

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BOR MADENİ KATKISININ BETONDAKİ MEKANİK VE
FİZİKSEL ÖZELLİKLER AÇISINDAN İNCELENMESİ

Mehmet Veysel ÇİÇEK

Yüksek Lisans Tezi
Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği Teknolojileri
Bilim Dalı: Mekanik
Danışmanı: Doç. Dr. Yüksel ESEN

MART-2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOR MADENİ KATKISININ BETONDAKİ MEKANİK VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLER AÇISINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Veysel ÇİÇEK
151139101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 / 03 / 2018

Tezin Sunulduğu Tarih : 22 / 03 / 2018

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yüksel ESEN

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Tacettin GEÇKİL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU

MART-2018

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımın her aşamasında engin bilgisi ve değerli fikirleri ile çok önemli katkılarda bulunan tez danışmanım sayın Doç. Dr. Yüksel ESEN'e sınırsız desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın malzeme temini ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı geçen dostlarıma, yardımını gördüğüm sevgili arkadaşım Ahmet Yüce'ye teşekkür ederim.

Yoğun ve stresli çalışmalarımda benden sabrını ve desteğini esirgemeyen aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mehmet Veysel ÇİÇEK
ELAZIĞ- 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Beton Hakkında Genel Bilgiler.....	3
2.2. Bor Hakkında Genel Bilgiler	5
2.3. Radyasyon Hakkında Genel Bilgiler	6
2.3.1. Radyasyonun zararları	6
2.3.2. Radyoaktif Işıma Türleri.....	8
2.3.2.1. Alfa Işınları (α)	8
2.3.2.2. Beta Işınları (β)	9
2.3.2.3. Nötron Işınları (n)	9
2.3.2.4. Gama Işınları (γ)	10
2.3.3. Radyoaktif Yarılanma Süreleri	10
2.3.4. Radyoaktivite Ölçümleri ve Birimleri	11
2.3.5. Radyasyon Enerjisi Birimi (ev, kev).....	11
2.4. Normal Beton Hakkında Genel Bilgiler	12
2.5. Ağır Beton Hakkında Genel Bilgiler	12
2.6. Agregalar.....	13
2.7. Çimento.....	14
2.8. Karışım Suyu	15
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	16
3.1. Numunelerin Hazırlanması	16
3.2. Kullanılan Materyaller.....	18
3.3. Elek Analizi (Granülometri)	22
3.4. Beton Karışım Hesaplarının Yapılması	24

3.5.	Numunelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesi.....	26
3.5.1.	Su Altı ve Doygun Yüzey Kuru Ağırlık, Hacim, Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Yüzdelерinin Ölçülmesi	26
3.5.2.	Ultrases Hızlarının (PGH) Ölçülmesi	29
3.5.3.	Yüzey Sertliklerinin Ölçülmesi	30
3.5.4.	Eğilmede Çekme Dayanımlarının Ölçülmesi	32
3.5.5.	Basınç Dayanımının Ölçülmesi	34
3.5.6.	Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Betonun Basınç Dayanımının Ölçülmesi	36
3.5.7.	Numunelerin Gama (γ) Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Belirlenmesi.....	37
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
	KAYNAKLAR	42
	ÖZGEÇMİŞ	45

ÖZET

BOR MADENİ KATKISININ BETONDAKİ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER AÇISINDAN İNCELENMESİ

Dünya rezervlerine bakıldığında bor madeni bakımından ülkemizin oldukça zengin bir ülke olduğu görülmektedir. Yapılan literatür taramasında betonda Boraks Pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) kullanımı ile ilgili az sayıda araştırmanın olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında, bünyesinde % 48-49 oranında bor ihtiva eden boraks pentahidrat beton içerisinde çimento ile %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında ağırlıkça ikame edilerek beton numuneler dökülmüş avantaj ve dezavantajları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla betonda su emme, özgül ağırlık, yüzey sertliği, ses geçiş hızı (PGH), yüksek sıcaklık etkisi, eğilmeden çekme, basınç dayanımı ve radyasyon soğurma özelliğinin tespiti için mekaniksel ve fiziksel deneyler yapılmıştır.

Yapılan bu deneylerin sonucunda betonda boraks pentahidrat kullanımı ile birlikte betonda su emme yüzdesinin arttığı, yoğunluğun azaldığı, basınç dayanımının düştüğü ve radyasyon soğurma özelliğinin iyileştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boraks Pentahidrat, beton, bor, radyoaktivite, dayanım

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF CONTRIBUTION OF BORON IN THE CONCENTRATE IN TERMS OF MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES

Our country has very rich boron reserves considering the boron reserves in the world. Not many studies can be found in the literature about using the Borax Pentahydrate. In this thesis, the Borax Pentahydrate, which contains %48-%49 boron, has been substituted for cement with different values of its weights of %5, %10, %15, %20 and %25 in the concrete. After having these different samples, the advantages and disadvantages of using these mixtures have been investigated experimentally. For this purpose, the mechanical and physical experimental studies have been done in order to determine the properties of water absorption, the specific gravity, surface hardness, the transition of sound speed, the effect of high temperature, the bending tension, the pressure strength and the radiation absorption in the concentrate.

As a result of the experimental studies, it can be said that using the Borax Pentahydrate in the concrete increases the percentage of water absorption in the concrete, decreases the density and the pressure strength and enhances the property of radiation absorption.

Key Words: Borax Pentahydrate, concrete, boron, radioactivity, strength

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. İyonlaştırıcı radyasyonla üretilen mutasyondan kanser gelişimi	7
Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum	8
Şekil 3.1. Bu çalışmadaki kırıış numune örnekleri	17
Şekil 3.2. Bu çalışmadaki küp numune örnekleri	17
Şekil 3.3. Bu çalışmadaki plak numune örnekleri.....	18
Şekil 3.4. Bu çalışmadaki kullanılan 0-4 mm ve 5-16 mm dane çapındaki agregalar	18
Şekil 3.5. Bu çalışmadaki kullanılan boraks pentahidrat	19
Şekil 3.6. Bu çalışmada kullanılan hassas elektronik terazi.....	21
Şekil 3.7. Bu çalışmada kullanılan ultrases ölçüm cihazı	22
Şekil 3.8. Agregaların elek analizine tabi tutulması	23
Şekil 3.9. Agregaların granülometri eğrisi.....	24
Şekil 3.10. Slamp(çökme) deneyi	25
Şekil 3.11. Bu çalışmada kullanılan su altı ağırlığı ölçüm terazisi	26
Şekil 3.12. Numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları	28
Şekil 3.13. Numunelerin su emme yüzdeleri	28
Şekil 3.14. Bu çalışmada kullanılan Ultrases (PGH) ölçüm cihazı.....	29
Şekil 3.15. Ultrases (PGH) cihazıyla elde edilen ölçüm sonuçları	30
Şekil 3.16. Çalışmada kullanılan Schmidt çekici.....	31
Şekil 3.17. Bu çalışmada elde edilen yüzey sertliği ölçüm sonuçları	31
Şekil 3.18. Bu çalışmadaki eğilme çekme deneyi.....	33
Şekil 3.19. Eğilme ve çekme deneyler sonucu elde edilen ölçüm sonuçları.....	33
Şekil 3.20. Bu çalışmadaki basınç deneyinde kullanılan ölçüm aleti	34
Şekil 3.21. Bu çalışmadaki numunelerin basınç dayanımları	35
Şekil 3.22. Bu çalışmadaki beton numunelerin yüksek sıcaklardaki basınç dayanımları	36
Şekil 3.23 NaI (TI) detektörlü gama spektroskopisi ölçüm sistemi.....	38
Şekil 3.24. Numunelerin kalınlıklara göre gama (γ) geçirgenlikleri.....	38
Şekil 3.25. Bu çalışmadaki beton numunelerin gama (γ) ışınına karşı soğurma katsayıları	39

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Beton sınıflarına göre dayanımları	4
Tablo 2.2. Dünyadaki bor rezervleri.....	5
Tablo 2.3. Elektromanyetik spektrum mukayesesi.....	8
Tablo 2.4. Radyoaktif izotoplar yaydığı ışınlar ve yarı ömürleri	10
Tablo 2.5. Radyasyon terimleri ve birimleri.....	11
Tablo 2.6. Özgür ağırlıklarına göre agrega çeşitleri	14
Tablo 3.1. Boraks Pentahidrat Kimyasal Bileşenleri.....	19
Tablo 3.2. Kimyasal ve Fiziksel özellikler	20
Tablo 3.3. Boraks Pentahidratın Sıcaklık Karşısında Suda çözünürlük yüzdesi	20
Tablo 3.4. CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	20
Tablo 3.5. 4000 gr'lık karışım için kullanılacak agrega miktarı	23
Tablo 3.6. Karışıma giren malzeme yoğunlukları	24
Tablo 3.7. 0-4 mm ve 4-16 mm agregalarının birlikte kullanıldığı karışım hesabı.....	25
Tablo 3.8. Numunelerin su altı ve suya doygun ağırlığı, kuru ağırlık, hacim, kuru birim hacim ağırlığı ve su emme yüzdeleri	27

SEMBOLLER LİSTESİ

λ	: Dalga boyu (μm)
a	: Numunenin suya doymun havadaki ağırlığı (gr)
A_c	: Numunenin üzerindeki basınç yükünün uygulandığı kesit alanı (mm^2)
B	: Bor
b	: Numunenin suya doymun su altı ağırlığı (gr)
b	: Numunenin eni (mm)
B5	: %5 Boraks Pentahidratlı numune
B10	: %10 Boraks Pentahidratlı numune
B15	: %15 Boraks Pentahidratlı numune
B20	: %20 Boraks Pentahidratlı numune
B25	: %25 Boraks Pentahidratlı numune
c	: Numunenin kuru birim hacim ağırlığı (gr)
D	: Su emme yüzdesi (%)
E	: Enerji (eV)
F	: Frekans (Hz)
F	: Kuvvet (N)
f_c	: Basınç dayanımı
f_{cf}	: Eğilme dayanımı (MPa)
F_{ck}	: Silindir basınç dayanımı (MPa)
F_{ctk}	: Eşdeğer küp basınç dayanımı (MPa)
g	: Numunenin kuru ağırlığı (gr)
h	: Numunenin yüksekliği (mm)
I	: Soğurucu materyalden geçen ışın şiddeti
I_o	: Kaynak ile dedektör arasında soğurucu olmadan elde edilen ışın şiddeti
L	: Mesnetler arası açıklık (mm)
n	: Nötron ışınları
NaI	: Sodyum iyodur
P	: Maddenin yoğunluğu
p^H	: Asitlik veya bazlık derecesi
P_t	: Kalınlık

S/Ç : Su/Çimento oranı

V : Hacim (cm³)

α : Alfa I ışınları

β : Beta ışınları

β^- : Negetron

β^+ : Pozitron

γ : Gama ışınları



KISALTMALAR LİSTESİ

Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: Amerika Standardı
Ca₂B₆O₁₁.5H₂O	: Kolemanit
CaO	: Kalsiyum oksit
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
Fe₂O₃	: Demir III oksit
MgO	: Magnezyum oksit
MPa	: Mega Paskal
Na₂B₄O₇.10H₂O	: Tinkal
Na₂B₄O₇.5H₂O	: Boraks pentahidrat
NaCaB₅O₉.8H₂O	: Üleksittir
PGH	: Ses Geçiş Hızı, Ultra Ses
SiO₂	: Silisyum Dioksit
TS	: Türk Standartları
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü, İngilizce
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Dünya var olduğundan beri insanoğlu doğanın zorlu şartlarına karşı barınma ihtiyacını karşılamak için her zaman doğa ile mücadele içerisinde olmuştur. Bu mücadele aşamasında barınma ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla ilk olarak barınak, çadır vb. yapılar tasarlamışlardır. Teknolojinin gelişim süreci ile birlikte daha modern ve uzun ömürlü betonarme yapılar ortaya çıkmıştır. Bu betonarme yapılar sadece yaşam alanı için değil, farklı birçok alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Tüm bu faktörlerden dolayı farklı yapı türlerinde beton kullanılması ön plana çıkmış ve bunun sonucunda farklı beton türleri üretilmeye başlanmıştır [1]. 20. yüzyıl başlarına kadar betonun günlük hayatta etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla beton harcı çeşitli tiplerdeki kalıplara dökülüp şekillendirilerek elde edilen beton ile betonarme yapılar yapılmıştır [2]. Ancak 20.yüzyıldan itibaren beton uygulamalarında kalıp kullanımının kısıtlandığı alanlarda (köprü çıkışları, tünel vb. yapılarda) püskürtme (Shotcrete) yöntemi ile bu kısıtlamalar ortadan kalkmıştır. Yapının ağırlığının hafif olmasını gerektiren durumlarda hafif beton, radyasyona karşı engel olmak için yapılacak beton türü ise ağır betonlar kullanılmıştır [3].

Son yıllarda beton ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında beton mukavemetinin yüksek olması üzerinde durulmuştur [4]. Teknolojinin gelişmesi ve ilerlemesiyle birlikte betonda sadece yüksek mukavemet özelliğinin insanoğlunun talebini karşılamakta yetersiz olduğu anlaşılmış, yüksek dayanımın özelliği ile birlikte betonda kullanılabilecek katkı maddelerinin ve betona ikame edilecek farklı kimyasalların betonun üzerindeki fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde etkisinin neler olduğu araştırma konusu olmuştur [3,4].

Bor elementi doğada serbest halde bulunmayan değişik oranlarda minerallerin yapısında bor oksit olarak ikame olmuştur. Magnezyum, sodyum ve kalsiyum elementlerinden oluşan bor madeni hidrat bileşikleri halinde bulunur. Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Boraks Pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve Üleksittir ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) ticari değere sahip bor mineralleridir.

Dünya bor rezervlerinin % 72'sine sahip olan ülkemizin bu konuda stratejik öneme sahip olduğu aşikârdır. Türkiye açısından bor cevherlerinin en verimli şekilde kullanımı her geçen gün önem arz etmektedir. Bor minerallerinin zenginleştirilmesi sırasında içerisinde az miktarlarda bor bulunan atıklar ortaya çıkmakta ve önemli çevresel sorunlara neden

olmaktadır. Bugüne kadar üretimde açığa çıkan atık malzemenin farklı endüstriyel alanda kullanılabilirlikleri araştırılmaktadır [5].

Puzolanik madde olarak çeşitli endüstriyel atıklar, betonda kullanılmaktadır. Bu atık maddeler normal şartlar altında kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyon sonucunda bağlayıcılık özelliği gösterirler. Tek başına kullanıldıklarında bağlayıcılık özelliği göstermeyip puzolanlar betonlarda mineral katkı olarak kullanılmaktadır.

Betonun mukavemetini ve akıcılığını arttırmak için mineral katkılar betona ikame edilebilir. Bu ilave edilen maddeler hidrasyon ısını düşürerek, yüksek dayanım ve düşük geçirgenlik sağladığı ve bunun sonucunda da betonda önemli olan bazı parametrelerin iyileştiği literatürde açıklanmıştır [6].

Bor madenin farklı türleri betonun içerisine doğrudan katılmayarak, betonu oluşturan ana unsurlardan olan çimento üretiminde kullanılarak borlu çimento elde edilerek betona dolaylı yollardan katılmıştır. Borlu çimento inceliğinde öğütülen bor madeni içeren boraks atığının hazırlanan çimento harcının içerisine değişik oranlarda ilave edilmesi sağlanmıştır. Dökümü yapılan harç numunelerin üzerinde çeşitli deneyler yapılarak boraks atığının çimento içerisindeki tepkisel davranışı gibi etkiler incelenmiştir. Bulunan sonuçlar kontrol numuneler ve Türk Standartları (TS) ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, priz süresinin uzadığı ve betonun basınç dayanımında düşüş görülmüştür [7].

Literatürde yapılan çalışmalarda beton harcında bor bileşiklerini içeren çimentoların borun etkisiyle hidrasyon süresini arttığı gözlenmiştir. Yine yapılan literatürdeki çalışmalarda priz geciktirici olarak da borun farklı bileşiklerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur [8].

Bu tez çalışmasında, bir bor madeni türü olan boraks pentahidrat ağırlıkça farklı oranlarda beton harcının içerisine katılarak beton elde edilmiş ve elde edilen betonun mekaniksel ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Buna ilaveten, çalışmaların sonunda gama (γ) ışınına karşı betonun göstermiş olduğu soğurmalar tespit edilerek, boraks pentahidrat ikameli betonun radyoaktivitesi incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Beton Hakkında Genel Bilgiler

Beton; agrega (kum ve çakıl), çimento, su ve gerektiğinde katkı malzemelerinin bileşiminden oluşan başlangıç aşamasında plastik kıvamda olan ancak zamanla çimentonun hidrasyonu nedeniyle katılaşp sertleşen bir yapı malzemesidir [9].

Betonun ana unsurlarından biri olan çimentonun patenti 21 Ekim 1824 yıllarında alınmış olup portland çimento olarak ifade edilmiştir. Betonun ise ilk keşfedilme tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte beton teknolojisinin tarihi 1850'li yıllara kadar uzanmaktadır. Bilindiği üzere ilk betonarme yapı 1852 yılında yapılmıştır. Türkiye'de ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir. Beton teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte beton yapımındaki gerekli kriterleri belirleyen beton şartnameleri oluşturulmuştur. İlk beton şartnamesi ABD'de 1904 ve Almanya'da 1906 yılında hazırlanmıştır [10].

Beton malzeme üzerine en detaylı araştırmalar ve karışım hesapları hususlarında esasların geliştirilmesi 1950-1960 yılları arasına denk gelmektedir. İlerleyen yıllarda, betonun uzun zaman dilimindeki davranışı, döküm yöntemi, ekipman kalitesinin sürdürülebilirliği, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomikliğı artırma, daha çetin şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzeme tipleri, iş programlaması yöntemi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur [1,3,4,10].

Son yıllarda çeşitli malzemelerin katkısı (kauçuk, lastik, geri dönüştürülmüş agrega vb.), lif ve taze betona vakum uygulayarak betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir [4]. Farklı katkı malzemeleri kullanarak cm^2 ye 1500 kgf yük taşıyabilme kapasitesine sahip beton üretilmekte ve 208 m yükseklikte binalar inşa edilebilmektedir [10].

Betonu hazırlanırken yapılan karışım hesapları sonucu elde edilen oranlar da; çimento, kum, çakıl veya kırılmış taş kullanılır. Beton harcına su ilave edilip karıştırıldıktan iki-üç saat sonra donmaya başlar. Uygun kalıplara döküldükten 28 gün sonra yaklaşık en yüksek dayanıklılığını kazanır. Donarken, şiddetli soğuklardan çok zarar görür bu zararın betonda oluşabilecek deformelere karşı korunması amacıyla priz hızlandırıcı katkı malzemeleri kullanılır [1,10].

Betonu arzu edilen hale dönüştürmek için çeşitli katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Katkı maddeleri; betonun basınç dayanımını, radyasyon geçirgenliğini, uzun ömürlü olmasını, ısı ve ses geçirgenliği gibi özelliklerini etkileyerek betonun değişik alanlarda kullanıma izin vermektedir.

Beton hakkında en önemli unsurlardan biri de basınç dayanımıdır. Standart basınç dayanımları, 28 gün boyunca 20-25 °C sıcaklık altında ve %100 nemli ortamda kür edilen, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin eksenel basınç dayanımı olarak ya da her üç boyutu da sabit olan küp numuneler olarak tanımlanır. Gerilme olarak ifade edilen dayanım, kırılma yükünün, yükün uygulandığı alana oranı ile elde edilir. Beton sınıfları concrete (beton) kelimesinin ilk harfi olan “C” ile ifade edilir. Örneğin C30, 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 30 MPa yani $30 \text{ N/mm}^2 = 300 \text{ kgf/cm}^2$ olan betondur.

TSE 500’e göre beton sınıfları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Beton sınıflarına göre dayanımları

TSE 500'E GÖRE BETON SINIFLARI				
Beton Sınıfı	Karakteristik Silindir (150 mm x 300 mm) Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer Küp (150x150x150mm) Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} MPa	28 Günlük Elastisite Modülü E_c MPa
C16	16	20	1,4	27000
C18	18	22	1,5	27500
C20	20	25	1,6	28000
C25	25	30	1,8	30000
C30	30	37	1,9	32000
C35	35	45	2,1	33000
C40	40	50	2,2	34000
C45	45	55	2,3	36000
C50	50	60	2,5	37000

TS EN 206-1’e göre beton sınıfı 3’e ayrılır [11].

- Hafif beton: Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu $800\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$ arasındadır.
- Normal beton: Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu $2000\text{-}2800 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlardır.
- Ağır beton: Etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 2800 kg/m^3 ’ten büyük olan beton sınıfıdır.

Betonu günümüz inşaatlarında önemli bir yapı malzemesi olarak kılan özellikleri şöyle sıralayabiliriz:

1. Ekonomik açıdan uygun olması,
2. Yüksek basınç dayanımına sahip olması,
3. Çok düşük de olsa çekme dayanımına sahip olması,
4. Mukavemetli olması,
5. Üretim esnasında enerji sarfiyatının az olması,
6. Şekil verilebilirliğinin iyi olması,
7. Mobil üretim şartlarına uygun olması [12].

2.2. Bor Hakkında Genel Bilgiler

Bor, periyodik cetvelde III A grubunda yer alan, B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5 atom ağırlığı 10.81 olan, iki kararlı izotop; B10 (% 19.8) ve B11 (%80.2)'den oluşan, ametalle metal arası yarı iletken özellikte elementtir. Doğada hiçbir zaman serbest hali ile bulunmaz [13].

Türkiye ve ABD, günümüzde Dünya bor rezervlerinin ve üretiminin en fazla olduğu iki ülkedir. Önemli üretici olan ülkelerin bu üretimdeki paylarına bakılacak olursa, sırasıyla Türkiye % 33, USA % 28, Rusya % 23 ve diğer ülkeler % 16 düzeylerindedir [14].

Dünya toplam bor rezervi ve ülkelere göre dağılımı Tablo 2.2 'de görülmektedir [15].

Tablo 2.2. Dünyadaki bor rezervleri

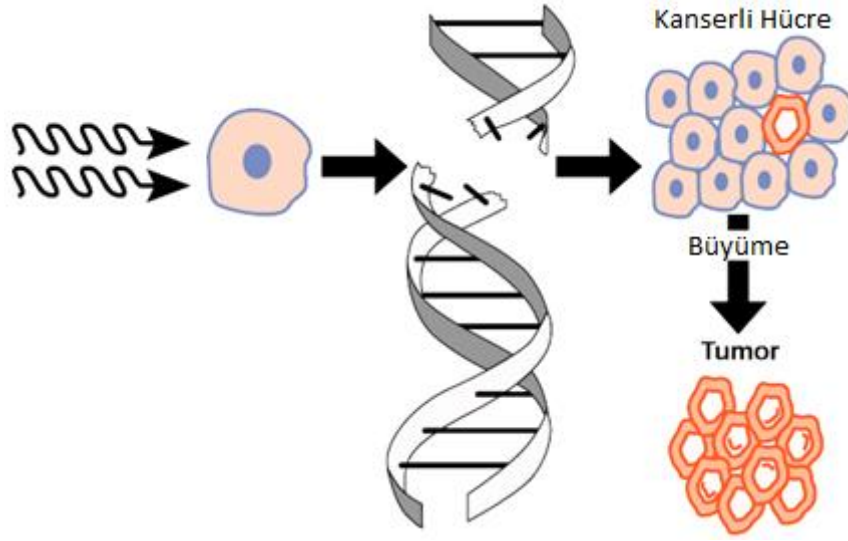
Ülke	Mevcut Rezerv	Olası Rezerv	Toplam Rezerv	Toplam Rezerv %	Rezerv
Türkiye	224.000	339.000	563.000	64	389
USA	40.000	40.000	80.000	9	55
Rusya	40.000	60.000	100.000	11	69
Çin	27.000	9.000	36.000	4	25
Şili	8000	33.000	41.000	5	28
Bolivya	4.000	15.000	19.000	2	13
Peru	4.000	18.000	22.000	2	15
Arjantin	2.000	7.000	9.000	1	6
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	2	10
Toplam	363.000	522.000	885.000	100	610

2.3. Radyasyon Hakkında Genel Bilgiler

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar halindeki enerjinin emisyonu veya aktarımı olarak ifade edilir. Bilindiği üzere maddenin temel yapısını atomlar meydana getirir. Atom ise, proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ile bunun çevresinde dönmekte olan elektronlardan oluşmaktadır. Bir maddenin atom çekirdeğinde bulunan nötronların sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla olduğunda bu maddeler kararsız bir yapı göstererek çekirdeğindeki nötronlar dönüşür ve β^- (negatron) yayarlar. Eğer protonlar, nötronlardan fazla ise protonlar dönüşerek β^+ (pozitron) yayarlar. Atom çekirdeğinden ayrılan nötronlar ve protonlar ise kararlı olmayan atom çekirdeği yani gama (γ) ışını yayarlar. Ağır çekirdekler alfa(α) ışını(helyum çekirdekleri) yayabilir veya füzyon reaksiyona maruz kalabilirler. Bu tepkimeler sonucu parçalanan maddelere radyoaktif madde, çevreye yayılan alfa, beta, gama vb. ışınlara da radyasyon adı verilmektedir [16,17].

2.3.1. Radyasyonun zararları

Elektromanyetik spektrum, X ışınları, ultraviyole ışınlar, görülebilen ışınlar, kızıl ötesi ışınlar, mikro dalgalar, radyo dalgaları ve γ -ışınlarından oluşmaktadır. Frekans ve dalga boyları elektromanyetik alan kısmını teşkil eder. Kimyasal bağları kırabilecek enerji X ışınları ve γ -ışınlarında mevcuttur. Bu şekilde ortaya çıkan radyasyon iyonlaşan radyasyon olarak ifade edilmektedir. Bu elektromanyetik radyasyonlar, hücrenin temellerinden biri olan DNA'yı bozunuma uğratacak (parçalayacak) seviyede enerji taşımaktadır. DNA'nın bozunumu nedeniyle hücreler ölmekte doku zarar görmektedir. Bununla birlikte DNA'da çok az bir zedelenme, kansere yol açabilecek kalıcı değişiklikler ortaya çıkmaktadır [17]. Tüm bu bahsedilenler Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

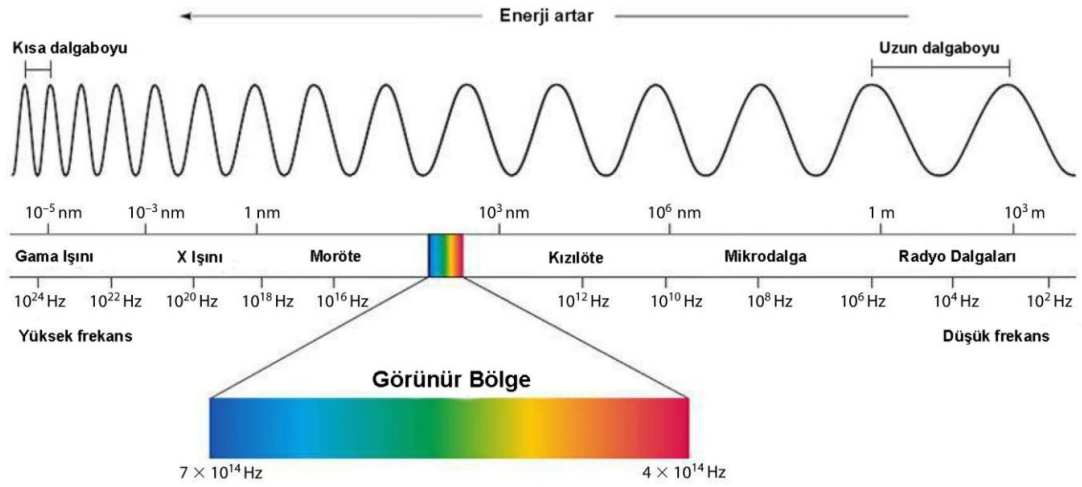


Şekil 2.1. İyonlaştırıcı radyasyonla üretilen mutasyondan kanser gelişimi [10]

Yapılan araştırmalara göre, radyasyonun canlılar için genetik değişikliklere yol açtığı ve radyasyonun etkisinin cins, yaş ve organlara göre değiştiği tespit edilmiştir. İlaveten, radyasyonun olumsuz etkisinden en çok etkilenen organın göz olduğu, gözde görme zayıflığı, katarakt ve göz uyumunun yavaşlamasına neden olduğu fark edilmiştir. Bununla birlikte, derinin radyasyona karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Radyasyonun zararları çoğunlukla sonradan belirtilerini gösteren bir etkidir. Ancak hemen etkisini gösteren ani durumlar ise atom bombalarının yol açtığı ölümler ve yüksek radyasyondaki yangınlar olarak görülmektedir [17].

X ışınları (röntgen ışınları) etkileşim kurdukları maddelerin elektron kaybetmelerine sebep olurlar. Hastalıklarda tanı maksadıyla kullanılan filmler bu ışınlardan faydalanılarak elde edilir. Dozuna göre hücre bölünmesi ve hücrenin genetik yapısında bozulmalara sebebiyet vermektedir. Tıp alanında dikkatlerden kaçırılmaması gereken nokta, hastalıklı dokuların ışınlardan etkilenmemesi ve tedavide kullanılan ışınların vücut içinde hareket etmemesidir [17].

Elektromanyetik spektrum ve ona ait genel özellikler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum [18].

Tablo 2.3.’te elektromanyetik spektrumdaki farklı bölgelerde fotonların dalga boyu, frekans ve enerjilerinin mukayesesi yapılmıştır.

Tablo 2.3. Elektromanyetik spektrum mukayesesi [19].

Elektromagnetik Dalga	Enerji, E (eV)	Frekans, f (Hz)	Dalga Boyu, (μm)λ
Radyo Dalgaları	$10^{-11} < E < 10^{-5}$	$10^3 < f < 10^9$	$10^{11} > \lambda > 10^6$
Mikrodalgalar	$10^{-6} < E < 10^{-3}$	$10^9 < f < 10^{12}$	$10^6 > \lambda > 10^3$
İnfrared Işınlr	$10^{-3} < E < 2$	$10^{12} < f < 5 \times 10^{14}$	$10^3 > \lambda > 0.77$
Görünür Işık	$2 < E < 3$	$4 \times 10^{14} < f < 8 \times 10^{14}$	$0.77 > \lambda > 0.39$
Ultraviyole Işınlr	$3 < E < 10^3$	$7 \times 10^{14} < f < 3 \times 10^{17}$	$0.39 > \lambda > 0.01$
X- ışınlrı	$10^2 < E < 10^6$	$10^{16} < f < 10^{21}$	$0.1 > \lambda > 10^{-7}$
Gama Işınlrı	$10^4 < E < 10^8$	$10^{18} < f < 10^{23}$	$10^{-4} > \lambda > 10^{-8}$
Kozmik Işınlr	$E > 10^8$	$f > 10^{22}$	$\lambda < 10^{-7}$

2.3.2. Radyoaktif Işıma Türleri

2.3.2.1. Alfa Işınlrı (α)

Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum (^4_2He) çekirdeği olup pozitif yüklüdür. Çekirdeğin, alfa salarak parçalanması olayı atom numarası büyük olan izotoplarda rastlanmakta olup genellikle doğal radyoaktif atomlarda denk gelmektedir. Alfa

parçacıklarını kalınlığı küçük (ince) olan maddeler (örneğin ince bir kağıt tabaka ile) sayesinde durdurmak olağandır. Çünkü diğer radyasyon tiplerine kıyasla yüksek elektrik yükleri içermektedir. Sahip oldukları bu elektrik yükü, alfa parçacıklarının herhangi bir madde içerisinden geçerken geçtikleri yolda yoğun bir iyonlaşma oluşturmalarına ve bundan dolayı enerjilerini hızlıca tüketmelerinden olur. Enerjilerini bu şekilde hızlıca kaybeden alfa parçacıklarının varış mesafeleri de çok kısa olduğundan normal olarak dış radyasyon riski oluşturmazlar Ancak, mide, solunum ve yaralar nedeniyle vücuda girdiklerinde tehlikeli olabilirler [16,18].

2.3.2.2. Beta Işınları (β)

Çekirdekte bulunan enerji fazlalığı nedeniyle çekirdek etrafında $E=mc^2$ eşitliğiyle açıklanabilen bir kütle oluşturarak çekirdekteki fazla yükü alıp dışarıya bir beta ışını olarak salarlar. Bunlar pozitif veya negatif yüklü elektronlar olup pozitif yüklü elektronlar β^+ ile negatif yüklü iyonlar ise β^- işaretiyle gösterilmektedir. Çekirdekte bulunan enerji fazlalığı proton fazlalığı nedeniyle oluşuyorsa β^+ , nötron fazlalığı nedeniyle oluşuyorsa β^- olarak salınım yapılır. Beta parçacıkları belli bir yük ve kütleye sahip olduklarından dolayı madde içerisinden geçerken geçtikleri yerde iyonlaşma meydana getirirler. Fakat beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha hafif, yüz kere daha girici oldukları için alfa parçacıklarına göre daha az iyonlaşma meydana getirirler. İlaveten, bunların olabilecek olumsuz etkilerinden korunmak için ince alüminyum levhadan imal edilmiş bir zırh malzemesi yeterli olmaktadır.

2.3.2.3. Nötron Işınları (n)

Bu ışınlar yüksüz parçacıklardır ve madde içerisine rahatlıkla geçebilirler. Nötr oldukları için direkt bir iyonlaşmaya sebebiyet vermezler. Çeşitli nedenlerle bazı durumlarda alfa, beta, gama veya x ışınlarının ortaya çıkabilir. Bu ışınlar bazı durumlarda durdurulabilir bunlarda kalın beton, su veya parafin örnekleridir [16,18].

2.3.2.4. Gama Işınları (γ)

Atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklar nedeniyle ortaya çıkmaktadırlar. Çekirdek, bir alfa veya bir beta parçacığı salınımı yaptığı için çoğunlukla kararlı bir halde değildir. Arta kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon biçiminde salınır. Gama ışınları, beta ışınlarına göre daha yüksek enerjili olduğu için daha girici (nüfuz edici) ışınlardır. Gama ve X ışınları, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha yüksek, iyonlaşma oluşturma etkileri çok daha düşüktür. Lakin birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalar ve beton gibi ağır özgül kütleli maddeler kullanılarak sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Gama ışınları yüksüz özellikte olup elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler [16,18].

2.3.3. Radyoaktif Yarılanma Süreleri

Yarılanma süresi diğer bir deyişle yarı ömür, bir radyoaktif elementin başlangıçta mevcut olan atomlarının yarısının parçalanması için geçen süredir ve $T^{1/2}$ olarak gösterilir. Bu bağlamda dikkat edilecek en önemli hususlardan biri radyoaktif özelliğe sahip farklı izotopların yarı ömürlerinin ve yayınladıkları radyasyon türlerinin birbirinden farklı olmasıdır [18]. Bu duruma ait bilgiler Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Radyoaktif izotoplar yaydığı ışınlar ve yarı ömürleri [18, 19]

Element	İzotop	Yarı Ömür	Çıkan Radyasyon
Hidrojen	3_1H	12 Yıl	Beta (β)
Karbon	$^{14}_6C$	5731 Yıl	Beta (β)
Fosfor	$^{32}_{15}P$	14 Gün	Beta (β)
Potasyum	$^{40}_{19}K$	1.28×10^9 Yıl	Beta (β) ve Gama (γ)
Kobalt	$^{60}_{27}Co$	5 Yıl	Beta (β) ve Gama (γ)
Stronsiyum	$^{90}_{38}Sr$	28 Yıl	Beta (β)
Iyot	$^{131}_{53}I$	8 Gün	Beta (β) ve Gama (γ)
Sezyum	$^{137}_{55}Cs$	30 Yıl	Beta(β)
Polonyum	$^{214}_{84}Po$	1.28×10^{-4} Saniye	Alfa(α) ve Gama(γ)
Radyum	$^{226}_{88}Ra$	1600 Yıl	Alfa(α) ve Gama(γ)
Uranyum	$^{235}_{92}U$	7.1×10^8 Saniye	Alfa(α) ve Gama(γ)
Uranyum	$^{238}_{92}U$	4.5×10^9 Saniye	Alfa(α)

2.3.4. Radyoaktivite Ölçümleri ve Birimleri

Radyoaktivite ölçümlerinde çeşitli terimler ve bunlar ile ilişkili birimler var olup bunların tümü Tablo 2.5’te özetlenmiştir.

Tablo 2.5. Radyasyon terimleri ve birimleri [20,21].

Terim	Birimi	
	Eski	Yeni
Aktivite	Curie,Ci	Becquerel,Bq
Işınlanma Dozu	Röntgen/saat,R/s	Coulomb/kilogram,C/kg
Soğurulmuş Doz	Radyasyon absorbe dozu, rad	Gray,Gy
Doz Eşdeğeri	Röntgen equivalentman, rem	Sievert, Sv

Radyasyon ile madde arasındaki etkileşim ilişkisine dayanarak radyasyon ölçümü yapılır. Bu etkileşim, detektör olarak adlandırılan materyali iyonize etme veya uyarma biçiminde gerçekleşir [20].

2.3.5. Radyasyon Enerjisi Birimi (ev, kev)

1 Elektron Volt (eV), bir elektronun 1 voltluk potansiyel farkı altında sahip olacağı kinetik enerji miktarıdır. Bir elektron volt düşük bir nicel değere sahip olduğu için, sırasıyla bunun bin katı ve milyon katı olan “kilo elektron volt” (keV) ve “Milyon elektron Volt” (MeV) daha yaygın olarak bilinir. Atom çekirdeklerindeki dönüşümlerden kaynaklı oluşan enerjiler pratikte oldukça küçüktür. Sonuç olarak: Radyasyon, radyoaktif bir atom çekirdeğinin bozunmasından kaynaklanarak oluşur [21].

2.4. Normal Beton Hakkında Genel Bilgiler

Normal beton teknik, ekonomik ve çevresel üstünlükleri sayesinde yapılar için çok yönlü kullanılan bir materyaldir. Bu sebepten ötürü yapılarda daha fazla kullanılmaya başlamıştır [22]. Hafif betonun yapı malzemesi olarak kullanımı yapının ağırlığının azalttığı görülmüştür [23].

Hafif beton üretiminin birçok farklı yöntemi vardır. Bu yöntemlerden en çok tercih edileni birim ağırlıkları düşük olan agregalar ve katkı maddeleri ile hafif beton üretmektir [15].

Normal ağırlıklı betonun yoğunluğunun düşürülmesiyle, yapı veya yapı elemanının ağırlığını azaltarak, ekonomi ve emniyet ön planda tutmak olanaklıdır [24]. Hafif malzemeler, bina yükünü önemli oranda düşürür. Böylece binalar kendi ağırlıklarıyla ezilmemekte ve depremin yıkıcı zararlarına karşı dirençli bir durum oluşturmaktadır. Deprem açısından boşluklu malzemeler daha avantajlıdır [25].

Bütün malzemelerde olduğu gibi hafif betonun faydaları olduğu gibi ve sakıncaları da bulunmaktadır.

Hafif betonların normal betonlara göre avantaj/dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Hafif beton olması, düşük basınç eldesi, üretim ve yerleştirme kolaylığı sağlar.
- Hafif betonlu yapılar daha az maliyet ve ekonomiklik sağlar.
- Hafif beton yangın bakımından daha güvenlidir.
- Hafif betonların boşluklu olmaları nedeniyle basınç dayanımları düşüktür.
- Hafif beton aşınmaya karşı dayanıklı değildir.
- Hafif beton neme karşı yalıtım gerektirir.
- Hafif beton elastisite modülü küçük değerler alır.
- Hafif beton sünme ve rötre normal betona mukayese edilirse, daha yüksektir [26].

2.5. Ağır Beton Hakkında Genel Bilgiler

Ağır betonları asıl amacı zararlı ışınlardan korunmak birim ağırlıkları 2.800 kg/m^3 ' den büyüktür. Sözü edilen beton, radyoaktif maddelerin yaydığı nükleer ışınlardan özellikle cisimlerin içine girebilen nötron (n) ve gama (γ) ışınlara karşı korunmak için gerçekleştirilen koruyucu beton perdelerdir. Kullanım yerleri arasında nükleer reaktörler

yani atom santralleri, askeri mühimmat depo duvarları, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümleri gösterilebilir. Radyoaktif reaksiyonlarda, maddelerin içine girebilme kabiliyeti yüksek olan nötron parçacıkları ile gama(γ) ışınları oldukça tehlikelidir. Bu sebepten ötürü bu ışınları soğuracak katkı malzemesi kullanımı yapılarak ağır betonlar elde edilmelidir [27].

Ağır beton üretiminde dikkat edilmesi gereken temel unsurlar şunlardır:

- ✓ Beton harcının homojen olması gerekir.
- ✓ Çatlak oluşumunun engellenmesi için S/Ç oranı 0.50'den az olmalıdır.
- ✓ Beton plak kalınlığı maksimum 25 cm'de tutulması istenir.

Ağır betonun dökümünde karıştırıcıların tam kapasite ile çalışmaması gerekir, hazırlanış evresinde karıştırma süresi de çok önemlidir. Karıştırma süresini iyi ayarlayamazsak segregasyon meydana gelir [27].

2.6. Agregalar

Beton harcı hazırlanırken kum, çakıl ve kırmataş gibi malzemeler bir araya getirilir ve bu karışım agregalar olarak adlandırılır. Yapılan çalışmaların çoğu agreganın beton için önemli bir bileşen olduğunu belirterek agreganın önemine dikkat çekmiştir [4].

Agregaların şu özelliklerde olması istenir:

- ✓ Sert yapıda olup, boşluksuz üretilmelidir
- ✓ Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
- ✓ Basınç ve aşınma özellikleri bakımından dayanıklı olmaları,
- ✓ Betonun kimyasal yapısına zarar verebilecek toz partikülleri içermemesi,
- ✓ Tane boyutlarının düzgün olması,

Agregalar ile ilgili önemli bir diğer husus da agregaların temiz olmasıdır. Çünkü agregalarda bulunan kil, silt, mil, toz vb. agregalar kirletici malzemeler nedeniyle agreganın aderansı olumsuz etkilemektedir. Agregalar tane boyutlarına göre sınıflandırıldığında ince (kum, kırma kum vb.) ve kaba (çakıl, kırmataş vb.) agregalar olarak iki sınıfta sınıflandırılırlar.

Beton agregalarının kalitelerinin sürekliliğini takip etmek amacıyla; elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılmaktadır. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır. Agregalar, özgül

ağırlıklarına göre üç gruba ayrılmakta olup bunlar ve genel özellikleri Tablo 2.6’da verilmiştir [28].

Tablo 2.6. Özgür ağırlıklarına göre agrega çeşitleri

Agrega Tipi	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
Hafif Agregası	≤ 2000
Normal Agregası	2000-3000
Ağır Agregası	≥3000

Radyasyona maruz kalan yerlerde canlı organları tahrip eden γ ve X ışınlarından korunmak için birim hacim ağırlığı yüksek olan beton tercih edilmelidir. Bu özellikte bir beton, ancak ağır agregaların kullanılması ile elde edilebilir.

2.7. Çimento

Çimento, harç ve beton gibi ürünler insanoğlunun geçmişte en fazla kullandığı ve gelecekte en çok tercih edeceği yapı malzemesi olup özellikleri hakkında en az bilgi sahibi olunan malzemelerdir. Bu durumun sebebi ilk görünüşte basit görünümleri ve kolay zannedilen üretim uygulamalarıdır.

Çimento, temel olarak doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtılmasının ardından öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzemedir. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu girdiğinde sert bir kütle oluşturup suda dağılmayan, sertlik ve mukavemet özelliklerini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir.

Diğer bağlayıcı madde tiplerinde olduğu gibi çimentolar, CaO, MgO gibi alkali karakterli maddeler ve SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi hidrolik özellikli maddelerden oluşur. Alkali karakterli ve hidrolik özellikli maddelerin oranları bağlayıcı maddenin niteliğini belirlemektedir [12,29].

2.8. Karışım Suyu

Betonda kullanılacak suyun içilebilir su olması önemli bir husustur. Beton karışımında kullanılmaya uygun su, içilebilir su olmalıdır. TS 500'e göre karışım suyu asit özellikli tepkime göstermemeli ($\text{pH} > 7$) olmalıdır. İlâveten, tuz miktarı en fazla 15 g/lt olmalıdır. Madeni tuz miktarının 2 g/lt'yi geçmemesine dikkat edilmelidir. Son zamanlarda, beton santrallerindeki geri dönüşüm suyu da betonda kullanılmaktadır. Çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak yağlayıcı etki oluşturmak ve bunun sonucunda betonun daha rahat karıştırılabilme, taze betonun yerleştirilme, sıkıştırılabilme imkanı sağlar. Bir başka deyişle betonun işlenebilmesini sağlar [12,30].



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Numunelerin Hazırlanması

Yapılacak olan çalışmada beton numuneleri hazırlanırken TS EN 802 standardının Haziran 2009 yılı değerlerine göre karışım hesabı yapılmıştır [11]. Karışımında kullanılacak agrega miktarı tayini yapılırken granülometri eğrisinin verilerine göre agrega oranları belirlenmiştir. Bu karışımlarda kullanılacak olan boraks pentahidrat miktarı çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek 5 farklı oranda karışım hazırlanmıştır. Karışımındaki boraks pentahidratın miktarı ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında arttırılmış çimento miktarı ise aynı oranlarda azaltılmıştır. Karışım yapılırken Su/Çimento oranı göz önünde bulundurularak beton harcı çökme deneyine tabi tutulmuştur. Çökme miktarı 8 cm olan beton harcı daha önceden içleri yağlanan 3 farklı kalıba küp (10x10x10 cm), kiriş(4x4x16 cm), plak(30x30x2 cm) doldurulmuştur. Kalıplara bırakılan beton harçları içerisinde boşluk olmaması ve betonun kalıba tam yerleşmesi için sarsma tablasında sarsılma işlemine tabi tutulmuştur. Kalıpların üst kısmı mala ile düzeltme işlemi yapılarak her numunenin üzerine numunelerin karışmaması için numaralandırma işlemi yapılmıştır. 24 saat süresince ortam sıcaklığı 20 ± 3 °C olan nemli laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Geçen 24 saat süre zarfından sonra numuneler kalıplardan çıkarılarak kürünü alması maksadıyla kür havuzuna bırakılıp 28 gün kürünü alması beklenmiştir. 28 gün sonunda kürden çıkarılan numunelerin 24 saat normal hava koşullarında kuruması beklenerek 28 günlük numunelerin ölçümlerini almak için hazır hale gelmiştir.

28 günlük dayanıma sahip numunelerin ilk olarak suya doygun ağırlıkları, su altı ağırlığı, kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Kiriş (4x4x16 cm) numuneler eğilmeden çekme deneyine tabi tutulmuştur. Küp (10x10x10 cm) numunelerin ise basınç deneylerine tabi tutularak basınç dayanımları ölçülmüştür. Bu numuneler; 200, 400, 600 C⁰ gibi yüksek sıcaklık etkisine tabi tutulup dayanımlarındaki değişim gözlenmiştir. Numunelerin üzerinde farklı yüzeylerinde schmidt test çekici ile yüzey sertlikleri ölçülmüştür. (10x10x10 cm) şeklindeki küp numuneler üzerinde PGH ölçümleri elde edilmiştir. Ayrıca plak (30x30x2 cm) numunelerin 3 farklı kalınlıkta radyasyon soğurmaları tespit edilmiştir.

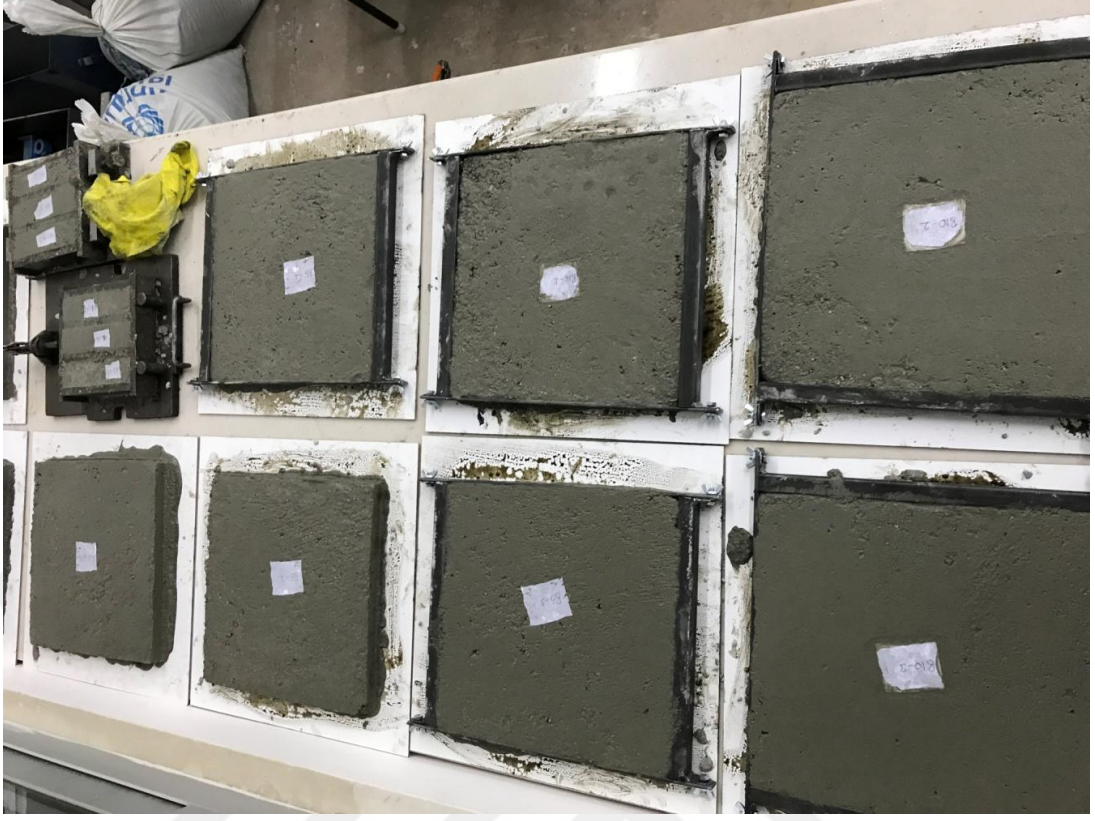
Bu çalışmada imal edilen kiriş numune (4x4x16 cm), küp (10x10x10 cm) ve plak (30x30x2 cm) şeklindeki numunler Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bu çalışmadaki kiriş numune örnekleri



Şekil 3.2. Bu çalışmadaki küp numune örnekleri



Şekil 3.3. Bu çalışmadaki plak numune örnekleri

3.2. Kullanılan Materyaller

Agrega olarak TS 706 standardına uygun 0-4 mm, 5-16 mm dane çapında kırmataş agregası kullanılmıştır. Kullanılan agregalar Şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bu çalışmadaki kullanılan 0-4 mm ve 5-16 mm dane çapındaki agregalar

Eskişehir Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen bor madenin bir türü olan boraks pentahidrat, bu çalışmada çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan boraks pentahidrat Şekil 3.5 de gösterilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan boraks pentahidratın kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri hakkında bilgiler Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Bu çalışmadaki kullanılan boraks pentahidrat

Tablo 3.1. Boraks Pentahidrat Kimyasal Bileşenleri [32].

Kimyasal İçerik		
İçerik	Birim	Değer
B_2O_3	%	48-49,35
Eşdeğer $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	%	100.42-103.24
Na_2O	%	21,37 - 21,95
SO_4	ppm	135 mak.
Cl	ppm	70 mak.
Fe	ppm	3 mak.
Suda çözünmeyenler	ppm	150 mak.

Tablo 3.2. Kimyasal ve Fiziksel özellikler [32].

Kimyasal ve Fiziksel Özellikler (Beyaz, katı kristal formundadır.)	
Özgül Ağırlık	1,81 g/cm ³ (20 °C)
Molekül Ağırlığı	291,35g/mol
Erime Noktası	741 °C
Kaynama Noktası	1575 °C

Tablo 3.3. Boraks Pentahidratın Sıcaklık Karşısında Suda çözünürlük yüzdesi [32].

Sudaki Çözünürlük	
Sıcaklık (°C)	100 ml Suda Çözünen Etibor-48(g/100ml)
0	1,71
10	2,50
15	3,14
20	3,81
25	4,78
30	5,69
40	8,77
50	13,80
60	24,10
70	28,21
80	33,84
90	41,06
100	50,12

Beton harcı hazırlanırken Çimentoş Elazığ fabrikasında üretilen TS 19 ve TS22'ye uygun CEM I 42,5R Puzolanik portland çimentosu kullanılmıştır [33]. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri [34].

Kimyasal Kompozisyon(%)		Çimentonun Fiziksel Özellikleri	
SiO ₂	20,4	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3.05
Al ₂ O ₃	5,61	Priz Başlangıcı(dk.)	190
Fe ₂ O ₃	3,27	Priz sonu (dk.)	255
CaO	63,01	Hacim genişlemesi (mm)	7
MgO	2,49	Özgül Yüzey, (cm ² /gr. Blaine)	3470
SO ₃	2,26	Çimentonun Basınç Dayanımı (MPa)	
Cl	0,006	2 gün	24,2
Kızdırma kaybı	1,64	7gün	43,5
Çözünme kalıntı	1,68	28gün	54,5

Beton harcı yapımında içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılacak S/Ç oranı çökme deneyi sonucu 0,55 olarak alınmıştır. Yapılacak deneyler için;

- 3x6 adet 4x4x16 cm dikdörtgen numune (eğilme çekme deneyi için)
- 3x6 adet 30x30x2 cm plak numune (radyasyon deneyleri için)
- 2x8 adet 10x10x10 cm küp numune (yüksek sıcaklık deneyi için)
- 6x6 adet 10x10x10 cm küp numune (diğer fiziksel deneyler için)

numuneler dökülmüştür.

Karışımlar hazırlanırken hassas elektronik terazi kullanılmıştır. Kullanılan hassas elektronik terazi Şekil 3.6 de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Bu çalışmada kullanılan hassas elektronik terazi

Küp numunelerin karşılıklı iki yüzeyine konulan sondalar vasıtasıyla betona ultrases akım verilip geçiş süresi ultrases ölçüm cihazıyla (PGH) mikro saniye biriminde tespit

edilmiştir. Bu ölçüm ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ultrases ölçüm cihazı Şekil 3.7’te verilmiştir.



Şekil 3.7. Bu çalışmada kullanılan ultrases ölçüm cihazı

3.3. Elek Analizi (Granülometri)

X ekseninde elek açıklıklarının, Y ekseninde ise yüzdelerin belirtildiği, farklı beton türlerine göre ideal ve ideal olmayan agregalar karışım yüzdelerinin gösterildiği eğri granülometrik eğri olarak tanımlanmaktadır. 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. Betonda sağlam bir taşıyıcı iskelet oluşması ve boşlukları dolduracak çimento hamurunun azalması için agregalar karışımının boşluğunun en az, diğer bir ifade ile kompasitenin en fazla olması istenir [35]. 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 Şekil3.9.’teki A16 ve B16 eğrileri arasında bulunması gerekmektedir. Şekil 3.8’de agregaların elek analizinin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



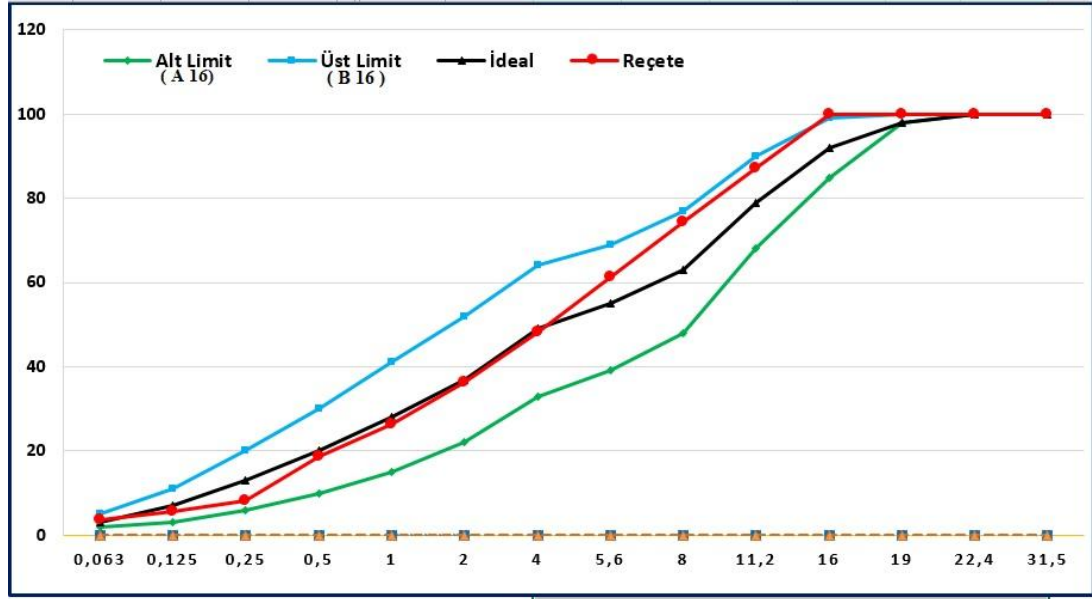
Şekil 3.8. Agregaların elek analizine tabi tutulması

Granülometri eğrisini elde etmek amacıyla 4000 gr agregat kullanılmıştır. 4000 gr agreganın 2000 gr'lık (%50) kısmını 0-4 mm kırmataş agregası oluştururken, 2000 gr'lık kısmını da 4-16 mm'lik (%50) kırmataş agregası oluşturmuştur. Elde edilen karışımın Tablo 3.5'de ve Şekil 3.9'da görüldüğü gibi uygun bir karışım olduğu tespit edilmiştir. Karışıma ait değerler Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. 4000 gr'lık karışım için kullanılacak agregat miktarı

Elek Çapı(mm)	Elek Üzerinde Kalan	Kümülatif Kalan	Kalan %	Kümülatif %	Kümülatif Geçen %
16	0	0	0	0	100
8	1030	1030	25,75	25,75	74,25
4	1045	2075	26,125	51,875	48,125
2	475	2550	11,875	63,75	36,25
1	400	2950	10	73,75	26,25
0,5	300	3250	7,5	81,25	18,75
0,25	420	3670	10,5	91,75	8,25
KAP	330	4000	8,25	100	0
Toplam (gr)	4000	4000			

Yapılan bu elek analizine karşılık elde edilen agregaların ise granülometri eğrisi Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Agregaların granülometri eğrisi

3.4. Beton Karışım Hesaplarının Yapılması

Kaliteli bir beton hazırlarken homojen bir beton harcı karmak en mutlak doğrular arasındadır. Betonun kullanım amacına uygun beton karışımı yaparken beton harcı için; S/Ç oranı, agrega miktarı, çökme miktarı, mukavemetine uygun çimento türü ve dozajı, ilave edilecek katkı maddesi ve oranları tespit edilir.

Bu çalışmada beton harcı hazırlanırken boraks pentahidrat-çimento, karışım suyu, agrega miktarları oranları tespit edilmiştir.

Karışımda Kullanılan malzemelerin yoğunlukları Tablo 3.6’de belirtilmiştir.

Tablo 3.6. Karışıma giren malzeme yoğunlukları

Çimento	Karışımda kullanılan agregaların birim hacim kütleleri		Boraks pentahidrat
	0-4 mm	4-16 mm	
3150 kg/m ³	2730 kg/m ³	2700 kg/m ³	1810 kg/m ³

Bu malzeme yoğunluklarına göre yapılan karışım hesabında ağırlıkça boraks pentahidrat ile çimentonun yer değiştirilerek, kontrol numunesi dışında 5 farklı oranda numune elde edilmiştir. Elde edilen numuneler boraks pentahidrat artış oranına bağlı olarak;

boraks pentahidrat miktarı %5 olan numune B5, %10 olan numune B10, %15 olan numune B15, %20 olan numune B20 ve %25 olan B25 olarak isimlendirilmiştir. Bu oranlara göre karışım hesabı yapılarak, yapılan karışım hesabına göre kullanılacak malzeme miktarları Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. 0-4 mm ve 4-16 mm agregalarının birlikte kullanıldığı karışım hesabı

1 m ³ için gerekli olan malzeme miktarları						
Numuneler	Çimento(kg)	Su(lt)	0-4 mm (kg)	4-16 mm (kg)	Boraks pentahidrat (kg)	Çimento +Boraks pentahidrat (kg)
Kontrol	350	193	919	909	0	350
B5	332,5	193	919	909	17,5	350
B10	315	193	919	909	35	350
B15	297,5	193	919	909	52,5	350
B20	280	193	919	909	70	350
B25	262,5	193	919	909	87,5	350



Şekil 3.10. Slamp (çökme) deneyi

Bu çalışmada S/Ç oranı daha önce yapılan deneylerde de gözlemlendiği üzere 0,55 olarak belirlenmiştir. Bu oran ile slamp (çökme) deneyinde çökme miktarı 8 cm olarak

ölçülmüştür. Slamp (çökme) deneyi TS EN 123-2'ye göre yapılmıştır [35]. Şekil 3.10 de slamp(çökme) deneyinden bir görünüş verilmiştir.

3.5. Numunelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesi

Bu bölümde; küp, dikdörtgen ve plak şekle sahip kalıplarda elde edilen numunelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri ölçülmüş, elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

3.5.1. Su Altı ve Doygun Yüzey Kuru Ağırlık, Hacim, Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Yüzdelерinin Ölçülmesi

Numuneler sudan çıkarılıp 0.1 gr hassasiyetli terazi vasıtasıyla suya doymun ağırlıkları ve su altı ağırlıkları ölçüldü. Ardından etüve konuldu. Sonra numuneler etüvde, 24 saat $105\pm5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bekletilerek kuru ağırlıkları ölçüldü. Betonların su altındaki ağırlıkları su altı ağırlığı ölçme terazisi ile tespit edilmiş olup Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Bu çalışmada kullanılan su altı ağırlığı ölçüm terazisi

1 dm³ ölçüde dökülen küp numunelerin hacimleri aşağıdaki formülle hesaplanmış ve toplu olarak Tablo 3.8'de ortalama sonuçlar verilmiştir.

$$V = \frac{a-b}{998} \times 1000 \quad (3.1)$$

V: Hacim

a: Numunenin suya doygun havadaki ağırlığı

b: Numunenin suya doygun su altı ağırlığı

Kuru birim hacim ağırlıklarının hesaplanmasında aşağıdaki formülden faydalanılmıştır.

$$C = g / V \quad (3.2)$$

C: Numunenin kuru birim hacim ağırlığı

g: Numunenin kuru ağırlığı

Numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri hesaplanırken ise aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$D = \frac{a-g}{g} \times 100 \quad (3.3)$$

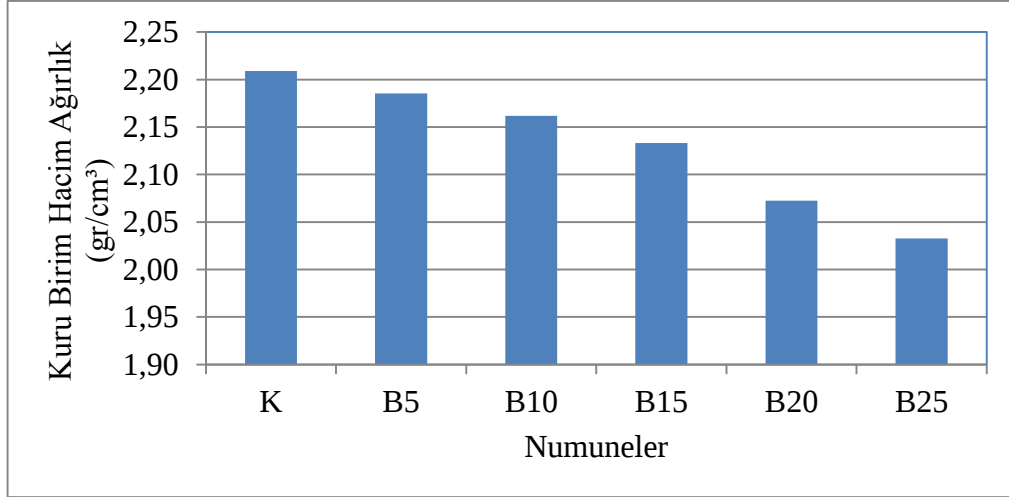
D: Numunenin ağırlıkça su emme yüzdesi

Tablo 3.8. Numunelerin su altı ve suya doygun ağırlığı, kuru ağırlık, hacim, kuru birim hacim ağırlığı ve su emme yüzdeleri

Numuneler	Suya Doygun Ağırlık (gr)	Su altı ağırlık(gr)	Kuru Ağırlık(gr)	Hacim(cm ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Su Emme Yüzdesi(%)
Semboller/formüller	a	b	g	$V=(a-b)*1000/998$	$C=g/V$	$D=(a-g)/g*100$
Kontrol Numunesi	2431,67	1389,67	2306,33	1044,09	2,21	5,43
B5	2439,20	1393,50	2298,00	1047,8	2,19	6,14
B10	2451,10	1395,60	2286,20	1057,62	2,16	7,21
B15	2462,30	1397,20	2276,40	1067,23	2,13	8,17
B20	2513,50	1401,50	2273,9	1114,23	2,07	8,85
B25	2541,0	1404,60	2269,2	1138,68	2,03	9,77

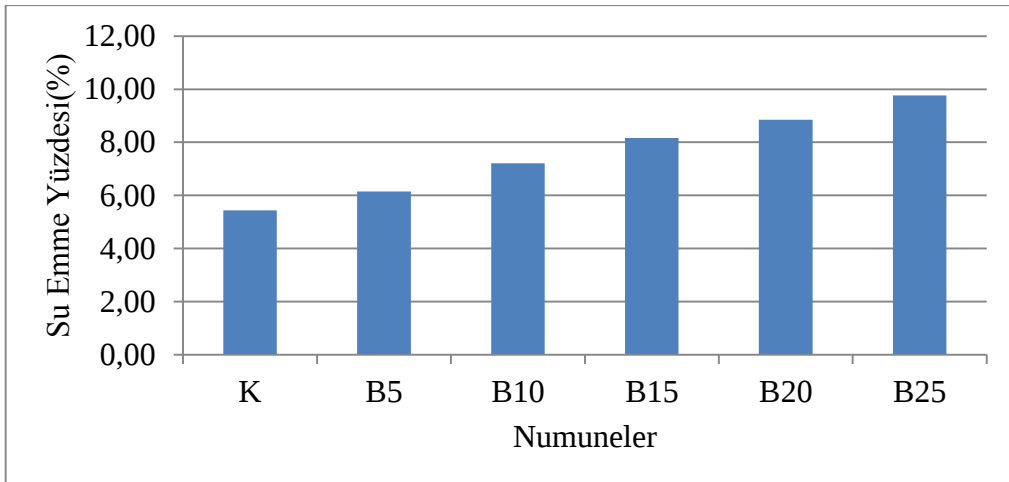
Tablo 3.8 incelendiğinde beton içerisine katılan boraks pentahidrat miktarı artışına bağlı olarak; suya doygun ağırlık ve su altı ağırlığı artmakta, kuru birim hacim ağırlığına bakıldığında ise azalma olduğu belirlenmiştir. Su emme yüzdesine bakıldığında ise boraks

pentahidrat miktarı arttıkça su emme yüzdesi de artmıştır. Elde edilen veriler sonucunda suya doygun ağırlığın en yüksek olduğu karışım numunesi B25 iken en az olduğu değer kontrol numunesidir. Kuru birim hacim ağırlığının en yüksek olduğu değer B25 iken en düşük olduğu değer kontrol numunesi olmuştur. Bu durum Şekil 3.12 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları

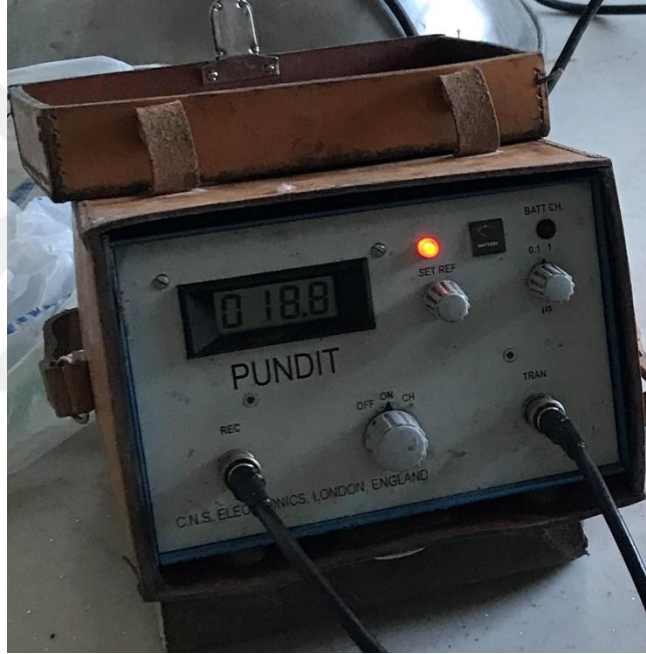
Numunelerin su emme yüzdeleri arasındaki ilişki incelendiği zaman boraks pentahidrat artışına bağlı olarak su emme yüzdeleri artış göstermiş olup, en düşük su emme yüzdesi kontrol numunesinde elde edilirken, en yüksek su emme yüzdesi B25 numunesinde elde edilmiştir. Boraks pentahidrat katkılı numunelerin su emme yüzdeleri Şekil 3.13'da gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Numunelerin su emme yüzdeleri

3.5.2. Ultrases Hızlarının (PGH) Ölçülmesi

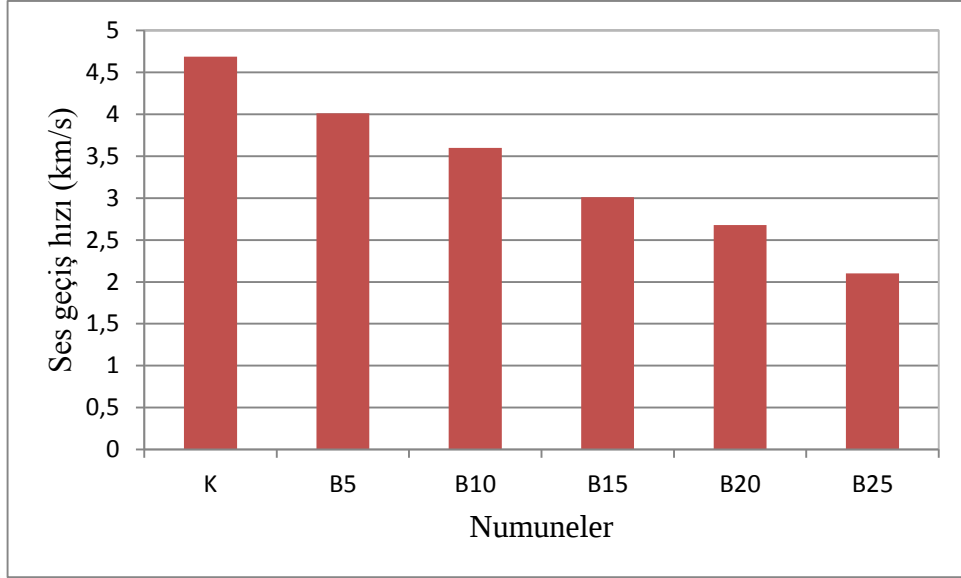
Bu deney metodu ile ilgili teknikler, test cihazının özellikleri ve kullanım yöntemleri ASTM C 597 standardında yer almaktadır [36]. PGH (ultrases) ölçümü özel bir elektronik cihazla yapılmakta olup bu cihaz ile beton bloğunun bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalgaların diğer bir yüzeye ulaşınca kadar geçen süre ölçülerek dalga hızı hesaplanmaktadır. Elde edilen ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak tespit edilebilmektedir. Deneylerde kullanılan PGH ölçüm cihazı Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14. Bu çalışmada kullanılan Ultrases (PGH) ölçüm cihazı

PGH ölçüm deneyine başlamadan önce metal başlıklara vazelin sürülerek birbirine yapıştırılıp test ölçümü yapılmıştır. Alet sıfırlandıktan sonra yapılan ölçümde okunan değer $27,3\mu s$ olmalıdır. Ölçüm yapılan beton donatısız beton olmalıdır.

Cihaz açılarak metal başlıklardan biri dalga gönderici olarak numunenin bir yüzeyine boşluk kalmayacak şekilde tamamen temas ettirilerek elle bastırılır. Numunenin diğer yüzeyine de, diğer metal başlık olan dalga alıcı karşılıklı olarak elle bastırılır ve istenilen sonuçlar ekranda okunur. PGH ölçüm deneyine elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Ultrases (PGH) cihazıyla elde edilen ölçüm sonuçları

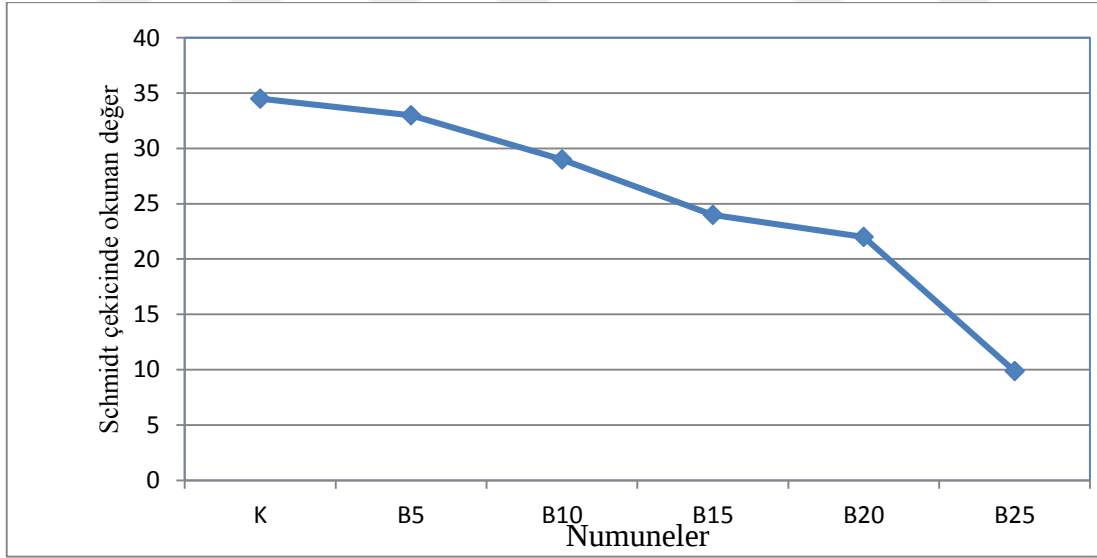
Şekil 3.15’ye göre boraks pentahidrat oranı artışıyla ultrases geçiş hızı arasında azalan bir ilişki olduğu görülmüştür. Ses geçiş hızının en yüksek olduğu numune kontrol numunesi iken, en az olan numune B25 numunesidir. İlâveten, ultrases geçiş hızı ne kadar yüksekse boşlukta o kadar az demektir. Elde edilen PGH ölçümlerine bakıldığında, betonun basınç dayanımı ile mukayese edilirse, ses geçiş hızı yüksek olan beton basınca karşı dayanıklı, ses geçiş hızı düşük olan beton numuneleri ise basınca karşı daha az dayanıklı olduğu söylenebilir. Yoğunluk ve su emme deney sonuçlarına bakıldığı zaman bor katkısı ile birlikte yoğunluğun düştüğü su emme miktarının arttığı görülmüştü. Bu sonuçlarda PGH ölçüm sonuçlarını destekler niteliktedir.

3.5.3. Yüzey Sertliklerinin Ölçülmesi

Yüzey sertliği, Schmidt çekici aletiyle yapılmıştır. Schmidt çekici; malzemenin tek eksenli basınç dayanımının yaklaşık değeri tespit edilmesi amacıyla kullanılan tahribatsız test cihazıdır. Yapılan bu çalışmada numuneye dik açıda tam yük uygulayacak şekilde numuneye paralel olarak sabit tutulan topuz sabit bırakma düğmesine basılarak numuneden sıçradıktan sonra elde edilen değerler ile bulunmuştur. Bu çalışmada Schmidt çekici aletinden bir görüntü Şekil 3.16 de verilmiştir. Schmidt çekici kullanılarak yapılan yüzey sertliği sonuçları da Şekil 3.17’te verilmiştir.



Şekil 3.16. Çalışmada kullanılan Schmidt çekici



Şekil 3.17. Bu çalışmada elde edilen yüzey sertliği ölçüm sonuçları

Şekil 3.13'e göre boraks pentahidratın beton karışımındaki oranı arttıkça yüzeyde sertlik derecesinde azalma olduğu ve bu azalmanın lineer bir eğriye yakın olduğu görülmektedir. Yüzey sertliği en yüksek olan numune kontrol numunesi olurken, en az olan numune ise B25 numunesidir. Bu sonuçlardan da anlaşıldığı üzere boraks pentahidrat oranının arttığına bağlı

olarak yüzey sertliği ile betonun basınç dayanımı arasında paralellik gösterdiği görülmüştür. Yüzey sertlikleri ölçümünde TS 3260 ve ASTM C 805'den faydalanılmıştır [37,38].

3.5.4. Eğilmede Çekme Dayanımlarının Ölçülmesi

Bu deney ile betonun çekme gerilmelerine karşı mukavemeti tespit edilir. Kiriş boyutları 4x4x16 cm olan beton numuneler iki mesnetli ve mesnetler arası açıklığı 10 cm olan deney aletine sabitlenip, iki mesnete de eşit uzaklıkta eksenel dik kuvvet, beton numunesinin tam ortasına uygulanarak beton numunesi kırılıncaya kadar yükleme yapılmıştır. Ölçüm yapılırken cihazın yükleme hızı 0,20 kN/s olarak ayarlanmış ve deneyler yapılmıştır. Beton numunelerin eğilme dayanımları hesaplanırken aşağıda verilen formül kullanılarak her bir numunenin eğilme dayanımı hesaplanmış ve ortalama değerler alınmıştır.

$$f_{cf}=FxL/bxh^2 \quad (3.4)$$

Burada;

f_{cf} : Eğilme dayanımı, MPa

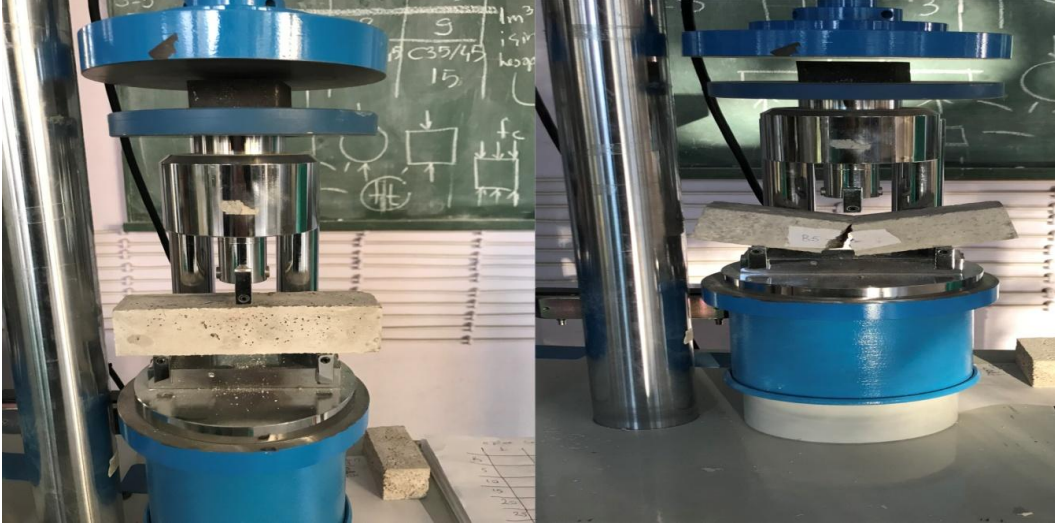
F: En büyük yük(kuvvet), N

L: Mesnetler arası açıklık, mm

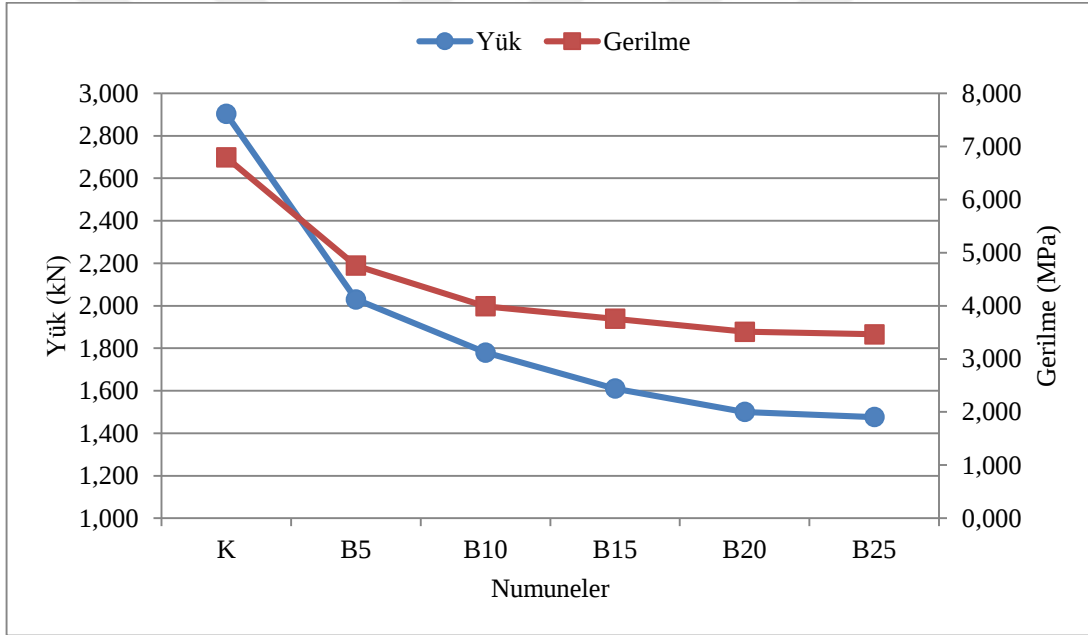
b: Numunenin eni, mm

h: Numunenin yüksekliği, mm [39].

Deney düzeneği ile ilgili resim Şekil 3.18'de verilmiştir. Eğilmede Çekme Deneyi sonucunda elde edilen değerler Şekil 3.19'da grafiksel olarak verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere bir eksen de kırılmaya sebep olan kuvvet diğer eksen de hesaplamalar sonucu elde edilen gerilmeler ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 3.18. Bu çalışmadaki eğilme çekme deneyi



Şekil 3.19. Eğilme ve çekme deneyler sonucu elde edilen ölçüm sonuçları

Şekil 3.19'a göre yük ve gerilme eğrileri hiperboliğe yakın bir değişim göstermiştir. Burada, kontrol numunesinde gerilme 6,79 Mpa iken boraks pentahidrat katkılı numunelerde en yüksek gerilme 4,75 Mpa değerinde B5 numunesinde ve en düşük gerilme 3,24 Mpa değerinde B25 numunesinde görülmüştür. Bu netice doğrultusunda elde edilen sonuçlara bakıldığında numunelere uygulanan yüke karşı B5, B10, B15, B20, B25 numuneleri arasında kararlı bir değişim olmuştur. Eğilmede çekme deneyi yapılırken TS 3285'e göre yapılmıştır [40].

3.5.5. Basınç Dayanımının Ölçülmesi

Betonda basınç dayanımı, eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmaması için gösterebileceği direnme yeteneği olarak ifade edilmektedir [1,12].

“Standart deney metodu”, betonun basınç dayanımının tespit edilmesi amacıyla, halen kullanılmakta olan en önemli deney metodudur. Belirli yaşlardaki beton numunelerin birim alanının taşıyabileceği yük miktarının tespit edilmesi ve aynı karşıyla üretilen betonun günlük yaşamdaki durumunun taşıyabileceği yük hakkında bilgi edinilmesi amacıyla yapılmaktadır [1,4,12]. Standartlara uygun biçimde hazırlanan küp şeklindeki beton numunemizin boyutları kumpas vasıtasıyla tespit edilmiştir. Etiketli basınç alanında kalmayacak şekilde, yani bize dönük olacak şekilde 100 kg duyarlılığa sahip 200 ton’luk prese yerleştirilmiştir. Yükleme hızı darbe etkisi oluşturmayacak biçimde 3 kN/s olacak biçimde ayarlanmıştır. Doğru bir ölçüm yapabilmesi amacıyla düşük hızda yükleme yapılarak belirli yükleme değerlerindeki şekil değişimleri incelenmiştir.

Deney numunesinin kırıldığı andaki en yüksek yük (F) tespit edilerek en az üç numunenin basınç dayanımlarının ortalaması alınmış ve ortalama basınç dayanımları hesaplanmıştır. Basınç deneyi ile ilgili bir görünüm Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Bu çalışmadaki basınç deneyinde kullanılan ölçüm aleti

Numunelerin basınç dayanımlarının tespitinde TS 3114 standardından faydalanılmıştır [41]. Aşağıdaki formül kullanılarak basınç dayanımları hesaplanmıştır. Numunelerin basınç dayanımlarının sonuçları grafiksel olarak Şekil 3.21’de verilmiştir.

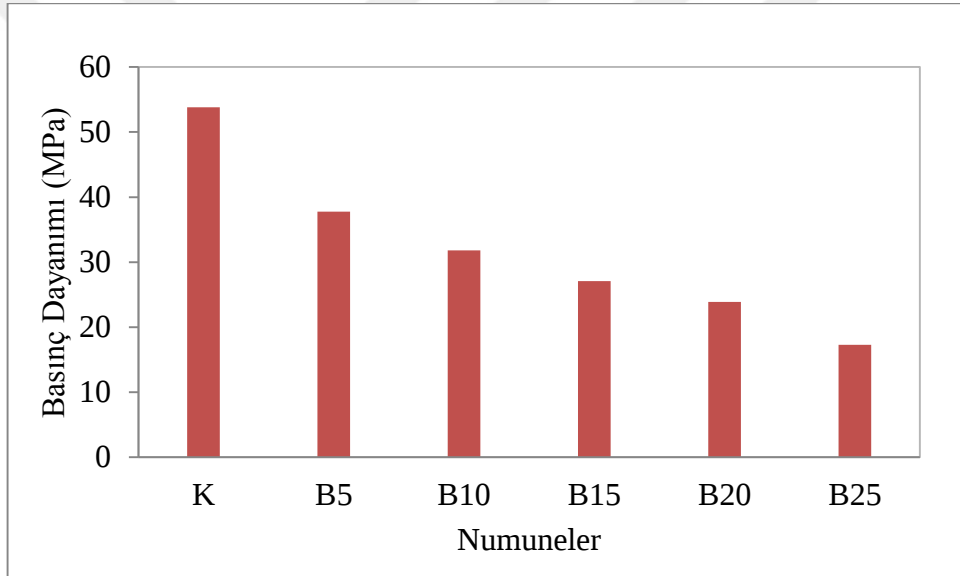
$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.5)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı, MPa

F: Kırılma anında ki en büyük yük (kuvvet), N

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı kesit alanı, mm² [39].



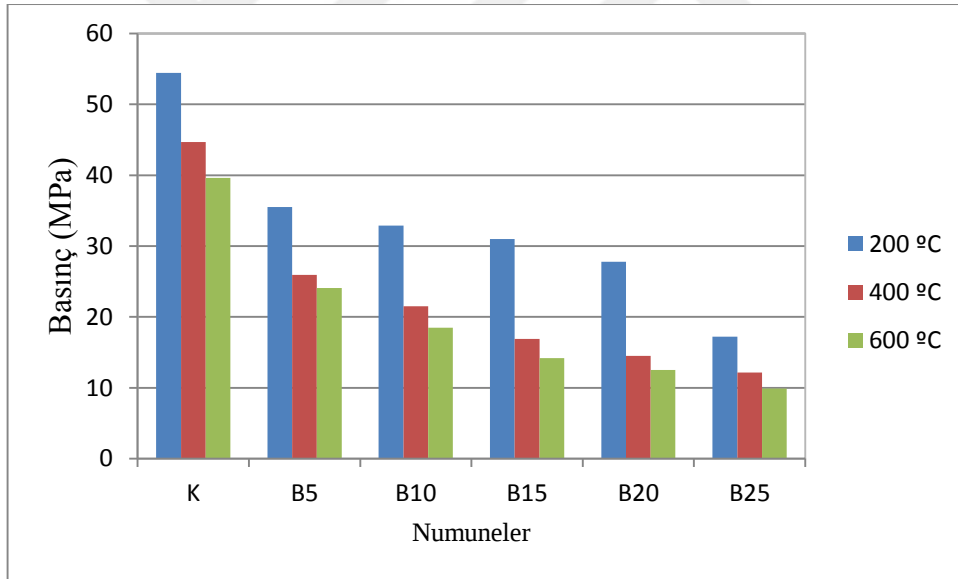
Şekil 3.21. Bu çalışmadaki numunelerin basınç dayanımları

Şekil 3.21’e göre kontrol numunesinin basınç dayanımı 53,82 MPa olarak ölçülmüştür. Kontrol numunesine göre tüm numunelerin basınç dayanımları daha düşüktür. Boraks pentahidratlı betonların mukayesesi yapıldığında en yüksek basınç dayanımı 37,75 MPa değerinde B5 numunesinde, en düşük basınç dayanımı ise 17,27 MPa değerinde B25 numunesinde görülmüştür. Kontrol numunesine oranla boraks pentahidrat artışına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımları azalmıştır. Kısacası, genellikle boraks pentahidrat miktarı artışı ile basınç dayanımı arasında ters orantı vardır. Daha önce yapılan deney sonuçları incelendiğinde bunun beklenen bir sonuç olduğu görülmektedir.

3.5.6. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Betonun Basınç Dayanımının Ölçülmesi

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun, basınç dayanımı özelliklerinde değişimler ortaya çıkmaktadır. Bu değişimler; betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, çelikte ise akma dayanımı ve çekme dayanımında azalma şeklinde gerçekleşmektedir [42].

Bu çalışmadaki beton numunelerin yüksek sıcaklardaki (200 °C, 400 °C, 600 °C) basınç dayanımları incelenmiştir. Yapılan çalışmada her sıcaklık için ayrı ayrı tüm numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakılıp, numuneler istenilen sıcaklık değerine ulaştıktan sonra 1 saat süre ile istenilen yüksek sıcaklıkta bekletilip, daha sonrasında numuneler soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin tam soğuma işlemi tamamlandıktan sonra basınç deneyine tabi tutularak basınç dayanımları tespit edilmiştir. Sonuçlar Şekil 3.22’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 3.22. Bu çalışmadaki beton numunelerin yüksek sıcaklardaki basınç dayanımları

Şekil 3.22’e göre; 200 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde kontrol numunesi ne göre boraks pentahidratlı beton numunelerinde düşüş görülmüştür. 200 °C sıcaklık altında ki boraks pentahidratlı numunelerden en yüksek basınç dayanımı 35,15 MPa değeriyle B5 numunesinde görülmüştür, en düşük basınç dayanımı ise 17,20 MPa olarak ölçülen B25 olan numune de görülmüştür.

400 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde kontrol numunesi ne göre boraks pentahidratlı beton numunelerinde de düşüş görülmüştür. 400 °C sıcaklık altında ki boraks pentahidratlı numunelerden en yüksek basınç dayanımı 25,95 MPa değeriyle B5 numunesinde görülmüştür, en düşük basınç dayanımı ise 12,13 MPa olarak ölçülen B25 olan numunede görülmüştür.

600 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde kontrol numunesine göre boraks pentahidratlı beton numunelerinde de yine düşüş görülmüştür. 600 °C sıcaklık altında ki boraks pentahidratlı numunelerden en yüksek basınç dayanımı 24,1 MPa değeriyle 400 °C sıcaklıkta ki gibi B5 numunesinde görülmüştür, en düşük basınç dayanımı ise 9,90MPa olarak ölçülen B25 olan numune de görülmüştür.

Üç farklı sıcaklıkta yapılan (200 °C, 400 °C, 600 °C) basınç deneyleri ölçümlerine bakıldığında en düşük basınç değeri, boraks pentahidrat oranı %25 olarak ikamesi yapılan B25 olan numuneler de görülmüştür. Genel olarak incelendiğinde bor katkısı ile birlikte basınç dayanımlarının düştüğü diğer deney sonuçlarıyla da ispat edilmişti. Amacımız borlu betonlarda yüksek sıcaklığın nasıl bir etkisi olacağını görmektir ki bor katkısının betonun basınç dayanımına hiçbir şekilde olumlu bir katkısı olmadığı tespit edildi. Ayrıca 600 °C'nin üzerinde ki uygulamalarda özellikle B25 beton numunelerin bomba gibi patladığı da tespit edildi. Dolayısıyla ölçüm alınamadığı için bu sonuçlar çalışmaya konmadı.

3.5.7. Numunelerin Gama (γ) Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Belirlenmesi

Radyasyonun yaymış olduğu zararlara karşı korunmak, malzemelerin radyasyon geçirgenliklerinin ölçülmesi ve ne derece geçirgenliğe sahip oldukları bilinmelidir. Malzemelerin radyasyon geçirgenlikleri ölçülerek tespit edildiğinde koruyucu olabilecek malzemeler ortaya çıkmakta ve radyoaktif maddelerden korunmada en etkili malzemenin hangisi olduğu belirlenebilmektedir. Beton numunelerin radyoaktivite ölçümleri Fizik bölümü Laboratuvarlarında yapıldı. Öncelikle ölçüm alabilmek için numuneler kesilerek 15x15x2 cm boyutlarına getirildi. Değişik kalınlıklar için ölçümler yapıldı.

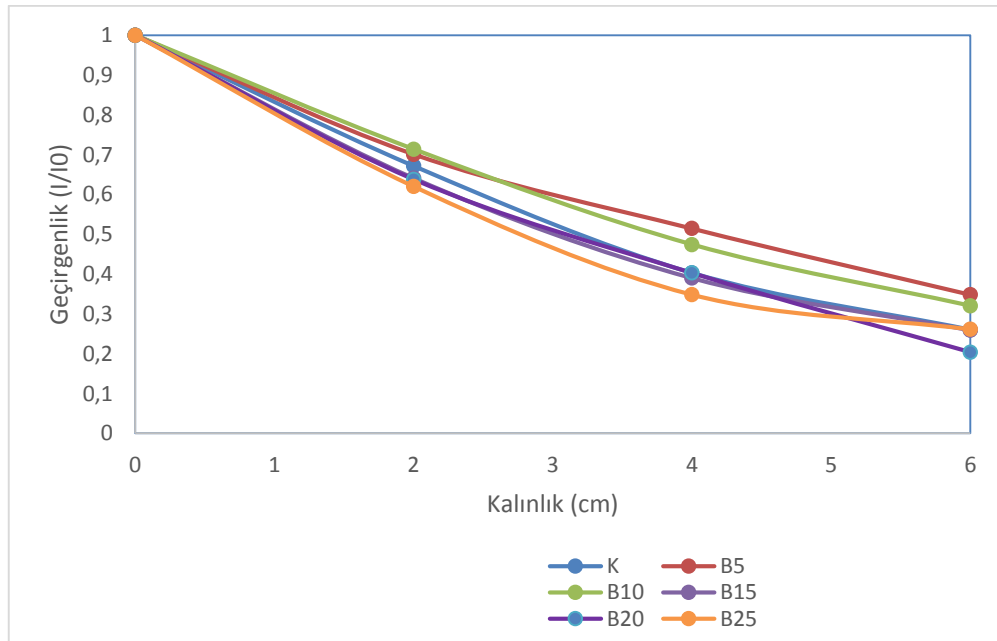
Her bir örneğin kütle soğurma katsayıları NaI (TI) detektörlü Gama Spektroskopi ölçüm sistemi ve 662 keV'lik gama radyasyonu yayan 1 micro-Ci aktiviteye sahip Cs-137 noktasal radyasyon kaynağı kullanılarak belirlenmiştir. Üretilen örneklerin kütle soğurma katsayısı;

$$\mu/\rho (cm^2 g^{-1}) = \ln(I_0/I) / \rho t \quad (3.6)$$

denklemini kullanılarak hesaplanmıştır. Burada I_0 , kaynak ile detektör arasında soğurucu materyal olmadan elde edilen gama ışını şiddeti, I soğurucu materyalden geçen gama ışını şiddeti, ρ maddenin yoğunluğu ve t ise kalınlığıdır [43]. 2, 4 ve 6 cm olmak üzere 3 farklı kalınlık ile elde edilen soğurmalarla ilgili yapılan deney ile alakalı Gama Spektroskopi ölçüm sistemine ait bir resim Şekil 3.23’de gösterilmiştir.



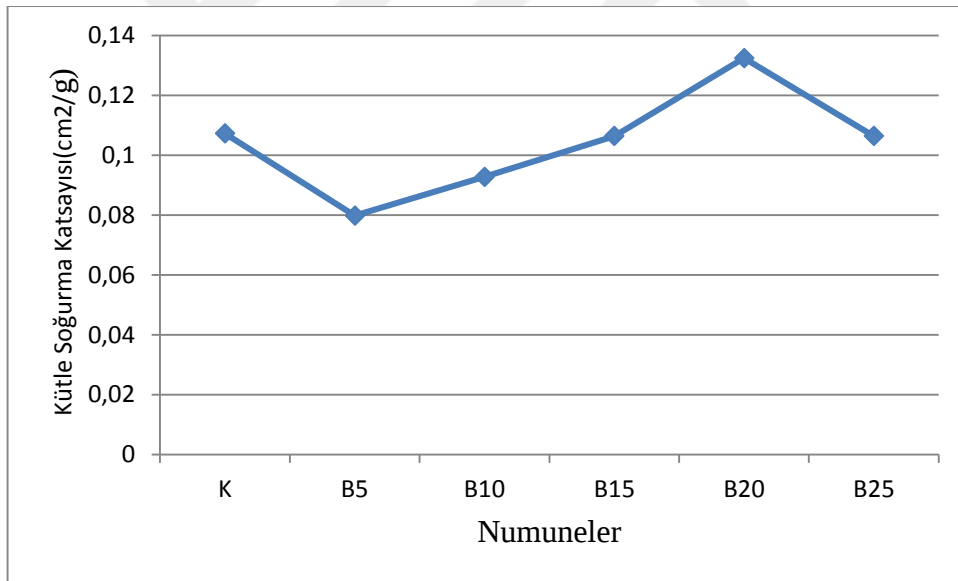
Şekil 3.23 NaI (TI) detektörlü gama spektroskopi ölçüm sistemi



Şekil 3.24. Numunelerin kalınlıklara göre gama (γ) geçirgenlikleri

Bu çalışmada malzemelerin radyasyon geçirgenlikleri malzemenin deneysel olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerin radyasyon geçirgenlikleri Şekil 3.24’de grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 3.24 de görüldüğü üzere B5 ve B10 numunelerinin kontrol numunesine göre radyasyonu daha fazla geçirdiği görülmüştür. Numunelerin yoğunlukları yaklaşık olarak eşit olmakla birlikte, katkı maddesi ile ana matris malzemesinin etkileşiminin zayıf olduğu ve kütle içerisinde muhtemel boşlukların oluşmuş olma ihtimali ile böyle bir sonucun ortaya çıktığı söylenebilir.

B15, B20, B25 numuneleri de kontrol numunesine kıyasla daha iyi bir soğurma eğrisi elde edilmiştir. Kalınlıklar göz önünde bulundurulduğu zaman 2 cm de tüm numuneler de yaklaşık aynı yüzdelerde soğurmalar gerçekleşmiştir. Fakat 4 cm ve 6 cm için farklı radyasyon soğurmaları görülmüştür. 4cm de B25 numunesi gama (γ) radyasyonunu %60’larda soğururken, 6 cm de ise B20 numunesinin gama (γ) radyasyonunu %75’lerde bir soğurduğu görülmüştür.



Şekil 3.25. Bu çalışmadaki beton numunelerin gama (γ) ışınına karşı soğurma katsayıları

Şekil 3.25 de elde edilen veriler doğrultusunda boraks pentahidrat miktarı artışı ile kütle soğurma katsayısı ilişkisi incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında kontrol numunesine göre en yüksek soğurmanın B20 numunesinde olduğu, en düşük soğurmanın B5 numunesinde olduğu tespit edilmiştir. İlave, soğurma katsayısı sırasıyla B5, B10, B15, B20 numuneleri arasında daha lineer bir artış göstermiştir. Ana matrise katılan boraks pentahidrat ile malzemenin yoğunluğunda genellikle düşüşe neden olmuştur. Bunun

sonucunda da örneklerin kütle soğurma katsayılarında %5 katkıda ani bir düşüşe, katkı miktarı arttıkça kütle soğurma katsayılarında yükseliş görülmüştür. Gama radyasyonun en iyi soğurulduğu katkı oranı %20'dir. Bunun nedeni ise; ana matrise ile katılan boraks pentahidrat arasındaki etkileşme ile ilgilidir ve buda gama ışınlarının daha iyi soğurulmasına neden olmuştur. Ancak B20 numunesinden sonra soğurma katsayısında ani bir düşüş olmuştur. Sonuç olarak, kütle soğurma katsayısı en iyi olan B20 numunesi olup bu tür uygulamalarda kullanılabilir olduğu söylenebilir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, boraks pentahidrat gibi zengin yer altı kaynağına sahip olduğumuz minerallerin beton üretiminde değerlendirilmesi ve betonun dayanım ve dayanıklılığı üzerindeki etkilerinin literatüre bakılarak araştırıldığı bu çalışmanın ileride yapılacak tez çalışmasına ışık tutması yönünde bir inceleme yapılmış ve görülmüştür ki elde edilen veriler boraks pentahidratın farklı oranlarda çimento ile ağırlıkça yer değiştirildiği zaman olumlu ve olumsuz sonuçlar elde edilmektedir.

Karışım aşamasında betona boraks pentahidrat katıldığı zaman betonun işlenebilirliğinin kötüleştiği ve betonun daha fazla suya ihtiyaç duyulduğu gözlenmiştir. Bu da çıkan deney sonuçlarını doğrudan etkilemiştir. Dolayısıyla betondaki Boraks pentahidrat miktarı kontrol numunesine kıyasla %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında ağırlıkça çimento ile yer değiştirilerek boraks pentahidrat miktarı artırılıp çimento miktarı azaltılınca; betonun yoğunluğunda düşüşler, su emme miktarında artışlar, yüzey sertliğinde azalmalar bunun sonucu olarak eğilmeden çekme ve basınç dayanımında düşüşler elde edilmiştir. Bu sonuçlar boraks pentahidratın puzzolanik aktivitesinin olmadığını göstermesi açısından da önemlidir.

Aksine Boraks Pentahidrat katkısı ile birlikte betonun radyasyonu absorbe etme özelliklerinde belirli bir orana (%20) kadar iyileşme gözlenmiştir. Bu özelliği ile ilgili daha kapsamlı bir çalışma yapılabilir.

Elde edilen bu sonuçların ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacağına inanarak, bundan sonra yapılacak çalışmalarda Boraks Pentahidratın çimento ile yer değiştirerek değil de ince malzeme yerine kullanımının belki daha iyi sonuçlar sağlayabileceği söylenebilir. Ayrıca S/Ç oranının boraks katkılı betonlar içinde ayrıca yapıp daha iyi işlenebilirliğe sahip betonlar dökülebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. McCormac JC., Brown RH., 2015. Design of Reinforced Concrete. John Wiley&Sons, 672 p.
- [2]. http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Tarih/BeTarihi.pdf
- [3]. Lee C-H., Wang T-T., Chen H-J. 2013. Experimental study of shotcrete and concrete strength development in a hot spring environment. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 38, 390-397.
- [4]. Marie I., 2017. Thermal conductivity of hybrid recycled aggregate–Rubberized concrete, *Construction and Building Materials*, 133, 516-524.
- [5]. Erdoğan E (2006). Çimento ya da Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [6]. Subaşı S, Kap T, Beycioğlu A ve Çullu M (2008). Effect of The Amount of Fly Ash on Setting Time and Workability of The Concrete. International Ready Mixed Concrete Congress, İstanbul.
- [7]. A. Ugurlu ve diğ., 2004. “Bor İçeren Kil Atıkların Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004 Eskişehir Türkiye”.
- [8]. H. Ece PEHLİVANOĞLU ve diğ., 2013. “The Effect of Boron Compound to Setting Time of Cement and Controllability., SDU International Technologic Science Vol. 5, No 3, December 2013 pp. 39-48.
- [9]. Demir İ., 2009. Aynı Oranlarda İkame Edilen Silis Dumanı ve Uçucu Külün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Int.J.Eng.Research& Development*, 1 (2), 1-8.
- [10]. http://teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/beton/2.HTM
- [11]. TS EN 802, Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Haziran 2009.
- [12]. Gu X, Jin X, Zhou Y., 2015. Basic Principles of Concrete Structures. Springer, Shanghai, 606 p.
- [13]. Altun F (2005). Bor. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 1: 80, Ankara]

- [14]. Binici H, Sevinç A H ve Durgun M Y (2010). Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1), Kahramanmaraş]
- [15]. A.AKYİLDİZ, 2012., “Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [16]. Çek N., 2016. Parçacıklar ve Enerji Kaynakları. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 338 p.
- [17]. <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/ay2011/radyasyonturk.htm>
- [18]. Maxwell NI., 2013. Understanding Environmental Health. Jones&BartlettPublishers, United States, 450 p.
- [19]. http://www.bayar.edu.tr/besergil/1_emi_ozellikler.pdf
- [20]. Mann WB., Ayres RL., Garfinkel SB., 2016. Radioactivity and Its Measurement. Second Edition, Pergamon Press, 293 p.
- [21]. Berber H., Radyoaktivite, Anadolu Üniversitesi, Ünite 19, sf 462-463
- [22]. Haque M N, Al-Khaiata H ve Kayalı O (2004). Strength and Durability of Lightweight Concrete. Cement & Concrete Composites. Elsevier Ltd. Number 26: 307-314
- [23]. Şişman C B, Kocaman İ ve Gezer E (2008). Doğal Zeolitten Üretilen Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 20-25
- [24]. Subaşı S (2009). Portland Kompoze Çimentolu Betonlarda Uçucu Kül İkamesinin Donma-Çözülme Dayanıklılığına Olan Etkisi. E-journal of new world sciences academy technological applied sciences, 2a0007, 4, (2), 67-76).
- [25]. Azizi S (2007). Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [26]. Taşdemir M A (1982). Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [27]. http://teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/beton/6.HTM
- [28]. <http://www.thbb.org/teknik-bilgiler/agrega/>
- [29]. <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=54>

- [30]. <http://eng.harran.edu.tr/~pturgut/water.pdf>
- [31]. TS EN 802, Beton Karışım Hesapları, Türk standartları Enstitüsü, Ocak 1985.
- [32]. http://www.etimaden.gov.tr/files/files/document/1032015112259522_ar-ge-urun-kataloglari.pdf
- [33]. TS 19-22, Çimento Portland Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1992.
- [34]. Kurt A. (2012). Betonda yüksek sıcaklık etkisinin mineral katkı çeşitlerine göre değişimi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [35]. TS EN 12350-2, 2002, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü
- [36]. ASTM C 597, 1998, USA. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete.
- [37]. TS 3260, Beton yüzey sertliği yolu ile yaklaşık beton dayanımının tayini kuralı, Ankara, 1978.
- [38]. ASTM, “Annual Book of ASTM Standards 2002 Construction Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”, ASTM International, 2002.
- [39]. Eyyüboğlu, S., (2013), “Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 130s
- [40]. TS 3285, Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu ile) Ankara, 1979
- [41]. TS 3114 ISO 4012, 1998, Beton deney numunelerinin basınç dayanımı tayini.
- [42]. Kızılkıran AB, Yüzer N., 2008. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi. *İMO Teknik Dergi*, 289, 4381-4392.
- [43]. İrim S ve diğ., “Physical, mechanical and neutron shielding properties of h-BN/Gd₂O₃/ HDPE ternary nanocomposites” , *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 144, March 2018, Pages 434-443.

ÖZGEÇMİŞ

1989 Bitlis' in Tatvan ilçesinde doğdu. İlkokulu Elazığ il merkezinde bulunan Mehmet Zeki İlkokulunda okuduktan sonra ortaokulu Evren Paşa ilköğretim okulunda, liseyi Balakgazi Lisesinde tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğini kazandı.

2014 yılında İnşaat Mühendisliğinden mezun olduktan sonra Ankara Büyükşehir belediyesi ASKİ Kanal Yatırım Dairesi Başkanlığı tarafından yaptırılan Keçiören Bölgesi Muhtelif Cadde ve sokaklarda kanal ve yağmur suyu hattı döşenmesi işinde Saha Mühendisi olarak görev yaptı.

Savunma Sanayi Müsteşarlığı ve Emniyet Genel Müdürlüğü ile birlikte 81 il merkez ve ilçelerinde yapılmakta olan ve yapılması hedeflenen ulusal güvenlik projeleri kapsamında, 424 merkezde Kent Güvenlik Yönetim Sistemi ve Plaka Tanıma Sistemlerinin kurulması ve 318 merkezde modernizasyon ve genişleme çalışmalarının yapılması hedeflenen projede ELAZIĞ, TUNCELİ, BİNGÖL, MUŞ il merkezi ve ilçelerinin muhtelif yerlerinde ASELSANNET adına Sistem alt yapı kurulum aşamasında kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır.

2015 yılında başladığı Fırat üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümünde Yüksek lisans programında halen devam etmektedir.