

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DIATOMİT VE ZEOLİT İKAMELİ BETONLARIN
KİMYASAL ETKİLERE KARŞI DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Muhsin SAVAŞ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**



**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DIATOMİT VE ZEOLİT İKAMELİ BETONLARIN
KİMYASAL ETKİLERE KARŞI DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Muhsin SAVAŞ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**

Muhsin SAVAŞ tarafından hazırlanan “DİATOMİT VE ZEOLİT İKAMELİ BETONLARIN KİMYASAL ETKİLERE KARŞI DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği ABD

.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Serkan SUBAŞI

İnşaat Mühendisliği ABD, Düzce Üniversitesi

.....

Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ

Yapı Eğitimi ABD, Gazi Üniversitesi

.....

Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK

İnşaat Mühendisliği ABD, Düzce Üniversitesi

.....

Tarih: 11 / 01 / 2012

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Muhsin Savaş

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımın tamamında ve yüksek lisans eğitimimin bütün aşamalarında benden candan desteğini ve inancını esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimimin başlamasına vesile olan hocam sayın Doç. Dr. Serkan SUBAŞI'na, yüksek lisans eğitimim sırasındaki katkılarından dolayı Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Ercan ÖZGAN ve Yapı Eğitimi Bölümü öğretim elemanlarına desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarında gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı sevgili patronlarım Nilüfer ve Nusret ÖZSOY 'a, mesai arkadaşlarıma ve şantiye ekibime teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamız esnasında laboratuvarını bize açan YİĞİTLER BETON'a ve laboratuvar sorumlusu Uğur GILIÇ'a teşekkür ederim.

Çalışmamın yazım ve düzenleme aşamasında desteklerinden mahrum etmeyen sevgili dostum Emrah YILMAZ'a ve İngilizce çeviride yardımcı olan arkadaşım Seda OKATAR'a teşekkür ederim.

Benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen eşim Şule SAVAŞ'a, annem Nurşen SAVAŞ'a, babam İhsan SAVAŞ'a, kardeşlerim Furkan, Melike, Melda SAVAŞ'a ve hayatımıza en güzel tadı katan ve itici en büyük gücüm oğlum Yağızefe SAVAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmamın uygulama kısmını destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığı'na yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ocak 2012

Muhsin SAVAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ÖZ	viii
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. BETON	4
2.2. BETONUN BİLEŞENLERİ.....	4
2.2.1. Agregalar	5
2.2.2. Çimentolar	5
2.2.3. Kimyasal Katkı Malzemesi	9
2.2.4. Karışım Suyu	9
2.3. PUZONİK KATKI MALZEMELERİ	10
2.3.1. Zeolit	13
2.3.2. Diatomit	15
2.4. BETONDA DIŞ ETKENLERE KARŞI DAYANIKLILIK (DURABİLİTE).....	15
2.4.1. Asit Ve Asit Yağmurlarının Etkisi	17
2.4.2. Tuzların Etkisi	18
2.4.3. Sülfat Etkisi	19
2.4.4. Kür Şartlarının Etkisi	21
2.4.5. Deniz Suyunun Etkisi	22
3. MATERYAL VE METOT	25

3.1. MATERYAL	25
3.1.1. Agregas	25
3.1.2. Çimento, Puzolan ve Su	26
3.1.3. Kimyasal Katkı Maddesi	27
3.2. METOT	27
3.2.1. Beton Örneklerinin Hazırlanması	27
3.2.2. Taze Beton Deneyleri	29
3.2.3. Çevresel Etkiler İçin Oluşturulan Kür Ortamları	29
3.2.3.1. Su	29
3.2.3.2. Sülfirik Asit (H_2SO_4) Çözeltisi	29
3.2.3.3. Magnezyum Sülfat ($MgSO_4$) Çözeltisi	30
3.2.3.4. Sodyum Klorür ($NaCl$) Çözeltisi	30
3.2.4. Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Analizler	30
3.2.4.1. Kimyasal, Fiziksel Ve Mekanik Analizler	30
3.2.4.2. Mineralojik Ve Moleküler Analizler	30
3.2.4.3. Simultane Termal Analizler	30
3.2.4.4. Elektrokinetik (Zeta Potansiyel) Analizler	31
3.2.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri	31
3.2.5.1. Ultrases Geçiş Hızı Tayini	31
3.2.5.2. Özgül Ağırlık, Su Emme Ve Boşluk Oranı Tayini	31
3.2.5.3. Kapiler Su Emme Miktarı Tayini	32
3.2.5.4. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini	32
3.2.5.5. Basınç Dayanımı Tayini	33
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	34
4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	34
4.1.1. Kimyasal Analizler	34
4.1.2. Fiziksel Analizler	34

4.1.3. Mineralojik Özellikler	35
4.1.4. Moleküler Özellikler	36
4.1.5. Elektrokinetik Özellikler (Zeta Potansiyel)	38
4.1.6. Simultane Termal Özellikler	40
4.2. TAZE SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ	42
4.2.1. Çökme Deneyi	42
4.2.2. Birim Hacim Ağırlıkları	43
4.2.3. Su Emme Oranı	46
4.2.4. Görünür Boşluk Oranı	50
4.2.5. Kapilerite Katsayısı	53
4.2.6. Ultrases Geçiş Hızı	57
4.2.7. Yarmada Çekme Dayanımı	60
4.2.8. Basınç Dayanımı	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
5.1. SONUÇLAR	69
5.1.1. Malzemeler Üzerinde Yapılan Analizler	69
5.1.2. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri	70
5.1.2.1. Çökme Miktarı Değerleri	70
5.1.2.2. Birim Hacim Ağırlığı, Görünür Boşluk Ve Su Emme Oranı	70
5.1.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Değerleri	70
5.1.2.4. Kapiler Su Emme	70
5.1.2.5. Yarmada Çekme Dayanımı	71
5.1.2.6. Basınç Dayanımı	71
5.2. ÖNERİLER	73
6. KAYNAKLAR	74
7. ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	: TS 802 standart eğrileri ve kullanılan agrega granülometri eğrisi	25
Şekil 4.1	: PÇ, zeolit ve diatomitin tane boyut dağılımları	35
Şekil 4.2	: PÇ, zeolit ve diatomitin XRD analizi	36
Şekil 4.3	: PÇ, zeolit ve diatomitin FT-IR spektrum analizleri	37
Şekil 4.4	: PÇ'nin zeta potansiyeli	38
Şekil 4.5	: Diatomit ve zeolitin zeta potansiyelleri	39
Şekil 4.6	: PÇ, diatomit ve zeolitin DTA ve TG analizleri	41
Şekil 4.7	: Taze beton çökme miktarları	42
Şekil 4.8	: Beton örneklerinin 28 gün yaşında birim hacim ağırlıkları	43
Şekil 4.9	: Beton örneklerinin 56 gün yaşında birim hacim ağırlıkları	44
Şekil 4.10	: Beton örneklerinin 90 gün yaşında birim hacim ağırlıkları	45
Şekil 4.11	: Beton örneklerinin 28 gün yaşında su emme oranları	47
Şekil 4.12	: Beton örneklerinin 56 gün yaşında su emme oranları	47
Şekil 4.13	: Beton örneklerinin 90 gün yaşında su emme oranları	49
Şekil 4.14	: Beton örneklerinin 28 gün yaşında görünür boşluk oranları	50
Şekil 4.15	: Beton örneklerinin 56 gün yaşında görünür boşluk oranları	51
Şekil 4.16	: Beton örneklerinin 90 gün yaşında görünür boşluk oranları	52
Şekil 4.17	: Beton örneklerinin 28 gün yaşında kapilerite kat sayıları	54
Şekil 4.18	: Beton örneklerinin 56 gün yaşında kapilerite kat sayıları	54
Şekil 4.19	: Beton örneklerinin 90 gün yaşında kapilerite kat sayıları	56
Şekil 4.20	: Beton örneklerinin 28 gün yaşında ultrases geçiş hızları	57
Şekil 4.21	: Beton örneklerinin 56 gün yaşında ultrases geçiş hızları	58
Şekil 4.22	: Beton örneklerinin 90 gün yaşında ultrases geçiş hızları	59
Şekil 4.23	: 28 gün yaştaki yarmada çekme dayanımı değerleri	61
Şekil 4.24	: 56 gün yaştaki yarmada çekme dayanımı değerleri	61
Şekil 4.25	: 90 gün yaştaki yarmada çekme dayanımı değerleri	63
Şekil 4.26	: 28 gün yaştaki basınç dayanımı değerleri	64
Şekil 4.27	: 56 gün yaştaki basınç dayanımı değerleri	65
Şekil 4.28	: 90 gün yaştaki basınç dayanımı değerleri	66

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	: Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri	26
Çizelge 3.2	: Kullanılan malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	26
Çizelge 3.3	: Puzolan türü ve oranlarına göre beton grupları ve kodları	28
Çizelge 3.4	: Her bir beton grubu için 1m ³ karışıma giren malzeme miktarı	28
Çizelge 4.1	: PÇ, diatomit ve zeolitin farklı sıcaklık aralıklarında % ağırlık kayıpları	41

KISALTMA LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
A	Alümin, Al_2O_3
C	Kireç, CaO
CH	Kalsiyum hidroksit (portlandit)
CS	Kalsiyum silikat
C-S-H	Kalsiyum silikat hidrat
C₃S	Trikalsiyum silikat
C₂S	Dikalsiyum silikat
C₃A	Trikalsiyum alüminat
C₄AF	Tetrakalsiyum alüminaferrit
D	Diatomit
DTA	Fark esaslı termal analiz
F	Demir oksit, Fe_2O_3
FT-IR	Fourier transformlu kızılötesi spektroskopisi
M	Magnezyum oksit, MgO
PÇ	Portland çimentosu
S	Kükürt trioksit, SO_3
STA	Simultane termal analiz
TG	Termal gravimetri
XRF	X-Işınları spektrometresi
XRD	X-Işınları difraksiyonu
Z	Zeolit
Z.P.	Zeta potansiyel

**DIATOMİT VE ZEOLİT İKAMELİ BETONLARIN KİMYASAL ETKİLERE
KARŞI DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Muhsin SAVAŞ

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2012

ÖZ

Betonarme yapı tasarımında dayanımın yanında dayanıklılık da çağımızda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Dayanıklılık, beton sertleşip hizmete girdikten sonra hatta bazen uzun bir süre geçince kendini gösteren bir özelliktir. Betonun hizmet ömrünü, zararlı su ve kimyasallar olumsuz yönde etkilemektedir. Betonun bu zararlı etkilere karşı dayanıklılığının araştırılmasında daha çok betonda kullanılan çelik üzerinde yoğunlaşılırken, betonun dayanıklılığı üzerinde yapılan çalışmalarda nihai sonuca ulaşamamıştır. Bu çalışmada, diatomit ve zeolitin farklı çevresel etkilerdeki kür ortamlarında betonun dayanım ve dayanıklılığına etkisini araştırmak için çalışmalar yapılmıştır.

Bu bağlamda çalışmada kullanılan malzemeleri tanımlamak ve özelliklerini belirlemek için kimyasal, fiziksel, mineralojik, moleküler, termal ve zeta potansiyel analizler uygulanmıştır. Çalışmada referans (PÇ), %10-%20 diatomit, %10-%20 zeolit, %5+5-%10+10 diatomit ve zeolit, Portland çimentosu yerine ikame edilerek toplam 7 farklı çimento elde edilmiştir. Bu çimentolarla üretilmiş her bir beton grubu için 54 adet olmak üzere toplam 378 adet 15x15x15 cm ebadında küp numune üretilmiştir. Yapılan çalışma için numuneler hazırlanırken çökme miktarı 7 ile 10 cm arasında olacak şekilde karışım dizaynı yapılmıştır.

Üretilen sertleşmiş beton örnekleri üzerinde birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri, yedi farklı beton

türü üzerinde, 28 gün yaşına kadar 23 ± 2 °C suda, daha sonra ortam faktörünün dört (H_2SO_4 , $MgSO_4$, $NaCl$, H_2O) ve beton yaşı faktörünün iki düzeyinde (56 ve 90 gün) kür edilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda hem diatomit hem de zeolit ikamesinin, üretilen beton örnekleri üzerinde dayanım ve dayanıklılık açısından olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde diatomit ve zeolit ikameli beton örnekleri için en uygun ikame oranının %10 olduğu belirlenmiştir. Bu oran ile üretilen beton örneklerinde özellikle 90 gün yaşındaki ultrases, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin referans beton örneklerine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Sonuç olarak ülkemizin zengin doğal kaynaklarından olan diatomit ve zeolitin beton sektöründe kullanılmasının uygun olduğu, çimento ve beton sektöründe geniş kullanım alanına sahip yapay puzolan sınıfındaki yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi malzemelere de alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler : Çimento, diatomit, zeolit, dayanım, dayanıklılık, kimyasal etki.

Sayfa Adedi : 81

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK

**INVESTIGATION OF REACTIONS AGAINST THE CHEMICAL EFFECTS OF
THE DIATOMITE AND ZEOLITE SUBSTITUTED CONCRETES**

(M.Sc. Thesis)

Muhsin SAVAŞ

**DUZCE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

Durability is becoming increasingly important in modern times as well as strength in reinforced concrete structures design. Durability is a feature that manifests itself after the concrete hardened and being serviced sometimes even after a long period of time. The service life of concrete is affected negatively by water and hazardous chemicals. While focusing on the steel used in concrete in the investigation of the resistance to the harmful effects of the concrete, the final result could not be reached in studies on the durability of concrete. In this study, by using concretes which contains diatomite and zeolite in different cure environments, some studies have been done on how it affects the strength and durability of the concrete.

In this context, to describe the materials used in this study and determine the properties of them, chemical, physical, mineralogical, molecular, thermal, and zeta potential analysis have been applied. In the study, reference (PÇ), 10% - 20% diatomit, 10% - 20% zeolite, diatomite and zeolite 5+5% - 10+10%, were substituted for Portland cement, a total of 7 different cements have been used. 54 units (15x15x15 cm) cube samples have been made for each concrete groups which were produced with these cements and this makes totally 378 units.

While preparing the samples for the study, a mix design have been done (the amount of subsidence is between 7-10 cm).

On samples of produced hardened concrete unit weight, water absorption, porosity, ultrasonic velocity, capillary water absorption, compressive strength and splitting tensile strength experiments have been done. Hardened concrete tests have been done on seven different types of concrete, for 28 days, in 23 ± 2 °C water, then on the concrete samples which are cured In level 4 (H_2SO_4 , $MgSO_4$, $NaCl$, H_2O) of the media factor and in the level 2 (56 and 90 days) of concrete age factor.

As a result of experiments it has been identified that both the zeolite and diatomite substitution produced a positive effect on the concrete samples in terms of the strength and durability. When the results are evaluated, the appropriate rate of substitution was determined to be 10% for the concrete examples which contain diatomite and zeolite. With this rate it has emerged that; the values of especially 90 days year-old ultrasonic velocity, capillary water absorption, splitting tensile strength and compressive strength are better than the reference concrete samples. As a result, it is thought that it is suitable to use diatomite and zeolite which are among our country's rich natural resources in the concrete industry and they have the capacity of being an alternative to the materials such as blast furnace slag, fly ash and silica fume which have a wide range of usage in the cement and concrete industry.

Science Code :

Key Words : Cement, diatomite, zeolite, strength, durability, chemical effect.

Page Number : 81

Adviser : Asst. Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK

1. GİRİŞ

Beton, günümüzde inşaat sektöründe kendisine geniş kullanım alanları bulmuş ve yaygın olarak kullanılan önemli bir yapı malzemesidir. Betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan araştırmalar gerek piyasa gerekse üniversiteler bünyesinde yoğun olarak devam etmektedir. Bu araştırmalarda taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla mineral ve kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Dayanım, dayanıklılık, düşük geçirimsizlik gibi betondan beklenen bazı özellikler, sadece karışım oranlarıyla değil aynı zamanda çimento özellikleri ile de yakından ilgilidir. Betondan beklenen bu özellikleri geliştirmek amacıyla uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü, pomza, zeolit ve diatomit gibi bazı puzolanlar çimento ve beton teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yıldız ve diğ., 2010 ; Yılmaz ve diğ., 2008 ; Dorum ve diğ., 2010 ; Koçak, 2010 ; Yıldız ve diğ., 2007 ; Aruntaş ve Tokyay, 1996).

Betonun temel bileşenlerinden biri olmayan bu malzemelerin Portland çimentosuna benzer mineralojik ve kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen, büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri yoktur. Bu nedenle, bunlar ikincil bağlayıcı malzemeler olarak da anılmaktadırlar. Etkili bir dolgu malzemesi fonksiyonu da görülebilen bu maddeler puzolanik davranışları nedeni ile hidrasyonda etkinlik göstererek, bağlayıcı hamurun yapısını değiştirmektedirler. Böylece puzolanlar, betonun çeşitli özelliklerini iyileştirip daha yoğun bağlayıcı hamurunun oluşumunu sağlamaktadır. Ayrıca ikame veya katkı malzemesi olarak kullanılan puzolan, ekonomik olarak katkıda bulunmaktadır. Puzolanik özellikleri yüksek mineral katkı malzemeleri kullanılarak dayanımı yüksek betonlar elde edilmektedir (Kuyumcu, 2006).

Beton üretimi düşünülürken dayanımın yanı sıra dayanıklılık özelliğinin de dikkate alınması gerekmektedir. Dayanıklılık, beton sertleşip hizmete girdikten uzun bir süre sonra kendini gösteren bir özelliktir. Oysa dayanıklılık, dayanım ve ekonomi gibi, iyi bir beton yapımında beton işçiliği ile ilgili hatırd tutulması, dikkate alınması gereken bir beton özelliğidir. Gerekli dayanıklılığa sahip olmayan beton, iyi bir beton niteliğinde değildir. Genel olarak betonda dayanıklılığı sağlamak için düşük su/çimento oranı, iyi seçilmiş sağlam agrega, betonu yerleştirirken iyi işçilik, uygun inşaat yöntemleri ve betonu yeterince kür etmek gerekmektedir (Hilsdorf, 1995). Betonun kullanıldığı farklı ortamlardaki karşılaştığı fiziksel ve kimyasal etkenlerin betona tesiri, betonun üretim süreçlerinde ortaya çıkan sorunlar ya da sonradan karşılaşılan fiziksel etkenler şeklindedir. Genelde betonda yüksek dayanım daha çok göz önüne alınmasına rağmen, betonun giderek artan kullanım sahasından dolayı dayanıklılığının geliştirilmesi de vazgeçilmez bir unsur olarak yerini almıştır. Betonda dayanıklılığı arttırmak için betonda zararlı etkilere neden olan asit, tuz ve sülfat etkilerine karşı birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar genellikle yapıyı kaplayarak dış etkilerden koruma şeklinde yoğunlaşmıştır. Ancak bu uygulamanın yerine betonun maruz kalabileceği bu tür bozucu etkilere karşı dayanıklı hale getirmenin daha önemli olacağı düşünülmektedir (Sommer, 1994). Betonun bozulması, zararlı su ve hava yoluyla betona tesir eden kimyasal sebeplerden ve buna ek olarak fiziksel etkilerden ortaya çıkmakta ve zamanla daha büyük boyutlara ulaşmaktadır (Subaşı, 2005). İyi tasarlanmış kaliteli bir beton atmosferik olaylara, zararlı kimyasal maddeler içeren su ve toprak ile daha birçok fiziksel ve kimyasal hasar tiplerine karşı yeterli dayanım ve dayanıklılık sağlayabilir.

Bugüne kadar beton tasarımı konusunda yapılan çalışmalarda, beton kalitesini artırmak, çevreye verilen zararlı etkilerini azaltmak ve ekonomi gibi nedenlerden dolayı genellikle uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi yapay puzolanlar üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır. Ancak beton tasarımında yüksek puzolanik aktiviteye sahip ve yeraltı kaynakları bakımından zengin olduğumuz diatomit ve zeolit gibi doğal puzolanlar üzerinde özellikle dayanıklılık özelliklerini belirlemek için yapılan çok fazla araştırmaya rastlanmamıştır. Araştırmalar genellikle betonda kullanılan çeliğin korozyonu üzerinde yoğunlaşırken, betonun dayanıklılığı üzerinde yapılan çalışmalarda nihai sonuca ulaşamamıştır.

Bu bağlamda yapılan bu çalışmada diatomit ve zeolitin farklı çevresel etkilerdeki kür ortamlarında betonun dayanım ve dayanıklılığına etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle çalışmada kullanılan malzemeleri tanımlamak ve özelliklerini belirlemek için kimyasal, fiziksel, mineralojik, moleküler, termal ve zeta potansiyel analizler uygulanmış, daha sonra ise referans, %10-%20 diatomit, %10-%20 zeolit, %5+5-%10+10 diatomit ve zeolit ikameli beton örneklerinin özellikleri; birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı gibi deneylerle incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. BETON

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle özellikleri iyileştirilen ve dayanımı artırılan beton; ekonomikliği, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı gibi birçok avantajı nedeniyle en çok tercih edilen yapı malzemeleri arasında yer almaktadır (Kuyumcu, 2006). Beton, agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek dayanım kazanan kompozit bir yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2010). Çevremizdeki binaların, yolların, köprülerin, barajların, santrallerin, istinat duvarlarının, su depolarının, limanların, hava alanlarının genellikle betondan yapıldığı görülmektedir. Beton diğer yapı malzemelerine göre; daha kolay şekil verilebilir olması, ekonomik olması, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, her yerde üretilebilir olması ve estetik özellikleriyle tercih edilen yapı malzemesidir (Yaşarer, 2008).

Betonu günümüzün en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri ucuzluğu, bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar ile üretim, taşıma, yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması, şekil verilebilme kolaylığı, çelik donatı ile çekme dayanımının yetersizliğinin dengelenmesi, yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, hafif agrega kullanılarak hafifletilebilmesi ve pigment kullanılarak renklendirilebilmesi olarak sıralanabilmektedir (Kuyumcu, 2006).

2.2. BETON BİLEŞENLERİ

Beton agrega, çimento, kimyasal ve mineral katkı malzemeleri ile karışım suyundan meydana gelmektedir.

2.2.1. Agregalar

Agregalar, beton üretiminde çimento ve suyla birlikte kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Beton hacminin yaklaşık %75'i agregalar tarafından oluşturulmaktadır (Erdoğan, 2010). Beton yapımında kum, çakıl, kırma taş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genleştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen çeşitli agrega tipleri kullanılmaktadır (Kuyumcu, 2006).

Betonda agrega kullanılmasıyla; sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi veya azaltması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı dayanımı gibi teknik özellikler sağlanabilir (Kuyumcu, 2006).

Beton yapımında kullanılacak agrega; su emme kapasitesi, tane şekli, gradasyonu, tanelerin yüzey dokusu, en büyük tane boyutu, birim ağırlık, özgül ağırlık, elastiklik modülü, ısısal özellikler, genleşme katsayısı, agregada yabancı madde türü ve miktarı, aşınmaya dayanıklılık, donmaya dayanıklılık ve dayanım gibi birçok özellikleri TS EN 12620 standardının gereklerini yerine getirmelidir (Erdoğan, 2010; TS EN 12620, 2003). Betonun kalitesi ile agreganın kalitesi doğru orantılı olarak ilişkilendirilmekte, dolayısıyla iyi özelliklere sahip bir agrega, iyi bir beton için vazgeçilmez bir unsur olarak yerini almaktadır.

2.2.2. Çimentolar

Çimento, su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alarak sertleşen bir hamur oluşturan, sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, aynı zamanda betonun en önemli hammaddesi olan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır (TS EN-197-1, 2002).

Çimento sözcüğü, yontulmuş taş anlamındaki Latince “Caementum” sözcüğünden türetilmiştir. Çimentoya özelliklerini kazandıran öğeler, hammadde bileşimi ve klinkerin ısısal işlemleridir. Klinker bileşimi, esas olarak hammadde karışımının kompozisyonuna bağlıdır. Ayrıca kullanılan yakıt cinsi ve yakıt içerisinde kül meydana

getiren maddeler de klinker bileşimini etkileyen faktörler olarak ortaya çıkmaktadır (Dayı, 2006).

Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler; aynı zamanda jeolojide sedimenter kayalar olarak bilinen, kalker (kireçtaşı), kil veya marndır. Klinker üretiminin ana bileşenleri olan CaO için kalker; SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Analizlerde Fe₂O₃ oranının düşük olduğu durumlarda uygun olan oranda demir cevheri de ilave edilmektedir. Marn gibi bu dört oksidi bünyesinde bulunduran malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Raporu, 2001; Koçak, 2008).

Bu bileşenlerin istenilen oranlarda tek bir hammadde de bulunması nadirdir. Bu sebeple genellikle yüksek kireç içeren bir bileşen (kalker) ile düşük kireç, buna mukabil daha çok silis, alüminyum ve demir oksit içeren bir bileşenin (kil) uygun karışımının seçilmesi gerekmektedir. Bu iki ana bileşen genellikle kalker ve kil veya kalker ve marndır (Atar, 2006).

Çimento üretiminde kullanılacak olan hammaddelerin uygunluk dereceleri, onların kimyasal bileşimleri ile orantılıdır. Hammadde karışımında CaCO₃ içeriğinin genellikle %75-79 arasında kalmasına ve bunun mümkün olduğunca sabit tutulmasına çalışılır. Çünkü CaCO₃ içeriğindeki küçük bir değişiklik, klinkerdeki dikalsiyum silikat ile trikalsiyum silikat yüzdelerinin değişmesine ve çimento mukavemetinin önemli derecede sapmasına yol açmaktadır (Atar, 2006).

PÇ üretiminde kullanılan hammaddeler başlıca dört bileşeni içermektedirler. Bunlar CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃'dür. Genellikle iki hammaddenin (kalker ve kil) karıştırılması ve bu karışıma küçük miktarlarda düzeltici malzemenin ilavesiyle çimento üretimine uygun hammadde karışımları elde edilmektedir. Fırına verilmek üzere hazırlanmış olan bu hammadde karışımlarına "Farin" adı verilmektedir (Targan, 2002).

Çimento üretiminde mümkün olduğu kadar az sayıda bileşik ile çalışma tercih edilmektedir. Bu gerek işletmecilik gerekse verimlilik açısından önem arz etmektedir. Ancak, doğada çimento hammaddesi için ideal olan kompozisyonda tek başına bir

bileşik bulmak mümkün değildir. Bu nedenle, marn-kalker, kalker-kil veya marn-kalker-kil karışımları ile istenilen bileşim sağlanmaktadır (Targan, 2002).

Çimento hammaddesi kompozisyonunun hesaplanmasındaki amaç, döner fırından elde edilen klinkerin istenilen kimyasal ve mineralojik kompozisyonda olmasını sağlamaktır.

Çimento üretimine uygun bir hammadde karışımı hazırlamak için kullanılan kil ve kalkerin karışım oranları, bir takım kimyasal modüllere bağlı olarak belirlenmektedir. Üretilen çimentonun fiziksel özellikleri ve özellikle mukavemet değerleri büyük ölçüde fırına beslenen farinin kimyasal bileşimine bağlıdır. Bunun için farini oluşturan bileşenler belirli oranda olmalıdır. Klinker içinde bulunan ana bileşenler arasındaki oranlar; başta kireç doygunluk faktörü (LSF) olmak üzere silikat modülü, hidrolik modül ve alümin modülü ile kontrol edilir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Çimentoyu oluşturan klinker bileşikleri, kimyasal potansiyel olarak aktif durumdadır ve su ile kolaylıkla reaksiyona girerek çözünür. Daha sonra çözültide hidroliz reaksiyonları meydana gelir. Çimentoların su ile yaptıkları bu kimyasal reaksiyonlara hidrasyon denir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Oldukça iri taneciklerden oluşan çimento su içinde yavaş yavaş çözünmekte ve hidrate hale gelerek tane yüzeyini jel halinde kaplamaktadır. Bu yüzden reaksiyona girmemiş klinker bileşiklerinin su ile etkileşimi önlenmiş olmaktadır. Aynı zamanda çözültiyeye geçen klinker bileşiklerinin de su ile teması önlenmektedir. Doymun hale gelen klinker bileşikleri, çözünme hızını yavaşlatmakta ve hidrasyon hızının zamanla azalmasına neden olmaktadır (Yalçın ve Gürü, 2006).

Çimento bileşiklerinin tam olarak hidrate olması için uzun bir süre gerekmektedir. Örnek olarak 28. hidrasyon gününde tanecik yüzeylerinde hidrasyon penetrasyon derinliği 4 μm , 1 yılsonunda ise 8 μm kadardır. 50 μm çapında bir klinkerin tam olarak hidrate olması için yaklaşık 5 yıl gerekmektedir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Hidratasyon sırasında önce plastik kıvamda çimento hamuru oluşmaktadır. Daha sonra oluşan hamur priz başlangıcında plastikliğini kaybetmekte, priz sonu ile de sertleşmekte ve dayanım kazanmaya başlamaktadır (Koçak, 2008).

Çimentoyu oluşturan minerallerin her birinin su ile verdiği kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ısıların toplamına “hidratasyon ısı” denir. Hidratasyon ısı cal/g veya J/g birimiyle ifade edilir. Bir normal PÇ’nin toplam hidratasyon ısı yaklaşık 120 cal/g (500 J/g)’dır (Erdoğan, 2006).

Çimento bileşenleri tam bir kimyasal dengeye ulaşmadan katılaştıklarından yüksek enerjiye sahip olup su ile reaksiyonları ekzotermiktir, yani hidratasyon ısı açığa çıkmaktadır. Hidratasyon süresince çimentonun kimyasal bileşimine de bağlı olarak ısı yayılımı, priz süresi ile ilişkilendirilebilir. Çimento bileşenlerinin hidratasyonları birbirinden tamamen bağımsız olmamaktadır. Sülfat iyonları kalsiyum alüminatların hidratasyonunu geciktirirken, kalsiyum silikatların hidratasyonunu hızlandırmaktadır. Diğer oksit ve gayri saflıklar da bu dört ana bileşenin hidratasyonunu etkilemektedir. Buna rağmen ilk birkaç günde hızlıdan yavaş doğru C₃A, C₃S, C₄AF ve C₂S olarak sıralanabilmektedir (Yeğinoğlu, 1999).

Hidratasyon ısı beton teknolojisinde hem yararlı hem de zararlı olabilmektedir. Soğuk havalarda kimyasal reaksiyonlara yardımcı olarak priz ve dayanım kazanmanın normal sürelerde yer almasına katkıda bulunmaktadır. Sıcak havalarda ise taze betonda kıvam kaybını hızlandırmaktadır. Kütle betonlarında havaya açık dış yüzeylere oranla iç bölgelerde ısının yükselmesi, sıcaklık farklarından dolayı ısıl gerilme ve çatlamalara neden olabilmektedir (Yeğinoğlu, 1999).

Çimentonun hidratasyonu ile ilgili aşamalar çimentonun bileşimine ve iç yapısına ilaveten başka faktörlerden de etkilenmektedir. Çimento inceliği doğal olarak hidratasyona yardımcı olmaktadır. Bazı araştırmacılara göre 25 µm’den iri taneler yıllar sonra bile tamamen hidrate olmamaktadır. Jel teşekkülü için gerekli miktarın üzerindeki yoğurma suyu, katılma ve dayanım kazanma sürelerini uzatmaktadır. Bayat çimentolar da genellikle geç priz almaktadırlar.

Çimento hamurunda priz başlangıcı ve sona erişi göreceli kavramlar olup deney metoduna göre değişebilmektedir. Ancak, hemen hemen bütün ülkelerde bu amaçla vicat metodu uygulandığından bir görüş birliği oluşmuştur. Beton teknolojisinde priz süreleri önemlidir. Taze beton priz başlangıcından sonra işlenebilirliğini kaybetmektedir. Diğer taraftan prizin zamanında biterek betonun sertleşip dayanım kazanması beklenmektedir. Bu nedenlerle standartlarda genellikle prizin en erken 45-60 dakikadan sonra başlaması ve en geç 8-10 saat içinde sona ermesi öngörülmektedir. Dolayısı ile klinker bileşimine bağlı olarak katılacak alçı miktarına dikkat edilmesi gerekmektedir (Yeniboğalı, 1999).

Hava ve inşaat koşullarına, çimento türüne bağlı olarak priz sürelerini hızlandırmak veya yavaşlatmak için kimyasal katkıları kullanılabilmektedir.

Priz sırasında yalancı priz ile karşılaşılabilir. Klinkerin yeterince soğumadan alçı taşı ile öğütülmesi sırasında, alçı taşı kısmen kristal suyunun bir bölümünü kaybederek normal alçıya dönüşebilir. Bilindiği gibi normal alçı 5-10 dakika içinde priz yapmakta ve katılaşmaktadır. Katılaşan çimento hamuru karıştırıldığında tekrar plastik kıvamına dönüşüyorsa bunun gerçek priz değil, yalancı priz olduğu anlaşılabilir ve bir sakınca teşkil etmemektedir (Yeniboğalı, 1999).

2.2.3. Kimyasal Katkı Maddeleri

Betonda kullanılan kimyasal katkı maddeleri çimento, agrega, su ile varsa mineral katkı maddelerinin yanı sıra, beton karışmadan önce veya karıştırma sırasında katılan organik veya inorganik maddelerdir. Katkıların yoğunlukları ve renkleri farklı, katı veya sıvı şeklindedir. Betonda katılım oranları çimentonun ağırlıkça % 5'ini (çoğu kez %1'ini) geçmez. Kimyasal katkı maddeleri ile gerek taze betonun gerekse sertleşmiş betonun birçok özelliği değiştirilebilir. Bu nedenle özellikle son yıllarda çeşitleri ve kullanım alanları çoğalmıştır. Ülkemizde de bazı türlerin kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır (Özgür Girginkardeşler, 2008).

2.2.4. Karışım Suyu

Betonun üretiminde kullanılacak karışım suyunun kalitesi ve miktarı betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Betonda kullanılan suyun hidratasyon adı

verilen kimyasal reaksiyonu başlatıp sürdürmek ve agrega ile çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak işlenebilirliği sağlamak üzere iki işlevi vardır (Erdoğan, 2010).

Beton üretiminde temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz olan her su kullanılabilir (TS EN 1008, 2003). Beton karma suyu asit niteliğinde olmamalıdır. Sülfat, değişik tuz gibi betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir. Beton karışım sularının genel olarak “içilebilir” nitelikte olması aranır. Ancak, içme suyu standartlarına uygun olmayan bazı suları da kullanarak iyi beton üretmek mümkündür. Uygun olmayan bir suyun karışımında kullanılması beton kalitesini olumsuz etkileyebilir. Çoğunlukla, zaman içinde, betonda dayanım gelişmesi en öncelikli dikkat edilecek husus olmakla birlikte, karışım suyunda bulunabilecek safsızlıklar priz süresini, rötreyi, dayanıklılığı da olumsuz etkileyebilir, betonda çiçeklenmeye neden olabilir. Bu nedenle, fazla miktarda askıda katı madde, erimiş madde, erimiş tuzlar veya diğer katkıları ve organik madde içeren sular karışım suyu olarak kullanılmamalıdır (Yaşarer, 2008).

2.3. PUZOLANİK KATKI MALZEMELERİ

Puzolanlar doğal hallerinde bağlayıcılık özelliği bulunmayan ya da oldukça çok az olan, ancak öğütülerek ince taneli yapıya sahip olduklarında, normal sıcaklıkta ve sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan silisli veya alüminli malzemelerdir (Erdoğan, 2010).

Ancak bütün silisli ve alüminli malzemeler puzolan olarak kabul edilemez. Örnek olarak kuvars (SiO_2), mullit ($\text{Si}_3\text{Al}_4\text{O}_{12}$) ve sillimanit (SiAl_2O_5) puzolanik özelliğe sahip değildir (Aruntaş, 1996).

Günümüzde doğal ve yapay olarak birçok puzolanik madde çimentoya doğrudan katılarak ya da bir kısmını ikame etmek yolu ile kullanılmaktadır. Puzolanik malzemeler esas olarak reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 içermektedirler (Yalçın ve Gürü, 2006).

Puzolanik malzemeler köken, yapı, kimyasal ve mineralojik bileşenleri bakımından oldukça farklıdır. Sulu ortamlarda bağlayıcı özelliğe sahip kararlı yeni hidratasyon ürünleri oluşturmak için kireçle birleşme eğilimine sahiptirler (Özkan, 2009).

Doğal puzolanlar; doğadaki volkanik küller, volkanik tüfler, volkanik camlar, zeolit, diyatomit ve diatomlu topraklar olarak rneklenebilmektedir (Erdoğan, 2010). Doğal puzolanlar öğütmenin dışında bir işlem gerektirmezler. Yapay puzolanlar; çok az puzolanik özelliğe sahip olan veya hiç olmayan malzemelerin kimyasal ve/veya yapısal modifikasyonlarının bir sonucu olarak oluşmaktadır (zkan, 2010).

Yapay puzolanlar endüstriyel atıklar olup en çok tanınanları; silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufudur. Ayrıca bazı doğal malzemelerin ısıl işleme tabi tutulması sonucunda elde edilen puzolanik malzemeler de yapay puzolan olarak sınıflandırılmaktadır. Puzolanlar, birçok uzmana göre farklı Şekillerde sınıflandırılmaktadır.

Bunlar içerisinde popüler olan F. Massazza'nın yapmış olduğu puzolanların kökenini temel alan sınıflandırma Őeklidir (Aruntaş, 1996).

Massazza'nın sınıflandırmasına göre doğal puzolanlar, bu sınırlandırmaya göre 3 ana gruba ayrılmaktadır. İlk grup olan piroklastik, eriyik haldeki magmanın Őiddetle dışarı atılması sonucunda biçimlenmekte ve sonra hızla soğuması ile içinde gaz kabarcıkları bulunan cam gibi bir malzeme meydana gelmektedir. Bundan dolayı, bu malzemelerin kimyasal kompozisyonu yeryüzüne çıkan magmanın kompozisyonuna bağlıdır (Aruntaş, 1996).

İkinci grubu, değişime uğramış yüksek silisli malzemelerden meydana gelmektedir. Bu puzolanlar, su içinde eriyen oksitlerin ayrılması ile kimyasal değişime uğrayan genellikle açık renkli kayaların, durgun sularda farklı orijinli malzemelerle birlikte çökelmesiyle Őekillenirler. Bu malzemeler, genellikle puzolanik özeliği azaltan kil ile karışık olarak bulunmaktadırlar (Aruntaş, 1996).

Doğal puzolanların son grubu ise, kil ve diyatomit toprağını içine alan klastik orijinlidir. Kilin puzolanik davranışının eksik olması, P ikame malzemesi olarak kullanılmasına olanak vermemekle birlikte uygun sıcaklıklarda yapılan kalsinasyon, kilin puzolanik özelliğini önemli miktarda yükseltmektedir (Aruntaş, 1996).

Bir malzemenin puzolanlığının kanıtlanabilmesi için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekmektedir. Bu deneyler doğal ve yapay puzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklinde gerçekleştirilir. Mekanik deneyler; puzolan-kireç, puzolan-çimento harç örnekleri üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler ise puzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonunda çözültide oluşan Ca(OH)_2 'i saptamaya dayanır. Ayrıca puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemlerle de saptanabilir. Puzolanik maddeleri değerlendirmenin bir başka kriteri ise puzolan içeren çimento hamurlarındaki özgül yüzeyin artış hızını ölçmekle gerçekleştirilir. Değişik kalsiyum hidroksit-emme hızlarına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir (Dayı, 2006).

Genel olarak, puzolanların heterojen bir yapıda olmaları ve hidrasyonun karmaşık yapısı nedeniyle puzolanik aktiviteyi açıklayıcı bir model geliştirilememektedir. Bununla beraber, bu hususta ancak genel eğilimler açıklanabilir. Bunların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir (Erdoğan ve diğ., 1999; Koçak, 2008) ;

- Diğer özellikler aynı kalmak üzere puzolanın bağladığı Ca(OH)_2 miktarının fazla olması, bu puzolanda aktif olan madde miktarının da fazlalığına işaret eder.
- Bir puzolanın kısa dönemdeki aktivitesi esas olarak özgül yüzey alanına (Blaine), buna mukabil uzun dönemdeki aktivitesi ise kimyasal ve mineralojik kompozisyonuna bağlıdır.
- Bir puzolanın bağladığı Ca(OH)_2 miktarı, puzolanın aktif fazlarının içerisindeki SiO_2 miktarı ile ilişkilidir.
- Belirli sınırlar dahilinde kireç-puzolan karışımlarında, kireç/puzolan oranının artması Ca(OH)_2 bağlanmasını artırır.
- Zeolitik puzolanlar, camsı puzolanlara göre genel olarak daha aktiftir.
- Farklı puzolanlarda bulunan camsı fazlar, farklı kireç bağlayabilme yeteneğine sahiptir.
- Puzolan-kireç karışımlarında ortamda su miktarının fazla olması, bağlanan kireç miktarını artırır.

Puzolanların ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksit (CH) ile reaksiyonu, puzolanik reaksiyon olarak adlandırılır. Bir puzolanın CH ile davranışı, camsı bileşik miktarı ve incelik gibi puzolanın bazı özellikleri kadar, sıcaklık ve katkı malzemeleri gibi bazı dış faktörler ile de ilişkilidir (Aruntaş, 1996).

Kireç-doğal puzolan tepkimesi sonucunda genel olarak kabul edilen puzolan reaksiyonlarının ürünleri aşağıda verilmektedir (Erdoğdu, 1999).

- C-S-H formunda kalsiyum silikat hidrat,
- C_4ASH_x formunda kalsiyum alüminat hidrat, (x, 9-13 arasında değişken)
- Hidrate olmuş gehlenit, C_2ASH_8
- Kalsiyum karboalüminat, $C_3A.CaCO_3H_{12}$
- Etrenjit, $C_3A.3CaSO_4.H_{32}$
- Kalsiyum alüminatmonosülfat, $C_4A.CaSO_4.H_{12}$

Bunlarla birlikte, bütün ürünler aynı zamanda bulunmayabilirler. Bulunmaları durumu kirecin kalsiyum hidroksit kullanılabilmesine, hidratasyon reaksiyonlarının derecesine, hidratasyon sırasında çevre koşullarına, puzolanın kimyasal ve mineralojik bileşenlerine bağlı olmaktadır (Aruntaş, 1996; Erdoğdu, 1999).

Çalışmada kullanılan puzolanlardan zeolit ve diatomit, doğal kaynaklarımızdan ve üzerinde araştırmalar yapılan önemli puzolanik malzemelerdir.

2.3.1. Zeolit

Yirminci yüzyıl teknolojisinin giderek artan hammadde gereksiniminin en çok yansıdığı alan endüstriyel hammaddeler olmuştur. Bunlar içinde ise yoğun araştırmaların yapıldığı ve en çok zincirleme buluşların birbirini izlediği hammaddelerden biri de zeolitlerdir. Zeolitler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddelerindedir (Yıldız, 2009). Bilinen 150 tür zeolit mineralinden 40'ı doğada büyük miktarlarda ve oldukça saf rezervler halinde bulunmaktadır. Bu zeolit türlerinden ancak 14 tanesinin endüstriyel önemi vardır. Bunlar içinde doğada en çok rastlanan tabii zeolit mineralleri analistn, filipsit, şabazit, hölandit, lamontit, natrolit ve kliniptilolit olarak sıralanmaktadır (Köktürk, 1995).

Zeoliti 1756'da İsveç'li mineralog Cronstedt keşfetmiştir. Zeolit ısıtıldığında çok çabuk su kaybeden yapısından dolayı Latince "zeo" ve kaya parçalarının ısıtılmasına da "lithos" denilmesinden dolayı malzemeye zeolit adı verilmiştir (Yıldız, 2009). Zeolitler alkali ve toprak alkali metallere sulu alümina silikatları olarak tanımlanmaktadır. Zeolitik tüfler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddeleri arasındadır. Zeolitler çok küçük gözenekli yapıya sahip malzemelerdir. Zeolitlerin kristal yapı ve kimyasal özelliklere sahip olması, seçimli adsorpsiyon, moleküler elek ve katalitik kullanım alanları gibi uygulamalarda değerlendirilmesini sağlar (Taban ve Şimşek, 2009).

Ancak endüstriyel kullanımı bu kadar önemli olan zeolit minerallerinin doğada volkanik kayaların boşluklarında, müzelerde saklanabilecek kadar az miktarda bulunduğunun bilinmesi, araştırmacıları yapay zeolit üretme olanaklarını araştırmaya itmiştir. 1948'de Union Carbide Corporation'un başlattığı araştırmalar olumlu sonuçlanmış ve yapay zeolitler üretilmeye başlamıştır. Fakat yapay üretimlerinin pahalı oluşu, büyük miktarlarda üretim yapılabilecek doğal zeolit yataklarının aranmasını hızlandırmıştır. Zeolit minerallerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden başlıcaları iyon değiştirme, adsorpsiyon ve dehidratasyon özellikleri ile silis içeriği olarak sıralanabilir. Her zeolit minerali için farklılıklar gösteren bu özellikler, iskelet yapısı ile kanal veya boşluk sistemlerinin katyonik bileşiminin bir fonksiyonudur. Doğal zeolitlerin tüm ticari uygulamalarında, bu fiziksel ve kimyasal özelliklerin bir veya birkaçından yararlanılmaktadır. Endüstriyel ve tarımsal teknolojide bu özelliklerden en çok kullanılanları katyon değiştirme, adsorpsiyon, dehidratasyon ve buna bağlı ısı kararlılığıdır (Yıldız, 2009).

Zeolitleri diğer mineral gruplardan ayıran en önemli özelliklerinden biri yapı içerisindeki kanallarda su moleküllerinin bulunmasıdır. Zeolitler 100-350 °C de ısıtıldıklarında su molekülleri yapıda değişiklik yapmadan kesikli değil sürekli şekilde yapıyı terk ederler. Zeolitin önemli özelliklerinden biri de yapısında bulunan halka şeklindeki kanallardır (oksijen pencereleri). Bu kanallar su molekülleri sarılı halde Na⁺, K⁺, Ca⁺ gibi tek ve iki değerlikli katyonlarla doludur (Canpolat, 2002; Serbest, 1999).

2.3.2. Diatomit

Doğadaki en önemli silis kaynaklarından biri de diatomittir. Diatomit (kizelgur), algler sınıfından su canlıları olan diatomelerin silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil karakterli sedimanter bir kayadır (Tatar ve diğ., 2004).

Diatomit amorf silis (opal) yapılıdır. Tebeşir görünümünde olup kavkı iriliği 2-200 µm arasında değişir. Doğada 15 bine yakın çeşidi vardır. Biçimleri çok çeşitli olmakla beraber genel olarak yuvarlak tepsi veya uzun balık şeklinde olurlar. En önemli fiziksel özellikleri kavkıdan aldığı yüksek gözeneklilik, düşük özgül ağırlık ve beyazlıktır. Kuru halde özgül ağırlığı 0,15-0,40 g/cm³ arasında değişir. Diatomitin tenciklerinin sertliği mohs ölçeğine göre 4,5-6 arasında olup kayadır olarak sertliği 1,5 dolayındadır. Porozitesi %80-85 arasındadır. Genellikle gevşek halde olup un gibi elde dağılır. Yüksek su emme özelliği ile ağırlığının 3 katına kadar su alabilir. Renkleri beyaz, açık sarı, bej, gri olabileceği gibi organik malzemece zengin olanlar yeşil, kahverengi ve hatta siyaha yakın bir renkte olabilirler (Aruntaş, 1996).

Diatomitin kimyasal bileşimi için kesin bir standart verilememektedir. Genellikle yapısında %70-90 arasında SiO₂ bulunmaktadır. Diatomit bir çok kimyasal maddeye karşı inert, yani tepkisizdir. Diatomitin ticari değer taşıması için yapısında en az %85 SiO₂ en çok %5 Al₂O₃, %1,5 Fe₂O₃, %1 CaO, %0,5 MgO, %1 alkali oksit, %6 kızdırma kaybı olmalıdır. Diatomitin erime noktası bileşimine göre 1000-1590 °C arasında değişmektedir. PH değeri yataktan alındığında 5-9 arasındadır kalsinasyon işleminden sonra flaks kalsine ise pH-10 dolayına yükselmektedir. Diatomit mineralinin basınç dayanımı 3-18 kgf/cm² arasında değişmektedir (Aruntaş, 1996).

2.4. BETONDA DIŞ ETKENLERE KARŞI DAYANIKLILIK (DURABİLİTE)

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir. Diğer bir deyişle durabilite yani kalıcılık, bir yapının içinde bulunduğu veya bulunacağı çevre etkileri altında, servis ömrü boyunca, dayanım ve diğer işlevlerini koruyabilmesi özelliğidir. Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar paslanabilmekte, beton

aşınabilmekte ve betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır (Yaşarer, 2008).

Betonun durabilitesi 20. yüzyılın sonlarından itibaren dünya genelini ilgilendiren önemli bir konu olmuştur. Betonun özellikleri ise bileşenlerinin miktarına ve kalitesine bağlıdır. Çimento betonun en aktif bileşeni ve genellikle en fazla birim maliyetine sahip olmasından dolayı, herhangi bir beton karışımı için çimentonun seçimi ve uygun kullanımı en ekonomik çözümü elde etmede önemli bir faktör olacaktır. Çimento hamurunun mikroyapısı ise betonun dayanım ve durabilite özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Su bağlayıcı oranı ile birlikte bağlayıcı malzemenin içeriği hidrasyon reaksiyonu ile hamurun mikroyapısını belirlemektedir. Bu nedenle, Portland çimentosu ve puzolanik malzemelerin farklı kombinasyonları ile onların birbirleriyle olan uyuşumu bu hususta çok önemli rol oynamaktadır (Wee ve diğ., 2000; Güneyisi ve diğ., 2002).

Betondan beklenen üç önemli fonksiyon işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıktır (Taşdemir, 2005). Beton, taze halde iken, kullanılacağı yerdeki şartlar ve ekipman da dikkate alınarak kalıpları kolayca doldurabilecek ve sıkıştırılabilecek kıvamda olmalı, taşıma, yerine yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri sırasında kararlılığını korumalı, herhangi bir ayrışma ve su kasma problemine yol açmayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Sertleşmiş haldeki betondan beklenen ise proje dayanımının belirli bir güvenlikle sağlanabilmesi ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı iç ve dış yıpratıcı etkilere karşı kalıcı olmasıdır (Baradan ve Yazıcı, 2003).

Kompozit bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dış etkilere dayanıklı olmasına bağlıdır. Beton ve betonarme elemanların, bazen işlevleri gereği taşımaları gerekli dış yüklerin etkisi dışında zamanla zararlı dış etkilerle bozulmaları mümkündür. Betonarme elemanların bazıları çok uzun süreler sonunda işlevlerini yerine getiremez konuma gelmesine karşın, bazılarının ise çok kısa sürelerde bozulmaya başladıkları görülmektedir. Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde “kalıcı” denecek kadar uzun

ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşanmalı yavaşlatılmalıdır (Öner ve Yıldız, 2003).

Durabiliteye etki eden faktörlerden bazıları asit ve asit yağmurları, tuzlar, magnezyum sülfat ve sülfat olarak sıralanabilmekte ve her birinin çimento ve beton üzerinde değişik etkileri bulunmaktadır.

2.4.1. Asit Ve Asit Yağmurlarının Etkisi

Hemen hemen bütün asitler kireç, çimento ve beton üzerine değişik şekillerde etki ederler. Asitler, pH değerleri 7'den küçük olmaları ile tanınan sıvılardır. 6-6,5 pH değerinden itibaren asitler betonu etkiler ve bu değer azalmasıyla etki şiddeti daha da artar. Hiç bir çimento cinsi, pH değerinin 6'dan küçük olması durumunda asit etkisini önlemek için çözüm olamaz. Ayrıca kuvvetli asitlerin betona etki etme mekanizmasının karmaşık ve hızlı olması nedeniyle, bu konuda kesin çözümler üretilmemiştir (Öz ve Öz, 2006).

Rutubetli ortamda, kükürt dioksit (SO₂) ve karbondioksit (CO₂), hatta atmosferde bulunan diğer bazı gazlar, çözünmek suretiyle asitleri oluşturarak ve çimento klinker bileşikleriyle reaksiyona girerek yumuşak çok zayıf bir beton kitlesi oluşmasına neden olabilirler. Hemen hemen bütün asitler kireç, çimento, harç ve beton üzerine değişik şekillerde etki ederler. Beton yapının aside maruz kalmasındaki en alışılmış sebep, betonun yer altı madenlerine çok yakınlıkta bulunmasıdır (Kuyumcu, 2006).

Asitlerin yol açtığı hasarlar kolaylıkla saptanabilir. Asit, betondaki Portland çimento harcı matrisiyle reaksiyona girer ve çimentoyu kalsiyum tuzlarına dönüştürür ve bunlar akıtılan sularla yıkanarak atılabilir. Kaba agrega genellikle zarar görmemiş fakat asite maruz kalmış olarak kalır. Asit hasarlı betonun görünümü, bir dereceye kadar aşınım hasarlarına benzerlik gösterir, yalnız kaba agreganın maruz kalması daha belirgin olmakta ve parlak görünmemektedir. Asit hasarları betonun maruz kalan dış yüzeyinde belirginleşmeye başlar fakat azalan mesafelerle yapının iç kısımlarına doğru genişlemeye devam eder. Asit genellikle yüzeyde yoğunlaşır. Betonun içine işlediğinde ise Portland çimento ile tepkimeye girerek nötrale olur. Yapının derinliklerindeki çimento, tepkimelerle zayıflamaya başlar (Kuyumcu, 2006).

Asit yağmurları kömür, benzin, mazot gibi petrol ürünlerinin yanması sonucunda atmosfere yayılan, kükürt dioksit ve azot oksitlerin, atmosferdeki nem ile tepkimeye girerek meydana getirdiği zararlı yağmurlardır. Sülfürik ve nitrik asit gibi yakıcı asitler içeren bu yağmurlar, toprağı ve suları kirletirler, tarihi eserlere ve binalara zarar verirler (Kadioğlu ve Özdamar, 2008).

Günümüzde, asit yağmurları tüm dünya üzerinde etkili olmaya başlamıştır. Havada bulunan sülfat ve nitratlar su ile birleştğinde sülfirik asit ve nitrik asit oluşturarak asit yağmurlarına sebep olurlar. Asit yağmuru, beton içerisindeki kalsiyum bileşikleri ile reaksiyona girerek betonda bozulmalara sebep olur. Yapılara zarar veren diğer bir etki karbonasyon oluşumudur. Atmosferdeki çevre kirliliğine yol açan karbondioksit gazı (otomobil egzoz gazları gibi) su ile karıştığında karbonik asit oluşturur. Karbonik asit, betonun alkanite değerini değiştirir, betona zarar verir (Afacan, 2011).

2.4.2. Tuzların Etkisi

Magnezyum sülfat ve magnezyum klorür gibi magnezyum tuzları, çimentodaki bileşenler ile reaksiyona girerek, Candlot tuzunu oluşturur. Tuz oluşumu, sülfatın zararlı etkisine benzer şekilde, büyük bir hacim oluşturarak betonu zamanla parçalar. Bu tuzlardan betonu korumak için alınması gerekli önlemler, sülfat etkisindeki zararlı etkilerden korunma yöntemleriyle benzerdir (Neville,1977).

İçerdiği yüksek sülfat iyonu konsantrasyonu ile deniz suyu, beton üzerinde sülfat etkisi yapar. Ayrıca deniz suyu geçirimli bir betonda çimento bileşenlerini karbonik asit etkisiyle çözer. Örneğin ABD’de deniz ortamındaki beton kazıkları karbonik asit etkisiyle, 55 cm olan çapları 30 cm’ye düşmüştür. Deneyimler, deniz suyu ile temas halindeki veya buz çözücü tuzlara maruz betonarme yapılarda, kaliteli bir betondan 5–7 cm kalınlığında pas payı kullanılması halinde bile klorürlerin donatıya ulaşmalarının sadece zaman meselesi olduğunu göstermektedir (Kuyumcu, 2006).

Beton kaplamalı yollara zarar veren tuzlar (NaCl ve CaCl_2) beton yüzeyinin soyulmasına neden olmaktadır. Hava katkısız betonlarda suda eriyen tuzlar kurduğunda kristalleşerek boşluk çeperlerinde basınç yaratırlar. Bu basınç beton yüzeyinin kabarması yanında oyukların ve çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.

Kullanılan tuzun miktarı ve uygulanma sıklığı beton yüzeyinin bozulmasını arttırır, %2'lik NaCl çözeltisi bile betona büyük zarar verilebilir (Yörükoğulları, 2005).

Tuz, yağ, turşu, gibi beton için zararlı asitler içeren endüstri kollarında yapılacak beton işlerinde mutlaka gerekli önlemleri almak gerekmektedir. Ek önlem olarak Yapı koruyucu bir tabaka ile kaplanmalı, düşük su/çimento oranlı betonlar kullanılmalı, ve uygun çimento seçimi yapılmalıdır. Ayrıca beton üretiminde puzolonik özelliği olan mineral ve kimyasal katkıları kullanılmalıdır (Kuyumcu, 2006).

2.4.3. Sülfat Etkisi

Betonların sülfata karşı direncini kıran ana etken, kullanılan çimento tipidir (Kılınçarslan ve diğ., 2010). Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), suda veya toprakta bulunabilecek sülfat konsantrasyonuna bağlı olarak, betonun sülfat hücumuna maruz kalacağı ortamları, “az etkili (yumuşak) ortam”, “etkili ortam”, “çok etkili ortam” ve “aşırı etkili ortam” olarak adlandırmıştır (Çalışkan, 2005).

Betonda sülfat korozyonunun şiddeti, sülfat iyonunun konsantrasyonuna, çimento içindeki bileşenlere, sülfat iyonunun oluşturacağı bileşimin cinsine ve miktarına, betonla temas süresi ve şekline bağlıdır. Sodyum ve kalsiyum sülfatla korozyona uğrayan beton yumuşamakta, magnezyum sülfat ile ise beton yüzeyinde sert bir kabuk oluşarak parçacıklar şeklinde bozulma olmaktadır (Onüçyıldız,1991).

Sülfat korozyonu, reaksiyon ortamında su bulunduğu zaman mümkündür. Betonla temas halinde bulunan sülfat iyonu, çimentonun bileşenleri ile reaksiyona girerek candlot tuzu olarak isimlendirilen bir tuz oluşumuna neden olur. Bu tuzun oluşumu sırasında çok büyük bir hacim artışı (~ %227) meydana gelir. Hacim genişmesi sırasında, beton dokularında meydana gelen içsel gerilmeler betonu zayıflatarak çatlatır, bazen de tamamen parçalanmasına yol açar (Öz ve Öz, 2006).

Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sızan sularla birlikte giren sülfatlar, betonun genişip çatlamasına yol açan kimyasal olayların gelişmesine neden olmaktadır. Sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, “sülfat hücumu” olarak adlandırılmaktadır. Sülfat hücumuna maruz kalan betonların yüzeyi, karakteristik olarak, beyazımsı bir görünüm almaktadır. Sülfatların yıpratıcı etkisi, genel olarak, beton blokların

kenarından ve köşelerinden başlamaktadır. Daha sonra, bu etki, betonun iç kısımlarına doğru yoğunlaşarak, beton yüzeyinin tabaka tabaka büyük parçalar halinde parçalanmasına neden olmaktadır. Yapıların temel betonları, istinat duvarı betonları, kanal kaplama betonları ve beton borular, sülfat hücumunun çok sık rastlandığı betonlardır (Kuyumcu, 2006).

Sudaki, zemindeki ve deniz suyundaki sülfat iyonları betonarme yapılarda bozulmaya yol açabilir. Sülfat saldırısının zararlı etkisi, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli (C_3A) ve kalsiyumlu ($Ca(OH)_2$) bileşenlerle kimyasal reaksiyona girerek, hacmi çok artan etrenjit ve alçı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ürünleri, sertleşmiş betonda genişleme yaratarak agrega-çimento hamuru aderansının olumsuz yönde etkilenmesine, çatlak oluşumuna ve geçirimsizliğin artmasına yol açar. İleri derecedeki etkilenmelerde ise betonun tamamen dağılması söz konusudur. Sülfat saldırısı gibi dış kaynaklı iyon girişi sebebiyle oluşan kimyasal reaksiyonlarda çimentonun kimyasal bileşiminin kontrolü kadar, betonun geçirimsizliği de önem kazanmaktadır (ASTM C 1012, 1995; Baradan ve Yazıcı, 2003).

Monteiro ve Kurtis tarafından yapılan çalışmada, betonun sülfat saldırısından zarar görmemesi için kritik bir bölgenin bulunduğu, çimentonun C_3A miktarının %8'den az, su/çimento oranının 0,45'in altında olması halinde 40 yıllık maruz kalma süresinde hasar oluşmadığı, çimento yerine %25 ve %45 uçucu kül kullanımının genleşmeleri azalttığı belirtilmektedir (Monteiro ve Kurtis, 2003).

Hem sodyum sülfat, hem de magnezyum sülfat, betonun içerisinde alçıtaşı oluşmasına ve yarı kararlı durumdaki C_4ASH_{12} ürünlerinin etrenjit durumuna gelmesine yol açmaktadırlar. Ancak, magnezyum sülfatın beton içerisindeki reaksiyonları alçıtaşının oluşmasına yol açan reaksiyonlarla sınırlı değildir. Magnezyum sülfat, çimento hamurunun bağlayıcılığını sağlayan kalsiyum-silika-hidrat ($C_3S_2H_3$) jelleri ile de reaksiyona girmekte ve bu jellerin bir miktarının çözünmesine neden olmaktadır. Özetlenecek olursa, betonun içerisine sızan sularda bulunan magnezyum sülfat, sodyum sülfat gibi genişleme yaratmakta ve ayrıca betondaki çimentonun bağlayıcılık değerini azaltabilmektedir (Kuyumcu 2006).

Beton yapılar inşa edilmeden önce, etüt safhasında betonun karşı karşıya kalacağı kimyasal etki ve bu etkinin hangi ortamdan kaynaklandığı bilinmelidir. Projelendirme sürecinde ise seçilecek doğru kriterlerin ve yapım sırasında alınacak tedbirlerin, bu etkinin yapacağı tahribatları önlemesi büyük ölçüde olasıdır. Betonun zararlı etkiye maruz kalacağı ortamda, zararlı etkinlik derecesinin altında kimyasalların olması durumunda bile, bu olgu önemle değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme içerisinde betonun bileşenleri, yapısal durumu, çimento dozajı ve cinsi, agrega cinsi ve granülometrisi, su/çimento oranı, geçirgenliği, kimyasal reaksiyonun kinetiği ve oluşum biçimi gibi özellikler göz önüne alınarak, yapı inşa edilmeden önce gerekli önlemler alınmalıdır. Yine özellikle deniz suyu sistemlerindeki taşıyıcı elemanlar üzerinde büyük derecede bir problem olan biyolojik kirliliğin, tamamen önlenmesi imkansızdır. Ancak bazı yöntemlerle, bu kirliliğin azaltılması ve tesisin normal işlevini yerine getirmesi mümkün olmaktadır (Öz ve Öz, 2006).

2.4.4. Kür Şartlarının Etkisi

Betonun özellikle ilk günlerinde, yeterince hidrasyon yapabilmesini sağlamak amacıyla, betonun içerisinde yeterli miktarda suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması işlemi betonun kür'ü veya betonun bakımı olarak tanımlanmaktadır. Beton kür'ü için gerekli şartlar hidrasyon için yeterli suyun bulunması yani beton içerisindeki suyun buharlaşarak azalmaması ve beton sıcaklığının (10°C) düşük olmamasıdır (Erdoğan, 2010).

Beton dayanımları ve betonarme hesaplar betonun 28 günlük silindir numunenin dayanımına göre yapılır. Bilindiği gibi, beton yedi günde öngörülen 28 günlük dayanımın yaklaşık %70'ine ulaşmaktadır. Bu durumda betonun 28 günlük dayanımı, özellikle ilk yaşlardaki bulunduğu ortamın nem oranı ve sıcaklığın etkisi altında değişmektedir. Bu süre içerisinde ortamın sıcaklık ve neminin kontrol altında tutulmasına taze betonun kıvamı veya kür denilmektedir (Ersoy, 1985).

Kür, beton dayanımını doğrudan etkileyen unsurlardan biridir. Dayanım ise betonun kırılma parametreleri üzerine en etkili faktördür. Uygulamada birçok beton yapıda, çeşitli sebeplerle farklı kür metotlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Şimsek, 2004). Betona kür'ün etkisi ile ilgili literatür çalışmaları kontrol edildiğinde genellikle kür'ün, beton

basınç ve çekme dayanımına etkisi konularının çalışıldığı görülmüştür (Topçu ve Toprak, 2005; Conroy-jones ve Barr, 2004). Bununla beraber, kür şartları (çeşidi, süresi vb.) ile betonun kırılma parametreleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmaya literatürde çok az sayıda rastlanmaktadır (Alyamaç ve İnce, 2005).

Betona su püskürtme; beton yüzeylerine toprak, kum, ıslak çuval örterek ya da kalıpları geç sökerek su kaybını önleme; betonun su buharı ile kür'ü, kür maddeleri ile kür'ü gibi yöntemler bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır. Kür ortamında nem azaldıkça rötre değeri, dolayısıyla beton da çatlaklar artar ve dayanım düşer (Karataş ve Ulucan 2007).

Betonun bakım şartlarından olan kür, beton dayanımını önemli miktarda etkilemektedir. Olumsuz hava şartlarına (güneş, rüzgar gibi) maruz kalmamasına rağmen hava kür'ü uygulanmış beton numune (IPM3) dayanımları, su kür'ü uygulanmış beton numune (IPM1) dayanımından yaklaşık %18 daha düşüktür. Plastik örtü ile örtmek gibi basit bir yöntemle bile kür edilmiş betonun (IPM2) kırılma parametreleri, hava kür'üne tabi betonun (IPM3) kırılma parametrelerinden ortalama %2 daha yüksektir. Bundan betonun mümkün olduğu kadar su kür'üne yakın sonuçlar verecek yöntemlerle kür edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır (Alyamaç ve İnce, 2005).

Beton kür'ü için gerekli şartlar hidrasyon için yeterli suyun bulunması yani beton içerisindeki suyun buharlaşarak azalmaması ve beton sıcaklığının (10°C) düşük olmaması istenildiğinden en iyi kür yönteminin su içerisinde saklama ile elde edilmektedir. Bu sonuç uygulamada yani ilk günlerde betonun sulama işleminin düzenli ve kontrollü yapılmasını gerektirmektedir. Açık hava şartlarında hiçbir kür uygulanmadan doğrudan dış etkilere maruz bırakılması, betonun özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Ünal ve Uygunoğlu, 2005).

2.4.5. Deniz Suyunun Etkisi

Genellikle içilebilir kalitedeki tüm suların beton karışım suyu olarak kullanılabilceği birçok kaynakta belirtilmiştir. Ancak ülkemizde karışım suyu olarak deniz suyunun kullanımına zaman zaman rastlanmaktadır. TS EN 1008 de ise deniz suyu ve acı göl sularının; içerisinde donatı veya gömülü metal bulunmayan betonlarda kullanılabilceği,

içerisinde donatı veya metal bulunan betonlarda ise deniz suyu kullanımının toplam klorür muhtevasına bağlı olduğu belirtilmiştir (TS EN 1008, 2003).

Ayrıca kıydan uzak çeşitli deniz yapılarında da, zaman zaman, deniz suyunun karışım suyu olarak kullanıldığı bilinmektedir. Genellikle karışımında kullanılan deniz suyunun, beton dayanımını önemli ölçüde düşürebileceği yönünde yaygın bir kanaat vardır. Ancak bu konuda deneysel olarak yapılmış olan çalışmalarda deniz suyunun bilinenin aksine beton dayanımını arttırabildiği belirtilmiştir (Akinkurolere ve diğ., 2007).

Denizler yeryüzünün yaklaşık %78'lik kısmını oluştururlar. Denizlere yakın ve kıyı şeridinde bulunan yapılardaki beton ve betonarme elemanlar dolaylı olarak deniz suyu ve deniz ortamının oluşturduğu koşullardan etkilenmektedir. Bahsedilen ortamda bulunan yapılardaki beton ve betonarme elemanların değişik fiziksel ve kimyasal etkiler sonucunda dayanım ve durabilitesini kaybettiği bilinmektedir (Yıldırım ve Sümer, 2005).

Deniz sularında değişik türlerde ve miktarlarda tuzlar yer almaktadır. Deniz sularındaki sülfatların sertleşmiş betonun içerisine girmesi ile oluşan reaksiyonlar deniz sularının içerisindeki sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, topraktaki ve yeraltı sularının içerisindeki sülfatların etkisi kadar şiddetli olmamaktadır. Deniz sularının içerisinde klorür iyonunun bulunuyor olması, sülfat reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ürünlerin daha az genleşme yaratmasına neden olmaktadır. Zira klorür, sülfat hücumu sonunda betonun içerisinde oluşan alçıtaşının ve etrenjitin bir miktarının çözünerek, betonun yüzeyine çıkmasına yol açmaktadırlar. Böylece, alçıtaşının ve etrenjitin, sertleşmiş betonun içerisinde genleşme yaratıcı etkileri birazcık azalmış olmaktadır. Deniz suyu etkisine maruz kalan betonlar, sülfat hücumunun yanı sıra, gözeneklerinde çökelen (biriken) tuz kristallerinin yarattığı basınç nedeniyle de genişip, yarılabilmektedirler. Sertleşmiş betonun gözeneklerinde tuz birikmesi, betonun içerisine giren deniz suyunun kapiler hareketle yukarı çıkması ve buharlaşması sonucunda oluşmaktadır. Bu olay, betonun, su seviyesi üzerinde kalan bölgelerinde gelişmektedir (Kuyumcu, 2006).

Deniz sularının gel-git hareketiyle yükselip alçalması sonucunda beton yüzeyinin bir bölümü, ıslanma-kuruma devirlerinin etkisinde kalmaktadır. Bu tür ıslanma-kuruma durumu ile karşı karşıya kalan beton devamlı olarak su içerisinde bulunan betona göre daha çok hasar görmektedir. Öte yandan, deniz suyunun içerisinde bulunan magnezyum sülfat, betondaki bağlayıcı özellikteki kalsiyum-silikat-hidrat jelinin çözünmesine neden olmakla birlikte, bu çözünme oldukça yavaş tempoda yer almaktadır. O nedenle, gözeneklerde biriken magnezyum sülfat kristalleri, gözeneklerin bir ölçüde tıkanmasına ve böylece dışarıdan daha az su sızabilmesine yol açmaktadır. Deniz suyunun etkisine maruz kalacak betonların üretiminde kullanılan su/çimento oranı 0,45'i geçmemelidir. Şayet, eşiklerde, denizliklerde ve kaldırım betonlarında olduğu gibi beton kesiti ince ise veya betonarme betonlarındaki donatının pas payı 2,5 cm'den az ise, su/çimento oranı 0,40'dan yüksek olmamalıdır (Kuyumcu, 2006).

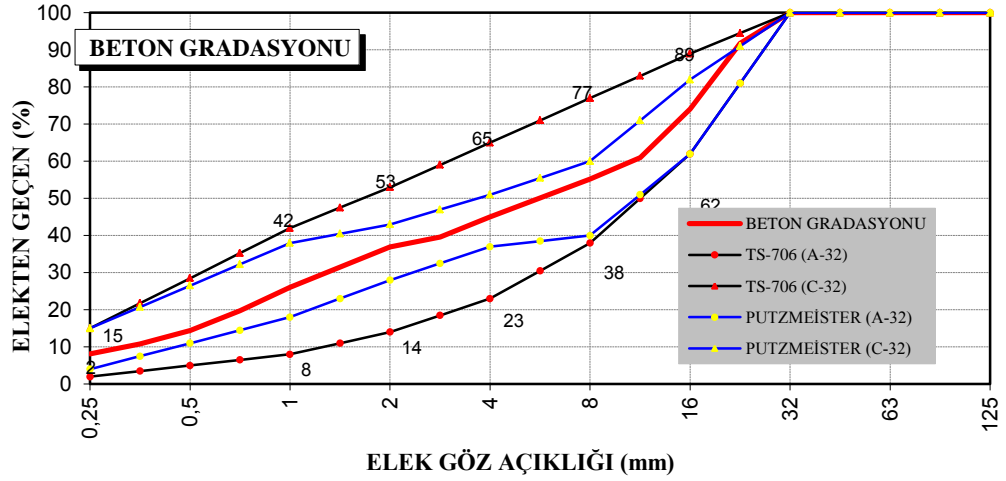
Deniz sularının beton yapılara esas zararı, bu tür sularda bulunan klordan kaynaklanmaktadır. Deniz suyundaki klor, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu (paslanmasını) hızlandırmakta betonun parçalanmasına yol açabilmektedir (Çalışkan, 2005).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

3.1.1. Agregas

Çalışmada Düzce bölgesi Asar deresine ait 0-5 kırma kum, 5-19 ve 19-30 kırma taş agregas kullanılmıştır. Agregaların tamamı Yiğitler beton firması tarafından temin edilmiştir. Çalışmada bütün beton türlerinde tek tip granülometri kullanımı yoluna gidilmiştir. Agregas tane dağılımı, en büyük tane büyüklüğüne ($D_{max} = 32$ mm) bağılı olarak TS 802’de belirtildiğı gibi gösterilen ideal bölgeye gelecek şekilde seçilmiş ve granülometri eğrisi standart eğrilerle birlikte Şekil 3.1’de verilmiştir (TS 802, 2009). Kullanılan agregas türü üzerinde fiziksel deneyler, ilgili standartlar dahilinde yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: TS 802 standart eğrileri ve kullanılan agregas granülometri eğrisi

Çizelge 3.1: Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Deney Türü		Deney Raporu			İlgili Standart
Birim Ağırlık, g/cm ³	Gevşek	1,48			TS 3529
	Sıkışık	1,66			
Özgül ağırlık ve su emme oranı	Agrega Sınıfı				TS EN1097-6
		0-5	5-19	19-30	
	Kuru özgül ağırlık	2,63	2,62	2,66	
	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık	2,64	2,65	2,69	
	Su Emme oranı (%)	0,61	1,16	1	
Doğal nem (%)		1,25	1,32	1,41	
Organik kökenli madde tayini		Renksizden açık sarıya doğru, organik madde zararsız.			TS EN 1744-1

3.1.2. Çimento, Puzolan Ve Su

Deney numunelerinin hazırlanmasında beton içerisinde bağlayıcı olarak Bolu Çimento Fabrikasında TS EN 197-1'e (TS EN197-1, 2002) uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R Portland çimentosu, puzolan olarak ise Kütahya yöresine ait Diatomit ve Balıkesir-Bigadiç yöresine ait zeolit kullanılmıştır. Diatomit ASU Kimya madencilik firmasından, zeolit ise Türk Zeolit firmasından sağlanmıştır. Kullanılan çimentoya, diatomite ve zeolite ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir (TS EN 197-1, 2002).

Çizelge 3.2: Kullanılan malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Malzeme	PÇ	Diatomit	Zeolit		PÇ	Diatomit	Zeolit
Kimyasal bileşenler, %				Fiziksel özellikler			
SiO ₂ (S)	18,68	79,56	68,85	Blaine inceliği, cm ² /g	4249	13640	5740
Al ₂ O ₃ (A)	4,67	6,54	11,71	Özgül ağırlık, g/cm ³	3,17	2,28	2,18
Fe ₂ O ₃ (F)	3,53	2,76	1,29	90 µm elek bakiye, %	4,08	9,80	17,60
CaO	64,56	2,45	3,97	45 µm elek bakiye, %	-	28,60	35,80
MgO	0,98	0,79	1,06	Priz süresi, dakika			
SO ₃	3,00	0,48	0,18	Başlangıç	118	-	-
Na ₂ O	0,14	2,63	0,29	Bitiş	-	-	-
K ₂ O	0,73	0,69	2,19	Basınç dayanımı (MPa)			
Kızdırma kaybı	3,92	3,88	10,00	2 gün	-	-	-
Serbest kireç	1,74	-	-	7 gün	29,6	-	-
Çözünmeyen kalıntı	0,50	75,98	37,32	28 gün	52,8	-	-
S+A+F	-	88,86	81,85				

Araştırmada karışım suyu olarak, Düzce yöresi doğanlı bölgesine ait kuyu suyu kullanılmıştır. Kullanılan karma suyu TS EN 1008'e uygundur.

3.1.3. Kimyasal Katkı Maddesi

Kimyasal katkı olarak Aydos yapı kimyasalları firmasına ait fluid 70 türü, katı madde içeriği 34,32, yoğunluğu (20 °C) 1,184, pH değerı (20 °C) 7,26 olan yeni nesil hiper akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesi kullanılmıştır.

3.2. METOT

3.2.1. Beton Örneklerinin Hazırlanması

Beton karışımı, uygun kıvam, işlenebilme, hacim sabitliği, dayanım, dayanıklılık ve diğer özelliklere sahip, en ekonomik beton elde edebilmek amacıyla gerekli olan çimento, su, agrega, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarını tespit edebilmek için yapılan hesap olarak tanımlanmaktadır (Türkmen, 2002).

Beton karışımında yer alacak malzeme miktarlarının hesaplanmasında farklı ülkelerin standartları tarafından önerilen değişik yöntemler vardır. Türk Standartları Enstitüsü tarafından önerilen TS 802'deki yöntem, Amerikan Beton Enstitüsünün ACI 211.1 nolu standardında belirtilen yöntemle bazı küçük ayrıntılar dışında tamamen benzer özellikler göstermektedir (TS 802, 2009; ACI 211.1, 1994). Beton kriterlerini içeren ve bu iki literatür göz önünde bulundurularak çökme değerı 7-10 mm arasında olacak şekilde karışıma girecek malzeme miktarları belirlenmiştir.

Betona kütlece ikame edilmek suretiyle kullanılan malzemelerin, türü ve oranına göre yedi grup beton tipi üretilmiştir ve Çizelge 3.3'de kodlanmıştır.

Çizelge 3.3: Puzolan türü ve oranlarına göre beton grupları ve kodları

Grup no	Kütlece ikame oranı (%)	Puzolan türü	Beton kodu
I	0	Diatomit	R
	0	Zeolit	
II	10	Diatomit	10D
	0	Zeolit	
III	20	Diatomit	20D
	0	Zeolit	
IV	0	Diatomit	10Z
	10	Zeolit	
V	0	Diatomit	20Z
	20	Zeolit	
VI	5	Diatomit	5D5Z
	5	Zeolit	
VII	10	Diatomit	10D10Z
	10	Zeolit	

Her bir beton grubu için 54 adet olmak üzere toplam 378 adet 15x15x15 cm ebadında küp numune üretilmiştir. Üretilen betonlara ait 1m³ karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4: Her bir beton grubu için 1m³ karışıma giren malzeme miktarı

Malzeme Adı	Özgül Ağırlık g/cm ³	PÇ (kg)	10D (kg)	20D (kg)	10Z (kg)	20Z (kg)	5D5Z (kg)	10D10Z (kg)	
Agrega	0-5	2,66	822	831	822	843	855	849	855
	5-19	2,69	586	593	586	602	611	606	611
	19-30	2,70	428	433	428	439	446	442	445
Toplam agrega			1836	1857	1836	1884	1912	1897	1911
PÇ	3,17	400	360	320	360	320	360	320	
Diatomit	2,28	-	40	80	-	-	20	40	
Zeolit	2,18	-	-	-	40	80	20	40	
HAK	1,184	4,800	4,320	4,800	4,320	4,800	4,320	3,840	
Su	1	139,7	139,7	123,3	139,7	123,2	139,7	124,2	
Toplam malzeme			2381	2401	2364	2428	2440	2441	2439

Her bir beton grubu için karışım oranları Çizelge 3.5’de belirtildiği gibi tespit edildikten sonra, elektrik motorlu 48 litre kapasiteli betoniyere agregalar 19-30, 5-19, ve 0-5 sırasıyla konulmuştur. Daha sonra Çizelge 3.4’de belirtilen puzolan türü ve oranına

bağlı kalınarak toplam bağlayıcı (çimento) miktarına ikame edilmek suretiyle diatomit ve/veya zeolit ilave edilmiş ve yaklaşık 1dk süreyle betoniyerde karıştırılmıştır. Daha sonra gerekli olan su ve toplam bağlayıcı oranının %1,3'ü oranında HAK miktarı 1g hassasiyetli tartılarak karışıma ilave edilmiştir. Ayrıca agregaların az nemli durumdan doygun kuru yüzey durumuna gelmesi için ilave edilmesi gereken ≈ 920 g su karışıma ilave edildikten sonra betoniyerde üç dakika daha karıştırılarak beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen betonun ayrışmasına izin vermeyecek şekilde alınarak 15x15x15 cm'lik sert plastik küp kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıpta 24 saat bekleyen betonlar 23 ± 2 °C suda 28 gün kür edilmiştir.

Daha sonra sudan çıkarılan beton numuneleri 10000 mg/L $MgSO_4$, %5 H_2SO_4 , %5 NaCl çözeltilerine ve 23 ± 2 °C suya alınarak deney tasarımında belirlenen esaslar çerçevesinde 56 ve 90 güne kadar kimyasal etkilere maruz bırakılmıştır. Daha sonra bütün numuneler 28, 56 ve 90 gün yaşlarında tahribatlı ve tahribatsız deneylere tabi tutulmuştur.

3.2.2. Taze Beton Deneyleri

Beton nitelikli dökülebilecek, homojen bir kütleye sahip olacak ve işlenebilirliğini sağlayacak en düşük kıvamda olmalıdır. Taze beton özellikleri için kıvam ve taze birim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

Taze betonun kıvam deneyi, TS EN 12350-2'e göre üretilen her karışım grubu için ayrı ayrı tespit edilmiştir (TS EN 12350-2, 2002).

3.2.3. Çevresel Etkiler İçin Oluşturulan Kür Ortamları

3.2.3.1. Su

Deney programında referans numuneleri 23 ± 2 °C suda bekletilmiştir.

3.2.3.2. Sülfirik asit (H_2SO_4) çözeltisi

Betona bozucu etki yaptığı bilinen asit yağmurları, özellikle endüstri bölgelerinde kükürdioksit gazlarını atmosfere veren (çinko, bakır vb) üretim tesisleriyle, bunun yanı sıra termik santraller ve baca gazları, yağışlı havalarda asit yağmuru şeklinde bozucu ortam oluşturmaktadırlar. Bu şekliyle artış gösteren asit yoğunlaşmaları betonarme

yapının temeline, yer ile temas eden kısımlarına ve atmosferle temas eden yapı yüzeylerine etki edeceği düşünülerek topraktaki asit yoğunlaşmasına yaklaşık bir değer %5 H₂SO₄ (sülfürik asit) içeren çözelti laboratuvar şartlarında hazırlanmıştır.

3.2.3.3. *Magnezum sülfat (MgSO₄) çözeltisi*

Yapılan araştırmalar ışığında yapılan incelemelere göre yer altı suyu, deniz suyu ve yüzeysel sularda mevcut olduğu belirtilen Mg⁺² iyon yoğunluğu göz önünde bulundurularak 10000 mg/L MgSO₄ çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin pH'ı 9,51 olup pH deney süresince sabit tutulmaya çalışılmıştır.

3.2.3.4. *Sodyum klörür (NaCl) çözeltisi*

Çevresel etkiler su yapıları açısından düşünüldüğünde deniz suyunun %3-5 arasında değişen tuzluluk değeri göz önüne alınarak %5 lik NaCl çözelti hazırlanmıştır.

3.2.4. **Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Analizler**

3.2.4.1. *Kimyasal, Fiziksel Ve Mekanik Analizler*

Çimento ve puzolanların kimyasal analizleri ARL marka 8680 S model X-Ray spektrometresi (XRF) ile yapılmıştır (TS EN 196-2, 2002). Fiziksel analizler TS EN 196-6'ya göre yapılmıştır. Özgül yüzey alanları, Blaine değerleri olarak Toni Tecknic marka 6565 model Blaine cihazı ile özgül ağırlıkları ise Quantachrome marka MVP-3 model cihaz ile belirlenmiştir (TS EN 196-6, 2000). Mekanik analizler ise TS EN 196-1'de belirtilen esaslar çerçevesinde tespit edilmiştir (TS EN 196-1, 2009).

3.2.4.2. *Mineralojik Ve Moleküler Analizler*

Mineralojik özellikler Rikagu marka miniflex model XRD cihazı ile Cu K α ($\lambda=1.54 \text{ \AA}$) ışınması kullanılarak belirlenmiştir. CEM I 42,5 R ve puzolan örneklerinin kafes ve moleküler yapısının belirlenmesi için Fourier transformlu kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizleri yapılmıştır. Bu test Bruker marka Vertex 70 model cihaz kullanılarak 400-4000 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında 1 cm⁻¹ aralığında ATR cihazı ile ölçülmüştür.

3.2.4.3. *Simultane Termal Analizler*

Numunelerin simultane termal analizleri (DTA-TG), 20 °C/dk ısıtma hızı ile 1000 °C maksimum sıcaklığa çıkılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde azot gazı ve yaklaşık 25 mg'lık örnekler kullanılmıştır. STA'ler Perkin Elmer marka S II model cihaz kullanılarak D.P.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuvarında belirlenmiştir.

3.2.4.4. Elektrokinetik (Zeta Potansiyel) Analizler

Zeta potansiyel, elektroforez yöntemine göre çalışan Zeta-Meter System 3.0 + marka cihaz kullanılarak yapılmıştır. Bütün hammaddelerden 0,5 g numuneler, ayrı ayrı beherler içindeki 50 ml saf su içine konulmuş ve 10 dk karıştırılarak HCl ve NaOH ile pH'ları ayarlanmıştır. Daha sonra iri tanelerin çökmesi için 5 dk dinlendirildikten sonra zeta potansiyelleri ölçülmüştür. Çalışılan her pH değerinde yeteri kadar (min. 10) tanenin hareket hızlarına göre cihazın mikro işlemcisi tarafından hesaplanarak zeta potansiyel değerlerine dönüştürülmüş ve cihaz tarafından ortalama zeta potansiyel değerleri belirlenmiştir.

3.2.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.2.5.1. Ultrases Geçiş Hızı Tayini

Ultrases geçiş hızı tayini için yapılan deneyler, her bir çevresel etki altında bulunan yedi tip beton türü üzerinde 28, 56 ve 90 gün yaşlarında beton presinde kırılacak numuneler üzerinde, ASTM C-597-83 “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete” standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (ASTM C597-97, 1997). Numuneler, verici ve alıcı uçların arasına yerleştirilmiş ve ultrases geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Beton örneklerinden ultrases geçiş hızı (V) hesaplanmasında Eşitlik. 3.1 kullanılmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.1)$$

Formülde;

V= Ultrases geçiş hızı, (km/s)

L= Numune boyu, (km)

t= Numune boyunca ultrases geçiş süresini, (s)

ifade etmektedir.

3.2.5.2. Özgül Ağırlık, Su Emme Ve Boşluk Oranı Tayini

Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini, betonun etüv kurusu ağırlığı ile suya doygun ağırlığı arasındaki farktan, havada ve su içinde yapılan tartımlardan yararlanarak belirlenmektedir. Sertleşmiş betonda, özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini her bir çevresel etki altında bulunan, yedi tip beton türü üzerinde

28, 56 ve 90 gün yaşlarında TS 3624 (1981) standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS 3624, 1981).

3.2.5.3. Kapiler Su Emme Miktarı Tayini

Kapiler su emme deneyleri, her bir çevresel etki altında bulunan yedi tip beton türü üzerinde 28, 56 ve 90 gün yaşlarında sabit ağılığa gelinceye kadar etüvde 105 ± 5 0C sıcaklıkta bir gün bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 5 mm suya batacak şekilde 0, 30, 50, 90, 175, 255, 360 ve 1440 dakikalık sürelerde bekletilmiştir. Bu süreler sonlarında numunelerin yüzeylerindeki serbest su bir bezle kurularak 0,01 g hassasiyetle tartılarak kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri hesaplanmıştır. Kapilarite katsayılarının hesaplanmasında Eşitlik 3.2 kullanılmıştır. Deneyin gerçekleştirilmesinde TS 4045, “Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini” standardında belirtilen esaslara uyulmuştur (TS 4045, 1984; Neville, 2006).

$$k = \frac{Q}{A \cdot t^{0,5}} \quad (3.2)$$

k= Kapilarite katsayısı, cm/s^{0,5}

Q= Kılcallık yoluyla emilen su miktarı, cm³ (g)

A= Suyla temas eden alan, cm²

t = Kılcal su emmenin tamamlandığı zamanı, s
ifade etmektedir.

3.2.5.4. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini

Yarmada çekme dayanımı deneyi, 28, 56 ve 90 gün yaşlarında herbir çevresel etki şartlarında bekletilen numuneler üzerinde 15x15x15 cm’lik küp numuneler üzerinde TS EN 12390-6 “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (TS EN 12390-3, 2002). Her seri için 3 adet numune hazırlanarak deneyler yapılmıştır. Yarmada çekme dayanımının hesaplanmasında aşağıda verilen Eşitlik 3.3 kullanılmıştır.

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi \cdot l \cdot d} \quad (3.3)$$

Burada;

f_{ct} = Yarmada çekme dayanımı (MPa)

F= Kırılma yükü (N)

I= Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm)

d= Numunenin en kesit boyutu (mm) ifade etmektedir.

3.2.5.5. Basınç dayanımı tayini

28, 56 ve 90 gün yaşlarında yukarıda belirtilen çevresel etki şartlarında bekletilen numuneler üzerinde TS EN 12390-3 “Sertleşmiş Beton Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN 12390-3, 2002). Deneyleerde 3000 kN yükleme kapasiteli dijital kumanda ünitesi ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç test cihazı kullanılmıştır (EK-1). Her seri için 3 adet numune hazırlanarak deneyler Yiğitler Beton laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve kırılan beton numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında Eşitlik 3.4 kullanılmıştır.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.4)$$

Formülde;

f_c = Basınç dayanımı, MPa

F= Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A_c = Numunenin en kesit alanı, mm^2 olarak ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

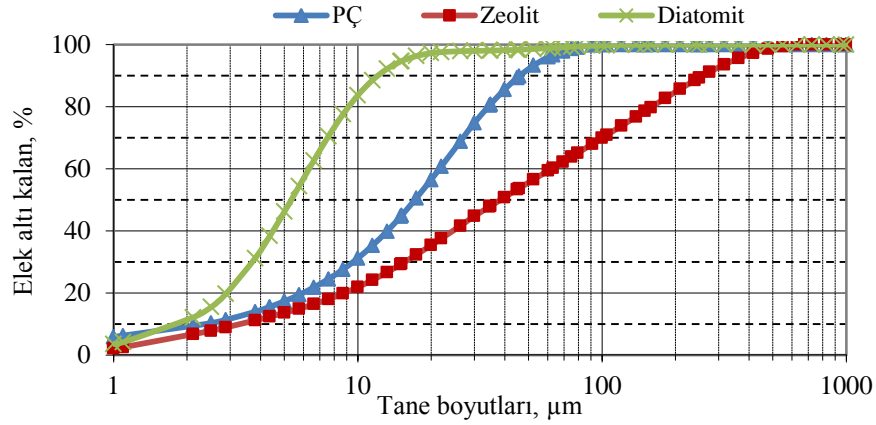
Çalışmada kullanılan malzemeleri tanımlamak için kimyasal, fiziksel, minerolojik, moleküler, termal ve zeta potansiyel analizler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilgili bölüm başlıkları altında değerlendirilmiştir.

4.1.1. Kimyasal Analizler

PÇ yüksek oranda CaO içerirken, düşük oranda Al₂O₃, Fe₂O₃ ve SO₃ bileşiklerinden oluşmaktadır. Diatomitte ana bileşen SiO₂'dir ve ağırlıkça SiO₂/Al₂O₃ oranı (S/A) 12,17 dir. Zeolitin ana bileşen yine SiO₂dir ve S/A oranı 5,88'dir. Diatomitte Na₂O'nun K₂O'dan daha yüksek olması Na⁺ iyonlarınca zengin olduğunu göstermektedir. Zeolitte ise K₂O'nun Na₂O den daha yüksek olması K⁺ iyonlarınca zengin olduğunu göstermektedir. Ayrıca ASTM C 618'e göre minimum %70 olması istenilen S+A+F toplamı diatomitte yaklaşık %89, zeolit'te ise yaklaşık %82 olarak tespit edilmiş ve kimyasal açıdan puzolanik özelliklerinin olumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 3.2) (TS 802, 2009).

4.1.2. Fiziksel Analizler

Fiziksel analizlerde tane boyut dağılımı, Blaine değerleri (ölgül yüzey alanları) ve ölgül ağırlıkları belirlenmiştir. PÇ, diatomit ve zeolitin tane boyut dağılımları Şekil 4.1'de verilmiştir.

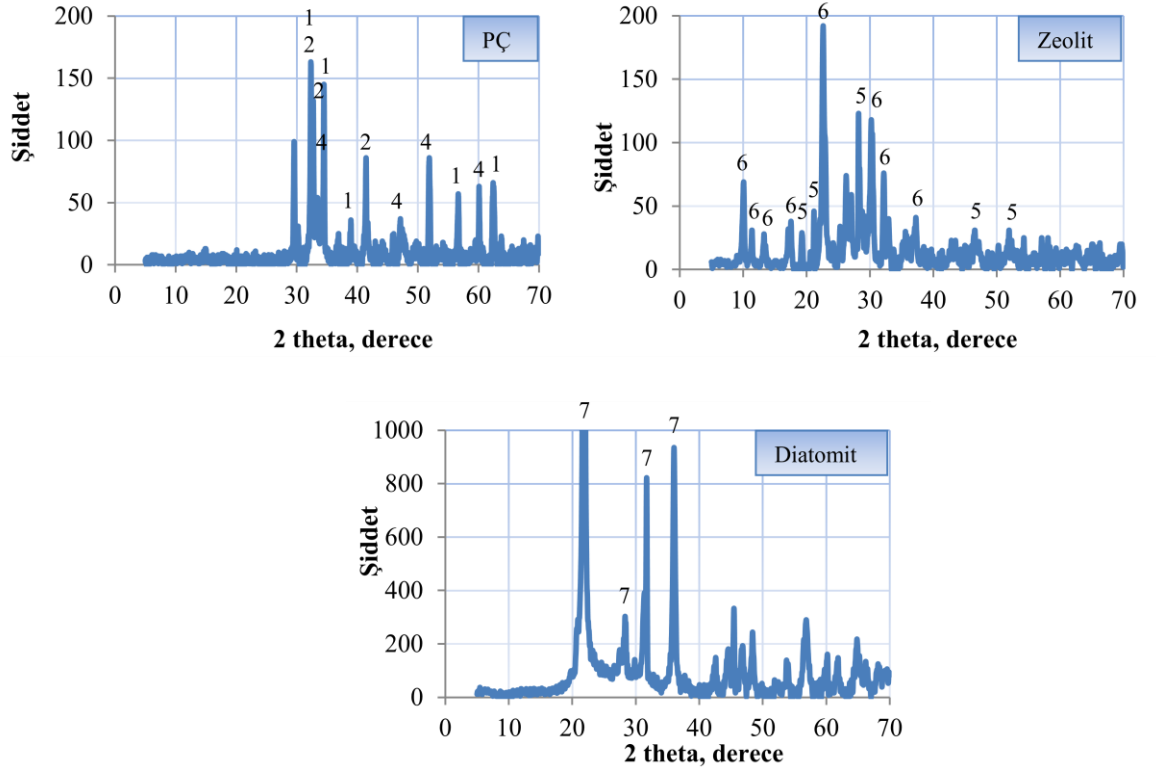


Şekil 4.1: PÇ, zeolitin ve diatomit tane boyut dağılımları

Tane boyut analiz değerlerine bakıldığında, diatomitin daha ince tane yapısına sahip olduğu görülmektedir. PÇ, diatomit ve zeolit %90 elek altı oranlarına göre sırasıyla 50, 13, ve 280 µm tane boyutlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Buna göre en küçük boyutlu malzeme diatomittir. Daha sonra PÇ ve zeolit gelmektedir (Şekil 4.1). Blaine değerlerine göre ise en küçük boyutlu malzemenin yine diatomit olduğu görülürken ikinci sırayı zeolitin son sırayı ise PÇ'nin aldığı görülmektedir (Çizelge 3.2). Burada zeolitin Blaine değerinin, tane boyut dağılımlarına göre PÇ'den yüksek olması zeolitin kristal yapısındaki bir, iki ve üç boyutlu kanallara, dolayısı ile de geniş bir yüzey alanına sahip olduğunu göstermektedir. Özgül ağırlık değerleri dikkate alındığında ise PÇ'nin 3,17 g/cm³, diatomitin 2,28 g/cm³ ve zeolit ise 2,18 g/cm³ olduğu dolayısı ile de en düşük özgül ağırlığa sahip malzemenin zeolit olduğu görülmektedir (Çizelge 3.2).

4.1.3. Mineralojik Özellikler

Çalışmada kullanılan PÇ, zeolit ve diatomitin mineralojik yapısını belirlemek için XRD analizleri yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: PÇ, zeolit ve diatomitin XRD analizi

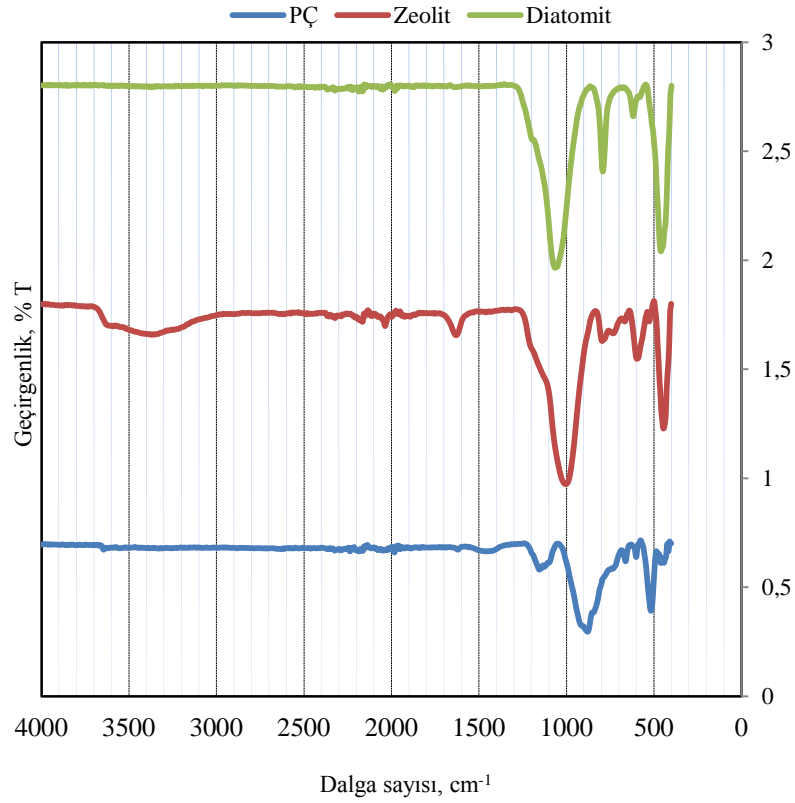
[1: Alit (3CaOSiO_3), 2: Belit (2CaOSiO_3), 3: Trikalsiyum alüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), 4: Brownmillerit ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe}^{3+})_2\text{O}_5$), 5: Kuvars (SiO_2), 6: Klinoptilolit, 7: Kristobalit]

PÇ alit, belit, trikalsiyum alüminat ve brownmillerit ana bileşenlerinden oluşmakta olup, kristal bir yapıya sahiptir (Şekil 4.2).

Zeolitin mineralojik bileşimine ait XRD'ye göre kuvars ve klinoptilolitten oluşan kristal bir yapı görülmektedir (Blanco Varela ve diğ. 2006). Diatomit ise yapısındaki silika formuna uyumlu olarak kristal yapıdaki kristobalit'den oluşmuştur (Jia ve Diğ., 2008).

4.1.4. Moleküler Özellikler

PÇ, zeolit ve diatomitin FT-IR sonuçlarından moleküllerin yüzey yapıları belirlenmiş ve Şekil 4.3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3: PÇ, zeolit ve diatomitin FT-IR spektrum analizleri

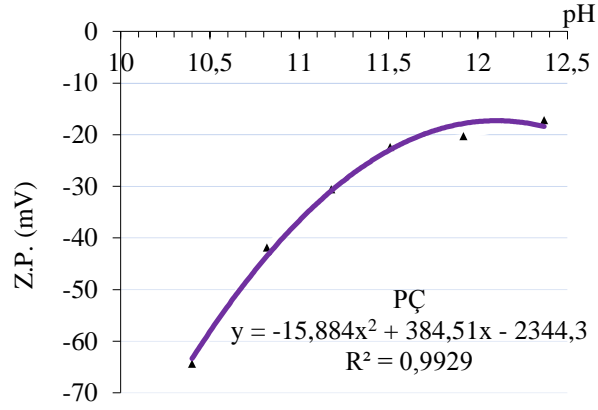
FT-IR spektroskopisinde katı kafeslerini oluşturan atomların titreşimleri $400-1600\text{ cm}^{-1}$ de, moleküler titreşimler ise $1600-4000\text{ cm}^{-1}$ bölgesinde görülmektedir. Çimentonun FT-IR analizi sonucunda $459, 500, 600, 660, 892, 1150, 1446, 1689, 3400$ ve 3640 cm^{-1} dalga sayılarında titreşimler görülmektedir. Si-O ile birlikte bulunan Al-O bağları 459 ve 500 cm^{-1} simetrik titreşimler yapmaktadır (Gomes ve Ferreira, 2005). Kafes yapılarındaki Si-O bağları 892 cm^{-1} dalga sayısında simetrik titreşimler şeklindedir (Govin ve diğ. 2006). CEM I 42,5 R çimentosunda alçıyı gösteren Kükürt-Oksijen bağları (S-O) $600, 660, 1150$ ve 1689 cm^{-1} de görülmektedir. 1446 cm^{-1} 'de ise CO_3^{2-} görülmektedir (Gomes ve Ferreira, 2005). Yapısındaki su iyonları ve molekülleri 3400 ve 3640 cm^{-1} dalga sayılarında bulunmaktadır.

Diatomitin FT-IR analizi sonucunda $468, 619, 798$ ve 1080 cm^{-1} dalga sayılarında titreşimler görülmektedir. Si-O-Si bağları 468 ve 1080 cm^{-1} dalga sayılarında asimetric titreşimler yapmaktadır. Yapılarda Al-O-Si bağları 619 ve 798 cm^{-1} dalga sayısında titreşim şeklindedir (Sheng ve diğ., 2008; Sprynskyy ve diğ., 2010).

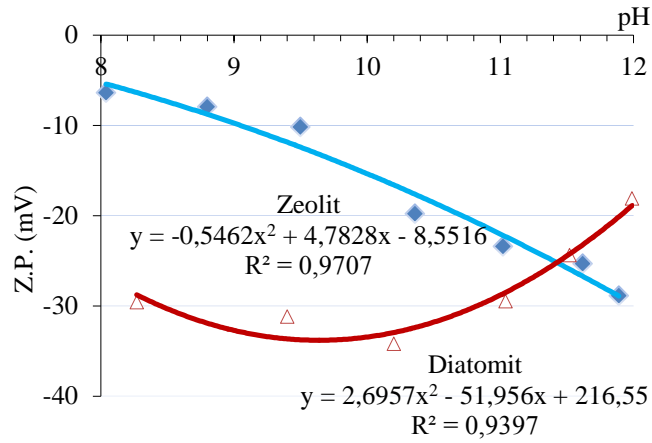
Zeolitin FT-IR analizi sonucunda 452, 600, 800, 1000, 1639, 3390 ve 3600 cm^{-1} dalga sayılarında titreşimler görülmektedir. Si-O-Si ve Si-O-Al bağları 452 ve 1000 cm^{-1} dalga sayılarında titreşimler yapmaktadır (Perraki ve Orfanoudaki, 2004). Yapılarda Al-O-Al bağları 600 cm^{-1} dalga sayısında titreşim şeklindedir. 800 cm^{-1} dalga sayısında Si-O-Si bağı simetrik titreşimler şeklindedir (Karakaya, 2006). Zeolitik su (H-OH) 1639 cm^{-1} ve hidrojen köprüleri ile bağlı su (OH) ise 3390 ve 3600 (Blanco Varela ve diğ., 2006) cm^{-1} dalga sayılarında titreşimler tespit edilmiştir. Araştırmalara göre FT-IR spektrumlarının 500 - 800 cm^{-1} dalga sayısını yorumlarken 602 cm^{-1} dalga sayısında klinoptilolit, 594 cm^{-1} bandında heulantit pikleri olduğunu vurgulamıştır (Blanco Varela diğ., 1998; Mozgawa ve diğ., 1999). Bu çalışmada, 600 cm^{-1} dalga sayısında yer alan grup, silika açısından zengin klinoptilolit varlığını doğrulamaktadır.

4.1.5. Elektroknetik Özellikler (Zeta potansiyel)

PÇ ile yapılan zeta potansiyel ölçümleri şekil 4.4’de, diatomit ve zeolit ile yapılan zeta potansiyel ölçümleri ise Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.4: PÇ'nin zeta potansiyeli



Şekil 4.5: Diatomit ve zeolitin zeta potansiyelleri

Yapılan araştırmalara göre, çimentonun yüzey yükü genellikle negatif (Viallis-Terrisse ve diğ., 2001; Yoshioka ve diğ., 2002), ancak yapısına göre pozitif (Nachbaur ve diğ., 1998; Termkhajornkit ve diğ., 2004) de olabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre PÇ (Şekil 4.4), diatomit ve zeolitin (Şekil 4.5) negatif yüklü olduğu görülmektedir. Aynı zamanda PÇ'nin yapısında bulunan Ca^{2+} iyonları pH artışına bağlı olarak PÇ'yi pozitif yüke doğru yaklaştırmıştır. PÇ'nin negatif yüklü olmasının nedeni Jips'ten ($CaSO_4$) gelen SO_4^{2-} iyonları ile kendi yapısında bulunan CO_3^{2-} , OH^- ve Si-O bağlarıdır (Şekil 4.3). Bu nedenle Ca^{2+} , H^+ , OH^- ve SO_4^{2-} PÇ için potansiyel belirleyen iyonlardır.

Puzolanik malzemelerin zeta potansiyelleri incelendiğinde hem diatomit hem de zeolit bütün pH değerlerinde negatif yüzey yüküne sahiptir. Diatomitin yüzey yükü pH 8 civarında -29'dan pH 12 civarında -18 mV'ye mutlak değer olarak azalmıştır. Zeolit ise pH 8 civarında -6'dan pH 12 civarında -29 mV'ye mutlak değer olarak artmıştır (Şekil 4.5).

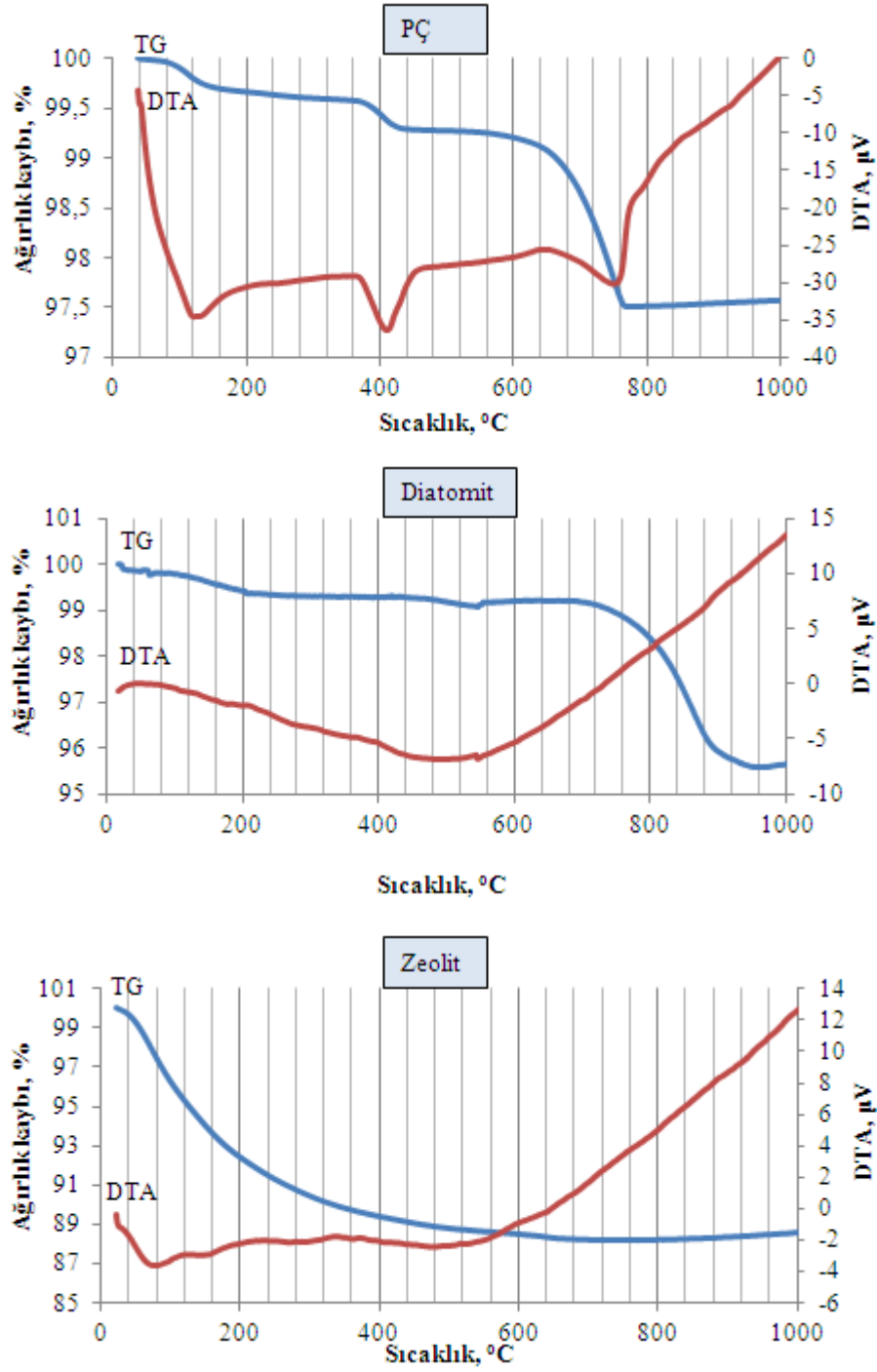
Tanelerin birbirlerine olan etkileşimleri, DLVO teorisine (Gabrovsek ve diğ., 2006; Skripiunas ve diğ., 2007) göre yüzey yüklerine ve aralarındaki mesafeye bağlıdır. -25 ile +25 mV arasında yüzey yüklerine sahip taneler, birbirlerine yaklaştıklarında elektriksel çift tabaka kuvveti ve Van der Waals kuvvetleri nedeni ile birbirlerini çekmektedir (Nachbaur ve diğ., 1998; Gabrovsek ve diğ., 2006; Dražan ve Zelic, 2006). Bunun tersinde ise dağılmaktadırlar. Fakat ortamda farklı yüzey yüküne sahip taneler

girdiğinde yukarıda belirtilen olaylara ilave olarak devreye zıt yük veya aynı yük olayı da girmektedir. Yani elektrostatik olarak zıt yüklü taneler birbirlerini çekerken aynı yüklü taneler birbirlerini itmektedir. Burada da ortam pH'sı 12 civarında PÇ ayrı ayrı aynı ortamda bulunan diatomitin ve zeolitin birbirlerini itmesi gerekmektedir. Fakat -25 mV ile burada puzolanların yüzey yükleri -25 ile +25 mV değerlerine çok yakın olduğundan devreye elektriksel çift tabaka kuvvetleri ve çok küçük etkiye sahip Van der Waals kuvvetleri de girmektedir (Nachbaur ve diğ., 1998; Gabrovsek ve diğ., 2006; Pan ve diğ., 2002). Bu nedenle puzolanların PÇ ile uyumlu olduğu söylenebilir. Ancak zeolit ile diatomitin birlikte kullanılması ile negatif yüzey yükünün etkisinin biraz daha olumsuz olacağı düşünülmektedir.

4.1.6. Simultane Termal Özellikler

Zeolit, diatomit ve CEM I 42,5 R çimentosunun fark esaslı termal analiz (DTA) ve termal gravimetri (TG) eğrileri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'daki TG eğrilerinin verilerinden çeşitli sıcaklık aralıklarındaki ağırlık kayıpları hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

DTA eğrilerinden CEM I 42,5 R çimentosunda 127, 410 ve 753 °C'de, zeolitte 75 ve 152 °C'de, belirgin endotermik pikler görülürken, diatomitte belirgin piklere rastlanamamıştır (Şekil 4.6). TG eğrilerinden çeşitli sıcaklıklardaki ağırlık kayıplarına bakıldığında gözenekler ve yapıdasındaki fiziksel ve kimyasal suyun dehidratasyonunun en fazla zeolitte, daha sonra diatomitte ve PÇ'de olduğu tespit edilmiştir. Karbonat fazlarının (CaCO_3) dekarbonasyonunu gösteren belirgin pike çimentoda 753 °C rastlanırken, diatomitte ve zeolitte belirgin bir pike rastlanmamıştır. Toplamda en fazla ağırlık kaybının sırasıyla zeolit (%11,385), diatomit (%4,343) ve PÇ'de (%2,432) meydana geldiği hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).



Şekil 4.6. PÇ, Diatomit ve zeolitın DTA ve TG analizleri

Çizelge 4.1. PÇ, diatomit ve zeolitın farklı sıcaklık aralıklarında % ağırlık kayıpları

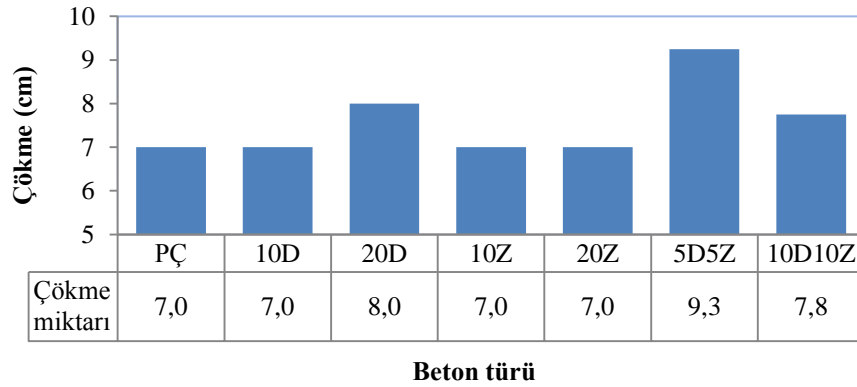
Malzemeler	0-200°C	200-400°C	400-600°C	600-800 °C	Toplam
PÇ	0,341	0,216	0,240	1,689	2,432
Diatomit	0,582	0,135	0,087	0,811	4,343
Zeolit	7,582	2,997	0,890	0,269	11,385

4.2. TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

Betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerindeki değişimi ifade etmek amacıyla; diatomit ve zeolit ikame oranlarına bağlı olarak deneyler yapılmıştır. Taze beton deneyinde çökme miktarı tespit edilirken, sertleşmiş beton deneylerinde birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri, yedi farklı beton türü üzerinde, 28 gün yaşına kadar 23 ± 2 °C suda ve daha sonra ortam faktörünün dört düzeyi (H_2SO_4 , $MgSO_4$, $NaCl$, H_2O), beton yaşı faktörünün iki düzeyinde (56 ve 90 gün) bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Çökme Deneyi

Yapılan çalışma için numuneler hazırlanırken çökme miktarının 7 ile 10 cm arasında olacak şekilde karışım dizaynı yapılmaya çalışılmıştır. Üretilen betonlara ait çökme değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir.

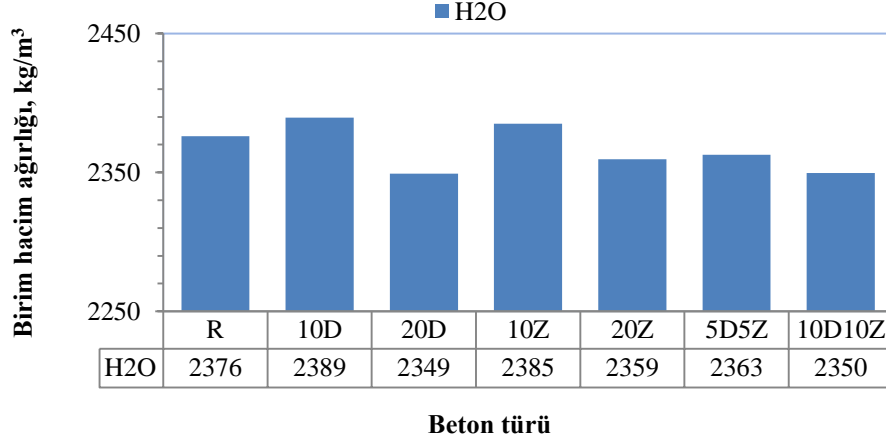


Şekil 4.7: Taze beton çökme miktarları

Elde edilen verilere göre çökme miktarları PÇ, 10D, 10Z ve 20 Z kodlu betonlarda 7 cm olarak elde edilirken, 10D10Z kodlu betonda 7,8 cm, 20D kodlu betonda 8 cm ve 5D5Z kodlu betonda ise 9,3 cm olarak elde edilmiştir. Üretilen betonların çökme miktarları istenen aralıklarda gerçekleştikten sonra, bu karışım dizaynı esas alınarak betonlar üretilmiştir.

4.2.2. Birim Hacim Ağırlıkları

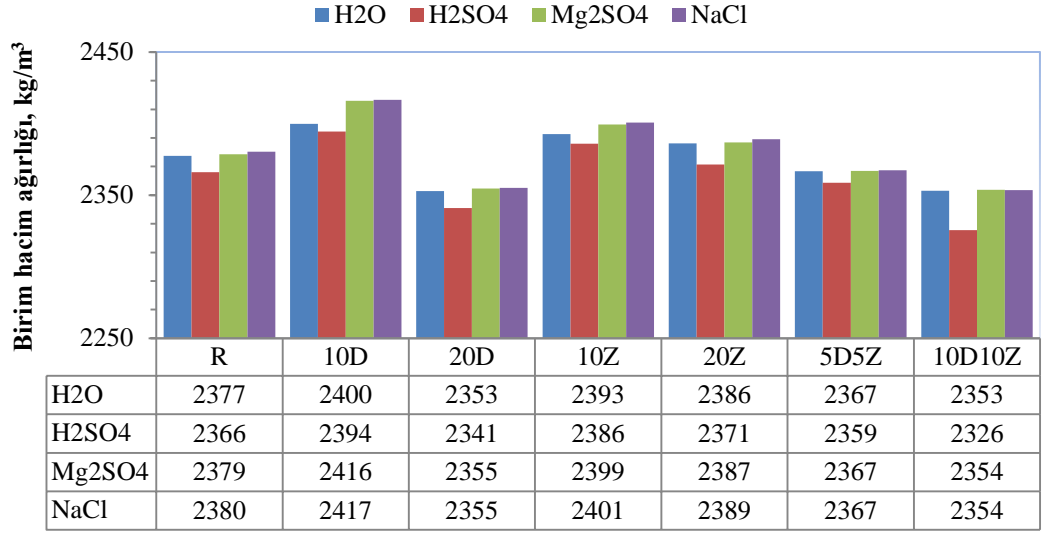
Yapılan çalışmada 28 gün yaşına kadar 23 ± 2 °C suda bekletilen beton örnekleri üzerinde belirlenen birim hacim ağırlıkları Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Beton örneklerinin 28 gün yaşında birim hacim ağırlıkları

Birim hacim ağırlık değerleri tespit edilirken beton örneklerindeki boşluklar dikkate alınmamaktadır (Canpolat, 2002). Üretilen beton örneklerinde hacimsel doluluk oranları arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde bir artma görülmektedir. Elde edilen birim hacim ağırlıkları sonuçlarına göre, 28 gün yaşında 20D kodlu beton örneğinin en düşük (2349 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinin ise en büyük (2389 kg/m^3) değerine sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,1, %0,7, %0,6 ve %1,1 oranında azalırken, 10D ve 10Z kodlu beton örnekleri %0,6 ve %0,4 oranlarında artmaktadır (Şekil 4.8).

56 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen birim hacim ağırlıklarına ait değerler Şekil 4.9’da verilmektedir.



Beton türü

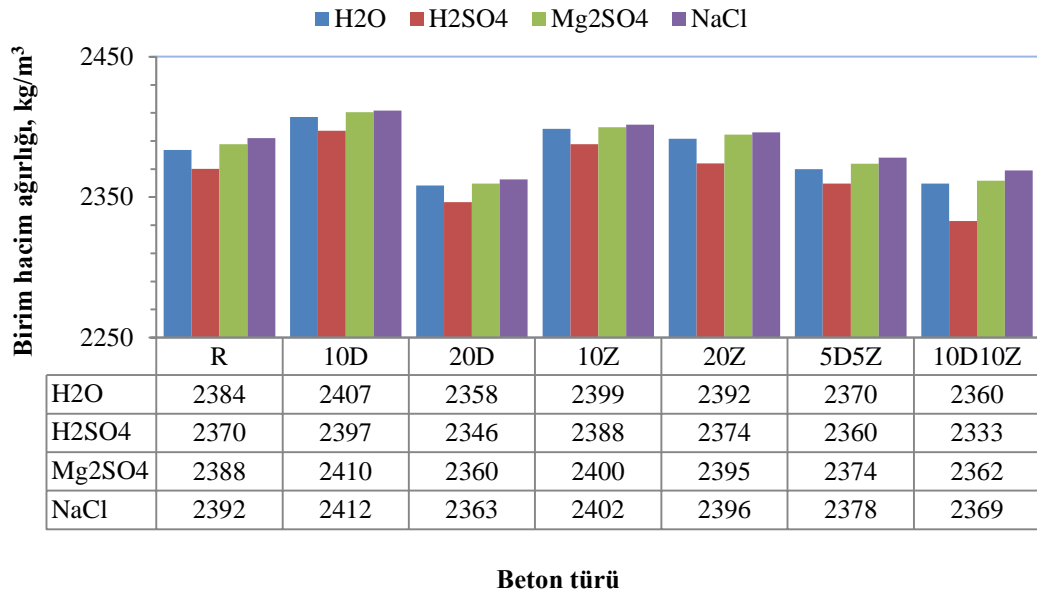
Şekil 4.9: Beton örneklerinin 56 gün yaşında birim hacim ağırlıkları

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 20D ve 10D10Z kodlu beton örneklerinde (2353 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2400 kg/m^3) değeri aldığı belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 10D10Z kodlu beton örneğinde (2326 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2394 kg/m^3) değeri aldığı belirlenmiştir. MgSO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 10D10Z kodlu beton örneğinde (2354 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2416 kg/m^3) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 10D10Z kodlu beton örneğinde (2354 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2417 kg/m^3) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.9).

56 gün sonundaki su ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1, %0,5 ve %1 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %0,9 %0,6 ve %0,4 oranlarında artmaktadır. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,1, %0,3 ve %1,7 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %1,2 %0,8 ve %0,2 oranlarında artmaktadır. MgSO_4 ortamında kür

edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1 , %0,5 ve %1 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %1,6 %0,9 ve %0,4 oranlarında artmaktadır. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,1, %0,5 ve %1,1 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %1,5, %0,9 ve %0,4 oranlarında artmaktadır (Şekil 4.9).

90 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen birim hacim ağırlıklarına ait değerler Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10: Beton örneklerinin 90 gün yaşında birim hacim ağırlıkları

90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 10D10Z kodlu beton örneğinde (2360 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2407 kg/m^3) değeri aldığı belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 10D10Z kodlu beton örneğinde (2333 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2397 kg/m^3) değeri aldığı belirlenmiştir. MgSO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 20D kodlu beton örneğinde (2360 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2410 kg/m^3) değeri

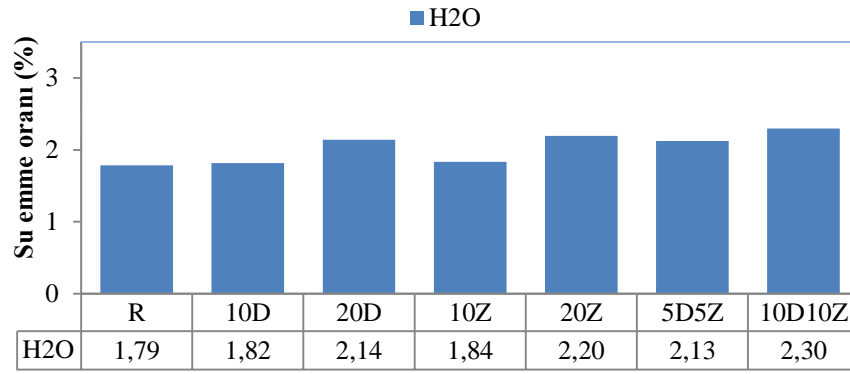
aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları değerlerine göre en düşük 20D kodlu beton örneğinde (2363 kg/m^3), 10D kodlu beton örneğinde ise en büyük (2412 kg/m^3) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.10).

90 gün sonundaki su ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,1, %0,6 ve %1 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %1 %0,6 ve %0,3 oranlarında artmaktadır. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1, %0,5 ve %1,6 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %1 %0,7 ve %0,2 oranlarında artmaktadır. MgSO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,2, %0,6 ve %1,1 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %1 %0,5 ve %0,3 oranlarında artmaktadır. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin birim hacim ağırlıkları referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,2, %0,6 ve %1 oranında azalırken, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örnekleri %0,8, %0,4 ve %0,2 oranlarında artmaktadır (Şekil 4.10).

Birim hacim ağırlıklarında özellikle %10 diatomit ve zeolit ikameli çimentolarla hazırlanmış beton örneklerinde hidrasyon süresi arttıkça tüm ortamlarda bir artış belirlenmiştir. Bu durumda da daha kompakt beton örnekleri elde edildiği düşünülmektedir. Bunun nedeni olarak diatomit ve zeolit özgül yüzey alanı ve tane boyutlarından dolayı daha sıkışabilir özellikte olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2.3. Su Emme Oranı

Yapılan çalışmada 28 gün yaşına kadar $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ suda bekletilen beton örnekleri üzerinde belirlenen su emme oranları Şekil 4.11’de verilmiştir.

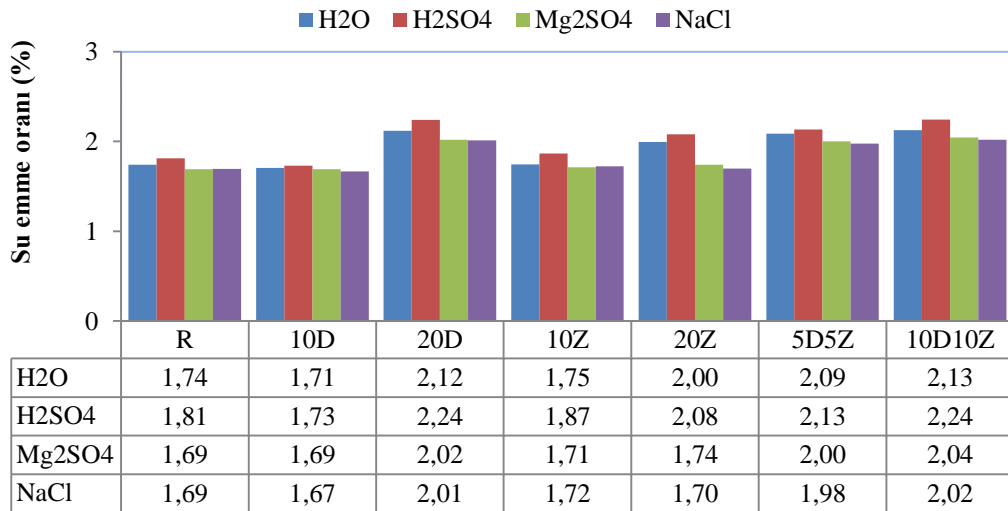


Beton türü

Şekil 4.11: Beton örneklerinin 28 gün yaşında su emme oranları

Üretilen beton örneklerinde 28 gün yaşında belirlenen su emme oranlarının %1,79 ile %2,3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Sonuçlarına göre, referans beton örneğinin en düşük (%1,79), 10D10Z kodlu beton örneklerinin ise en büyük (%2,3) değere sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,73, %20, %2,9, %23,1, %19,1 ve %28,7 oranında artmaktadır (Şekil 4.11).

56 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen su emme oranlarına ait değerler Şekil 4.12’de verilmektedir.



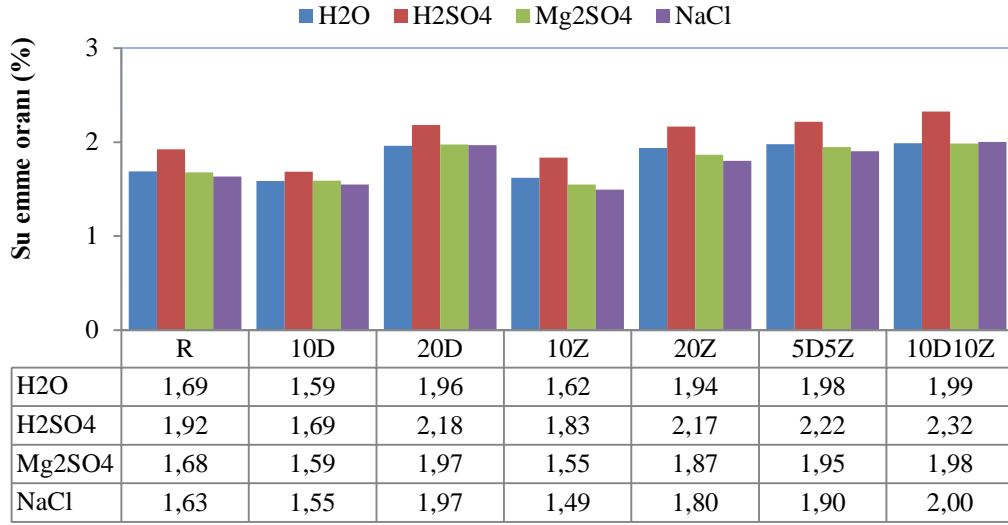
Beton türü

Şekil 4.12: Beton örneklerinin 56 gün yaşında su emme oranları

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%2,13), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%1,71) değeri aldığı belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%2,24), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%1,73) değeri aldığı belirlenmiştir. $MgSO_4$ ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%2,04), referans ve 10D kodlu beton örneklerinde ise en küçük (%1,69) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%2,02), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%1,67) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.12).

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %21,8, %0,2, %14,5, %19,9 ve %22,2 oranında artarken 10D kodlu beton örneğinde %2,1 oranında azalmıştır. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %23,6, %3,1, %14,8, %17,7 ve %23,9 oranında artarken 10D kodlu beton örneğinde %4,5 oranında azalmıştır. $MgSO_4$ ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %19,5, %1,2, %3,1, %18,4 ve %20,1 oranında artarken 10D kodlu beton örneğinde referans beton ile aynı değere sahip olduğu belirlenmiştir. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %18,8, %1,7, %0,2, %16,6 ve %19,1 oranında artarken 10D kodlu beton örneğinde %1,7 oranında azalmıştır (Şekil 4.12).

90 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen su emme oranlarına ait değerler Şekil 4.13’de verilmektedir.



Beton türü

Şekil 4.13: Beton örneklerinin 90 gün yaşında su emme oranları

90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%1,99), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%1,59) değeri aldığı belirlenmiştir. H₂SO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%2,32), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%1,69) değeri aldığı belirlenmiştir. MgSO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%1,98), referans ve 10D kodlu beton örneklerinde ise en küçük (%1,59) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%2), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%1,55) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.13).

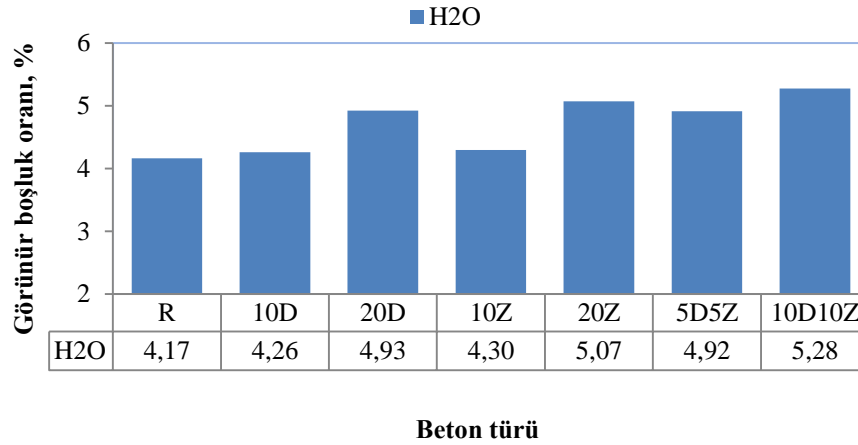
56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %16,2, %14,8, %17,1 ve %17,8 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %6 ve %4,1 oranında azalmıştır. H₂SO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %13,4, %12,6, %15,3 ve %20,8 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %12,4 ve %4,7 oranında azalmıştır. MgSO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z,

5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %17,7, %11,2, %16,2 ve %18,2 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %5,2 ve %7,6 oranında azalmıştır. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin su emme oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %20,5, %10,2, %16,5 ve %22,6 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %5,2 ve %8,6 oranında azalmıştır (Şekil 4.13).

Su emme oranları genel olarak değerlendirilecek olursa 90 gün yaşında 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde en uygun değerler olarak tespit edilmiş, ayrıca her ortam ve hidrasyon gününde birim hacim ağırlıkları ile uyumlu olarak gelişmiştir.

4.2.4. Görünür Boşluk Oranı

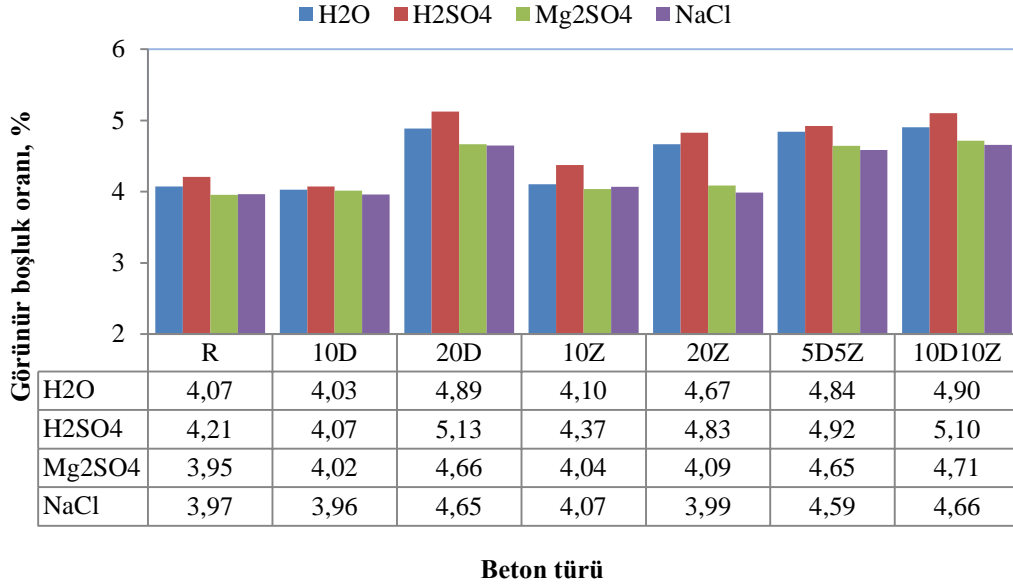
Yapılan çalışmada 28 gün yaşına kadar 23 ± 2 °C suda bekletilen beton örnekleri üzerinde belirlenen görünür boşluk oranları Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14: Beton örneklerinin 28 gün yaşında görünür boşluk oranları

Üretilen beton örneklerinde 28 gün yaşında belirlenen görünür boşluk oranlarının referans beton örneğinde en düşük (%4,17), 10D10Z kodlu beton örneğinde ise en büyük (%5,28) değere sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %2,27, %18,3, %3,2, %21,7, %18 ve %26,7 oranında artmaktadır (Şekil 4.14).

56 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen görünür boşluk oranlarına ait değerler Şekil 4.15’de verilmektedir.



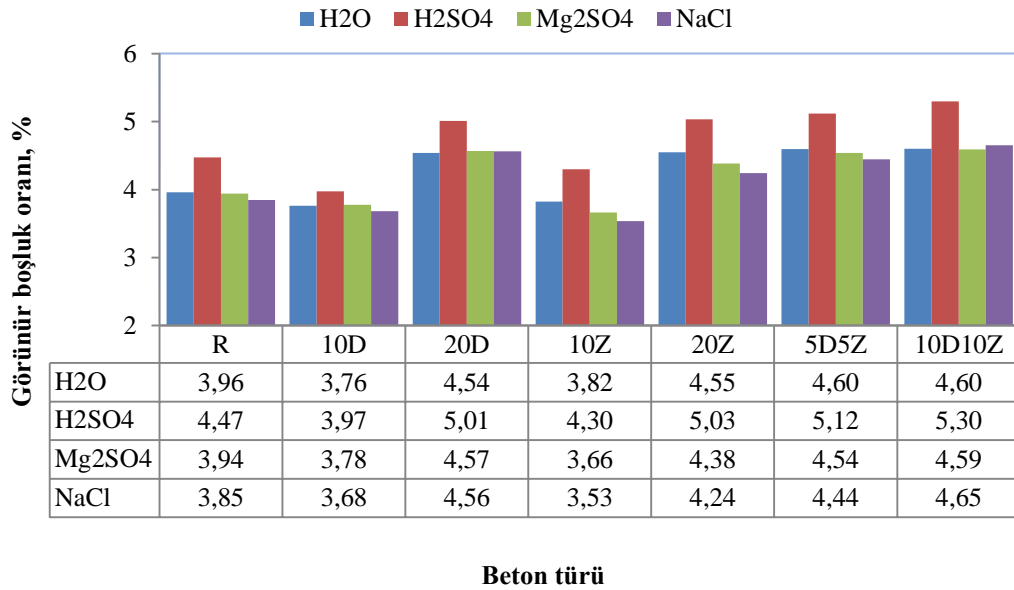
Şekil 4.15: Beton örneklerinin 56 gün yaşında görünür boşluk oranları

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%4,9), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%4,03) değeri aldığı belirlenmiştir. H₂SO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%5,1), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%4,07) değeri aldığı belirlenmiştir. MgSO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%4,71), referans beton örneğinde ise en küçük (%3,95) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%4,66), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%3,96) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.15).

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %20,1, %0,8, %14,7, %18,9 ve %20,5 oranında artarken 10D kodlu beton örneğinde %1,1 oranında azalmıştır. H₂SO₄ ortamında kür edilen beton

örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %21,8, %3,9, %14,7, %17 ve %21,2 oranında artarken 10D kodlu beton örneğinde %3,3 oranında azalmıştır. $MgSO_4$ ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,5, %18, %2,1, %3,4 %17,5 ve %19,2 oranında artmıştır. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %17,2, %2,5, %0,5, %15,6 ve %17,4 oranında artarken 10D kodlu beton örneğinde %0,2 oranında azalmıştır (Şekil 4.15).

90 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen görünür boşluk oranlarına ait değerler Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.16: Beton örneklerinin 90 gün yaşında görünür boşluk oranları

90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z ve 10D10Z kodlu beton örneğinde (%4,6), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%3,76) değeri aldığı belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%5,3), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük (%3,97) değeri aldığı belirlenmiştir. $MgSO_4$ ortamında kür edilen kür edilen beton örneklerinin görünür

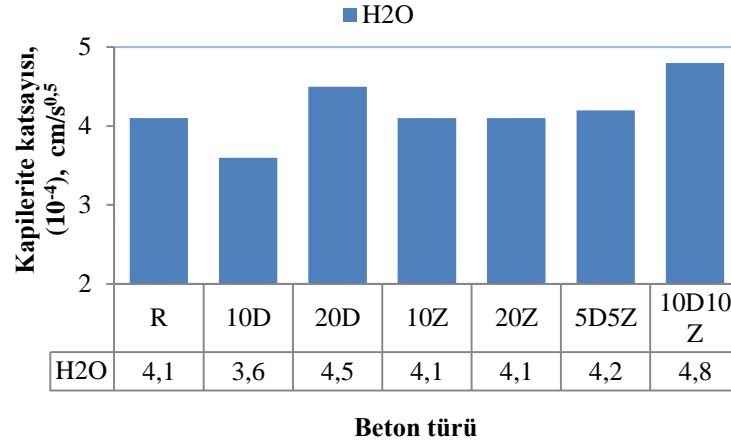
boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%4,59), 10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (%3,66) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde (%4,65), 10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (%3,53) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.16).

90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %14,6, %14,8, %16,1 ve %16,2 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %5 ve %3,4 oranında azalmıştır. H₂SO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %11,2, %12,5, %14,4 ve %18,5 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %4,2 %7,1 oranında azalmıştır. MgSO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %16, %11,3, %15,2 ve %16,6 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %4,2 ve %8,1 oranında azalmıştır. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %18,6, %10,3, %15,5 ve %21 oranında artarken 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde %5 ve %3,4 oranında azalmıştır (Şekil 4.16).

Görünür boşluk oranları genel olarak değerlendirilecek olursa 90 gün yaşında 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde en uygun değerler olarak tespit edilmiş, ayrıca her ortam ve hidrasyon gününde birim hacim ağırlıkları ve su emme oranları ile uyumlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

4.2.5. Kapilerite Katsayısı

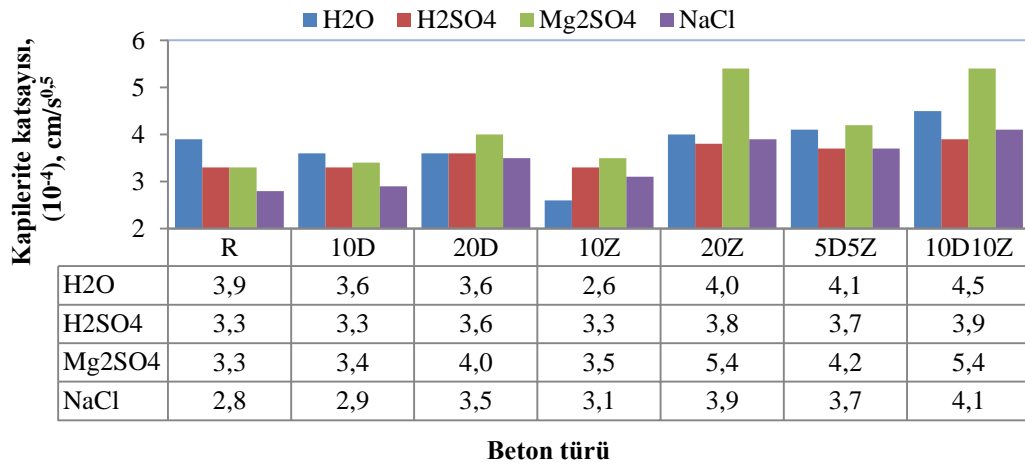
Birim alanda emilen su miktarlarının (Q/A) ortalamaları ile kapiler su emme sürelerinin karekökü ($t^{0,5}$) arasında bir grafik çizilmiştir. Ortaya çıkan grafiklerin eğimlerinden de kapilerite katsayıları elde edilmiş ve 28 gün yaşına kadar 23 ± 2 °C suda bekletilen beton örnekleri üzerinde belirlenen kapiler su emme deney sonuçlarına ait ortalama kapilerite katsayıları Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17: Beton örneklerinin 28 gün yaşında kapilerite kat sayıları

Üretilen beton örneklerinde 28 gün yaşında belirlenen kapilerite katsayılarının 10D kodlu beton örneğinde en düşük ($3,6 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), 10D10Z kodlu beton örneğinde ise en büyük ($4,8 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değere sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının oranlarının referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %9,8, %2,4 ve %17,1 oranında artmakta, 10D kodlu beton örneğinde %12,2 oranında azalmakta ve 10Z ile 20Z kodlu beton örneklerinde ise referans beton örneği ile aynı değeri almaktadır (Şekil 4.17).

56 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kapilerite katsayılarına ait değerler Şekil 4.18'de verilmektedir.

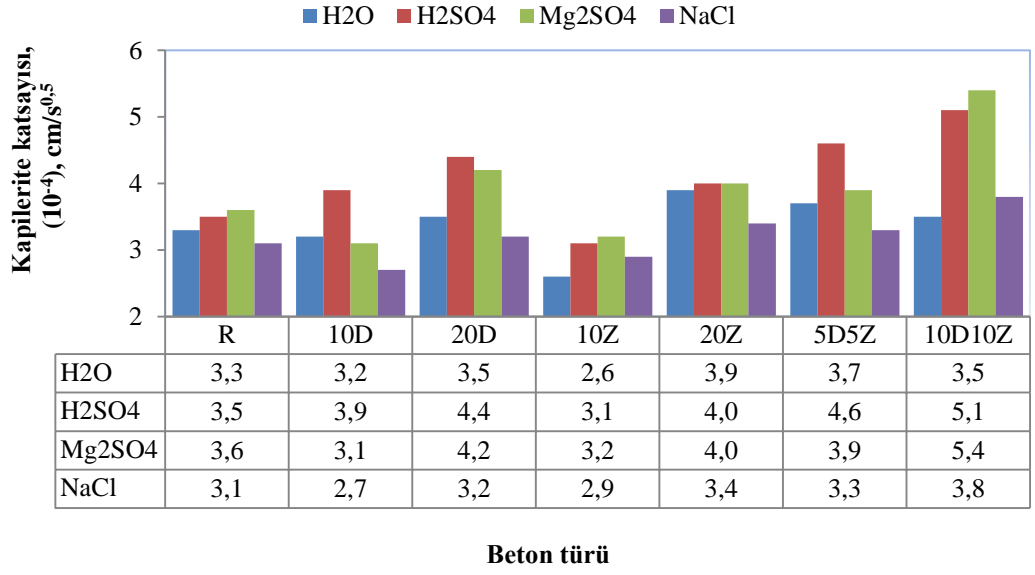


Şekil 4.18: Beton örneklerinin 56 gün yaşında kapilerite kat sayıları

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde ($4,5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), referans 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde ise en küçük ($4,5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde ($3,9 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), referans 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde ise en küçük ($3,3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir. MgSO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 20Z ve 10D10Z kodlu kodlu beton örneklerinde ($5,4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), referans beton örneğinde ise en küçük ($3,3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde ($4,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), referans beton örneğinde ise en küçük ($2,8 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.18).

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %2,6, , %5,1 ve %15,4 oranında artmakta, 10D, 20D ve 10Z kodlu beton örneklerinde sırasıyla %7,7, %7,7 ve %33,3 oranında azalmaktadır. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde aynı, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %9,1, %15,2 ve %12,1 ve %18,2 oranında artmaktadır. MgSO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %3, %21,2, %6,1, %63,6, %27,3 ve %63,6 oranında artmaktadır. NaCl ortamında ise kür edilen kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %3,6, %25, %10,7, %39,3 %32,1 ve %46,4 oranında artmaktadır (Şekil 4.18).

90 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen kapilerite katsayılarına ait değerler Şekil 4.19’da verilmektedir.



Şekil 4.19: Beton örneklerinin 90 gün yaşında kapilerite kat sayıları

90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 20Z kodlu beton örneğinde ($3,9 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), 10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük ($2,6 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde ($5,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), 10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük ($3,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir. MgSO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde ($5,4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük ($3,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarına göre en yüksek 10D10Z kodlu beton örneğinde ($3,8 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$), 10D kodlu beton örneğinde ise en küçük ($2,7 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.19).

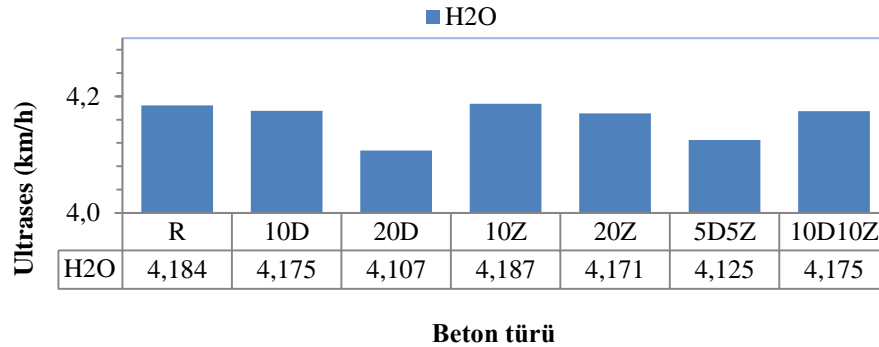
90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %6,1, %18,2, %12,1 ve %6,1 oranında artmakta, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde sırasıyla %3 ve %21,2 oranında azalmaktadır. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %11,4, %25,7, %14,3, %31,4 ve %45,7 oranında artmakta, 10Z kodlu beton örneğinde ise %13,9 oranında azalmaktadır.

MgSO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %16,7, %11,1, %8,3 ve %50 oranında artmakta, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde sırasıyla %13,9 ve %11,1 oranında azalmaktadır. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin kapilerite katsayılarının referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %3,2, %9,7, %6,5 ve %22,6 oranında artmakta, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde sırasıyla %12,9 ve %6,5 oranında azalmaktadır (Şekil 4.19).

Elde edilen sonuçlara göre hidrasyon süresinin artışı ile kapilerite katsayısı arasında bir ters ilişki olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalara göre üretilen betonların kapiler boşluklarının az ve dolayısıyla kalitesinin iyi olduğu düşünülmektedir (Ghrici ve diğ., 2007; Topçu ve diğ., 2009; Siddique ve Kadri, 2011).

4.2.6. Ultrases Geçiş Hızı

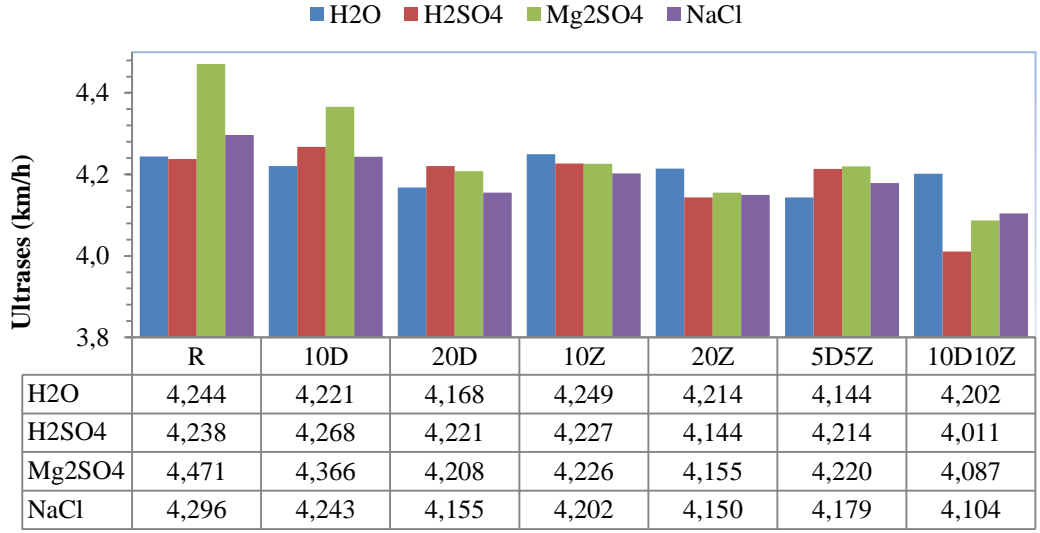
Yapılan çalışmada 28 gün yaşına kadar 23±2 °C suda bekletilen beton örnekleri üzerinde belirlenen ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20: Beton örneklerinin 28 gün yaşında ultrases geçiş hızları

Üretilen beton örneklerinde 28 gün yaşında belirlenen ultrases geçiş hızı değerlerinin 20D kodlu beton örneğinde en düşük (4,107 km/s), 10Z kodlu beton örneğinde ise en büyük (4,187 km/s) değere sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %0,2, %21,9, %0,3, %1,4 ve %0,2 oranında azalmakta, 10Z kodlu beton örneğinde %0,1 oranında artmaktadır (Şekil 4.20).

56 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen ultrases geçiş hızlarına ait değerler Şekil 4.21’de verilmektedir.



Beton türü

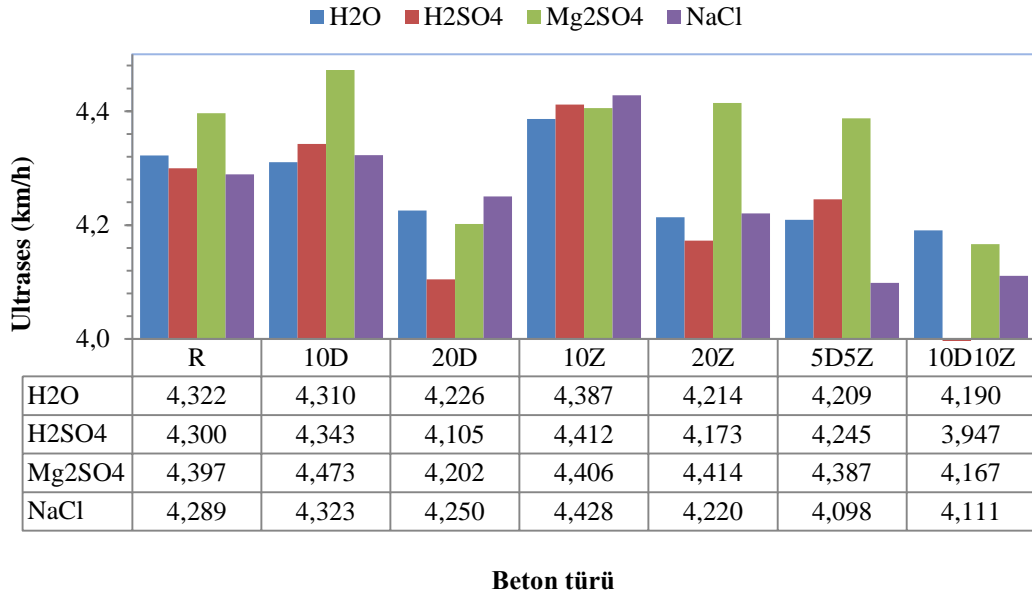
Şekil 4.21: Beton örneklerinin 56 gün yaşında ultrases geçiş hızları

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek 10Z kodlu beton örneğinde (4,249 km/s), 5D5Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (4,144 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. H₂SO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek 10D kodlu beton örneğinde (4,268 km/s), 10D10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (4,011 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. MgSO₄ ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek referans beton örneğinde (4,471 km/s), 10D10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (4,087 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek referans beton örneğinde (4,296 km/s), 10D10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (4,104 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.21).

56 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %0,6, %1,8, %0,7, %2,4 ve %1 oranında azalmakta, 10Z kodlu

beton örneğinde ise %1 oranında artmaktadır. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %0,4, %0,3, %2,2, %0,6 ve %5,4 oranında azalmakta, 10D kodlu beton örneğinde ise %0,7 oranında artmaktadır. $MgSO_4$ ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %2,4, %5,9, %5,5, %7,1, %5,6 ve %8,6 oranında azalmaktadır. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,2, %3,3, %2,2, %3,4, %2,7 ve %4,5 oranında azalmaktadır (Şekil 4.21).

90 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen ultrases geçiş hızlarına ait değerler Şekil 4.22’de verilmektedir.



Şekil 4.22: Beton örneklerinin 90 gün yaşında ultrases geçiş hızları

90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek 10Z kodlu beton örneğinde (4,387 km/s), 10D10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (4,190 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek 10Z kodlu beton örneğinde (4,412 km/s), 20D kodlu beton örneğinde ise en küçük

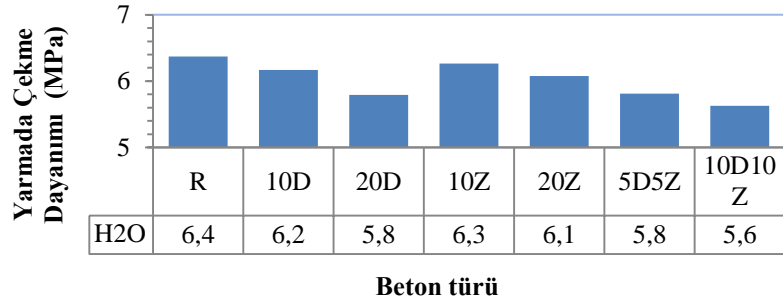
(3,947 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. $MgSO_4$ ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek 10D kodlu beton örneğinde (4,473 km/s), 10D10Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (4,167 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. NaCl ortamında ise kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre en yüksek 10Z kodlu beton örneğinde (4,428 km/s), 5D5Z kodlu beton örneğinde ise en küçük (4,098 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.22).

90 gün yaşında su ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %0,3, %2,2, %2,5, %2,6 ve %3 oranında azalmakta, 10Z kodlu beton örneğinde ise %1,5 oranında artmaktadır. H_2SO_4 ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 20D, 10Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %4,5, %3, %1,3 ve %8,2 oranında azalmakta, 10D ve 20Z kodlu beton örneğinde ise %1 ve %2,6 oranında artmaktadır. $MgSO_4$ ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 20D, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %4,4, %0,2 ve %5,2 oranında azalmakta, 10D, 10Z ve 20Z kodlu beton örneğinde ise %1,7, %0,2 ve %0,4 oranında artmaktadır. NaCl ortamında kür edilen beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %0,9, %1,6, %4,5 ve %4,2 oranında azalmakta, 10D ve 10Z kodlu beton örneğinde ise %0,8 ve %3,2 oranında artmaktadır (Şekil 4.22).

Ultrases geçiş hızı değerlerine göre üretilen tüm beton numunelerinin kalitesinin whitehurst tarafından yapılan değerlendirmeye göre (3,5-4,5 km/h) iyi olarak tarif edilen beton sınıfında olduğu görülmektedir (Erdoğan, 2010). Sonuçların görünür boşluk oranı, su emme oranı ve kapilerite katsayıları ile uyumlu olarak geliştiği tespit edilmiştir.

4.2.7. Yarmada çekme dayanımı

Yapılan çalışmada 28 gün yaşına kadar 23 ± 2 °C suda bekletilen beton örnekleri üzerinde belirlenen yarmada çekme dayanımı verilerine ait değerler Şekil 4.23'de verilmektedir.

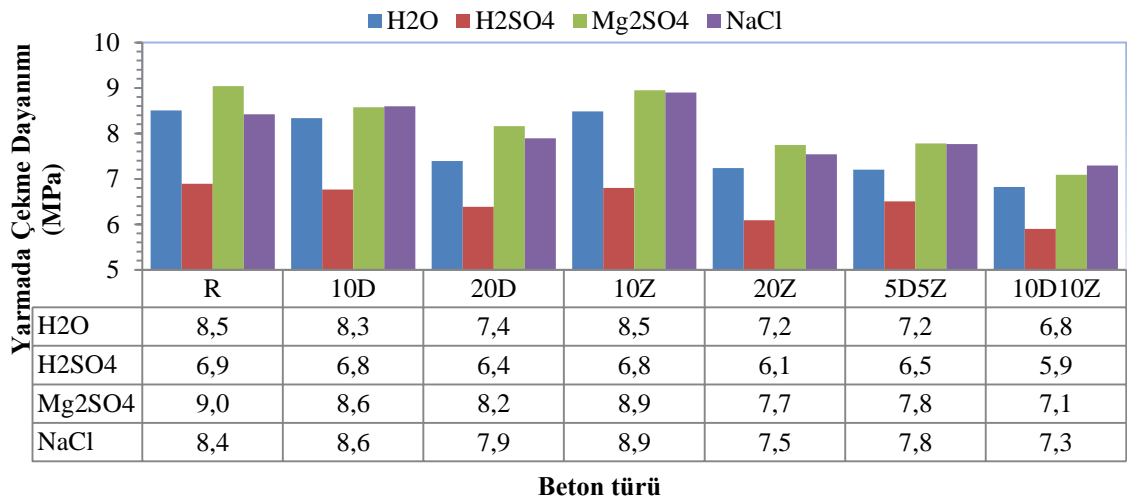


Şekil 4.23: 28 gün yaştaki yarmada çekme dayanımı değerleri

Sonuçlar incelendiğinde hazırlanan beton numunelerinin yarmada çekme dayanımlarının mineral katkı türüne, ikame oranına, tane boyutuna, özgül yüzey alanlarına ve hidrasyon süresine göre farklı değerler aldığı görülmektedir.

Gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımı sonuçlarına göre, 28 gün yaşında 10D10Z kodlu beton örneklerinin en düşük (5,6 MPa), referans betonların ise en büyük (6,3 MPa) yarmada çekme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün sonunda yapılan yarmada çekme dayanımları esas alındığında referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,3, %14, %2,6, %3, %19,1, ve %23,6 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir (Şekil 4.23).

56 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde beklenen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımına ait değerler Şekil 4.24'de verilmektedir.

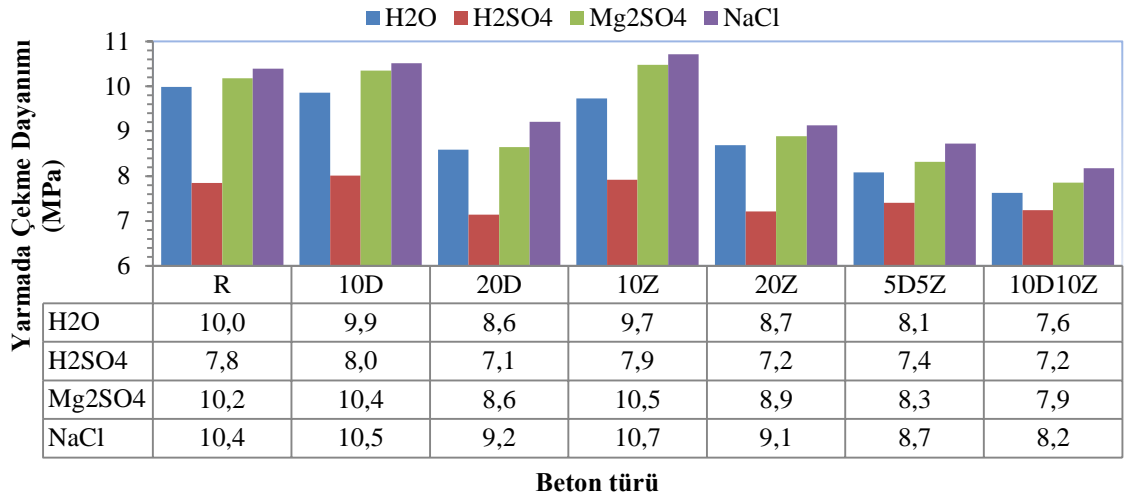


Şekil 4.24: 56 gün yaştaki yarmada çekme dayanımı değerleri

56 gün yaşında yarmada çekme dayanımı değerleri genel olarak esas alındığında su ortamında en düşük dayanımı 10D10Z kodlu beton örneklerinin (6,8 MPa), referans ve 10 Z kodlu betonların ise en büyük (8,5 MPa) yarmada çekme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. H_2SO_4 ortamında en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (5,9 MPa), en yüksek dayanımın referans betonda (6,9 MPa) olduğu belirlenmiştir. $MgSO_4$ ortamında en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (7,1 MPa), en yüksek dayanımın referans betonda (9 MPa) olduğu belirlenmiştir. NaCl ortamında ise en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (7,3 MPa), en yüksek dayanımın 10 Z kodlu betonda (8,9 MPa) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.24).

56 gün yaşında su ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %2, %13,1, %0,3, %14,9, %15,3, ve %19,8 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56 gün yaşında H_2SO_4 ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,8, %7,4, %1,3, %11,6, %5,6 ve %14,4 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56 gün yaşında $MgSO_4$ ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %5,2, %9,7, %1,1, %14,4, %14 ve %21,6 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56 gün yaşında NaCl ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %2,1, %6,2, %5,7, %10,5, %7,8 ve %13,3 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. Genel olarak 56 gün yaşlardaki yarmada çekme dayanımı değerlerine göre en yüksek dayanımlar $MgSO_4$ ortamında görülürken en düşük dayanımlar H_2SO_4 ortamında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.24).

90 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımına ait değerler Şekil 4.25'de verilmektedir.



Şekil 4.25: 90 gün yaştaki yarmada çekme dayanımı değerleri

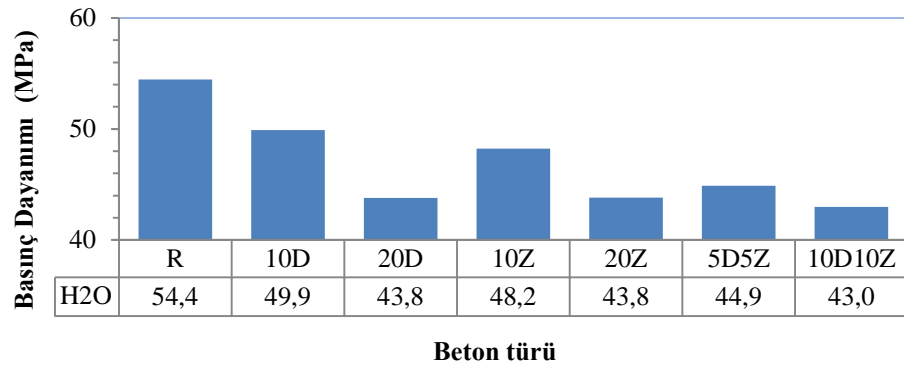
90 gün yaşında yarmada çekme dayanımı değerleri genel olarak esas alındığında su ortamında en düşük dayanımı 10D10Z kodlu beton örneklerinin (7,6 MPa), referans betonun ise en büyük (10 MPa) yarmada çekme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. H₂SO₄ ortamında en düşük dayanım 20D kodlu betonda (7,1 MPa), en yüksek dayanımın 10D kodlu betonda (8 MPa) olduğu belirlenmiştir. MgSO₄ ortamında en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (7,9 MPa), en yüksek dayanımın 10Z kodlu betonda (10,5 MPa) olduğu belirlenmiştir. NaCl ortamında ise en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (7,3 MPa), en yüksek dayanımın 10 Z kodlu betonda (10,7 MPa) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.25).

90 gün yaşında su ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,3, %14, %2,6, %13, %19,1 ve %23,6 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 90 gün yaşında H₂SO₄ ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %9, %8, %5,6 ve %7,7 oranında bir dayanım düşüklüğü görülürken, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde %2,2 ve %1 oranında bir artış belirlenmiştir. 90 gün yaşında MgSO₄ ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %15,1, %12,7, %18,3 ve %22,9 oranında bir dayanım düşüklüğü görülürken, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde %1,7 ve %2,9

oranında bir artış belirlenmiştir. 90 gün yaşında NaCl ortamında kür edilen betonların yarmada çekme dayanımları referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %11,4, %12,2, %16,1 ve %21,3 oranında bir dayanım düşüklüğü görülürken, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde %1,1 ve %3,1 oranında bir artış belirlenmiştir. Genel olarak 90 gün yaşlardaki yarmada çekme dayanımı değerlerine göre en yüksek dayanımlar MgSO₄ ortamında görülürken en düşük dayanımlar NaCl ortamında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.25).

4.2.8. Basınç Dayanımı

Yapılan çalışmada 28 gün yaşına kadar 23±2 °C suda bekletilen beton örnekleri üzerinde belirlenen basınç dayanımı verilerine ait değerler Şekil 4.26'da verilmektedir.

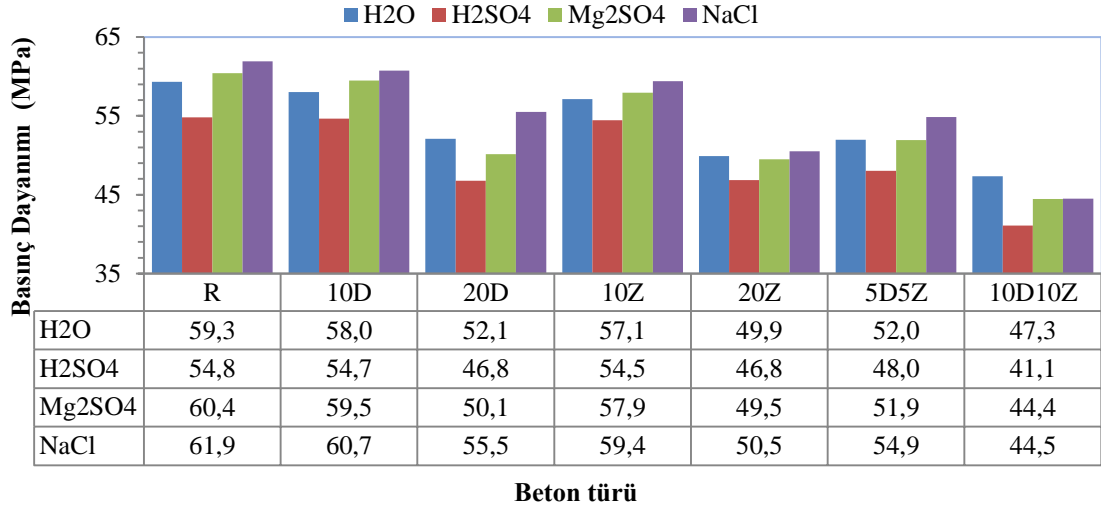


Şekil 4.26: 28 gün yaştaki basınç dayanımı değerleri

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde hazırlanan beton numunelerinin basınç dayanımlarının mineral katkı türüne, ikame oranına tane boyutuna, özgül yüzey alanlarına ve hidrasyon süresine göre farklı değerler aldığı görülmektedir.

Yapılan basınç dayanımı sonuçlarına göre, 28 gün yaşında 10D10Z kodlu beton örneklerinin en düşük (43 MPa), referans betonların ise en büyük (54,4 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün sonunda yapılan basınç dayanımları esas alındığında referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %8,4, %19,6, %11,4, %19,5, %17,6, ve %21,1 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir (Şekil 4.26).

56 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımına ait değerler Şekil 4.27’de verilmektedir.



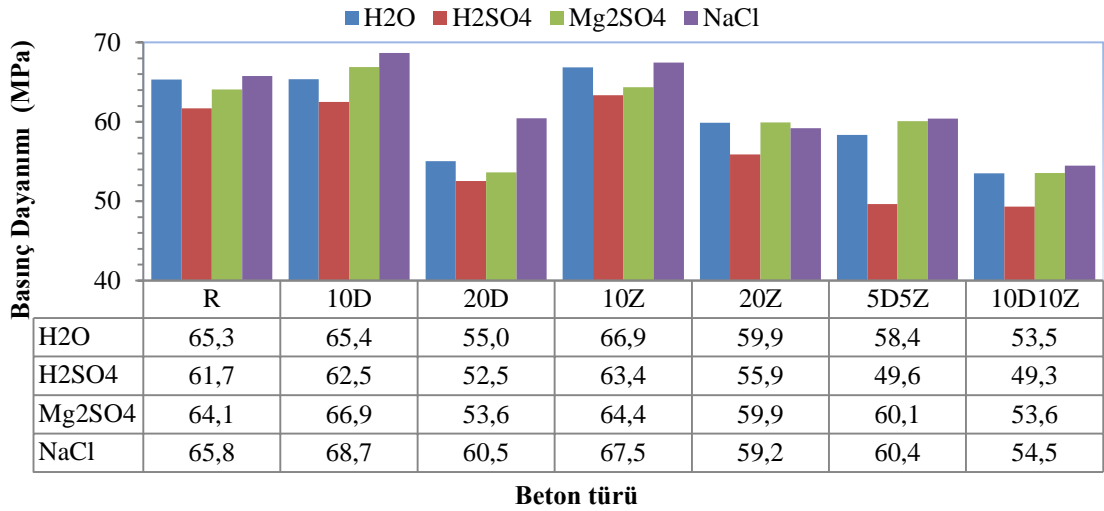
Şekil 4.27: 56 gün yaştaki basınç dayanımı değerleri

56 gün yaşında basınç dayanımı değerleri genel olarak esas alındığında su ortamında en düşük dayanımı 10D10Z kodlu beton örneklerinin (47,3 MPa), referans betonların ise en büyük (59,3 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. H₂SO₄ ortamında en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (41,1 MPa), en yüksek dayanımın referans betonda (54,8 MPa) olduğu belirlenmiştir. MgSO₄ ortamında en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (44,4 MPa), en yüksek dayanımın referans betonda (60,4 MPa) olduğu belirlenmiştir. NaCl ortamında ise en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (44,5 MPa), en yüksek dayanımın referans betonda (61,9 MPa) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.27).

56 gün yaşında su ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları esas alındığında referans beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %2,2, %12,2, %3,7, %15,8, %12,4, ve %20,2 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56 gün yaşında H₂SO₄ ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %0,3, %14,7, %0,7, %14,6, %12,4 ve %25 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56 gün yaşında MgSO₄ ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve

10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,5, %17, %4,1, %18,1, %14,1 ve %26,4 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56 gün yaşında NaCl ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 10D, 20D, 10Z, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %1,9, %10,3, %4, %18,4, %11,4 ve %28,1 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. Genel olarak 56 gün yaşlardaki basınç dayanımı değerlerine göre en yüksek dayanımlar NaCl ortamında görülürken en düşük dayanımlar H₂SO₄ ortamında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.27).

90 gün yaşına kadar ortam faktörünün dört düzeyinde bekletilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımına ait değerler Şekil 4.28’de verilmektedir.



Şekil 4.28: 90 gün yaştaki basınç dayanımı değerleri

90 gün yaşında basınç dayanımı değerleri genel olarak esas alındığında su ortamında en düşük dayanımı 10D10Z kodlu beton örneklerinin (53,5 MPa), 10Z kodlu betonun en büyük (66,9 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. H₂SO₄ ortamında en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (49,3 MPa), en yüksek dayanımın 10Z kodlu betonda (63,4 MPa) olduğu belirlenmiştir. MgSO₄ ortamında en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (53,6 MPa), en yüksek dayanımın 10D kodlu betonda (66,9 MPa) olduğu belirlenmiştir. NaCl ortamında ise en düşük dayanım 10D10Z kodlu betonda (44,5 MPa), en yüksek dayanımın yine 10D kodlu betonda (68,7 MPa) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.28).

90 gün yaşında su ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları esas alındığında referans beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %15,8, %8,3, %10,7 ve %18,1 oranında bir dayanım düşüklüğü görülürken, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde %0,1, %2,4 oranında bir artış belirlenmiştir. 90 gün yaşında H₂SO₄ ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %14,8, %9,4, %19,6 ve %20 oranında bir dayanım düşüklüğü görülürken, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde %1,3 ve %2,7 oranında bir artış belirlenmiştir. 90 gün yaşında MgSO₄ ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları esas alındığında referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %6,3, %6,5, %6,2 ve %16,4 oranında bir dayanım düşüklüğü görülürken, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde %4,5, %0,5 oranında bir artış belirlenmiştir. 56 gün yaşında NaCl ortamında kür edilen betonların basınç dayanımları referans çimento ile üretilen beton örneklerine göre, 20D, 20Z, 5D5Z ve 10D10Z kodlu beton örnekleri sırasıyla %8,1, %10, %8,2 ve %17,2 oranında bir dayanım düşüklüğü görülürken, 10D ve 10Z kodlu beton örneklerinde %4,4, %2,6 oranında bir artış belirlenmiştir (Şekil 4.28).

Bu durum %10 oranı esas alındığında hem diatomit hem de zeolit ikamesinin ileriki hidrasyon aşamalarında puzolanik özelliğinden dolayı basınç dayanımını arttırdığını ve en uygun oran olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda diatomit ve zeolit ikameli beton örneklerinin dayanım kazanma hızlarının, referans betona göre daha yavaş olduğunu da belirlenmiştir. Bunun yanı sıra diatomit ve zeolit ikamesinin birlikte kullanıldığı betonların basınç dayanımlarının sadece diatomit ya da sadece zeolit ikameli betonlarla kıyaslandığında basınç dayanımlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni diatomitin ve zeolitinin zeta potansiyellerinin negatif değerlikli olmasından dolayı bu puzolanların birlikte kullanıldığında yeterince olumlu yüzey özelliği gösterememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. (Şekil 4.5).

Basınç dayanımı sonuçları genel olarak değerlendirilirse hem ultrases hızı hem de kapilerite katsayıları ile uyumlu olarak geliştiği ve 90 gün sonundaki diatomit ile zeolitinin %10 ikame oranındaki basınç dayanımlarının referans beton örneğini az da olsa

geçtiği tespit edilmiştir. Ayrıca kapiler boşlukların az oluşu nedeniyle dayanımdan taviz verilmeden daha dayanıklı betonların elde edilebileceği düşünölmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

5.1.1. Malzemeler Üzerinde Yapılan Analizler

Çalışmada kullanılan malzemeler üzerinde yapılan analizlere göre;

- Kimyasal analiz sonucunda diatomitin ve zeolitin puzolanik özellikler açısından olumlu olduğu ($S+A+F \geq \%70$),
- XRD analizlerine göre zeolitin kuvars ve klinoptilolitten oluşan kristal bir yapıda, diatomitin yapısındaki silika formuna uyumlu olarak kristal yapıdaki kristobalit'den oluştuğu, Portland çimentosunun ise alit, belit, trikalsiyum alüminat ve brownmillerit ana bileşenlerinden oluşan kristal yapıya sahip olduğu,
- Tane boyut analizine göre zeolitin iri, PÇ'nin orta, diatomitin ise ince tane boyut yapısına sahip olduğu belirlenmiştir. Buna rağmen zeolitin özgül yüzey alanının PÇ'den daha yüksek olması onun kristal yapısındaki bir, iki ve üç boyutlu kanallara sahip olduğu,
- Özgül ağırlıklarına göre PÇ'nin $3,17 \text{ g/cm}^3$, diatomitin $2,28 \text{ g/cm}^3$ ve zeolit ise $2,18 \text{ g/cm}^3$ olduğu dolayısı ile de en düşük özgül ağırlığa sahip malzemenin zeolit olduğu,
- Malzemelerin zeta potansiyellerine göre PÇ, diatomit ve zeolit bütün pH değerlerinde negatif yüzey yüküne sahip olduğu,
- Malzemelerin yapısındaki Si-O⁻ bağları zeta potansiyel değerlerinin negatifliğini artırırken, Si-O, Al-O ve Ca-O bağları ise zeta potansiyel değerlerinin negatifliğini azalttığı,
- Malzemelerin zeta potansiyelin negatife doğru hareket etmesi hidrofilik (Si-O-H) yüzeyler oluştururken, zeta potansiyelin pozitifeye doğru hareket etmesi ise hidrofobik (Si-O) yüzeyler oluşturduğu tespit edilmiştir.

5.1.2. Taze Ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

5.1.2.1. Çökme Miktarı Değerleri

Referans ve puzolan ikameli çimentolarla hazırlanan beton karışımlarındaki çökme miktarı yaklaşık 7 cm olarak gerçekleştiği, dolayısı ile plastik kıvamlı bir beton elde edildiği ve bütün beton türlerinde kohezyonun iyi olduğu, herhangi bir ayrışmanın gözlenmediği belirlenmiştir.

5.1.2.2. Birim Hacim Ağırlığı, Görünür Boşluk Ve Su Emme Oranı

Çalışmada üretilen beton örnekleri üzerinde yapılan birim hacim ağırlığı, görünür boşluk ve su emme oranı deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre;

- Bütün çevresel etkiler genel olarak göz önüne alındığında birim hacim ağırlıklarındaki değişimlerin, çok küçük değerlerde gerçekleştiği,
- Birim hacim ağırlığı, görünür boşluk ve su emme oranı değerlerinin birbirleriyle uyumlu olarak geliştiği, hidrasyon yaşı ilerledikçe birim hacim ağırlıklarının arttığı, görünür boşluk ile su emme oranlarının azaldığı,
- En uygun değer görünür boşluk oranı ve su emme değerlerinin 28 gün yaşında H₂O kür ortamındaki referans beton türünde, 56 ve 90 gün yaşlarında NaCl kür ortamındaki 10D kodlu beton türünde olduğu belirlenmiştir.

5.1.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

Çalışmada üretilen beton örnekleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre;

- Ultrases geçiş hızı değerlerinin beton türü, çevresel etki ve beton yaşı faktörüne bağlı olarak değiştiği,
- Beton örneklerinin tümünde hidrasyon günü arttıkça ultrases değerinin de arttığı,
- En uygun ultrases değerlerinin 28 gün yaşında H₂O kür ortamındaki 10Z kodlu beton türünde, 56 gün yaşında MgSO₄ kür ortamındaki referans beton türünde, 90 gün yaşında ise MgSO₄ kür ortamındaki 10D kodlu beton türünde olduğu,
- Ultrases geçiş hızı değerlerinin, görünür boşluk ve su emme oranlarıyla uyumlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

5.1.2.4. Kapiler Su Emme

Çalışmada üretilen beton örnekleri üzerinde yapılan kapiler su emme deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre;

- Tüm ortamlarda hidrasyon yaşı ileledikçe betonun yapısındaki kılcal kanallar yoluyla emilen su miktarının azaldığı,
- En uygun kapiler su emme değerlerinin 28 gün yaşında H₂O kür ortamındaki 10D kodlu beton türünde, 56 gün yaşında NaCl kür ortamındaki referans beton türünde, 90 gün yaşında ise yine NaCl kür ortamında fakat 10D kodlu beton türünde olduğu,
- Kapiler su emme değerlerinin, görünür boşluk oranı, su emme oranı ve ultrases geçiş hızı değerleriyle uyumlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

5.1.2.5. Yarmada Çekme Dayanımı

Çalışmada üretilen beton örnekleri üzerinde yapılan yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre;

- Malzeme türüne, ikame oranına ve beton yaşı faktörüne bağlı olarak değiştiği,
- 28 gün yaşında 10D10Z kodlu beton örneklerinin en düşük (5,6 MPa), referans betonların ise en büyük (6,4 MPa) yarmada çekme dayanımına sahip olduğu,
- Suda kür edilen (H₂O)'da 28 ve 56 gün yaşlardaki beton örneklerinin yarmada çekme dayanımlarının referans beton örneğinde, ancak 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde yüksek değerler aldığı,
- H₂SO₄ çevresel etkisinde, tüm hidrasyon günlerinde beton örneklerinin en düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu, 90 gün yaşında en iyi yarmada çekme dayanımının 10Z kodlu beton örneğinde olduğu,
- MgSO₄ çevresel etkisindeki betonlarda, 90 gün yaşında en iyi yarmada çekme dayanımının 10Z kodlu beton örneğinde olduğu,
- NaCl çevresel etkisindeki betonlarda, tüm hidrasyon günlerinde beton örneklerinin en yüksek yarmada çekme dayanımına sahip olduğu, 90 gün yaşında en iyi basınç dayanımının ise 10D kodlu beton örneklerinde olduğu,
- Yarmada çekme dayanımı değerlerinin görünür boşluk oranı, su emme oranı, ultrases geçiş hızı ve kapiler su emme değerleriyle uyumlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

5.1.2.4. Basınç Dayanımı

Çalışmada üretilen beton örnekleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre;

- Malzeme türüne, ikame oranına ve beton yaşı faktörüne bağlı olarak değiştiği,

- Diatomit ve zeolit ikameli beton örneklerinin dayanım kazanma hızlarının, referans betona göre daha yavaş olduğu,
- 28 gün yaşında 10D10Z kodlu beton örneklerinin en düşük (43 MPa), referans betonların ise en büyük (54,4 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu,
- Suda kür edilen (H_2O)’da 28 ve 56 gün yaşlardaki beton örneklerinin basınç dayanımlarının referans beton örneğinde, ancak 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneklerinde yüksek değerler aldığı,
- H_2SO_4 çevresel etkisinde, tüm hidrasyon günlerinde beton örneklerinin en düşük basınç dayanımına sahip olduğu, 90 gün yaşında en iyi basınç dayanımının 10Z kodlu beton örneklerinde olduğu, ayrıca özellikle 90 gün yaşında beton örnekleri üzerinde yüzeysel kabarmalar gözlemlendiği,
- $MgSO_4$ çevresel etkisindeki betonlarda, 90 gün yaşında en iyi basınç dayanımının 10D kodlu beton örneklerinde olduğu,
- $NaCl$ çevresel etkisindeki betonlarda, tüm hidrasyon günlerinde beton örneklerinin en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, 90 gün yaşında en iyi basınç dayanımının 10D kodlu beton örneklerinde olduğu,
- Üretilen betonlarda basınç dayanımı değerlerinin, görünür boşluk oranı, su emme oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve yarmada çekme dayanımı değerleriyle uyumlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda hem diatomit hem de zeolit ikamesinin, üretilen beton örnekleri üzerinde olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde hem diatomit hem de zeolit için en uygun ikame oranının %10 olduğu belirlenmiştir. Bu oran ile üretilen beton örneklerinde özellikle 90 gün yaşındaki basınç dayanımı sonuçlarının referans çimentoğa göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca bu ikame oranındaki kapiler su emme değerlerinin çok küçük çıkması, dayanımın yanında dayanıklılığı yüksek betonlar üretilebileceğini de düşündürmektedir. Ülkemizin zengin doğal kaynaklarından olan ancak çok fazla kullanım olanakları olmayan diatomitin ve zeolitin beton sektöründe kullanılabilirliğinin ortaya konulmasının uygun olduğu, çimento ve beton sektöründe geniş kullanım alanına sahip yapay puzolan sınıfındaki yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi malzemelere de alternatif olacağı düşünülmektedir.

5.2. ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler ve tecrübeler neticesinde daha sonra yapılacak araştırmalara ışık tutmak için bazı öneriler yapılabilir. Kullanılan diatomit ve zeolit gibi doğal puzolanlarla birlikte yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi yapay puzolanlar bir arada ikame edilerek farklı tür ve özellikteki betonların üretilebilirliğinin araştırılması faydalı olacaktır. Üretilen beton tipleri için agrega tipi, kimyasal katkı tipi, kür ortamı, çimento dozajı gibi özellikler farklı şekillerde oluşturulup, elde edilen veriler kıyaslanabilir. Özellikle tuz ortamlarında meydana gelen basınç dayanımlardaki artışların 1 yıl ya da daha ileriki yaşlarda dayanımlarının izlenmesi, ayrıca donma çözülme gibi deneylerin yapılmasıyla meydana gelecek olan değişikliklerin izlenmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ACI 211.1, 1994, Standard practice for selecting proportions for normal, Heavyweight, and mass concrete, *ACI Manual of Concrete practice*, Part 1, 1-38.
- AFACAN, Ö., Çevresel Etkiler ve Su Yalıtımı, <http://www.izoder.org.tr/izolasyon/PDF/SF32%20BASF.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2011].
- AKİNKUROLERE, O.O., JİANG, C., SHOBOLA, O.M., 2007, The influence of salt water on the compressive strength of concrete, *Journal of Engineering Applied Science*, 2(2), 412–415.
- AKPINAR Ş.A. KONAK.G &PAMUKÇU Ç, 2001, Değişik Kökenli Agregaların Beton Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- ARUNTAŞ, H.Y., TOKYAY M., 1996, Katkılı çimento üretiminde diatomitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği, *Çimento ve Beton Dünyası*, 1 (4), 3-41.
- ARUNTAŞ, H. Y., 1996, *Diatomitin çimentolu sistemlerde puzolanik olarak kullanılabilirliği*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ASTM C-1012. 1987. Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to Sulphate Solution.
- ASTM C597-97, 1997, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, *American Society For Testing And Materials*, USA, 1-11.
- ATAR, N., 2006, *Suda çözünen polimerlerin çimento ve beton özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- BARADAN, B., YAZICI, H., 2003, Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4/426, 62-69
- BLANCO VARELA M.T., MARTÍNEZ RAMÍREZ S., EREÑA I., GENER M., CARMONA P., 2006, Characterization and pozzolanicity of zeolitic rocks from two Cuban deposits, *Applied Clay Science* , 149–159.
- CANPOLAT F., 2002, *Çimento performansının geliştirilmesinde doğal zeolitin endüstriyel atıklarla birlikte çimento üretiminde kullanılması*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- CONROY-JONES, G. A., BARR, B. I. G., 2004, Effect of Curing on The Tensile Strength of Medium to High Strength Concrete, *Magazine of Concrete Research*, 56 (3), 151-158.
- ÇALIŞKAN, Ö., 2005, *Uçucu küllü harçların NaCl ve MgSO4 çözeltileri içerisindeki davranışları*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- DAYI, M., 2006, *Doğal ve yapay puzolanların kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- DORUM, A., KOÇAK, Y., YILMAZ, B., UÇAR, A., 2010, Uçucu Kül Katkılı Çimento Hidratasyonuna Elektrokinetik Özelliklerin Etkisi, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (3), 449-457.
- DRAZAN J., ZELIĆ J., 2006, The effect of fly ash on cement hydration in aqueous suspensions, *Ceramics– Silikaty*, 50 (2), 98-105.
- ERDOĞAN, Y. T., 2006, Beton. *Metu Pres Publishing Company*, O.D.T. Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- ERDOĞDU, K., TOKYAY, M., TÜRKER P., 2009, *Traslar ve traslı çimentolar*, TCMB/AR-GE/Enstitüsü, Ankara, 975-8136-13-5.
- ERSOY, U., 1985, Betonarme Temel İlkeler ve Tasıma Gücü Hesabı, *Bizim Büro*, Cilt 1, İstanbul.
- GABROVSEK R., VUKB T., KAUCİCA V., 2006, Evaluation of the hydration of portland cement containing various carbonates by means of thermal analysis, *Acta Chim.*, 53, 159–165.
- GHRİCİ M., KENAİ S., SAİD-MANSOUR M., 2007, Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cement, *Cement & Concrete Composites* , 542–549.
- GOMES, C.E.M., FERREİRA, O.P., 2005, Analyses of microstructural properties of va/veova copolymer modified cement pastes, *Polimeros: Ciencia E Tecnologia*, 15 (3), 193-198.
- GOVİN, A., PESCHARD, A., GUYONNET, R., 2006, Modification of cement hydration at early ages by natural and heated wood, *Cement Concrete Composites*, 28 (1), 12-20.
- GÜNEYİSİ, E., ÖZTURAN, T., GESOĞLU, M., 2002, Laboratory Investigation of Chloride Permeability for High Performance Concrete Containing Fly Ash and Silica Fume, *Proceedings of the International Conference, Challenges of Concrete Construction*, Scotland, 295-305.

- HILSDORF, H. K., 1995, Introduction and problem statement, Performans Criteria For Concrete Durability 2nd ed., *Rilem E & FN spon*, London, 5-13.
- JIA Y., HAN W., XIONG G., YANG W., 2008, A method for diatomite zeolitization through steam-assisted crystallization with in-situ seeding, *Materials Letters*, 2400-2403.
- KADIOĞLU, M., ÖZDAMAR, E., 2008, *Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri*, Jica Türkiye Ofisi, Ankara, 978-975-98140-1-4,
- KARAKAYA, M. Ç., 2006, Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri, *Bizim Büro Basımevi*, Ankara, 541- 595.
- KARATAŞ, M., ULUCAN, Z. Ç., 2007, Kür şartlarının mineral katkılı kendiliğinden sıkışan betonun basınç dayanımına etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Elazığ, 175-178.
- KILINÇARSLAN Ş., BAŞYİĞİT, C., UZUN, İ., 2010, Ağır Betonların Sülfat Etkisinde Mekanik Özellikleri, *SDU International Technologic Sciences*, 2 (2), 60-71.
- KOCAK, Y., 2010, A Study on the Effect of Fly Ash and Silica Fume Substituted Cement Paste and Mortars, *Scientific Research and Essays*, 5(9), 990-998.
- KOÇAK, Y., 2008, *Çimento-Puzolan Etkileşiminde Moleküler ve Elektrokinetik Davranışların Araştırılması*, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- KÖKTÜRK, U., 1995, Zeolit Madenciliği ve Çevre Sağlığına Etkileri, *Hammaddeler Sempozyumu*, 21-22 Nisan 1995 İzmir, 293-300.
- KUYUMCU, H.M., 2006, *Deniz suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkisi* , Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- MONTEIRO P.J.M., KURTİS K.E., 2003, Time to Failure for Concrete Exposed to Severe Sulfate Attack, *Cement and Concrete Research*, 33, 987-993.
- MOZGAWA W., 2001, The relation between structure and vibration spectra of natural zeolites, *Journal of Molecular Structure* , 599, 129-137.
- NACHBAUR L., NKINAMUBANZI P.C., NONAT A., MUTİN J.C., 1998, Electrokinetic Properties which Control the Coagulation of Silicate Cement Suspensions during Early Age Hydration, *Journal of Colloid Interface Science*, 202 (2), 261-268.
- NEVİLLE, A.M., 2006, Properties of Concrete, Pearson Education limited, England.

- ONÜÇYILDIZ, M., 1991, *Konya II. Organize Sanayi Bölgesi Zemin ve Yer altı Suyunun Beton Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- ÖZ, Ü., ÖZ, M., 2006, Suların, Su Taşıma ve Depolama Yapıları Üzerindeki Etkileri ve Alınması Gerekli Önlemler, *Su Ürünleri Mühendisleri Derneği Dergisi*, 25/26, 12-15
- ÖZGÜR GİRİNKARDEŞLER, S., 2008, *Farklı çimentoların harcın dayanım ve dayanıklılığına etkisi*, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- ÖNER, A., YILDIZ, R., 2003, Betonun İç ve Dış ortam Etkilerine Dayanıklılığı Üzerine Genel Bir Bakış, *Kocaeli Teknik Bülten*.
- PAN Z., CHENG L., LU Y., YANG N., 2002, Hydration products of alkali-activated slag–red mud cementitious material, *Cement and Concrete Research*, 32, 357–362.
- PERRAKİ Th., ORFANOUDAKİ A., 2004, Mineralogical study of zeolites from Pentalofos area, *Thrace, Greece. Applied Clay Science*, 25 (1-2), 9-16.
- SHENG G., HU J., WANG X., 2008, Sorption properties of Th(IV) on the raw diatomite—Effects of contact time, pH, ionic strength and temperature, *Applied Radiation and Isotopes*, 1313–1320.
- SEKİZİNCİ BEŞ YILLIK KALKINMA PLANI, 2001, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri IV (Çimento Hammaddeleri) Çalışma Grubu Raporu*, Ankara.
- SERBEST D., 1999, *Doğal zeolitlerin hafif yapı endüstrisinde kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- SİDDİQUE R., KADRİ E-H., 2011, Effect of metakaolin and foundry sand on the near surface characteristics of concrete, *Construction and Building Materials*, 3257–3266.
- SKRİPKIUNAS G., SASNAUSKAS V., DAUKSYS M., PALUBİNSKAİTE D., 2007, Peculiarities of hydration of cement paste with addition of hydrosodalite, *Materials Science*, 25 (3), 627-635.
- SOMMER H., 1994, Present problems of durability of high performance concrete, *Durability of High Performance Concrete 3rd ed.*, *Rilem 3C coordinating committee*, Vienna, 14-15.
- SPRYNSKY M., KOVALCHUK I., BUSZEWSKI B., 2010, The separation of uranium ions by natural and modified diatomite from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, 181, 700-707.

- SUBAŞI, S., 2005, *Farklı yüzey astarları ile kaplanmış drenaj özelliği bulunan kalıpların betonun bazı fiziksel özellikleri üzerine etkileri*, Doktora Tezi , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- ŞİMŞEK, O., 2004, Eğik Yüzeyle Betonlara Farklı Kür Metotlarının Etkisi, *İMO Teknik Dergi*, 15 (2), 3229-3233.
- TABAN, S., ŞİMŞEK, O., 2009, Zeolitik Tüf Katkı Oranı ve Deniz Suyunun Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (1), 145-153.
- TARGAN, Ş., 2002, *Kula çürüfu, bentonit, kül ve kolomanit atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- TAŞDEMİR, M.A., 2005, Betonun Dayanım ve Dürabiliteye göre Tasarım ve Üretimi, *İMO İstanbul Şubesi*, Beton Kurs Notları, 15.
- TATAR, I. EDİZ, N., BENTLİ, İ., 2004, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004 Kocaeli, 313-317.
- TERMKHAJORNKİT P., NAWA T., 2004, The fluidity of fly ash–cement paste containing naphthalene sulfonate superplasticizer, *Cement and Concrete Research*, 34 (6), 1017-1024 .
- TOPÇU İ.B., BİLİR T., UYGUNOĞLU T., 2009, Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 1947–1953.
- TOPÇU, İ. B., TOPRAK, M. U., 2005, Fine Aggregate and Curing Temperature Effect on Concrete Maturity, *Cement and Concrete Research*, 35 (4), 758-762.
- TS 802, 2009, *Beton karışım tasarımı hesap esasları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3624, 1981, *Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Bosluk Oranı Tayin Metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 4045, 1984, *Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008, 2003, *Beton-Karma Suyu –Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1, 2009, *Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 196-2, 2002, *Çimento Deney Metotları- Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-6, 2000, *Çimento Deney Metotları-Bölüm 6: İncelik Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2002, *Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*, Türk standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008, 2003, *Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2002, *Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2002, *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12620, 2003, *Beton Agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TÜRKMEN, İ., 2002, *Korozif etkiler altında yüksek fırın cürufu ve silis dumanı katkılı yüksek dayanımlı betonların mekanik özellikleri ve dayanıklılığı*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- ÜNAL, O., UYGUNOĞLU, T., 2005, Farklı Kür Koşullarındaki Betona Katkının Etkisi, *Yapılarda Kimyasal Katkılar (Beton ve Harçlar) Semineri*, 24-25 Mart 2005, 223-232.
- VİALLİS-TERRİSSE H., NONAT A., PETİT J.C., 2001, Zeta-Potential study of calcium silicate hydrates interacting with alkaline cations, *Journal of Colloid and Interface Science*, 244 (11), 58-65.
- YALÇIN, H., GÜRÜ M., 2006, *Çimento ve Beton*, Palme Yayıncılık, Ankara.
- YAŞARER, F., 2008, *Pomza boyalarla kaplanan ve deniz suyunda bekletilen betonların performansı*, Yüksek lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- YEĞİNOBALI, A., 1999, *Portland çimentosu (Bazı temel bilgiler)*, TÇMB, Ankara.
- YILDIRIM K. SÜMER M., 2005, Denize Yakın Ortamda Beton Korozyonu, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 22-23-24 Eylül, Antalya, 359-371.
- YILDIZ, K., DORUM, A., KOÇAK, Y., 2010, Pomza Zeolit Ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik Ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (4), 867-879.

- YILDIZ, K., 2009, *Pomza ve zeolit katkı yüksek dayanımlı betonların asit ve tuz etkilerine karşı dayanıklılığının araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- YILDIZ, S., BALAYDIN, İ., ULUCAN, Z. Ç., 2007, Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19(1), 85-91.
- YILMAZ, B., EDİZ, N., 2008, The use of raw and calcined diatomite in cement production, *Cement & Concrete Composites*, 30, 202–211.
- YOSHIOKA K., TAZAWA E., KAWAI K., ENOHATA T., 2002, Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals, *Cement and Concrete Research*, 32 (10), 1507-1513.
- YÖRÜKOĞLLARI, E., 2005, Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanımı, *Madencilik Bülteni İnceleme*, 40-42.
- WEE, T.H., SURYAVANSHI, A.K., TIN, S.S., 2000, Evaluation of Rapid Chloride Permeability Test (RCPT) Results for Concrete Containing Mineral Admixtures, *ACI Materials Journal*, 97(2), 221-232.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SAVAŞ, Muhsin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 03.07.1982 Düzce
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (541) 523 40 88
e-mail : muhsin_06@hotmail.com.

Eğitim

Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	Gazi Üniversitesi/ Yapı Öğretmenliği	2006
Lise	Düzce Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl

Yer

Görev

2005-2006	Oyak İnşaat	Kontrol Sorumlusu
2006-2012	Özsoy Mimarlık	Satın Alma

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, Voleybol, Kişisel Gelişim ve Girişimcilik ile ilgili etkinlikler, Tiyatro.