EN 933-1 ve TS 130'daki standarda göre yapılır. TS 706 EN 12620'e göre en büyük tane çapına bağlı olarak granülometrik eğrinin Şekil 3.4.'deki A16 ve B16 eğrileri arasında bulunması gerekmektedir [23], [24].



Şekil 3.4. En büyük tane çapına bağlı olarak agregat granülometri sınır eğrileri [25].

Laboratuar şartlarındaki ağır beton numuneleri için TS 706 EN 12620, TS 1226 ISO 3310-2 ve TS 1227 ISO 3310-1'e göre en büyük tane büyüklüğünün 16 mm olduğu belirlendiğinden, bu çalışmanın granülometrik karışımında Şekil 3.4.'deki Dmax: 16 mm için ideal kabul edilen B16 eğrisi dikkate alınmış ve buna göre gerekli agregat sınıfları ve miktarları bulunmuştur. Şekil 3.5.'de barit agregalarının tane büyüklüğüne göre ayırıştırma işlemi, Çizelge 3.2.'de ise kullanılan agregaların granülometrik verileri bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Agregaların Elek Analizine Tabi Tutulması

Çizelge 3.2. 1000 gr'lık karışım için kullanılacak agrega miktarları

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Elek Üzerinde Kalan Küm. (gr)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Elek Üzerinde Kalan Küm. (%)	Elekten Geçen (%)
16,0	0	0	0	0	100
8,0	240	240	24	24	76
4,0	200	440	20	44	56
2,0	140	580	14	58	42
1,0	100	680	10	68	32
0,50	120	800	12	80	20
0,25	120	920	12	92	8
Kap	80	1000	8	100	0

Karışım miktarları hem normal agregası, hem de barit agregası için ayrı ayrı bulunarak çeyreklemeye metoduyla kendi içinde karılmıştır.

3.1.3. Beton Karışım Hesaplarının Yapılması

İyi bir beton için öncelikle iyi bir beton harcı hazırlanması gereklidir. Betonda aranan özellikler göz önünde bulundurularak beton harcı için gerekli W/C oranı, agregası miktarı, çökme miktarı, mukavemetine uygun çimento türü ve dozajı, varsa ilave katkı maddeleri ve oranları tespit edilir.

Bu çalışmada beton karışım oranlarının tespiti için öncelikle yapılacak numunelerin barit-normal agregası oranları tespit edilmiştir. Bu oranlar yüzdesel olarak belirlenmiş, daha sonra bu değerlere karşılık gelen agregası ağırlıkları bulunmuştur. 1 dm³ numune betonu için hazırlanan agregası miktarları Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneyde kullanılan agregası miktarları

gr/dm ³	Kontrol Betonu	BA +10 NA -10	BA +20 NA -20	BA +30 NA -30	BA +40 NA -40	BA +50 NA -50	BA +100 NA -100
Barit Agregası	0	260.4	520.8	781.2	1041.6	1302	2604
Normal Agregası	1687	1517.5	1348.9	1180.2	1011.7	843	0

Gereğinden fazla su ihtiva eden betonların yapısındaki boşluk miktarı artacağından hem betonun basınç dayanımı düşmekte, hem de radyasyon geçirgenliği artmaktadır. Gereğinden az kullanılan karışım suyu ise, betonda çatlaklara sebep olmakta ve yine betondan yeterli verim alınamamaktadır.

Numunelerin W/C oranı 0.50 olarak tayin edildiğinde slump deneyinde 4 cm çökme elde edilmiş, numunelerin vibrasyona tabi tutulacağı göz önünde bulundurulduğundan alınan değer ideal görülmüştür. Şekil 3.1.3.'de slump deneyinden bir görünüş verilmiştir. Slump deneyi TS EN 12350-2'ye uygun yapılmıştır [26].



Şekil 3.6 Slump deneyi

İlgili numunenin içeriğine göre belirlenen oranlarda barit agregası, normal agregası ve çimento karıştırılarak homojen hale getirilmiş, karışım suyunun ilavesiyle numune harçları hazırlanmıştır.

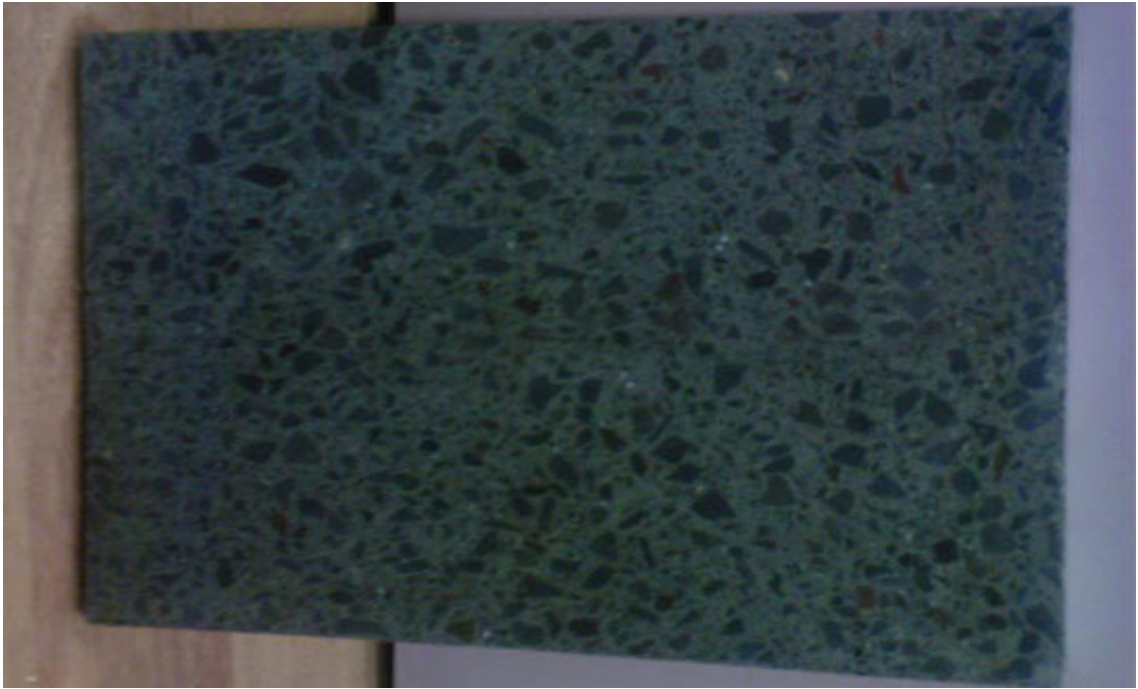
Fiziksel özellikleri incelenecek olan numuneler için döküm kalıplar yağlanarak, çimento harçları bu kalıplara doldurulmuş ve vibrasyona tabi tutulmuştur. Radyoaktif geçirgenliği ölçülecek numuneler içinse plastik kalıplar yağlanarak, çimento harçları şişlenerek bu kalıplara doldurulmuştur.

3.1.4. Numunelerin Dökülmesi ve Saklanması

Fiziksel özellikleri incelenecek olan numuneler için döküm kalıplar yağlanarak, çimento harçları kalıplara doldurulmuş ve vibrasyona tabi tutulmuştur. Radyoaktif geçirgenliği ölçülecek numuneler içinse plastik kalıplar yağlanmış, çimento harçları şişlenerek kalıplara doldurulmuştur.

Laboratuarda hazırlanan numuneler, oda sıcaklığında 24 saat kalıp içinde bekletilmiştir. 24 saat sonra yeterli dayanıma ulaşan betonlar kalıplardan çıkarılarak, su tankına konulmuştur. 28 gün sonunda sudan çıkarılan numuneler etüvde kurutularak ölçüme hazır hale gelmişlerdir.

Numuneler üzerinde gözle yapılan incelemede herhangi bir çatlak, kırık, dökük, zedelenme izine rastlanmamıştır. Fazladan dökülen bir beton numunesi enlemesine ikiye kesilerek tane dağılımı incelenmiş, beton içerisinde homojen bir dağılım olduğu ve boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Şekil 3.4.'de kesilen numune ve betonun iç yapısı görülmektedir.



Şekil 3.7. Beton numunesinin iç yapısı

3.2. Numunelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesi

Bu bölümde küp ve dikdörtgen kalıplarda hazırlanan numunelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri ölçülmüş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak tablo ve grafiklerle verilmiştir.

3.2.1. Su Altı ve Doygun Yüzey Kuru Ağırlık, Kuru Ağırlık, Hacim, Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Yüzdelerinin Ölçülmesi

Numunelerin suya doymuş ağırlıkları sudan çıkarıldıktan hemen sonra, etüve konmadan önce 0.1 gr hassasiyetli terazi ile ölçülmüştür. Daha sonra numuneler 24 saat $110 \pm 5^\circ\text{C}$ etüve bekletilerek kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Şekil 3.8.'de görülen su altı ağırlığı ölçme terazisi ile betonların su altındaki ağırlıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. Su altı ağırlığı ölçme terazisi

1 dm³ olarak dökülen küp numunelerin hacimleri aşağıdaki formülle hesaplanarak Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

$$V = \frac{a-b}{998} \times 1000$$

V: Hacim

a: Numunenin doymuş yüzey havadaki ağırlığı

b: Numunenin doymuş yüzey su altındaki ağırlığı

Kuru birim hacim ağırlıklarının hesaplanmasında aşağıdaki formülden faydalanılmıştır.

$$c = g / V$$

c: Numunenin kuru birim hacim ağırlığı

g: Numunenin kuru ağırlığı

Numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri hesaplanırken ise aşağıdaki formül kullanılmıştır.

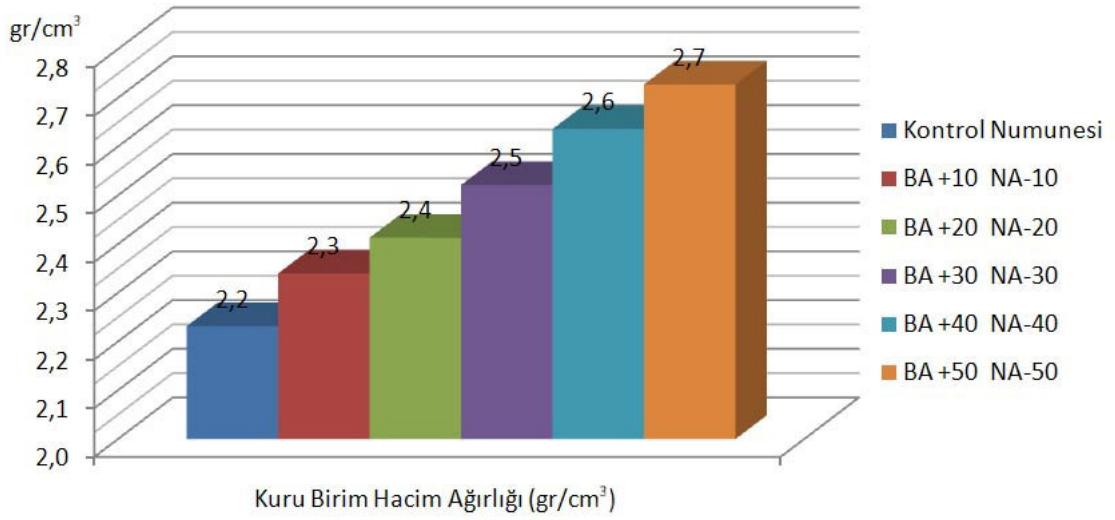
$$d = \frac{a - g}{g} \times 100$$

d: Numunenin ağırlıkça su emme yüzdesi

Çizelge 3.4. Numunelerin Su Altı ve Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı, Kuru Ağırlık, Hacim, Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Yüzdeleri

Numuneler/Deneyler	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Su Altı Ağırlığı (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr)	Su Emme Yüzdesi (%)
Kontrol Numunesi	2377,5	1379,5	2231,5	1000	2,2	6,5
BA +10 NA -10	2428,8	1454,2	2284,8	976,6	2,3	6,4
BA +20 NA -20	2511,5	1535,2	2360,5	978,3	2,4	6,3
BA +30 NA -30	2647,2	1658	2499	991,2	2,5	5,9
BA +40 NA -40	2761	1770,8	2615,5	992,2	2,6	5,6
BA +50 NA -50	2852,8	1862,8	2705,7	992,0	2,7	5,4
Numuneler/Formüller	a	b	g	$V = \frac{(a-b)}{998} \times 1000$	$C = g/v$	$d = \frac{(a-g)}{g} \times 100$

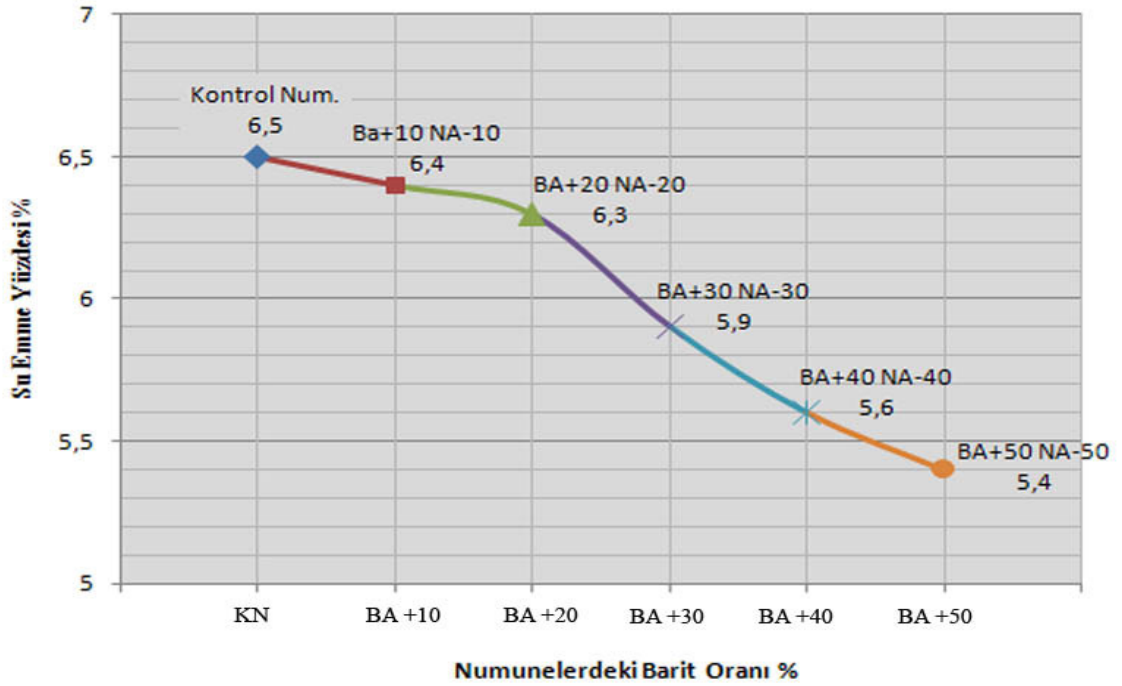
Sonuçlar incelendiğinde baritin birim ağırlığının fazla olmasından kaynaklanan farkın betona da orantısal olarak yansıdığını görmekteyiz. Barit kullanılmadan yapılan kontrol numunesinin suya doymuş ağırlığı, su altı ağırlığı ve kuru ağırlığı diğer numunelere nazaran en düşüktür. Numunedeki barit oranı arttıkça doğru orantılı olarak beton ağırlığı artmaktadır. Bu artış karşısında numunelerin kuru birim hacim ağırlığındaki değişim Şekil 3.9.'daki gibi muntazam bir artan grafik çıkarmıştır.



Şekil 3.9. Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Numunelerin su emme yüzdeleri arasındaki ilişki daha düzensiz bir seyir izlemiştir. Baritli numunelerin su emme yüzdeleri Çizelge 3.5.'de görüldüğü gibi azalan bir eğriyle kontrol numunesinin altında kalmıştır.

Çizelge 3.5. Numunelerin Su Emme Yüzdelerinin Karşılaştırılması



Numunelerin özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini deneyleri TS 3624'e uygun olarak yapılmıştır [27].

3.2.2. Ultrases Hızlarının(PGH) Ölçülmesi

Bu deney yöntemi ile ilgili teknikler ve test cihazının özellikleri kullanım yöntemleri, ASTM C 597 no'lu standartta belirtilmektedir [28]. PGH (ultrases) ölçümü özel bir elektronik cihazla yapılır. Bu cihaz, beton bloğunun bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalgaların diğer bir yüzeye ulaşınca kadar geçen süreyi ölçüp dalga hızını hesaplanmaktadır. Bulunan ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilebilmektedir. Deneylerde kullanılan PGH ölçüm cihazı Şekil 3.10.'da görülmektedir.

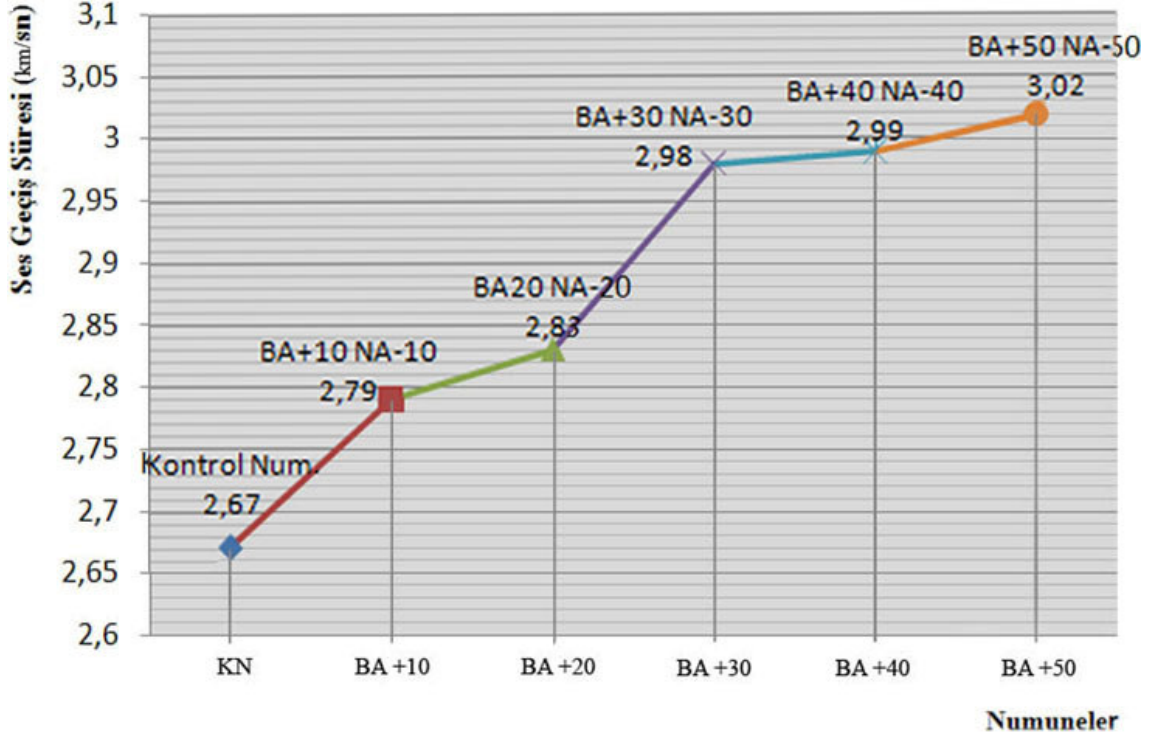


Şekil 3.10. PGH (Ultrases) Ölçüm Cihazı

PGH ölçüm deneyine başlamadan metal başlıklara gres yağı sürülerek birbirine yapıştırılır ve test ölçümü yapılır. Alet sıfırlandıktan sonra yapılan ölçümde okunan değer 27,3 mikro saniye olmalıdır. Ölçüm yapılan beton donatısız beton olmalıdır.

Cihaz açılarak metal başlıklardan biri dalga gönderici olarak numunenin bir yüzüne tamamen temas edecek şekilde elle bastırılır. Numunenin diğer yüzüne de, diğer metal başlık dalga alıcı olarak elle bastırılır. Ultrasonik test cihazı, ses üstü dalgaların, dalga gönderici ve alıcı başlıklar arasındaki bir mesafeyi ne kadar zamanda geçtiğini mikro saniye birimiyle otomatik olarak belirlemekte ve cihazın üzerindeki ekranda göstermektedir. Okunan bu değerler Çizelge 3.6.'da grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. PGH Ölçüm Sonuçları



100x 100x100 mm küp numuneler üzerinde doğrusal iletim şeklinde yaptığımız ölçüm sonucunda bulunan dalgaların geçiş hızları grafikte görülmektedir. Bulunan değerler bize betonun doluluk oranı ve bununla birlikte dayanım, dayanıklılık vb. özellikleri hakkında bilgiler vermektedir. Ultrases geçiş hızı ne kadar yüksekse boşlukta o kadar az demektir.

3.2.3. Isıl İletkenliklerinin Ölçülmesi

Ağırlıklı olarak ısı iletim problemlerinin çözümünde, özellikle endüstri de, ısıtma, havalandırma, soğutma tekniğinde, pratik hesaplar için malzemelerin ısı iletim katsayılarının bilinmesi önemlidir. Aynı zamanda ısı iletim katsayısı, malzemenin içyapısıyla ilgili bilgi vermesi açısından da önem taşır. Örneğin yapılarda kullanılan malzemelerden hafif betonun ısı iletim katsayısı 0.75 W/m.K 'nın altında, bununla beraber yoğunluğu da 1600 kg/m³'den düşüktür. Malzemenin boşluklu yapısının ısı iletimini yavaşlattığı düşünüldüğünde ısı iletim katsayısı ile yoğunluk arasında doğru orantı olduğu söylenebilir. Bu durumda yapısal boşluğu az, yoğunluğu yüksek bir malzeme olan ağır betonun ısı iletim katsayısının yüksek olması beklenir. Yapılan deneylerde farklı oranlarda baritle yapılan ağır betonun ısı iletim katsayısı araştırılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda numunelerin homojenliği hakkında da bilgi verir.

Homojen bir malzemenin ısı iletkenliği, dengeye ulaşmış şartlar altında, iki yüzey sıcaklığı arasındaki fark 1 °C olduğu zaman, birim zamanda, birim alan ve bu alana dik

doğrultudaki birim kalınlıktan geçen ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Isı iletkenlik katsayısı “k” ile gösterilir. Birimi “kcal.m/m²h°C”dir. Fourier denkleminden ısı iletim katsayısını çekildiğinde,

$k = (Q.L) / A.(T_1 - T_2)$ [kcal/m.h°C] olur. Burada,

Q : Isı akışı (kcal/hm²)

A : Isı akımına dik yüzey alanı (m²)

L : Malzeme Kalınlığı (m)

T₁, T₂ : Sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları (°C)

Çeşitli malzemelerin ısı iletkenliğinin ölçümü, kararlı durumlarda ve geçiş durumunda olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır.

Kararlı durumda, ısıtılmış bir o,plakanın iki tarafına simetrik olarak yerleştirilmiş levha şeklindeki numunenin ortalama ısı iletkenliği bulunur.

Geçiş durumunda ölçüm yapan cihazlar ise daha küçük boyutlardaki numunelerin ısı iletkenliğini daha kısa sürede tespit edebilmektedirler. Geçiş yöntemlerinin başlıcaları Angstrom yöntemi, Flash yöntemi ve Hot Wire yöntemidir.

Hot Wire yönteminde, prob üzerindeki ısıtıcı tel, probun içinde mevcut olan ve ısı iletkenliği bilinen iyi yalıtılmış malzeme ile numune arasına yerleştirilir. Cihaz, içerisindeki micro computer ile gerekli hesaplamaları yaparak, malzemenin belirli bir sıcaklık değeri için ısı iletkenliğini ekranda rakamsal olarak verir. Deneylerde kullanılan QTM cihazı Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Hot Wire Yöntemiyle Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı

Ölçüme başlamadan önce cihaz üzerindeki Heater düğmesi 0,5'e ayarlanarak ısınması için yaklaşık 45 dk beklenir. Mode düğmesi CAL konumuna getirilir ve sıfır ayarı yapılır. Göstergenin 0,98-1,020 arasında olup olmadığı kontrol edilir. Numunelerin yaklaşık ısı iletim katsayısından tahminle cihazın ölçüm ayarı Çizelge 3.7.'den bulunur.

Çizelge 3.7. Hot Wire Cihazı Ölçüm Ayarları

Isı İletkenliği (W/m.K)	Hetaer	Mode
0,02 – 0,05	0,5	Low
0,05 – 0,1	1	Low
0,1 – 0,3	2	Low veya High
0,3 – 2,0	4	High
2,0 ve üzeri	8	High

Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra malzemenin ve probun yüzeyi temizlenir. Oda sıcaklığında deneylere başlanır. Prob malzemenin üzerine yerleştirilerek 2 dakika kadar beklenir. Sıfırlanan cihazda start düğmesine basarak ölçüm işlemi başlatılır. Isıl iletkenlik ve sıcaklık kaydedilir. Prob metal bir kütle üzerine alınarak ışık sönene kadar yaklaşık 5 dakika kadar soğumaya bırakılır.

Bu ölçüm için 60x120x20 mm ebatlarında, biri kontrol numunesi olmak üzere 10 farklı barit oranında(%10, %20, %30, ..., %100 arası) hazırlanan 11 adet numune kullanılmıştır.

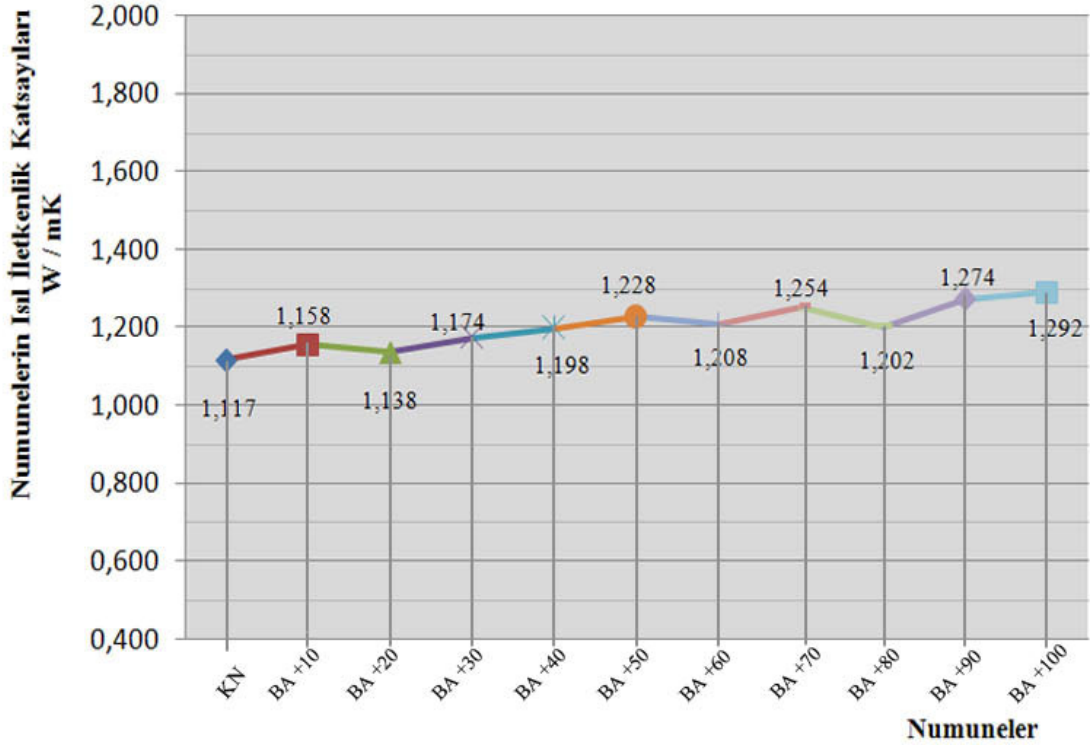
Aynı numune için yeterli sayıda ölçüm alındıktan sonra ortalamaları hesaplanmış, numune ölçümleri sırasında belirli aralıklarla alınan kalibrasyon kontrol malzemesinin ölçümüne göre sapmalar hesaplanarak ortalama değerler üzerine eklenmiştir. Bu çalışma için bulunan ısıl iletkenlik katsayıları Çizelge 3.8 ve 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Numunelerin Isı İletkenlik Katsayıları

Kontrol Betonu	BA+10 NA-10	BA+20 NA-20	BA+30 NA-30	BA+40 NA-40	BA+50 NA-50	BA+60 NA-60	BA+70 NA-70	BA+80 NA-80	BA+90 NA-90	BA+100 NA-100
1,117 W/m.K	1,158 W/m.K	1,138 W/m.K	1,174 W/m.K	1,198 W/m.K	1,284 W/m.K	1,208 W/m.K	1,254 W/m.K	1,202 W/m.K	1,274 W/m.K	1,292 W/m.K

Numunelerin ısıl iletkenliklerinin ölçülmesinde TS EN ISO 6946'den faydalanılmıştır [29].

Çizelge 3.9. Numunelerin Isı İletkenlik Katsayılarının Tablo ile Gösterilmesi



3.2.4. Basınç Dayanımının Ölçülmesi

Betonun basınç dayanımı, “eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme)” olarak tanımlanmaktadır. “Standart deney yöntemi” , betonun basınç dayanımının bulunabilmesi için, günümüzde de kullanılmakta olan en önemli deney yöntemidir. Belirli yaşlardaki beton numunelerin birim alanının taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karşıyla üretilen betonun gerçek uygulamadaki elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir yürütülebilmesi amacıyla yapılmaktadır.

Betonun kabul veya reddedilmesi için teslim alınan betonun basınç dayanımının araştırılması, standart deney yöntemine uygun olarak yapılmaktadır. Standartlara uygun olarak hazırlanmış olan küp beton numunemizin boyutları kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Etiketini bize bakacak şekilde 100 kg hassasiyetindeki 200 ton’luk prese yerleştirilmiştir. Yükleme hızı darbe etkisi yapmayacak şekilde 3 kN/s 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 (F) okunmuştur. En az 3 numunenin basınç dayanımları ortalaması alınarak beton basınç dayanımları hesaplanmıştır. Şekil 3.12.’de basınç deneyinden bir görünüş verilmiştir.

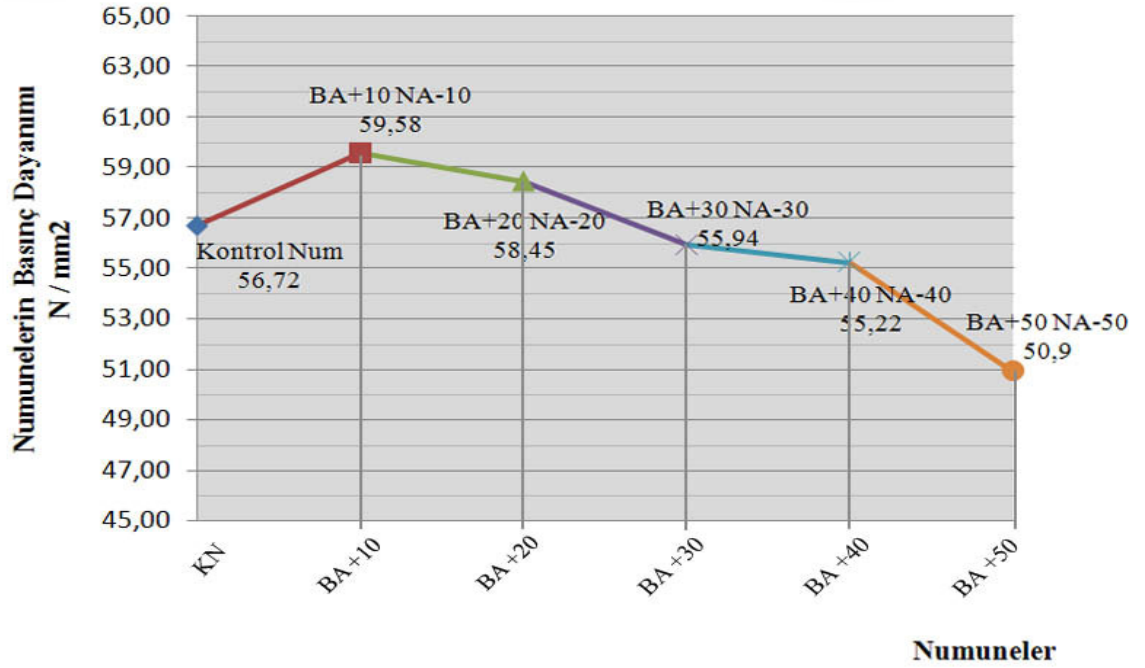
Numune boyutu: 10 x 10 x 10 cm= 1 dm³



Şekil 3.12. Basınç Deneyinin Yapılması

Numunelerin basınç dayanımlarının tayininde TS 3114'den faydalanılmıştır [31]. Deney sonuçları Çizelge 3.10.'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımları



Şekil 3.13’de küp numunelerin basınç dayanımlarının ölçümü sırasında meydana gelen gözle görünür fiziksel ve yapısal değişiklikler izlenmektedir.



Şekil 3.13. Küp Numunelerin Ölçüm Sonrası Görünümü

3.3. Numunelerin Radyasyon Geçirgenliğinin Ölçülmesi

Radyasyonun zararlarına karşı önlem alabilmek için, malzemelerin radyasyon geçirgenliklerinin ölçülmesine ihtiyaç vardır. Malzemelerin radyasyon geçirgenlikleri ölçüldüğünde koruyucu olabilecek malzemeler ortaya çıkmakta ve radyoaktif maddelerden korunmada en etkili malzemenin hangisi olduğu belirlenebilmektedir.

Malzemelerin radyasyon geçirgenlikleri, bazı paket bilgisayar programlarıyla yaklaşık olarak tahmin edilebildiği gibi, kesin sonuçlar için çeşitli filtrelerden geçen farklı ışınların teşkil ettiği dozimetri cihazları kullanılmaktadır.

Bu cihazlarda kullanılan filtrelerin içinde kullanılan koruyuculardan bazılarının ve standart betonun lineer enerji katsayıları Çizelge 3.11.’de verilmiştir [31].

Çizelge 3.11.Lineer Enerji Katsayıları, m (1/cm)

Malzeme	Yoğunluk g/cm ³	Enerji (keV)							
		100	150	200	300	500	800	1000	1500
Al	2,7	0,435	0,362	0,324	0,278	0,227	0,185	0,166	0,135
Fe	7,9	2,72	1,445	1,09	0,838	0,655	0,525	0,47	0,383
Cu	8,9	3,8	1,83	1,309	0,96	0,73	0,581	0,52	0,424
Pb	11,3	59,7	20,8	10,13	4,02	1,64	0,945	0,771	0,579
Beton	2,35	0,397	0,326	0,291	0,251	0,204	0,166	0,149	0,122

Bu çalışmada kullanılan numunelerin radyasyon geçirgenlikleri Türkiye Atom Enstitüsü Kurumu’nda standart dozimetri cihazlarıyla ölçülmüştür. Her ışın türü için verilecek ışının yoğunluğuna göre bir filtre seçilmiştir. Bu filtre kaynaktan çıkan ışının ortalamanın dışında kalan yüksek ve en düşük enerjilerini yutar.(Şekil 3.15.) Kalan enerji, önce filtreden, sonra numunenin içinden geçer. Geçen ışın miktarı numunenin önündeki dedektör tarafından okunur ve dozimetri cihazında sayısal değer olarak görülür.

Deneysel çalışmalar kapsamında X ışın kaynağında, Cs-137 ışın kaynağında ve Co-60 ışın kaynağında yapılan okumaların sonuçları aşağıda çizelgeler halinde ve grafiklerle verilmiştir.

Çizelge 3.12. Normal Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları

BETON					
Malzeme Kalınlığı (cm)	X - IŞINI ENERJİLERİ			RADYO İZOTOPLAR	
	100 kV (85 keV)	150 kV (118 keV)	200 kV (164 keV)	Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1250 keV)
0	0,1547	1,255	0,165	0,12	185,2
10	0,107	0,989	0,138	0,109	170,0
20	0,070	0,754	0,109	0,099	155,0
35	0,038	0,534	0,078	0,085	144,4
70	0,005	0,173	0,027	0,055	103,2
105	0	0,048	0	0,03	71,6
Lineer zayıflama katsayısı, μ (1/cm)	0,040	0,025	0,021	0,010	0,009

Çizelge 3.13. %10 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları

BARİTLİ BETON (B10)					
Malzeme Kalınlığı (cm)	X - IŞINI ENERJİLERİ			RADYO İZOTOPLAR	
	100 kV (85 keV)	150 kV (118 keV)	200 kV (164 keV)	Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1250 keV)
0	0,1547	1,255	0,165	0,12	185,2
10	0,074	0,856	0,126	0,109	171,0
20	0,033	0,530	0,090	0,097	155,0
35	0,009	0,288	0,054	0,080	141,6
70	0	0,0485	0,0115	0,050	96,0
105	0	0,004	0	0,025	62,8
Lineer zayıflama katsayısı, μ (1/cm)	0,074	0,043	0,027	0,011	0,009

Çizelge 3.14. %20 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları

BARİTLİ BETON (B20)					
Malzeme Kalınlığı (cm)	X - IŞINI ENERJİLERİ			RADYO İZOTOPLAR	
	100 kV (85 keV)	150 kV (118 keV)	200 kV (164 keV)	Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1250 keV)
0	0,1547	1,255	0,165	0,12	185,2
10	0,052	0,725	0,116	0,109	170,9
20	0,015	0,391	0,0765	0,097	154,7
35	0,002	0,160	0,039	0,080	140,4
70	0	0,0155	0,006	0,050	95,2
105	0	0,001	0	0,025	59,6
Lineer zayıflama katsayısı, μ (1/cm)	0,109	0,058	0,038	0,011	0,009

Çizelge 3.15. %30 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları

BARİTLİ BETON (B30)					
Malzeme Kalınlığı (cm)	X - IŞINI ENERJİLERİ			RADYO İZOTOPLAR	
	100 kV (85 keV)	150 kV (118 keV)	200 kV (164 keV)	Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1250 keV)
0	0,1547	1,255	0,165	0,12	185,2
10	0,029	0,55	0,100	0,107	169,1
20	0,008	0,252	0,061	0,096	152,5
35	0,001	0,093	0,030	0,08	136,8
70	0	0,003	0,003	0,045	92,0
105	0	0	0	0,02	58,8
Lineer zayıflama katsayısı, μ (1/cm)	0,167	0,080	0,050	0,012	0,010

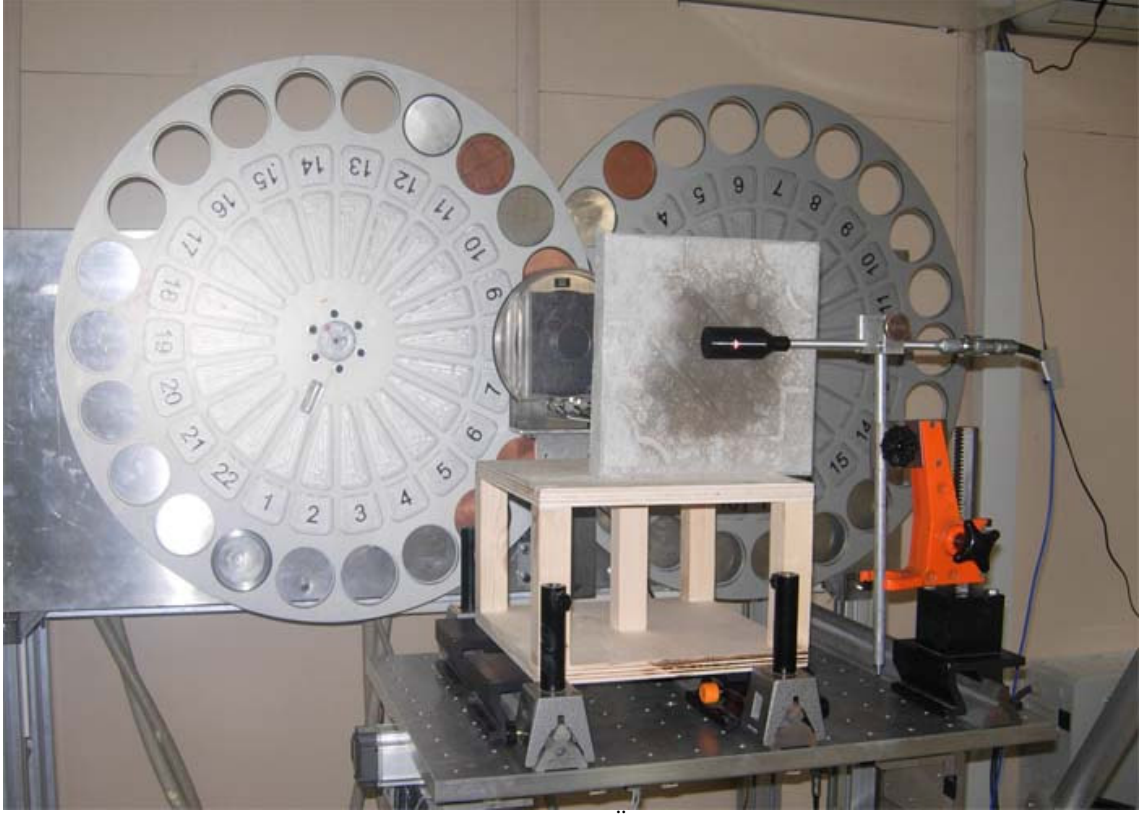
Çizelge 3.16. %40 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları

BARİTLİ BETON (B40)					
Malzeme Kalınlığı (cm)	X - IŞINI ENERJİLERİ			RADYO İZOTOPLAR	
	100 kV (85 keV)	150 kV (118 keV)	200 kV (164 keV)	Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1250 keV)
0	0,1547	1,255	0,165	0,12	185,2
10	0,023	0,482	0,095	0,108	169,1
20	0,003	0,197	0,052	0,094	151,3
35	0	0,0505	0,018	0,075	136,4
70	0	0,002	0,001	0,045	88,4
105	0	0	0	0,025	56,0
Lineer zayıflama katsayısı, μ (1/cm)	0,191	0,093	0,058	0,014	0,010

Çizelge 3.17. %50 Baritle Yapılan Betonun Radyasyon Geçirgenliği Ölçüm Sonuçları

BARİTLİ BETON (B50)					
Malzeme Kalınlığı (cm)	X - IŞINI ENERJİLERİ			RADYO İZOTOPLAR	
	100 kV (85 keV)	150 kV (118 keV)	200 kV (164 keV)	Cs-137 (662 keV)	Co-60 (1250 keV)
0	0,1547	1,255	0,165	0,12	185,2
10	0,015	0,415	0,0885	0,107	168,0
20	0,002	0,131	0,043	0,093	149,1
35	0	0,026	0,013	0,07	131,6
70	0	0	0	0,04	86,0
105	0	0	0	0,02	52,8
Lineer zayıflama katsayısı, μ (1/cm)	0,233	0,113	0,067	0,013	0,011

Kısa dalga boylu ve yüksek enerjili X ışınlarının tıp alanında kullanımı günümüzde oldukça yaygındır. Kemoterapi sırasında hasta hücreleri öldürerek hastalığın yayılmasını önlediği gibi röntgen cihazlarında teşhis edici olarak da kullanılmaktadır. Şekil 3.14.'de X ışınları ölçüm cihazı ve Şekil 3.15.'de X ışınları dozimetri cihazları görülmektedir.

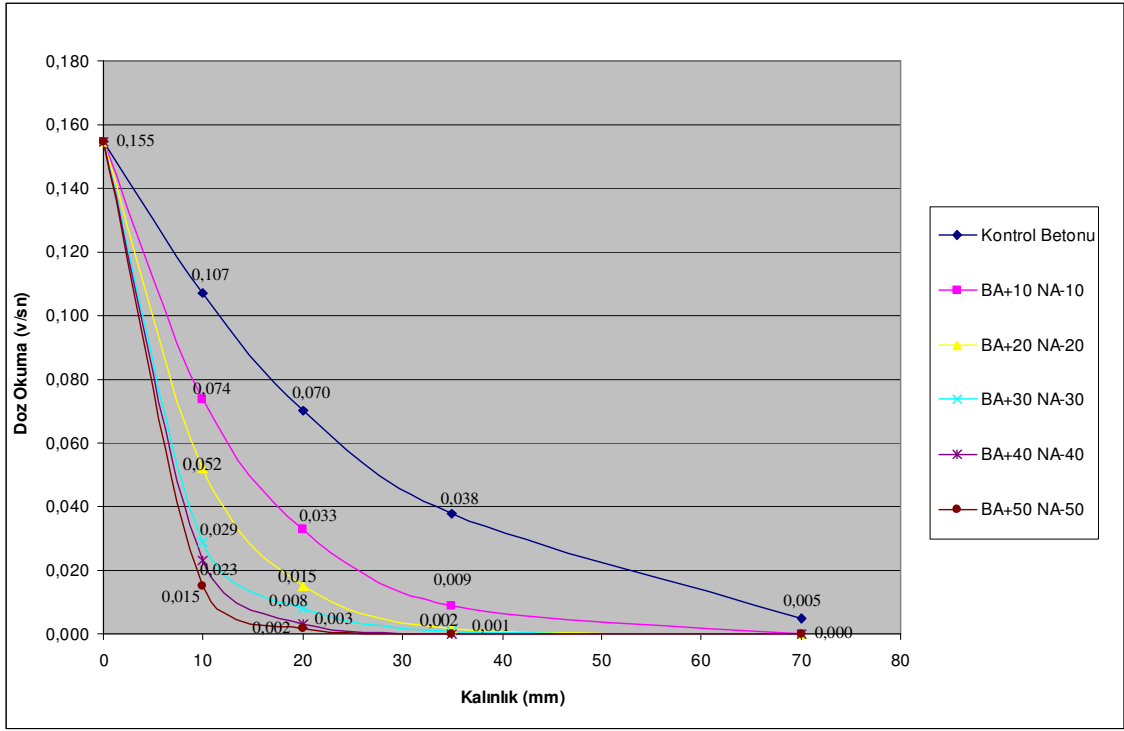


Şekil 3.14. X Işınları Ölçüm Cihazı

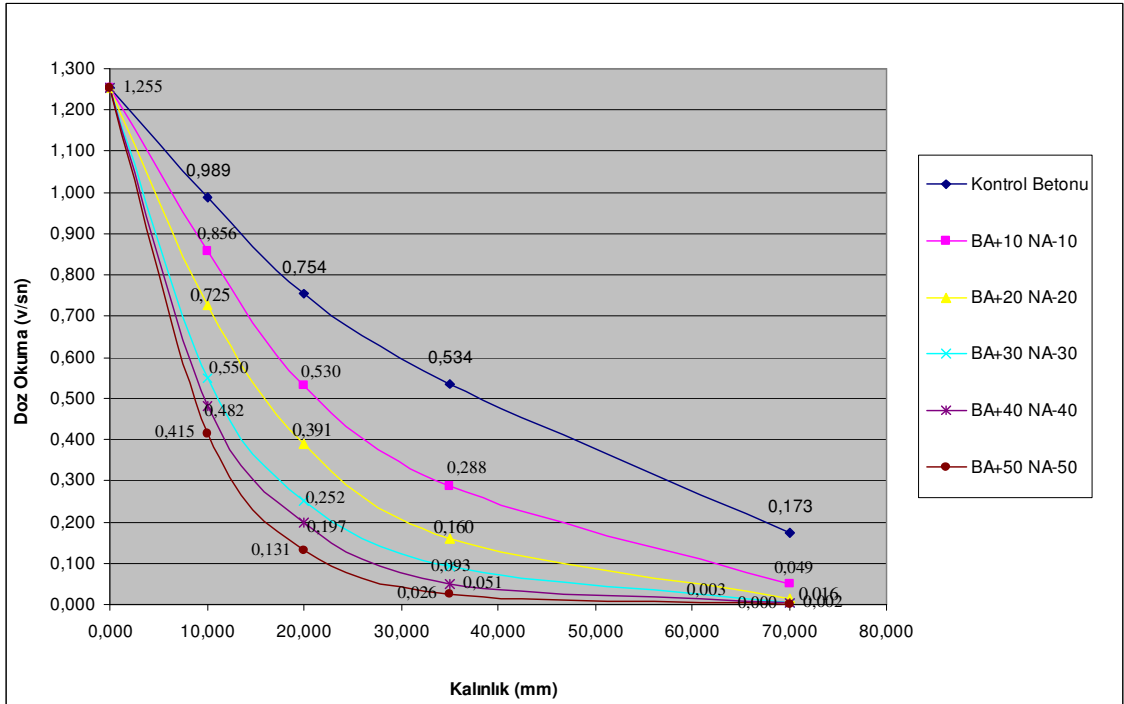


Şekil 3.15. X Işınları Dozimetri Cihazları

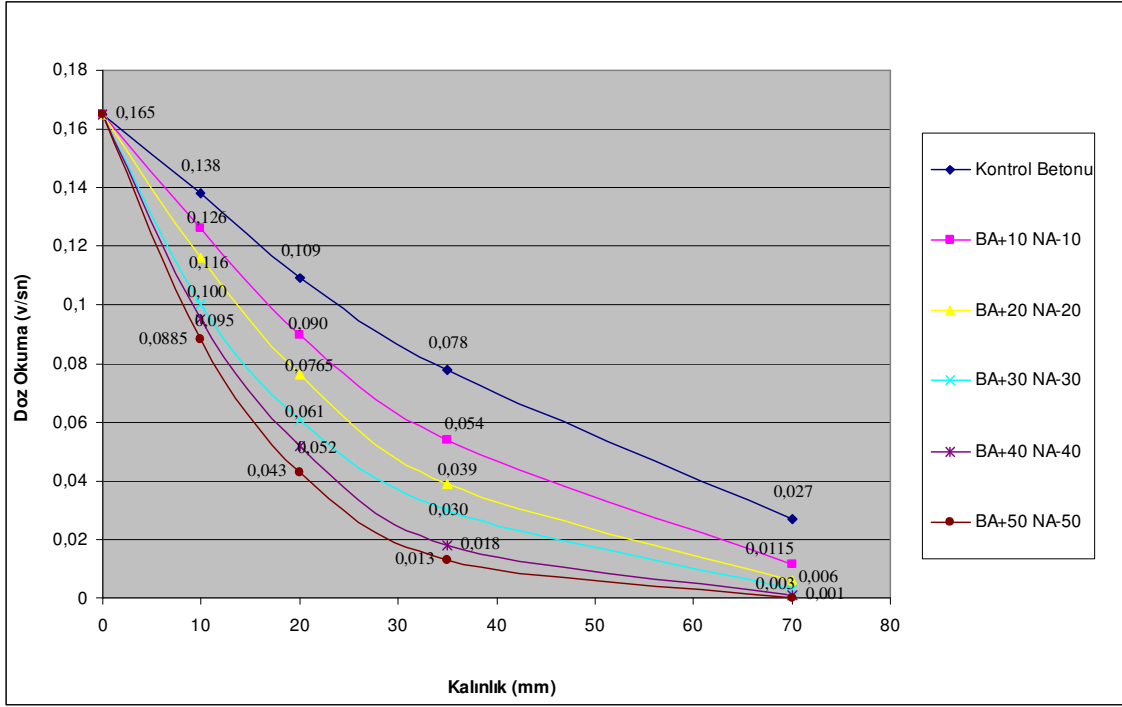
Çizelge 3.18. Betonların X Işını 100 kV (85 keV) Ölçüm Sonuçları



Çizelge 3.19. Betonların X Işını 150 kV (118 keV) Ölçüm Sonuçları



Çizelge 3.20. Betonların X Işını 200 kV (164 keV) Ölçüm Sonuçları

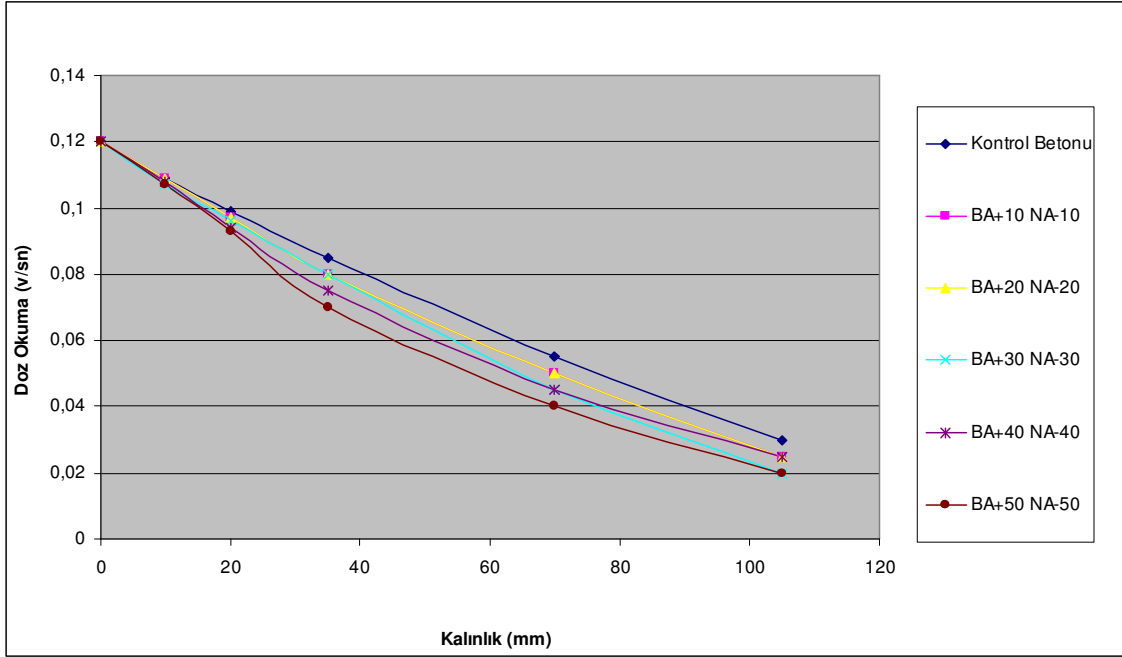


Şekil 3.16.'da Sezyum ışınları ölçüm cihazı ve iyon odası görülmektedir.



Şekil 3.16. Sezyum Ölçüm Cihazı

Çizelge 3.21. Betonların Cs-137 Işını (keV) Ölçüm Sonuçları

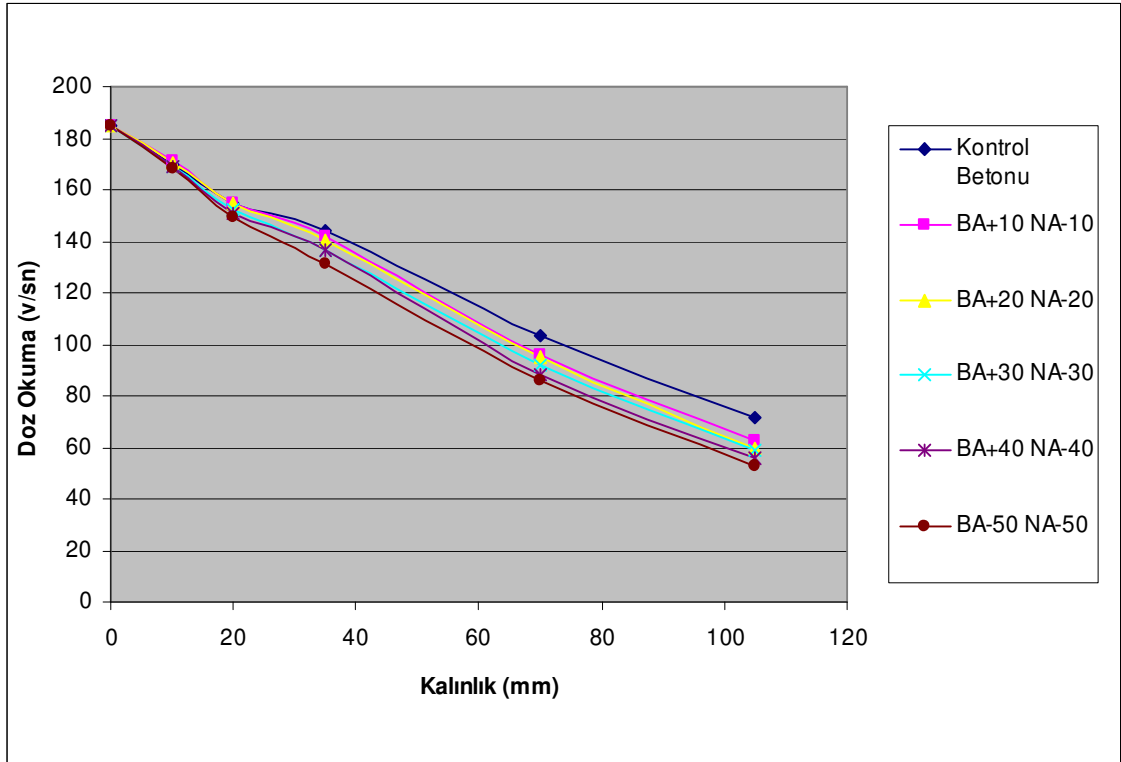


Co60 Işınlama İşlemi ve 60Co'tan elde edilen γ ışını ya da elektron hızlandırıcılarından elde edilen elektron demetlerinin endüstride de kullanım alanları mevcuttur. İyonlaştırıcı ışınlar bazı elementlerin üretiminde ya da özelliklerini değiştirmekte kullanılır. En geniş kullanım alanı köpük, elektriksel yalıtkan ve ambalaj maddeleri yapımında kullanılan plastiklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek için zincir polimerlerde bağ koparma, yeniden bağ oluşturma ve çapraz bağlanmayı sağlamak için yapılan endüstriyel işlemdir. Ayrıca, ameliyat dikiş iplikleri, şırıngalar ve hastane giysileri gibi tıbbi araç ve gereçlerin sterilize edilmesinde ve şehir atık sularını arıtmak ve hastalık yapan mikropları (patojenleri) öldürmek içinde uygulanır. Son zamanlarda, konserveleme ve dondurmaya alternatif olarak, gıdaların ışınlanarak korunması önem kazanmıştır. Işınlanan madde bazı kimyasal değişiklikler olabilirse de, ışınlanan madde radyoaktif hale gelmez. Şekil 3.17.'de Cobalt ışınları ölçüm cihazı ve iyon odası görülmektedir.



Şekil 3.17. Cobalt Ölçüm Cihazı

Çizelge 3.22. Betonların Co-60 Işını (1250 keV) Ölçüm Sonuçları

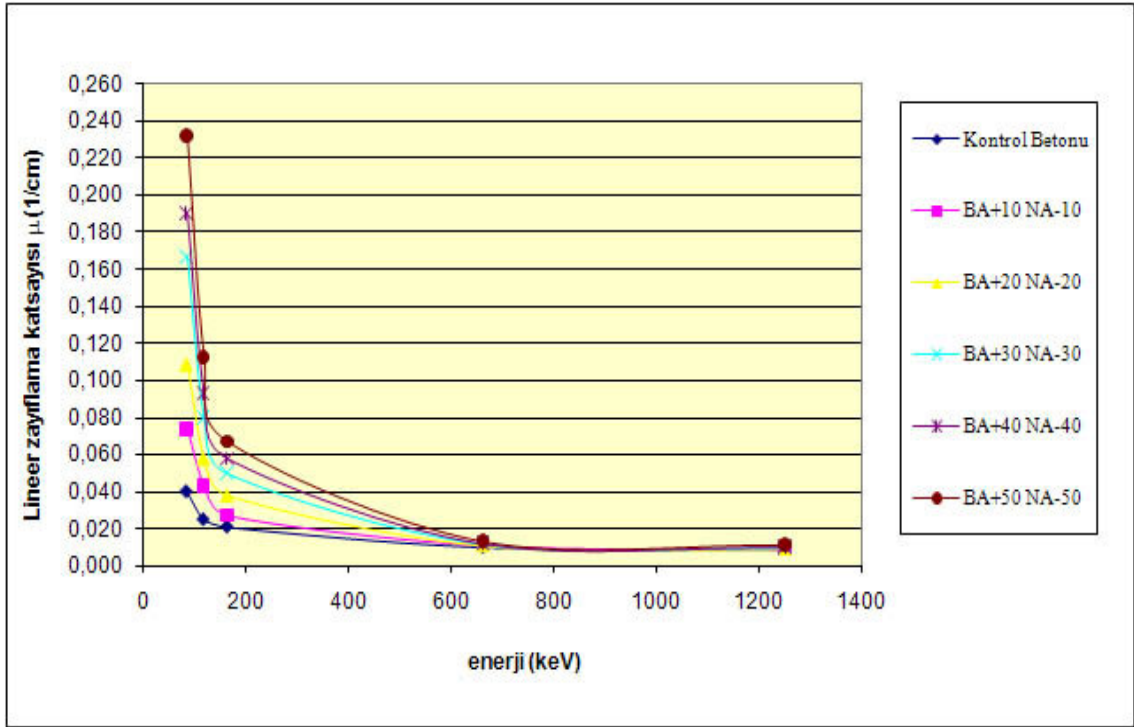


Lineer zayıflama katsayısı, 1 cm kalınlık için malzemenin ışın zayıflatma kabiliyeti olarak tanımlandığında, lineer zayıflama katsayısı yüksek olan malzemelerin radyasyon tutuculuğunun yüksek olduğu söylemek mümkündür.

Numunelerin lineer zayıflama katsayıları şu formülle bulunmuştur:

(Malzemenin dozimetrik okuma değeri - iyon odası için yapılan boş okuma değeri) / malzeme kalınlığı

Çizelge 3.23. Enerjiye göre Lineer Zayıflama Katsayısı Grafiği



Numunelerin lineer zayıflama katsayıları şu formülle bulunmuştur:

(Malzemenin dozimetrik okuma değeri - iyon odası için yapılan boş okuma değeri) / malzeme kalınlığı

4. SONUÇLAR

Yaşadığımız ortamda radyasyon yayan çok sayıda enerji kaynağı vardır. Giricilik özelliği yüksek olan bazı radyoaktif ışınlar hücrenin genetik materyali olan DNA'yı parçalayabilecek kapasitede enerji taşımaktadır. DNA'nın zarar görmesi ise hücreleri öldürmekte ve canlı dokulara zarar vermektedir. DNA'da çok az bir zedelenme, kansere yol açabilecek kalıcı değişikliklere sebep olur. Bu sebeplerle insan vücudunun bu zararlı ışınlardan korunması gerekir. Radyasyon dediğimiz bu ışınlardan korunmak, radyasyon yayan kaynak ile radyasyona maruz kalan canlı arasına bir koruma kalkanı oluşturmakla mümkündür.

Bu çalışmada, günümüzde yapı içerisinde en fazla kullanılan malzemelerden biri olan betonun içerisine farklı dozlarda barit agregası katılarak koruyucu bir beton oluşturulmuştur. Yoğunluğu yüksek, dolayısıyla radyasyon geçirgenliği düşük olan barit agregasının ilavesiyle oluşturulan ağır betonun , koruma kalkanı olarak kullanımının sonuçları fiziksel, mekaniksel ve radyasyon deneyleri ile araştırılmıştır.

Elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır:

- Beton ağırlığının esas olduğu kuru birim ağırlık, su altı ağırlık ve doymuş yüzey kuru ağırlık ölçümlerinde barit kullanılmadan üretilen normal betonun ağırlığının en düşük olduğu, numunedeki barit yüzdesi arttıkça, ağırlığının buna paralel olarak arttığı görülmüştür. Bunun sonucunda, Muş yöresinden elde edilerek kullanılan baritin, yoğunluğunun ve birim ağırlığının normal agregaya göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tamamı baritle yapılacak numunelerde kuru ağırlığın 3 kg/dm^3 'ün üzerinde olacağı tahmin edilmektedir.
- Numunelerin su emme yüzdeleri karşılaştırıldığında, numune içerisindeki normal agregaya göre yoğunluğu yüksek olan barit oranının artışıyla birlikte su emme yüzdelerinde düşüş olduğu belirlenmiştir.
- Numunelerin ultrases deney sonuçlarına bakıldığında betondaki barit oranının arttıkça ultrases geçiş hızının da arttığını görülmüştür. Bu deneyden yola çıkarak beton kalitelerinin normal olduğu, ancak barit oranı arttıkça beton dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.
- Isıl iletkenlik deneyinin sonuçları incelendiğinde baritli beton ile kontrol betonu arasında kayda değer bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Oluşturulan grafik düzgün bir eğimi takip etmemiş, bunun yanısıra %100 barit agregasından oluşturulan numune ile kontrol betonu arasındaki fark maksimum %2 ile sınırlı kalmıştır. Tüm numunelerin ısı iletim katsayılarındaki farkın %2 ile sınırlı kalması malzemenin stabil olduğunu göstermiştir. Ayrıca malzemelerin kendi içindeki tekrarlı ölçümlerinde de hemen hemen aynı değerlerin yakalanması, malzemenin tane ve boşluk dağılımının düzgün olduğunu ortaya çıkarmıştır. Buradan hareketle, baritle oluşturulan betonların yalıtım açısından avantaj sağlamadığı ancak önemli kayıplara da neden olmadığı anlaşılmıştır.

- Basınç dayanımı tablosu incelendiğinde en yüksek basınç dayanımının %10 barit katkılı numunede olduğunu görülmüştür. %50 barit oranına yaklaştıkça dayanımın azalma gösterdiği belirlenmiştir. %40 oranında barit kullanılarak hazırlanan baritli betonda dahil olmak üzere kontrol numunesi ile baritli beton numuneleri arasında büyük farklılıklar oluşmamıştır. Ancak bu çalışmada yapılan basınç dayanımı sonuçlarına göre %40 barit katkısından fazlasının basınç dayanımı üzerine daha fazla olumsuz tesir bıraktığını söylemek mümkündür.
- Baritsiz olarak yapılmış kontrol betonu ve 5 farklı barit oranıyla oluşturulmuş ağır betonlar içerisinde, fiziksel ve mekaniksel özellikleri bakımından, barit oranının arttıkça deformasyonların da arttığı belirlenmiştir.
- Numunelerin radyasyon geçirgenlikleri 100 kV, 150 kV ve 200 kV'lık X ışınları karşısında numune kalınlığı ve barit oranına ters orantıda bir eğri izlemiş, enerji ve malzeme kalınlığı arttıkça geçirgenlik azalmıştır.
- Aynı şekilde Cs-137 ve Co-60 ışınları ile ölçümleri yapılan numuneler, kalınlık arttıkça radyasyon geçirgenliklerinin azaldığı bir eğriyle tutarlı bir grafik izlemiştir. Bu iki ışın kaynağındaki numunelerin sonuçlarının kendi içinde birbirine çok yakın olması, sezyum ve cobalt ışınlarının enerjilerinin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Enerji miktarı arttıkça sonuçlar birbirine yaklaşmaktadır.
- Düşük enerjilerde barit oranı arttıkça lineer zayıflama katsayıları da artmaktadır.
- Yaklaşık olarak 200 keV enerjiye kadar, enerji arttıkça lineer zayıflama katsayısı keskin bir düşüş izlemektedir. 200-650 keV arasında lineer zayıflama katsayısında daha yavaş bir düşüş belirlenmiş olmakla birlikte 650 keV üstü enerjilerde betonların sabit bir çizgi izlediği gözlemlenmiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda, Muş yöresinden elde edilen baritin radyasyon geçirgenliğini azalttığını, bu bağlamda oluşturulan betonun kalkan görevi gördüğünü, ancak barit oranının artmasının malzemenin dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Shapiro J., 1972, Radiation Protection, Harward Univercity Press, Cambridge
2. Price, B. T., 1957, Horton, C. C. and spinney, K. T., Radiation Shielding, Pergamon Press, London-NewYork
3. İlker Bekir Topçu, 2003, Cement and Concrete Research 33, sf 815-822
4. Cilason, N. 1982, “Beton”, Sezai Türkeş-Fevzi Akkaya İnşaat A.Ş. Yayınları No:21.
5. TS EN 206-1, 2002, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk , Türk Standartları Enstitüsü
6. www.tr.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel
7. www.zamandayolculuk.com/cetinbal/spektrum.htm
8. www.cevreorman.gov.tr/radyasyon_00.htm
9. www.taek.gov.tr/bilgi/radyasyon/biyo_etkiler/biyo_etkiler.html
10. Berber H., Radyoaktivite, Anadolu Üniversitesi, Ünite 19, sf 462-463
11. Karakuza A., 2007, Kimyasal Etkilerin Betonların Radyasyon Zırhlama Üzerine Etkisinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
12. Topçu B., 2003, Properties of heavyweight concrete produced with barite, Cement and Concrete Research(33), sf. 815-822
13. Durmuş, A., Gürsoy, Y., 2000, Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Hazır Beton Sektörü Yayın Organı, sayı 39.
14. Budak G., Karabulut A., Demir F., Şahin R., Oltulu M., 2007, Radyoaktif Işınlara ve Parçacıklara İçin Koruyucu Beton, Atatürk Üniversitesi, KBT Haber
15. Dç.Dr. Mehmet Ayan, 1979, Dünyada Barit ve Geleceği, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Dergisi, sf 59
16. Türkiye Barit Envanteri, 1976, Ankara M.T.A. Enst. Yay., No:163
17. Gürsoy, Y., 1997, Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
18. www.betonsa.com.tr/04_hb1.asp
19. TS 802, 1985, Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü
20. TS 22-2 EN 413-2, 1998, Çimento-Harç Çimentosu-Bölüm 2:Deney Metotları , Türk Standartları Enstitüsü
21. ASTM C 597, 1998, U.S.A. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete
22. Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.,O., 1999, Çözümlü Beton Agregaları Problemleri, Evrim Yayınevi

23. TS 3530 EN 933-1, 1999, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu , Türk Standartları Enstitüsü
24. TS 130, 2003, 1978, Agregaların Karışımlarının Elek Analizi İçin Metot, Türk Standartları Enstitüsü
25. TS 706 EN 12620, 2001, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü
26. TS EN 12350-2, 2002, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü
27. TS 3624, 1981, Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini metodu, Türk Standartları Enstitüsü
28. ASTM C 597, 1998, U.S.A. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete
29. TS EN ISO 6946, 2007, Yapı bileşenleri ve yapı elemanları - Isıl direnç ve ısı geçirgenlik hesaplama metodu
30. TS 3114 ISO 4012, 1998, Beton deney numunelerinin basınç dayanımı tayini
31. Herman CEMBER, 1992, Introduction to Health Physics, Second Edition, McGRAW-HILL, INC. Health Professions Division

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ'da doğdu. İlkokulu İstanbul Yıldıztepe İlkokulu'nda, orta okulu Bağcılar Lisesi'nde ve liseyi 1998 yılında Zincirlikuyu İstanbul İnşaat Teknik Lisesi'nde bitirdi. 1999 yılında Fırat Üniversitesi, Yapı Ressamlığı Öğretmenliği lisans programına başladı. 2003 yılında mezun olduktan sonra İstanbul'da giydirme cephe sektöründe faaliyet gösteren bir inşaat firmasında proje sorumlusu ünvanıyla çalışmaya başladı.

2007 yılında başladığı Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek lisans programında halen eğitimini devam ettirmektedir.

Autocad, 3DMax, Photoshop, Logikal, Arcon ve Office programlarını iyi derecede kullanabilmekte olan YILMAZER, pek çok sertifikaya ve orta derece İngilizce bilgisine sahiptir.