



T. C.

**ORDU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEOLİT (KLİNOPTİLOLİT VE ANALSİM) KATKILI
ÇİMENTOLAR İÇEREN BETONDA DONATI
KOROZYONUNUN ADERANS PERFORMANSINA ETKİSİ**

MERYEM ÇETİNKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

ORDU 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

MERYEM ÇETİNKAYA

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

ZEOLİT (KLINOPTİLOLİT VE ANALSİM) KATKILI ÇİMENTOLAR İÇEREN BETONDA DONATI KOROZYONUNUN ADERANS PERFORMANSINA ETKİSİ

MERYEM ÇETİNKAYA

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 79 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ YASEMİN AKGÜN)

Günümüzün en önemli yapı malzemelerinden olan beton, uygun tasarım bileşenleriyle üretildiğinde, yük ve dış etkenlere karşı hem dayanımlı hem de dayanıklıdır. Diğer taraftan, betonarme donatılarının ise korozyona karşı zayıf oldukları bilinmektedir. Dolayısıyla, donatının beton tarafından yeterli olarak korunmaya ihtiyacı vardır. Donatıda korozyon oluşumu, beton ile donatı arasındaki aderans başarımını olumsuz yönde etkileyen bir problemdir. Bu problemin çözümünde, korozyon oluşumuna karşı koruma başlıca bir yöntemdir.

Bu çalışmada, farklı yer değiştirme oranlarında (%0, %10, %20 ve %30) doğal zeolit (analsim ve klinoptilolit) içeren katkılı çimentolarla üretilen betonarme numuneler üzerinde hızlandırılmış korozyon yöntemi kullanılarak meydana getirilen korozyonun gelişimi iki farklı yöntemle belirlenmiştir. Ardından numunelerde meydana gelen korozyonun donatı-beton arasındaki aderans performansına etkisi standard çekme-çıkarma (pull-out) deney yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada ayrıca, betonarme numunelerin aynı tasarım bileşenleriyle üretilen beton numuneler üzerinde de fiziksel ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Deney serilerinden elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre; çalışmada kullanılan iki farklı doğal zeolit katkı içeren katkılı çimentolarla üretilen betonarme numunelerin korozyona karşı koruma sağladığı ve aderans dayanımlarının iyileştiği tespit edilmiştir. Betonarme numunelerin bulgularının beton numunelerin fiziksel ve mekanik özellik bulguları ile birlikte değerlendirilmesi sonucunda korozyon ve aderansa karşı performansın iyileştirilebilmesi için her iki doğal zeolit türü (analsim ve klinoptilolit) için %20 yer değiştirme oranına kadar kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aderans, Analsim, Klinoptilolit, Korozyon, Zeolit.

ABSTRACT

EFFECT TO ADHERENCE PERFORMANCE OF REBAR CORROSION IN CONCRETE CONTAINING ZEOLITE

(ANALCIME AND CLINOPTILOLITE) BLENDED CEMENTS

MERYEM ÇETİNKAYA

**ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES**

RENEWABLE ENERGY

MASTER THESIS, 79 PAGES

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. YASEMİN AKGÜN)

Concrete, which is one of the most important building materials of today, is both strength and durable against load and external factors when produced with appropriate design components. On the other hand, it is known that reinforced concrete rebars are weak against corrosion. Therefore, the rebar needs adequate protection by the concrete. Corrosion formation in rebar is a problem that negatively affects the adherence performance between concrete and rebar. In solving this problem, protection against corrosion formation is the main method.

In this study, the development of corrosion by using accelerated corrosion method on reinforced concrete samples produced with blended cements containing natural zeolite (analcime and clinoptilolite) at different replacement ratios (0%, 10%, 20% and 30%) was determined by two different methods. Then, the effect of corrosion occurring in the samples on the adherence performance between rebar and concrete was investigated using the standard pull-out test method. In the study, physical and mechanical properties were also determined on the concrete samples produced with the same design components of the reinforced concrete samples. The results obtained from test series were compared among themselves and with each other.

According to the test results obtained; It was determined that reinforced concrete samples produced with blended cements containing two different natural zeolite additives used in the study provided protection against corrosion and improved adherence strength. As a result of the together evaluation of the findings of the reinforced concrete samples with the physical and mechanical properties of the concrete samples, it was seen that it would be appropriate to use up to 20% replacement ratio for both natural zeolite types (analcime and clinoptilolite) in order to improve the performance against corrosion and adherence.

Keywords: Analcime, Clinoptilolite, Zeolite, Corrosion, Adherence

TEŞEKKÜR

İlk günden itibaren her zaman yanımda olan, her soruma cevap bulduğum, her alanda desteğini ve özverisini benden esirgemedi yanımıda olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin AKGÜN'e teşekkür ederim. Aynı zamanda deneylerde kullanılan malzemelerin temini konusunda tezime katkıda bulunan Altaş Hazır Beton A.Ő., Ünye Çimento Fabrikası ve Yeşilyurt Demir Çelik Fabrikası'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Deney düzeneğinin oluşturulmasında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Nihat PARLAK, Öğr. Gör. Ahmet KÖSE ve Teknisyen Hacı ÇAMLICA'ya da teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca hiçbir zaman desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen ve her an yanımda olan anneme özellikle de bu tezi gerçekleştirebilme sebebim olan rahmetli canımdan öte babama sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Puzolanlar	3
2.2 Puzolanların Sınıflandırılması	4
2.2.1 Doğal Puzolanlar	4
2.2.1.1 Volkanik Küller, Camlar, Tüfler	5
2.2.1.2 Killer ve Şeyller	5
2.2.1.3 Diatomit Topraklar	5
2.2.2 Yapay Puzolanlar	5
2.2.2.1 Uçucu Kül	6
2.2.2.2 Yüksek Fırın Cürufu	6
2.2.2.3 Silis Dumanı	7
2.2.2.4 Pirinç Kabuğu Külü	7
2.3 Puzolanik Aktivite	8
2.4 Zeolit	9
2.4.1 Zeolitlerin Kullanım Alanları	10
2.5 Korozyon	11
2.5.1 Korozyonun Nedenleri ve Önemi	11
2.5.2 Korozyonu Etkileyen Faktörler	12
2.6 Aderans (Kenetlenme).....	13
2.6.1 Aderans Kuvvetleri	14
2.6.2 Aderansı Etkileyen Faktörler	14
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	16
4. MATERYAL ve YÖNTEM	27
4.1 Materyal.....	27
4.1.1 Portland Çimentosu	27
4.1.2 Doğal Zeolitler	27
4.1.3 Agregalar	28
4.1.4 Karışım Suyu	29
4.1.5 Süper Akışkanlaştırıcı	30
4.1.6 Donatı	31
4.2 Yöntem	31
4.2.1 Kullanılan Malzemelerin Karakterizasyonu	32
4.2.2 Puzolanik Aktivite Deneyleri.....	32

4.2.3	Agrega Deneyleri	33
4.2.3.1	Agrega Özgül Ağırlıkları ve Su Emme Oranı	33
4.2.4	Beton Numuneler Üzerinde Gerçekleştirilen Deney Yöntemleri	33
4.2.4.1	Betonların Bileşimi ve Karışım Oranları.....	34
4.2.4.2	Betonların Üretimi ve Saklama Koşulları	35
4.2.4.3	Slump (Çökme) Deneyi	38
4.2.4.4	Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Deneyleri.....	39
4.2.4.5	Kılcal Su Emme Deneyi	39
4.2.4.6	Hızlandırılmış Korozyon Deneyi	40
4.2.4.7	Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Deneyi	43
4.2.4.8	Korozyon Ölçüm Deneyi.....	45
4.2.4.9	Aderans Deneyi (Pull-Out).....	45
4.2.4.10	Ultrasonik Ses Geçiş Hızları (UPV).....	46
4.2.4.11	Basınç Dayanımları	48
5.	BULGULAR ve TARTIŞMA	49
5.1	Portland Çimentosu, Katkılı Çimentolar ve Doğal Zeolitlerin Özellikleri	49
5.1.1	Fiziksel, Kimyasal Özellikleri	49
5.1.2	Zeolitlerin Puzolanik Aktiviteleri	50
5.2	Agrega Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranı	51
5.3	Beton Numunelerine Ait Bulgular ve Tartışma	51
5.3.1	Slump (Çökme) Deneyi.....	51
5.3.2.	Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranları.....	52
5.3.3	Kılcal Su Emme Değerleri.....	54
5.3.4	Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Deneyi.....	57
5.3.5	Korozyon Ölçüm Deneyi.....	59
5.3.6	Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin Aderans Dayanımı Bulguları.....	61
5.3.7	Beton Numunelerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızları (UPV)	65
5.3.8	Beton Numunelerin Basınç Dayanımları.....	66
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	68
7.	KAYNAKLAR.....	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yapay Puzolanlar	8
Şekil 2.2 Betonda Donatı Korozyonu İçin Tasarlanan İki Aşamalı Korozyon Modeli	13
Şekil 4.1 Analsim ve Klinoptilolit Numunesi Örneği	28
Şekil 4.2 Agregaların Kurutulmasında Kullanılan Etüv	29
Şekil 4.3 Elek Analizinde Kullanılan Elek Takımı ve Sınıflandırılmış Agregalar	29
Şekil 4.4 Kullanılan Süperakışkanlaştırıcı	30
Şekil 4.5 Düşey Eksenli (Pan Tipi) Betoniyer	36
Şekil 4.6 Kalıplara Yerleştirilmiş ve Epoksi Koruması Yapılmış Numunelerden Görünüm	37
Şekil 4.7 Numunelerin Sıkıştırılmasında Kullanılan Sarsma Tablası	37
Şekil 4.8 Numunelerin Kür Havuzundaki Saklanma Koşulları	37
Şekil 4.9 Taze Betonun İşlenebilirliğinin Tespitinde Kullanılan Slump Deney Seti ..	38
Şekil 4.10 Özgül Ağırlık Sehпасı	39
Şekil 4.11 Kılcal Su Emme Deneyi	40
Şekil 4.12 Deney Düzeneği İşleyiş Şeması.....	41
Şekil 4.13 Hızlandırılmış Korozyon Deney Düzeneği Detay Şeması	41
Şekil 4.14 Deney Düzeneği Fotoğrafları	42
Şekil 4.15 Bakır-Bakır Sülfat Yarı Hücre Devresi (ASTM C-876-91).....	43
Şekil 4.16 Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Deneyi.....	44
Şekil 4.17 Aderans (Pull-Out) Deneilerine İlişkin Görünümler.....	46
Şekil 4.18 Ölçümlere Hazır Hale Getirilmiş Numune ve UPV Ölçümü Deney Anından Görünüm	47
Şekil 4.19 Tek Eksenli Basınç Presi.....	48
Şekil 5.1 Beton Numunelerin DKY Birim Hacim Ağırlık Değişimleri	52
Şekil 5.2 Beton Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimleri.....	53
Şekil 5.3 Beton Numunelerin Su Emme Değerleri	53
Şekil 5.4 Beton Numunelerin Q/A Zaman Değişimleri.....	55
Şekil 5.5 Beton Numunelerin Kılcallık Katsayısı Değişimleri	55
Şekil 5.6 Zeolit Türüne Göre Kılcallık Katsayısı Değişimi.....	56
Şekil 5.7 Analsim Numunelerine Ait Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Değerleri (120 Günlük)	58
Şekil 5.8 Klinoptilolit Numunelerine Ait Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Değerleri (120 Günlük)	58
Şekil 5.9 Analsim Korozyon Akımı-Zaman Değişimi	60
Şekil 5.10 Klinoptilolit Korozyon Akımı-Zaman Değişimi	60
Şekil 5.11 Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin 28 Günlük Aderans Dayanımı Değişimleri.....	63
Şekil 5.12 Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin 60 Günlük Aderans Dayanımı Değişimleri.....	63

Şekil 5.13 Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin 90 Günlük Aderans Dayanımı Değişimleri	64
Şekil 5.14 Beton Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değişim Grafiği	65
Şekil 5.15 Beton Numunelerinin Günlere Göre Basınç Dayanımları	66

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Puzolanik Katkı Maddelerinin Betona Etkisi.	3
Çizelge 2.2 Puzolanların Sınıflandırılması	4
Çizelge 2.3 Doğal Puzolanlarda Olması Gerekli Kimyasal Özellikler.....	9
Çizelge 2.4 Doğal Zeolitlerin Sınıflandırılması	10
Çizelge 2.5 Türkiye’deki Zeolit Yatakları	10
Çizelge 4.1 Portland Çimentosu Özellikleri (PÇ)	27
Çizelge 4.2 Çalışmada Kullanılan Donatıya Ait Özellikler	31
Çizelge 4.3 Puzolanik Aktivite Değerlerinde Kullanılan Malzeme Miktarları.....	33
Çizelge 4.4 Beton Karışım Oranları	35
Çizelge 4.5 ASTM C 876’ya Göre Potansiyel Kriterleri	44
Çizelge 5.1 Fiziksel Özellikler	49
Çizelge 5.2 Doğal Zeolitlerin Kimyasal Kompozisyonu	50
Çizelge 5.3 Doğal Zeolitlerin Puzolanik Aktivite Değerleri.....	51
Çizelge 5.4 Agregaların Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranı	51
Çizelge 5.5 Beton Numunelerin Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranları	52
Çizelge 5.6 Deney Numunelerinin Kılcal Su Emme Değerleri (28 Günlük).....	54
Çizelge 5.7 Numunelerin Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Değerleri (120 Günlük) ..	57
Çizelge 5.8 Korozyonsuz Betonarme Numunelerin Aderans Dayanımları	62
Çizelge 5.9 Korozyonlu Betonarme Numunelerin Aderans Dayanımları	62
Çizelge 5.10 Beton Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı	65
Çizelge 5.11 Beton Numunelerin Basınç Dayanımları.....	66

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	:	American Society of Testing Materials
ASTM C 876	:	Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
ASTM C 1012	:	Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to A Sulfate Solution
ASTM C 430	:	Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45-Mm (No. 325) Sieve
ASTM C 597	:	Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete
ASTM C 1585	:	Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes
ASTM C 125	:	Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
ASTM C 618	:	Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use in Concrete
ASTM C 876	:	Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
Al₂O₃	:	Alüminyum Oksit
C	:	Karbon
CaO	:	Kalsiyum Oksit
Ca(OH)₂	:	Kalsiyum Hidroksit
Cl	:	Klor
CO₂	:	Karbon Di Oksit
Cu	:	Bakır
CuSO₄	:	Bakır Sülfat
DKY	:	Doygun Kuru Yüzey
EIS	:	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
F19	:	Polipropilen Lif
Fe₂O₃	:	Demir (Iii) Oksit
H	:	Hidrojen
H₂SO₄	:	Sülfirik Asit
HCl	:	Hidroklorik Asit
kN	:	Kilonewton
K₂O	:	Potasyum Oksit
KYB	:	Kendiliğinden Yerleşen Beton
MgO	:	Magnezyum Oksit
MPA	:	Megapaskal
mA	:	Miliamper
mV	:	Milivolt

MTA	: Maden Tetkik Arama
NaCl	: Sodyumklorür
Na₂SO₄	: Sülfatlı Su
O₂	: Oksijen
OH⁻	: Hidroksit İyonu
pH	: Power Of Hydrogen
RC 65/35 BN	: Çelik Lif
S	: Kükürt
PÇ	: Portland Çimentosu
SD	: Silis Dumanı
SEM	: Elektron Mikroskop
SiO₂	: Silisyum Di Oksit (Silika)
SO₃	: Kükürt Tri Oksit
S220	: En Küçük Akma Dayanımı 220N/Mm ² Olan Çelik
S420	: En Küçük Akma Dayanımı 420N/Mm ² olan Çelik
TS	: Türk Standartları
TS EN	: Türk Standartları Avrupa Normları
TS 25	: Doğal Puzolanlar-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kuralları
TS EN 197-1	: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikleri ve Uygunluk
TS EN 12350-2	: Taze Beton Deneyleri- Slump Deneyi
TS EN 1097	: Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri
TS 708	: Beton Çelik Çubukları
TS EN 934-2+A1	: Beton Kimyasal Katkıları
TS 802	: Beton Karışımı Hesap Esasları
TS 706 EN 12620	: Beton Agregaları İle Alakalı Standart
TS EN 12390-3	: Sertleşmiş Beton Deneyleri-Beton Numunelerde Basınç Dayanımı Tayini
TS 500-2000	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
UK	: Uçucu Kül
UPV	: Ultrasonic Pulse Velocity
XRD	: X Işını Kırınım Yöntemi
XRF	: X-Rays Fluorescence Spectrometer

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışına bağlı olarak fosil yakıtlardan oluşan ve karbon ayak izi yüksek olan yenilenemeyen enerji kaynakları insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, dalga, biyokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen enerjisi vs.) ömürsüz ve temiz olmaları açısından yenilenemeyen enerji kaynaklarından daha avantajlıdır.

Dünya nüfusu hızla artarken barınma ihtiyacını karşılamak için yeni yerleşim yerleri kurulup, yeni binalar yapılırken mevcut şehirler de büyümektedir. Bu bağlamda da binalardaki enerji tüketiminin sürekli artışı gözlenmektedir. Binalarda tüketilen enerji, dünya toplam enerji tüketiminde önemli bir yere sahiptir. Atmosfere salınan CO₂'nin (karbondioksit) yaklaşık %8'i konut ve hizmet binalarındaki enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır (Soğukoğlu ve Vatan, 2014).

Diğer taraftan, beton günümüzün en önemli yapı malzemelerindedir. Uygun şekilde üretildiği takdirde dış etkenlere karşı oldukça dayanımlı ve dayanıklıdır. Basınca karşı yüksek dayanımlı iken çekme kuvvetlerine karşı yeterince dayanımlı olmadığından bu eksiği çelik donatılarla telafi edilmektedir. Betonarme yapım tekniği olarak anılan bu yapım tekniğinin uygulamalarında dikkat edilmesi gereken hususların başında kaliteli beton, kaliteli donatı ve kaliteli aderans özelliklerinin elde edilmiş olmasıdır.

Donatı takviyeli betonarme bir kesitin yük altındaki davranışları donatının beton ile olan aderansı (kenetlenme) ile doğrudan ilişkilidir. Donatı-beton aderansında donatının ne konumda olduğu (çekme-basınç donatısı vb), yapılan yükleme cinsi, donatının çapı, ortamın sıcaklığı ve nem durumu ile donatının paslanması gibi birçok faktör etkilidir. Bu nedenle, söz konusu aderansın sürekliliği oldukça önemlidir.

Yapı hizmet ömrü süresince maruz kaldığı çeşitli etkiler yüzünden donatı-beton aderansı zayıflayabilmektedir. Bu etkilerden biri de donatının korozyonudur. Korozyon, en genel anlamda, açık atmosferde metal ve alaşımların özelliğini kaybederek kullanılamaz hale gelmesi olarak tanımlanırken, inşaat sektöründe bu terim donatının paslanarak mukavemetini yitirmesi olarak ifade edilmektedir. Donatılar su ve oksijen bulunan her ortamda korozyona uğrama tehlikesiyle karşı karşıyadır (Eker, 2009). Betonarme demirleri korozyona karşı dayanıksızdır.

Dolayısıyla donatının beton tarafından yeterli olarak korunmaya ihtiyacı vardır. Betonarme elemanlarda büyük bir problem teşkil eden korozyon, yapının güvenliğini hiç şüphesiz tehdit eden ve hatta sona erdiren bir durumdur. Donatı üzerinde oluşan korozyon ürünleri, donatıda hacim büyümesine neden olduğu için betonda iç gerilmeler oluşmaktadır. Korozyon, başlangıçta donatı ile beton ara yüzündeki boşlukları doldurmak suretiyle beton ile donatı arasındaki aderans başarımında bir miktar artışa; ancak olayın devamında ise ara yüz bölgesinde aderans kayıplarına neden olmaktadır. Korozyon olayı sonucunda da beton çatlamakta, hatta parçalanabilmektedir. Bu durum bütün yapı için tamiri mümkün olmayan son derece tehlikeli bir sonuç doğurmaktadır. Özellikle köprü, viyadük gibi yapılarda korozyon nedeniyle maddi zararların yanında yaşam tehlikesi de söz konusu olmaktadır (Hoşhan,1994). Betonarme yapılarda donatı korozyonunun gözlenen en belirgin göstergesi beton örtünün çatlamasıdır (Yüzer, 1999). Buna göre, korozyona karşı alınacak her önlem beraberinde yapı sürdürülebilirliği ve enerji tasarrufuna önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, katkılı çimento üretimleri tercih edilerek puzolanik özellikli mineral katkıların kullanımı oldukça yaygındır. Betonda fiber kullanımına ek olarak; silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıların kullanımı; ince taneli olmaları ve puzolanik reaksiyona girmeleri dolayısıyla betonun mekanik özelliklerini geliştirmekle birlikte, daha yeşil ve temiz bir doğa için atılan büyük bir adımdır (Topçu, 2006).

Bu tez çalışmasının amacı; doğal zeolit katkılı çimento içeren beton içerisindeki donatıda oluşan korozyonun aderans performansına etkisinin bulunmasıdır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada materyal olarak Portland çimentosu, zeolit katkılı çimentolar, agrega, süperakışkanlaştırıcı ve donatı kullanılmıştır. Katkılı çimentoların yer değiştirme oranları %10 (düşük), %20 (orta), %30 (yüksek) olarak seçilmiştir. Analsim ve klinoptilolit içeren katkılı çimentolarla üretilen beton numuneler üzerinde fiziksel özellikler, su emme, kılcal su emme, ultrasonik ses geçiş hızı ve basınç dayanımları, betonarme numuneler üzerinde ise hızlandırılmış korozyon, korozyon hızı ölçümü, yarı hücreli potansiyel ölçümü, aderans (korozyonlu ve korozyonsuz olmak üzere) deneyleri yapı sürdürülebilirlik-enerji kavramlarına katkı sağlamak amaçlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve birbirleriyle olmak üzere karşılaştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Puzolanlar

Kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan fakat sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleşirse hidrolik bağlayıcı niteliği kazanan alümina ve silikalı malzemelerdir (ASTM C 125, ASTM C 618, 1994). Bağlayıcılık oranını çimento sınırındaki inceliği, amorf hali ve içeriğindeki alümina-silika oranının yüksekliği (Çimento ve beton endüstrisinde kullanılması düşünülen puzolanlarda; $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ miktarının en az %70 olması gerekmektedir.) belirlerken, düşük hidratasyon ısıları, sülfat dayanımları, permeabilitelerinin düşük olması ve alkali-silika tepkime özellikleri beton ve harç yapımında kullanılmalarını sağlamıştır. Çizelge 2.1’de puzolanik özellikli malzemelerin beton özelliklerine etkisi verilmiştir.

Çizelge 2.1 Puzolanik Katkı Maddelerinin Betona Etkisi (Erdoğan ve Erdoğan , 2007).

Olumlu Etkileri	Potansiyel Olumsuz Etkileri
Taze betondaki işlenebilmeyi artırmaktadır.	Özellikle soğuk havada taze betonun prizini geciktirmektedir.
Taze betondaki terlemeyi azaltmaktadır.	Betonun ilk günlerdeki dayanım kazanma hızını azaltmaktadır.
Betonun hidratasyon ısısını azaltmakta, böylece kütle betonlarındaki çatlama önlenmektedir.	Betonun daha dikkatli ve daha uzun süreyle kür edilmesini gerektirmektedir.
Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır.	Hava sürüklenmiş betonların içerisine dahil edilecek sürüklenmiş hava miktarını azaltmaktadır. Belirli miktarda sürüklenmiş hava elde etmek için daha çok hava sürükleyici katkı maddesinin kullanımı gerekmektedir.
Sertleşmiş betonun sülfata dayanıklılığını artırmaktadır.	
Sertleşmiş betondaki alkali-silika tepkimesini azaltmaktadır.	
Ekonomiklik sağlamaktadır.	

Portland çimentosu+puzolanik katkı maddesi betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanıldığında, malzemelerin suyla teması sırasında Portland çimentosunda hidratasyon başlamaktadır. Bunun sonucunda kalsiyum hidroksitle birlikte çimentonun asıl bağlayıcılık özelliğini sağlayan kalsiyum-silika-hidrat ürünleri de oluşmaktadır. Ortaya çıkan kalsiyum hidroksitle beton karışımındaki puzolanik katkı malzemesi reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip yeni kalsiyum-silika-hidrat ürünleri oluşturmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

Puzolan katkısı betonda kullanılacak Portland çimento miktarını azalttığı için betonda yer alan alkali miktarı daha az olmaktadır. Böylece betonun sülfat dayanıklılığı artar ve betonda alkali-agrega reaksiyon genleşmeleri azalmaktadır. Yine kullanılan Portland çimento miktarının azalması betondaki hidratasyon ısı ve büzülmenin de düşük miktarda oluşmasına sebep olmakta bu sayede baraj ve diğer kütle betonlarında puzolan kullanımı ön plana çıkmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

Puzolan katkılı betonların ilk zamanlar dayanımı, katkısız betonunkinden daha düşüktür. Fakat zamanla birlikte puzolanik reaksiyonlar gelişerek nihai beton dayanımını oldukça artırmaktadır. Ekonomik açıdan incelendiğinde puzolanik malzemelerin maliyeti Portland çimentosundan daha az olmaktadır. Bu sebeple betonun puzolanik katkı kullanılarak üretimi daha ekonomik beton elde edilmesini sağlamaktadır (Erdoğan ve Erdoğan , 2007).

2.2 Puzolanların sınıflandırılması

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Çizelge 2.2’de puzolanların sınıflandırılması verilmektedir.

Çizelge 2.2 Puzolanların Sınıflandırılması (Ün, 2007)

PUZOLANLAR	
DOĞAL PUZOLANLAR	YAPAY PUZOLANLAR
Volkanik Küller	Uçucu küller
Volkanik Camlar	Silis dumanı
Volkanik Tüfler	Yüksek fırın cürufu
Killer ve Şeyller	Pirinç kabuğu külü
Diatomitik Topraklar	

2.2.1 Doğal Puzolanlar

Ülkemizde tras olarak anılan ve doğal olarak var olan puzolanlar; değişikliğe uğramış volkanik kökenlere sahip tortul kayalardan meydana gelmişlerdir. ACI, 1994’e göre, nihai ürün betonu yüksek dayanımlı, düşük permeabilite, sülfata karşı dirençli hale getirmesinden dolayı doğal puzolanların beton ve çimento sektöründe kullanım alanını yaygınlaştırmıştır. İnce taneli durumdaki doğal puzolanlar bağlayıcı olarak;

- Söndürülmüş kireç ve suyla birleşimiyle direkt kullanılabilir.
- Portland çimentosunun klinkeriyle bir arada öğütülerek portland-puzolan tipli çimento üretilmektedir.
- Betonda katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar (Bulut, 2007).

2.2.1.1 Volkanik Küller, Camlar, Tüfler

Bu grup doğal puzolanlar, eriyen magmanın püskürmesi sonucu oluşmuş malzemelerdir. Magmanın püskürme şiddetinin puzolanın cinsini belirlediği; şiddetli püskürme sonucu puzolanik aktivitesi yüksek olan volkanik camların, şiddeti daha az püskürmeler sonucunda ise volkanik küllerin meydana geldiği bilinmektedir (Ün, 2007).

2.2.1.2 Killer ve Şeyller

Killer ve şeyller hammadde formundayken kristal yapıları durumunda olduklarından puzolanik özellik göstermezler. Puzolanik özellik kazanabilmeleri amacıyla ısı işlem görmeleri gerekmektedir ve bu amaçla kullanılan en yaygın yöntemin döner fırınlarda, 700°C - 900°C arasındaki sıcaklıkta, 1 saat ile 2 saat arasında uygulanan ısı işlem olduğu bilinmektedir. Bu işlemin sonucunda kristal yapıları bozulan kil mineralleri puzolanik özellik kazanmaktadırlar. Pişmiş killer; tuğla ve fayans atıkları çok ince öğütülerek elde edildiğinden değişken puzolanik aktivite göstermektedirler (Ün, 2007).

2.2.1.3 Diatomit Topraklar

Diatom adlı bitkinin kalıntılarıdır. Bu kalıntıların bulunduğu alan toprak olduğundan sınıflandırma yaparken literatürde bu gruba diatomlu topraklar denildiği bilinmektedir. Bu organik kalıntıların çok yüksek oranda silis içermeleri sebebiyle puzolanik aktiviteleri de içerdikleri amorf silis miktarına göre değişkenlik gösterir. İçerdikleri kil oranı yüksek iken puzolanik aktiviteleri düşüktür. Bu sebeple puzolanik aktivitelerini arttırmak için, 760°C-1000°C arasındaki sıcaklıklarda ısı işlem uygulanır (Ün, 2007). Diatomit kayalarda ise puzolanik özellikler beklenmediği durumlarda ısı işlem gerektirmemektedir.

2.2.2 Yapay Puzolanlar

Endüstriyel üretim malzemesi olup yan ürün olarak oluşan puzolanik malzemelerdir. Uçucu kül, granüle yüksek fırın curufu ve silis dumanının en çok

kullanılanlar arasında oldukları bilinirken pirinç kabuğu külü de, bazı Asya ülkelerinde yaygın olarak kullanılan diğer bir türüdür (Erdoğan ve Erdoğan, 2007). Yapay puzolanlardaki silisin aktifliği, puzolanın aktifliğini belirlemektedir.

2.2.2.1 Uçucu Kül

Termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi sırasında yakılan pulverize kömürün atığıdır. 1µm-150 µm tanecik boyutlarına sahip ve silika-alümina içerikleri yüksektir. Kendi başlarına bağlayıcılık değerleri yoktur. Sönmüş kireçle reaksiyona girerek suda sertleşmektedirler (Erdoğan, 2004).

Uçucu küller; doğrudan çimentoya katılarak, çimento karışımına ilave bir malzeme olarak ya da çimento klinkeri ile birlikte öğütülerek çimento sisteminde kullanılabilirler (Demir, 2008). Yapılan çalışmalarda betonda uçucu kül kullanılması; hidrasyon ısını düşürmekte, işlenebilirlik ve dayanımı artırmaktadır. Yine külün %30-%50 oranlarında çimento ikamesiyle istenen özelliklerde beton üretiminin yapılabileceği ve uçucu kül kullanımının hidrasyon ısını düşürmesinden dolayı da kütle beton yapımında kullanılacak önemli bir malzeme adayı olduğu anlaşılmıştır (Davis ve ark., 1937).

Dünyada 600 milyon ton, Türkiye’de ise: Soma, Tunçbilek, Afşin-Elbistan, Seyitömer, Çatalağzı, Çayırhan, Yeniköy, Kemerköy, Kangal, Soma, Tunçbilek termik santrallerinde yaklaşık 15 milyon ton civarı uçucu kül elde edildiği bilinmektedir (Karahan, 2006).

2.2.2.2 Yüksek Fırın Cürufu

Kireç taşı, demir filiz gangi ve kok gibi malzemelerin yanmasıyla oluşan atık üründür (Tokyay ve Erdoğan, 2009). Ergimiş cürufun hızla soğutma işlemiyle sağlanmaktadır (Gündeşli, 2008). Amorf yapıdadırlar. İçeriklerinde bulunan SiO₂ ve Al₂O₃ miktarlarının fazla olması puzolanik özellik göstermelerini sağlamıştır.

Çimento ve beton sektöründe farklı kullanım alanı bulan cürufur; geleneksel çelik üretim metotlarıyla elde edilirse kristal yapıya sahip olup puzolanik özellik göstermezler. Bu sebeple sadece dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler. Modern metotlarla üretilmiş çelikten elde edilen cürufur ise amorf yapıya sahiptirler. Amorf yapılı olmaları sayesinde çimentolu sistemlerde kullanım alanı bulmuşlardır (Gündeşli, 2008).

Cürufun öğütülme inceliği arttıkça puzolanik özelliği de doğru orantılı artmaktadır. Buna istinaden tek başına öğütülen cüruflar, çimentoyla beraber öğütülen cüruflardan daha verimli halde olmaktadırlar. Nemle karşılaşan tüm çimento türleri prehidratasyona uğrarken, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunda bu olay geçerli değildir. Dolayısıyla da depolama açısından cüruf çimentodan daha kullanışlı olmaktadır (Eren, 2018).

2.2.2.3 Silis Dumanı

Silikon metali veya alaşımlarını elde ederken ortaya çıkan gaz kümesine silis dumanı denirken, bu dumanın yoğunlaştırılmasıyla oluşan çok ince daneli atıklar da “yoğunlaştırılmış silis dumanı, silika füme veya mikro silis” dediğimiz yapay puzolanlardır.

Hafif tozumsu yapıya, değişkenlik gösteren geniş bir renk skalasına sahiptir. 0.20kg/dm^3 ortalama birim ağırlığa sahiptir (Topçu ve Canbaz, 2008).

Silis dumanının çimentoyla kıyaslandığında çok daha ince yapıya sahip olması, çimento hamurundaki mikro boşluklarla birlikte çimento-agrega arayüzeyini de doldurduğu için betonda fiziksel ve mekanik özellikler iyileştirilerek dayanım ve geçirimsizlik artışı sağlanmış olmaktadır. Aktif silis içermesi sayesinde ise hidratasyon ürünü olan Ca(OH)_2 'yi bağlayabilen yapısı, betonun kimyasal etkilere dayanıklılığını artırmaktadır (Demir, 2008).

2.2.2.4 Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç üretimi sonunda kabuklarının yakılmasıyla elde edilen pirinç kabuğu külü, yavaş soğutma sonucu kristal yapılı, hızlı soğutma sonucunda amorf yapılı olmak üzere iki farklı yapıda meydana gelmektedir. İçeriğinde yüksek oranda silika bulundurması sebebiyle puzolanik özelliği fazla olan amorf yapılı pirinç kabuğu külleri beton ve çimento sektöründe kullanılmaktadır (Kılınçkale, 1989).

Yapı sektöründe kullanımının eskiye dayandığı, üretilen ilk malzemelerin tuğla ve kerpiçler olduğu yapılan araştırmalardan bilinmektedir (Cook, 1986). Şekil 2.1’de bazı yapay puzolanlara ait görünümler verilmektedir.



Şekil 2.1 Yapay Puzolanlar (Ün, 2007)

2.3 Puzolanik Aktivite

Puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireç ve suyla oluşturacağı reaksiyonun ölçüsü ve bağlayıcılık oranı puzolanik aktivite olarak adlandırılmaktadır (Küçükıldırım, 2013). Malzemenin içeriğinde bulunan silis, alümin, demiroksit miktarının optimum sınırdaki olması, amorf yapısı ve tanelerinin incelik boyutu aktivite kalitesini belirlemektedir (Eren, 2018).

Mekanik ve kimyasal deneylerle puzolanik aktivite değerleri bulunurken; mekanik deneylerde kireç ya da çimento ile karıştırılan puzolanlarla üretilmiş harçların eğilme ve basınç dayanımları ölçülüp puzolanların aktif silise sahip olup olmadıkları saptanmaktadır (Surama ve Joshi, 1988; Calleja, 1989; Tashiro ve ark., 1994).

XRD ölçümüyle su ve puzolanlı çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan Ca(OH)_2 değerinin belirlenmesi ise kimyasal deney yoludur (Mazsazza, 1989).

Bu deneylerin haricinde spektrofotometrik, kondüktometrik, elektriksel direnç ölçme yöntemleri de bulunmaktadır.

TS 25 standardı göz önüne alındığında puzolanik aktivite deneyleri sonucu üretilen harç karışımlarında 7 günlük basınç dayanımı minimum 4MPa olmalıdır. Standartta göre puzolanların kimyasal özellikleri Çizelge 2.3’ te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Doğal Puzolanlarda Olması Gerekli Kimyasal Özellikler

Kimyasal Özellik	Miktar	Kütlece %
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	Minimum	70.0
SO ₃	Maksimum	3.0
Reaktif silis	Minimum	25.0
Klorür	Maksimum	0.1

2.4 Zeolit

Zeolitler, kimyasal açıdan "sulu alümino silikatlar" olarak adlandırılmaktadır (Uzal, 2010). Dünya üzerindeki zeolit rezervlerini tam olarak tespit edilmiş rakamlarla vermek mümkün olmamakla birlikte, dünyada zeolit oluşumlarının 1950'lerden sonra saptanmaya başladığı ve bütün kıtalarda yaygın olarak görüldüğü anlaşılmıştır. Sedimenter zeolit kayaçlarını klinoptilolit, analsim, şabazit, eriyonit, höylendit, mordenit ve filipsit zeolit minerallerinin oluşturduğu ve bu minerallerden tortul kayaçlar içinde en çok bulunanların ise analsim ve klinoptilolit olduğu araştırmalarla saptanmıştır (Sheppard, 1975). Ülkemizde klinoptilolit ve analsim türleri diğer zeolit türleriyle kıyaslandığında daha fazladır. Manisa-Gördes MTA ruhsatlı ve etüdü yapılmış tek zeolit sahamızdır.

Zeolitlerin bilinen başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri; iyon değişikliği yapabilme adsorpsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma ve hafifliktir. 100–350°C da su molekülleri birçok mineralde belli sıcaklıklarda kesikli olarak ayrılırken zeolitlerde bu durum değişiklik göstererek sürekli halde yapıdan ayrıldıkları şeklindedir. Yapıları boşluklar içerip, bal peteği veya kafes görünümündedir. Bu boşlukların ya da gözeneklerin içindeki su molekülleri de ısıtılarak kolaylıkla zeolitik yapıyı terk edebilir veya tekrar adsorbe edilebilir (Demir ve Polat, 2003). İçerdikleri boşluklar sabit boyutlarda olup her molekülü tercih etmemesi nedeniyle moleküler elek olarak kullanılırlar (Küçükıldırım, 2013). Çizelge 2.4' te doğal zeolitlerin sınıflandırma tablosu, Çizelge 2.5' te de Türkiye'deki zeolit yatakları verilmiştir.

Çizelge 2.4 Doğal Zeolitlerin Sınıflandırılması (Barrer, 1978)

Sınıfı	Alt Sınıfı
Analsim	Analsim, Lomontit
Natrolit	Natrolit, Tomsolit, Edingtonit
Şabazit	Şabazit, Eriyonit, Gmelibit
Filipsit	Filipsit, Gismondin
Höylandit	Höylandit, Klinoptilolit, Stilbit
Mordenit	Mordenit, Ferriyetit, Deshiartit
Föyasit	Foyasit, Linde A
Melanofiyagit	Klarat, Melanofiyagit Grubu SM-39

Çizelge 2.5 Türkiye'deki Zeolit Yatakları

Zeolit Yatakları	Türleri
Bahçecik, Gölpazarı, Göynük	Analsim
Polatlı, Mülk, Oğlakçı, Ayaş	Analsim
Nallıhan, Çayırhan, Beypazarı, Mihaliççik	Analsim
Kalecik Çandır Şabanözü Hasayaz, Yozgat	Analsim
Balıkesir- Bigadiç	Klinoptilolit
Emet- Yukarı Yoncağağaç, Kütahya	Klinoptilolit
Kütahya- Şaphane	Klinoptilolit
Geniz, Hisarcık, Kütahya	Klinoptilolit
Gördes, Manisa	Klinoptilolit
İzmir- Urla	Klinoptilolit
Kapadokya Yöresi (Tuzköy- Karain)	Klinoptilolit, Şabazit, Mordenit ve Eriyonit

2.4.1 Zeolitlerin Kullanım Alanları

Son yıllarda önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerden yararlanılan alanlar; kirlilik kontrolü, enerji, tarım-hayvancılık, maden-metalürjinin yanı sıra inşaat sektörünü de kapsayan diğer alanlarda da kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Zeolitler hafiflikleri ve kolay işlenebilmeleri sayesinde doğal yapı taşı olarak kullanılmalarının yanı sıra, genleşmeye uygun oldukları için de dayanımı yüksek geliştirilmiş hafif agrega üretiminde kullanıldıkları gibi içerdikleri silis sayesinde

gösterdikleri yüksek puzolanik özelliklerle puzolan çimento üretiminde de kullanılmaktadır (Uzal, 2010).

2.5 Korozyon

Korozyon genel olarak metal ve türevlerinin çevredeki oksijen ya da suyla temasları sonucu özelliklerinin bozulması ve kullanılamaz hale gelmesi olarak açıklanmaktadır. Korozyon, malzemelerin doğada buldukları en kararlı ve en düşük enerjili halleri olan oksit haline geçmeleri olarak tanımlanmaktadır (Baradan ve ark., 2002). Bu tanımlamadan yola çıkarak aslında çelikte korozyon, içerisindeki demirin daima en kararlı hali olan demir okside dönüşme isteği ve çabasıyla dolaylı olarak kaçınılmaz olmaktadır.

Ortamın durumuna göre oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu kimyasal korozyon, elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu da elektrokimyasal korozyon oluşmaktadır. Bu maddelerin sulu ortamda bozulmaları elektrokimyasal (ıslak korozyon) iken, oksitlenmesi kimyasal yani kuru korozyondur (Doruk, 1996). Sulu ortamlardaki metallerde korozyon mekanizması; metalin birbirlerine ve aynı metalin bir noktasından başka noktasına geçen galvanik akımdan kaynaklanmaktadır. Korozyon için elektrolit varlığı şart olması sebebiyle elektrik akımının bu şekilde gerçekleşebilmesi için ortamda elektrolit ya da ıslak bir iletken bulunması gerekmektedir (www.kimyamuhendisi.com).

2.5.1 Korozyonun Nedenleri ve Önemi

Betonun kalitesi korozyon oluşum sürecini etkilemektedir. Üretilen betonun boşluk oranı azaldıkça betonun geçirimsizliği de düşmektedir. Bunun sonucu beton içerisindeki donatının planlanan servis süresinde kaliteli şekilde hizmet vermesi sağlanmış olmaktadır (Haberal, 2010). Betonun paslanmaya karşı donatıyı en fazla koruyabildiği pH=13 alkali değerinden uzaklaştıkça betonun koruyucu ortamı azalmakta ve bu bağlamda donatı paslanmayla karşı karşıya gelmektedir. Paslanma sonucu hacmi genişleyen donatılarla paralel doğrultuda çatlamaya başlayan beton sonucunda korozyonun yıkım etkisi ortaya çıkarak yapının ömrü kısalmaya başlamaktadır (Çil, 2006).

Korozyonun önemi, ülke ekonomisine verdiği zararlardan da kolaylıkla anlaşılmaktadır. Örneğin ülkemizde gerçekleşmiş büyük felaketlerin başlıcalarından

biri olan 17 ağustos 1999 depremindeki yıkılmış, hasara uğramış binaların çoğunun sebebinin korozyon etkili olduğu tespit edilmiştir. Deprem sonrası oluşan bilançonun sebebi su yalıtımsız binalarda sızan suyun, donatı ile kimyasal tepkimelere sebep olarak ya da donarak donatının fiziksel ve mekanik özelliklerine zarar vererek yapının taşıyıcı sisteminin zayıflamasına ve yıkımına neden olmaktadır (Çolakoğlu, 2016).

Görüldüğü gibi, aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde korozyon kaynaklı yapı hasarları açısından yapının hizmet ömrünü iyileştirmek amacıyla uygun korozyon koruma teknikleri ile yapı çeliğini korozyona karşı korumanın önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

2.5.2 Korozyonu Etkileyen Faktörler

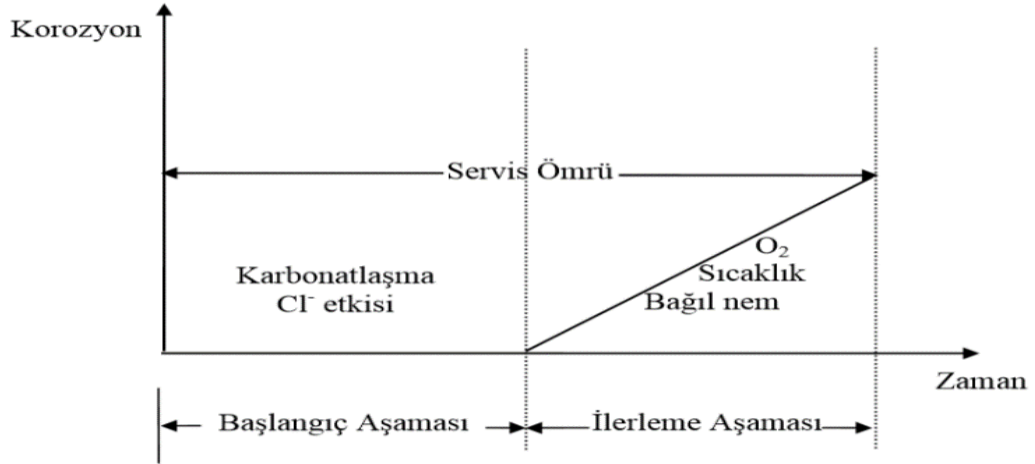
Donatı korozyonunda betondaki boşluk yapısı, geçirimsizlik, oksijen, klorür iyonları, nem, sıcaklık gibi etmenler etkilidir. Korozyon oluşabilmesi için; katodik ve anodik reaksiyonlar, katodik ve anodik bölgeler arası iyon transferi ve elektron akışı şart olup bu unsurlardan herhangi birinin olmadığı durumda korozyon gelişimi durmaktadır. Bu sebeple malzemenin bulunduğu ortamın nem, oksijen, elektron taşınımı ve iyon taşınımı durumu korozyon koşullarını etkilemektedir (Yığıter, 2008). Anodik reaksiyon metalin sulu ortamda elektron kaybedip katyona dönüşmesi yani elektron üretmesi iken katodik reaksiyon ise elektronların harcanarak birikimini önleyen reaksiyonlardır (Çakır, 2006).

Betonda, ortam kuru ise elektrolit direnci yüksek olduğundan korozyon hızı düşük olmaktadır. Benzer durum çok ıslak koşullarda da geçerlidir. Bu durum oksijen difüzyonunu yavaşlatarak korozyon hızını düşürmektedir. Fakat, normal seviyelerdeki nemli ortamlarda oksijen difüzyonu hızlanarak korozyonun da hızlı ilerlemesine sebebiyet vermektedir (Boğa, 2010). Sıcaklık artışıyla doğru orantılı şekilde elektrokimyasal reaksiyon hız ve difüzyonu da arttığından korozyon hızı artmaktadır. (Benjamin ve ark., 1995).

Asit karakter özellikli klorür iyonları girdiği ortamda elektrolitliği artırıp elektriksel direnci azalttığından katot-anot iyon akış transferini kolaylaştırmaktadır. Bu sayede akım şiddetine orantılı olarak korozyon hızı artmaktadır (Boğa, 2010).

Korozyon gelişiminde karbonatlaşmanın olduğu ve zararlı iyonların donatıya ulaşana kadar geçen süreye başlangıç aşaması, malzemenin korozyondan hasar almaya

başladığı süreye ise ilerleme aşaması denilmektedir (Şekil 2.2). Oksijen, nem ve sıcaklık her iki aşamada da korozyon hızında etkili bileşenler olmaktadır (Tuutti, 1982).



Şekil 2.2 Betonda Donatı Korozyonu İçin Tasarlanan İki Aşamalı Korozyon Modeli (Tuutti,1982)

Çelik donatıyı kaplayan beton tabaka, CO₂ ve O₂ gibi gazlar ile Cl⁻ ve SO₃ gibi iyonların donatıya ulaşım süresini engellediği ya da geciktirdiği için fiziksel korumada en önemli faktör olan pas payı olarak bilinen tabaka kalınlığıdır. Bu tabakanın kararlılığı ile donatı yüzeyinde korozyonun ilerlemesi de o süre boyunca engellenmiş olmaktadır (Yiğiter, 2008). Fakat betonarmede donatılar üzerindeki pas payı artışı belli sınırlar altında yapılabildiğinden betonun su/çimento oranının azaltılması da korozyon başlama süresini geciktirmek amaçlı bir diğer önlem olarak kullanılabilir (Yalçın ve ark., 1998).

2.6 Aderans (Kenetlenme)

Betonarme kavramının gerçekleşebilmesi için beton ve donatı arasında bir bütünlük oluşması gerekmektedir. Bu bütünlüğe diğer adıyla kenetlenme durumuna sebep olan beton ve donatı arasındaki kayma gerilmelerine aderans denilmektedir. Beton ve çelik arasındaki iç kuvvet aktarımı aderans sayesinde gerçekleşmektedir (Boğa, 2005).

Betonarme elemanda aderans iki şekilde gerçekleşir. İlk durumda (dış aderans) donatının belirli yükler altında betondan ayrılmasını önlerken, ikinci durum ise iç

aderans adı verilen, eğilme ya da çekme yükleri karşısında betonarme elemanın çatlama durumunu belirleyen haldir (Celep ve Kumbasar, 1998).

Donatıdaki akma dayanımı; donatı ve betonun kenetlenme boyunca aderans gerilme dağılımında etkilidir. Bindirmeli eklerdeyse gerilmenin aktarılmasında rol oynamaktadır (TS708).

2.6.1 Aderans Kuvvetleri

- **Beton ve Donatı Arasındaki Sürtünme Kuvveti**

TS708'de S220 adla geçen düz donatılar da dahil olmak üzere yeni üretilmiş tüm çelik çubukların yüzey kısımlarında küçükte olsa bir miktar pürüz bulunmaktadır. Bu pürüzler betonla tutunarak sürtünme kuvveti oluştururlar ki düz çeliklerin aderansının neredeyse tamamı bu kuvvetlerden meydana gelmektedir (Yılmaz, 2006).

- **Beton ve Donatı Arasındaki Mekanik Kuvvetler**

TS708'de S420 olarak geçen nervürlü çubuklardaki dış şeklindeki çıkıntılarla, beton birbirine kenetlenerek aderans sağlamaktadır. Bu kenetlenmeden oluşan kuvvetler mekanik dış kuvvetleri olarak anılmaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001).

- **Beton ve Donatı Arasındaki Moleküler ve Kapiler Bağ Kuvvetleri**

Bu bağlar çok düşük olmasının yanında zayıf yüklerle, çelik ve beton arasındaki çok küçük yer değiştirmeler karşısında da kopmaktadırlar (Tanyıldızı, 2006).

2.6.2 Aderansı Etkileyen Faktörler

- **Çelik Çubuk Yüzeyi**

Nervürlü çubuğun aderans gerilmesi düz çubuktan, tutunma yüzeyi sayesinde daha fazladır (Boğa, 2005).

- **Donatının Konumu**

Beton ve donatı birbirini ne kadar iyi sararsa aderans o kadar kuvvetli olmaktadır. Betonun kötü sıkıştırılmasının etkisiyle üst donatı altı betondaki oturma, alt donatılarinkine oranla daha fazla olmakta böylece aderansın daha az olmasına sebep olmaktadır.

- **Çelikteki Akma Dayanımı**

Kenetlenme boyunca aderans gerilmesindeki dağılımı etkiler.

- **Donatı Çapı**

Çap ne kadar değişirse kenetlenmenin gerçekleştiği çevrenin, kuvvetin uygulandığı alana oranı değişir (Boğa, 2005). Dolayısıyla, çap ne kadar küçülürse, aderans mukavemetinin de o kadar artacağını ya da çap arttıkça da kesit alanı artacağından donatıya gelen kuvvette artacak ve kenetlenmenin azalacağı anlaşılmaktadır.

- **Enine Donatı**

Ankraj yerlerinde kullanılan özellikle de nervürlü enine donatılar sayesinde çubukta oluşabilecek çatlakların önüne geçilmektedir. Eğer enine donatı olmazsa yapı malzemesinde oluşacak bir çatlak durduracak engel de olmayacağından aderans sıfırlanacaktır. Enine donatıyla oluşacak bu hasarı yok edemesekte önüne geçer ve zararı olabilecek en az duruma getiririz. Genelde kirişlerde eğilme ve aderans gerilmesinin büyük olduğu mesnetler civarı bölgelerinde betonun yarılmasını engellemektedir.

- **Paspayı**

Paspayının arttıkça aderansın artacağı, azaldıkça da yarılmalar oluşabileceği yapılan araştırmalarda görülmüştür (Karabacak, 1994).

- **Betonun Çekme Dayanımı**

Nervür donatılı elemanlarda yarıma ihtimali olduğu için çekme dayanımı önemlidir (Boğa, 2005).

- **Kullanılan Agreganın Cinsi**

Kullanılan agrega hafif olduğunda aderans, normal agregaya göre daha düşük olmaktadır (Boğa, 2005).

Yukarıda bahsedilen faktörlerin çoğu aderans dayanımı ve kenetlenme boyu gibi faktörlerle etkileşim içinde olduğundan, aderansla ilgili parametrelerin en doğru şekilde bulunabilmesi için deney ve gözlemlere gereksinim olduğu bilinmektedir (Ersoy ve Özcebe 2001).

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yüzer (1999), donatı korozyonunda beton geçirimliliği üzerinde çalışmıştır. Çalışma için kontrol deneylerinden kılcal su emme deneyinde kullanmak amacıyla toplam 117 adet 40*40*70 mm harç numunesi; hızlandırılmış korozyon deneyi içinse 36 adet betonarme numune üretilmiştir. 28 güne kadar suda kürünü alan numunelerde 0, 28, 90 ve 180. günlerde kılcal su emme deneyi gerçekleştirilirken 180. günde hızlandırılmış korozyon deneyi yapılmıştır. Klorür etkisiyle kıyaslamak amacıyla 1500, 10000, 40000 mg/L Cl içeriğindeki çözeltilerde ve yaklaşık 20°C suda numuneler kontrol deneyleri için saklanmış olup yapılan deneyler sonucu; betonda geçirimlilik ne kadar fazlaysa korozyonun o oranda arttığı, SD'nin betonda geçirimliliği azaltarak elektriksel direnci artırdığından dolayı su yalıtımı problemlerinde kullanılmasının çözüme ulaştırabileceği ve korozyon için alınabilecek birinci derece önlemin boşluğun çok az, geçirimliliğin düşük ve dayanıklı bir beton üretilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Asan (2002), portland çimentolu (referans) ve çimento yerine %30 uçucu kül ikameli olarak hazırlanmış iki grup beton numunelerde betonarme demirlerinin korozyon hızı tayini için bir gruba klorür katıp diğer gruba katmadan numunelerde galvanik akım ölçümü gerçekleştirirken 180 günlük sürede demirlerdeki korozyon potansiyelini de ölçerek veriler elde etmiştir. Uçucu kül numunelerin donatı korozyonunu azaltıcı yönde etkilemiştir. Buna göre, 1.5 kg/m³'den daha çok klorürlü ortamda normal beton demirlerinin pasifleşmesinde bozulmalar görülürken değer %30 Uçucu kül ikameli betonda 2.5 kg/m³'e yükseldiği görülmüştür.

Boğa (2005), CEM II/B 32.5 R, CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 N çimentolarını 300 ve 375 dozajlarda kullanarak katkısız, %10 ve %20 oranında uçucu kül katkılı olarak hazırlanan beton karışımlar üzerinde 28 ve 180 gün olmak üzere kürler uygulanmış ve bu beton numunelerde fiziksel ve mekanik özellikler incelenmiştir. Lolipop beton olarak adlandırılan yani içine donatı yerleştirilmiş beton numuneler üzerinde korozyon deneyleri yapılarak beton hasar oluşumları belirlendikten sonra aderans deneyleriyle de aderans kayıpları üzerinde incelemeler yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, dozaj, kür süresi artışı ve çimentoyla ikame edilen uçucu külün miktar artışının da hasar oluşum süresini artırdığı ve 375 dozajlı CEM I 42.5 R çimentosu

%20 oranında uçucu kül kullanılarak 180 gün kürlenmiş seride olduğu belirlenmiştir. Aderans deneyleri sonucunda aderans dayanımının beton kalitesiyle, farklı oranlarda uçucu kül kullanılmış farklı çimento tip ve dozajlarıyla da bir ilişkisinin olmadığı da gözlemlenmiştir. Aderansın, hasar oluşana kadar korozyona uğratılan numunelerde korozyona uğratılmayan numunelere göre büyük oranlarda düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, numuneler 2 gün boyunca korozyona uğratıldıklarında korozyona uğramayanlara oranla korozyon sonucu, donatı üzerinde oluşan küçük miktar pas oluşumu donatı-beton arasındaki boşlukları tamamen doldurduğundan dolayı aderans dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir.

Özcan (2005), silis dumanının betonda basınç dayanımına etkisini araştırmıştır. Su/çimento oranı 0.3, 0.4, 0.5 ve 0.6; çimento dozajı 350, 400, 450 kg/m³ ve %10, %15, %20 oranlarında silis dumanı ikameli beton ile kontrol betonu da dahil 48 farklı beton numune üretilmiştir. Numuneler üzerinde 3 ve 28 günlük küp numune basınç dayanımları incelenerek, 28 günün sonunda SD'nin dayanımda %50 oranlarında artışa sebep olduğu yine SD'nin yüksek su/çimento oranında düşük oranlıya kıyasla daha az etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sancak (2005), çelik lifli betonlarda %0, 2.5, 5 ve 10 oranlarında silis dumanı kullanarak eğilme dayanımını incelemiştir. 9'u kontrol betonu, 9'u lifli beton, %2.5, %5 ve %10 oranlarında 27 adet silis dumanlı beton ve 27 adette silis dumanlı lifli beton numunesi üzerinde yaptıkları çalışmalarda; liffsiz betonların gevrek kırılarak ikiye ayrıldıklarını, lifli betonlarda ise aderans artırıcı etkilerinden dolayı, çatlamlar görülüp elastik çökme sayesinde hemen ikiye ayrılmadan bir miktar da olsa yük taşıdıklarını tespit etmişlerdir.

Karahan (2006), süzözü uçucu külü, F19 tip polipropilen lif ve RC 65/35 BN tip çelik lifli betonda kullanarak; uçucu külün taze ve sertleşmiş betonda dayanım ile dayanıklılık özelliklerini ne yönde etkilediği, polipropilen lifin uçucu küllü betondaki davranışını ve polipropilen lif ve çelik lifin uçucu kül katkılı betonla normal beton özelliklerine etkilerini birbirleriyle kıyaslayarak incelemiştir. Uçucu kül çimentoyla kütlece %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirilirken; 19mm uzunluklu polipropilen lif hacimce %0.05, %0.10 ve %0.20 oranlarında, 35mm uzunluk ve 0.55mm çaplı çelik lifse hacimce %0.25, %0.50, %1.00 ve %1.50

oranlarında normal, %15 ve %30 oranlarında uçucu kül katkılı betonlara ilave edilerek çalışma yapılmıştır. Betonlarda birim ağırlık, puzolanik aktivite, basınç dayanımı, işlenebilirlik, eğilme ve çekme dayanımı, aşınma, karbonatlaşma, rötre ve donma-çözülme gibi deneyler yapılmıştır. Yapılan gözlemler sonucu; polipropilen lifin %0.05 oranından sonra beton dayanım ve dayanıklılığına pek etkisi görülmezken, çelik lifin hacim değişimine bağlı olarak betonda eğilme dayanımı, aşınma, rötre, yarmada çekme dayanımı gibi özelliklerini büyük ölçüde olumlu açıda etkilediği gözlemlenmiş; uçucu külün sertleşmiş beton özelliklerini iyi yönde etkilemesi sonucu %30 oranlarında normal ve lifle güçlendirilmiş betonlarda katkı olarak kullanılabileceği öngörülmüştür.

Konca (2006), portland, katkılı ve traslı çimentolar ile birlikte 10mm ve 16mm'lik çaplarda nervürlü ve düz donatıları beton numunelerin alt ve üst kısımlarına yerleştirilerek, çimento cinsi, donatının çap ve tipinin beton-donatı arasındaki aderansa etkisi üzerinde incelemeler yapmıştır. Toplamda 72 adet numune üzerinde 2 adet altta ve 2 adet üstte olacak şekilde toplamda 4 adet çelik donatı kullanarak 28 ve 90 günlük yaşlarda donatılar beton içinden sıyrılırken, sıyrılma kuvveti ve miktarı ile sıyrılma mukavemetini ölçmüştür. Ayrıca, donatının betonun alt ve üst kısma yerleştirilmesi sayesinde betonun donatı etrafında yerleşme ve donatıyı sarma etkileri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, nervürlü donatılarda; aderans dayanımı düz donatılardan, alt donatıların aderansının da üst donatılardan daha fazla olduğu yine donatıda çap büyüdükçe aderans dayanımının artmasının yanı sıra, 28 günlük traslı çimentolu betonlarda aderans dayanımının daha düşük; katkılı ve Portland çimentolu betonlardaysa birbirine yakın olduğu belirlenmiştir.

Sarıkaya (2006), zeolit katkılı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırırken; Isparta-Atabey agregası ve Manisa-Gördes zeolit agregasında iyileştirme yaparak kullanmış ve bu agregalarla su/çimento oranı 0.50 olan 350 doz katkılı-katkısız olacak şekilde 8 farklı beton numune üretmiştir. Özellikleri belirlerken tahribatlı test yöntemlerinden tek eksenli basınç deneyi, tahribatsız test yöntemlerinden ise Schmidt sertlik ve ultrases geçiş deneyi uygulanmıştır. Veriler baz alındığında; zeolit miktarı arttıkça ultrases hızının arttığı, katkılı betonun ultrases hızının normal betondan yüksek olduğu, zeolit miktarıyla Schmidt sertliğinin ters orantılı olduğu, katkılı betonda ise normal betondan yüksek olduğu bulunurken, zeolit

miktarı artarken basınç dayanımının azaldığı, katkılı betonda basınç dayanımının normal betondan yüksek olduğu ve eğilme dayanımının zeolit miktarıyla ters orantı gösterdiğini tespit etmiştir.

Arslan (2007), taşıyıcı hafif betonun Standard Belçika Mafsallı Kiriş Deneyiyle eğilmede donatıyla aderansının geleneksel beton-donatı aderansını karşılaştırmıştır. TS 500-2000'de belirtilen kurallar gereği geleneksel betonlarla üretilmiş betonarme elemanlarda tam kenetlenme 20Ø uzunlukta kenetlenme boyunda yeterli iken hafif betonlarla üretilen elemanlarda 8-10mm çaplı donatılar için yeterli fakat 12-14mm çaplı donatılarda artırılması gerektiğini belirtmiştir. Standard belçika mafsallı kiriş deneyinde sonuçlarda etkilenme olmaması amaçlı etriye kullanılmamış bu yüzden 14mm donatıların kullanıldığı kiriş numunelerin hepsinde akma dayanım sınırına ulaşmadan kesme kırıkları meydana geldiği için bu kenetlenme boyunun yeterli gelip gelmediğinin başka deney yöntemleriyle belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Benli (2007), kendiliğinden yerleşen betonda donatı aderansını incelemiştir. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) ve normal üretilen 200*300*2000mm boyutlu 12 tane kiriş numunesi dört noktali eğilmeye maruz bırakılmıştır. Sonuçlarla aderansı kıyaslamak amacıyla kirişler nümerik olarak sonlu eleman program (ANSYS) yardımıyla da çözümlenmiştir. Kiriş tasarımı kayma donatılı olarak tasarlanmıştır. Deney sırasında su/çimento oranı ve kiriş boyutları sabit tutulmuş, donatı çapı (16Ø ve 20Ø) değişken parametre seçilmiştir. Deneysel ve nümerik çözümlerin ikisinin sonucunda da her iki beton türünde (normal ve KYB) numunede kullanılan boyuna donatı çapı arttıkça donatıda aderans dayanımı azalmıştır.

Kılıçoğlu (2007), yapıda korozyonu tahribatsız yöntemle donatıların kütle kaybı elektrot potansiyellerinden yola çıkarak incelemeler yapmıştır. Nemli ve nemsiz ortamda beş adet numunede korozyon ölçüm cihazıyla betonarme içindeki donatılara temas edilip elektrot potansiyelleri ölçmüştür. Fiziksel gerçeklikte kütle değişimi artarsa negatif elektrot potansiyel değeri, kütlede değişim olmazsa elektrot potansiyel değerinin ASTM C 876 baz alındığında -200mV'a yaklaşması gerektiğinden; ölçüm sonuçları analizinde doğrusal fonksiyon tercih etmiştir. Nemli ortam deney sonuçlarında kütle azalımının artışı elektrot potansiyel değerini azaltıp -408 mV gibi

bir değere getirirken aynı numune nemsiz ortamda -380 mV değerinde aynı kütle kaybını göstermiştir. Bu durumun, ASTM 876-91'e göre, bu değerlerde korozyon olasılığı %90' a karşılık geldiğini vurgulamıştır.

Demirel ve Gönen (2008), takviyeli hafif betonların mekanik özelliklerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla, CEM I 42.5 N tip çimento, Elazığ yöresi bazik pomza agregası ile %0.5 oranlı karbon liften hafif beton numuneler hazırlamış, bunları kıyaslamak amacıyla da SD'siz hafif beton, SD'siz karbon lifli hafif beton, SD'li hafif beton ve SD'li lifli hafif beton olacak şekilde 4 farklı seri hazırlamışlardır. Numuneler 365 günlük yaşa geldiğinde 1 saat süre diliminde 250, 500, 750, 1000°C sıcaklıklara maruz bırakılmış ve oda sıcaklığında soğutulup porozite-basınç dayanım değerleri incelenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda karbon lif hafif betonun basınç dayanımını düşürürken, tüm sıcaklık değerlerinde SD'li serilerde basınç dayanımı SD'siz serilerden daha yüksek bulunmuştur. 250°C'den sonraki sıcaklıklarda porozitenin artmasıyla mikroçatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir.

Demir (2009), Ankara Hasanoğlandan elde ettiği kırmataş agregası ve CEM I 42.5 tip çimento ile, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında silis dumanı (SD) ve uçucu külü (UK) çimento ile ağırlıkça ikame edilip ürettiği 7, 28 ve 90 günlük beton numuneler üzerinde basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulamıştır. Araştırmaları sonucu SD'li betonların UK'li betonlardan daha az çöktüğü, 7 günlük sonuçlara göre en yüksek basınç dayanımını %20 SD ikameli betonun verdiğini ve UK'nin dayanımlarda düşüşe sebep olduğu görülmüşken, 28 günlük sonuçlarda SD'nin %20 oranına kadar artışı basınç dayanımını artırırken, UK'nin oranı %10'dan sonra basınç dayanımında düşüşe sebep olmuştur. Blaine incelik değerinin UK'ye oranla daha büyük olmasıyla bu sonuç açıklanmıştır. Yine 90 günün sonunda da SD oranıyla basınç dayanımı doğru orantılıyken, UK %15'ten sonra basınç dayanımında düşüşe sebep olduğunu belirlemiştir.

Erten (2009), kimyasal, fiber, mineral katkı beton ve donatı arasındaki aderansı, 15*15*60 cm ebatlı prizmatik numunelerin içine gömülü 14mm çaplı düz ve nervürlü donatılarla 18mm çaplı nervürlü donatıların 28 günlük kür süreli beton numunelerde pull-out deneyi yapılması ile incelemiştir, bulduğu sonuçları bulanık mantık (fuzzy logic) ve veri madenciliği (data mining) yöntemleri ile modelleme

üzerinde çalışmıştır. Yapılan deneyler sonunda; betona ilave edilen F tipi uçucu külün, C tipine kıyasla işlenebilirlikte daha etkili olduğu, mineral katkıların beton küp basınç dayanımını artırdığı ve F tipi uçucu külün basınç dayanımında daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Haberal (2010), çalışmasında korozyon ve klor iyonu geçirgenliğine karşı etkili beton üretimi amacıyla CEM I 42.5 R çimento ve çimento yerine %15, %30, %45 oranlarında uçucu kül kullanılarak %0.8kg katkılı olmak üzere beton karışımlar hazırlanıp, 28 ve 56 günlük sürelerde dış ortam koşullarında ve suda numuneler bekletilerek farklı kürler üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Bu numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelendiğinde, %15 oranında uçucu külün çimento yerine ikame edildiği seride dayanım ve dayanıklılığın en ideal değerde olduğu, uçucu külün kullanım miktarıyla doğru orantılı şekilde dayanıklılık artıp basınç dayanımının düştüğü, uygun kürlenmeyen yapı elemanlarında ya da yapılarda dayanıklılığın azaldığı, yeterli derecede dayanıklı olmayan beton sınıflarında dayanıklılığı artırabilmek için yüksek miktarda uçucu kül ikamesi gerektiği, uçucu kül kullanımıyla beraber klor iyon geçirimsizliğinin azaldığı gibi sonuçlar elde edilmiştir.

Yamaç (2010), klorür etkisi altındaki silis dumanı katkılı beton numuneler içinde bulunan çelik donatılarda korozyonu GECOR 8 cihazı yardımıyla özdirenç, korozyon hızı ve yarı hücre potansiyeli ölçümleriyle incelemiştir. Çalışmada, farklı silis dumanı/toplam bağlayıcı, su/toplam bağlayıcı oranlarıyla toplam bağlayıcı miktarları kullanılıp üretilmiş silindir numuneler, içlerine donatı yerleştirilerek 90 günlük kür süresindeyken yedi gün NaCl çözeltisi içinde ve yedi gün havada olmak üzere sıralı şekilde çevrime maruz bırakılarak GECOR cihazıyla ölçümler yapılmıştır. Ayrıca, korozyon başlangıcında olduğu belirlenen numunelerde klorür içerikleri ölçülmüştür. Sonuçta, su kürünün korozyon hızını düşürmede etkili olduğu, su kürü uygulanan beton numunelerde özdirenç değerinin havada tutulanlarla benzer şekilde etkilenmiş olduğu, havada tutulmuş betonlarda özdirenç incelendiğinde silis dumanı katılmayan numunelerin ilk baştan itibaren sınır değer altına düştüğü görülmüştür. Klorür konsantrasyon analiz sonuçlarına dayanarak klorürden en çok zarar gören grubun silis dumanı içermediği anlaşıldığından silis dumanının klorüre karşı dayanımı artırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Elde edilen bulgular ile silis

dumanı/bağlayıcı artışı korozyona karşı dayanıklılığı artırırken, su/bağlayıcı oranının azaldığını tespit etmiştir.

Bilim (2011), çimento harçlarında zeolit ikamesiyle elde edilen betonların özelliklerini incelenmek amacıyla deneyler yapmıştır. Kontrol harcıyla kıyaslamak üzere kum-su miktarı kendi içinde ve SD %10 oranında sabit tutulmuş, ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20, %30 oranlarında zeolit(klinoptilolit) ikamesiyle üçlü harç karışımları hazırlanarak, eğilme dayanımları, aşınma dirençleri, karbonatlaşmaları, su ihtiyaçları vb. özellikleri incelenmiş, elde edilen veriler sonucu çimento yerine zeolit ve SD ikameli numuneler kontrol harcına göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemiştir.

Durgun (2011), yüksek fırın cürufu, barit, kolemanit, bazaltik pomza katkılı boyalarla donatıları kaplayarak korozyon performansını incelemiştir. Adı geçen malzemelerle tek, ikili, üçlü ve dördü kombinasyonlar oluşturulmuş ve yüksek devirli (1000-1200 devir/dakika) betoniyerde karıştırılarak homojen dağılımlı boyalar üretilip 6cm boyutlu S420 tip donatılar temizlenmiş ağırlık değişimi sonuna kadar kurutulmuş ve ilk ağırlıkları bulunduktan sonra kaplanmıştır. Kaplanan donatılar 100*100*100mm boyutlu kalıplara dökülmüş betonun (C20-C30) dört köşesine gömülerek 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra %3.5 NaCl çözeltisi dolu havuza yerleştirilerek 180 ve 360 günlük sürelerde bekletilmiştir. Süre sonunda betondan çıkarılan donatıların kütle kayıpları ölçüldükten sonra hızlandırılmış korozyon deneyi ve galvanik pil yöntemiyle donatıların korozyon performansı incelenmiştir. Sonuç olarak her iki beton sınıfında da kolemanit katkı kullanılan donatılar daha az kütle kaybı yaşarken, referans donatı en fazla kütle kaybına uğrayan olmuştur. Kaplı donatılarda en düşük sonuçlu olanın pomza kaplamalı numuneler olduğu gözlenmiştir. 180 ve 360 günlük sonuçlarda çimento dozajı arttıkça kütle kaybının düşüp, yani korozyonun azaldığı gözlenirken, hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçlarına bakıldığında barit ve kolemanitli numuneler korozyon dayanımlı; yüksek fırın cürufu numuneler orta seviyelerde dayanımlı ve pomzalı numuneler ise korozyon dayanımında en düşük sırada olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak; kolemanitin korozyona karşı etkili bir kaplama malzemesi olduğu gözlenmiştir.

İnci (2011), yaptığı çalışmada oyuklanma korozyonuna maruz kolon donatılara sahip betonarme bir binanın doğrusal olmayan analizi üzerinde çalışmıştır. Donatıların

korozyonu, farklı miktarlarda kesit kaybı ile farklı oyuk dağılımı halinde belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucu; korozyonun plastik şekildeğişikliklerin önemli bölümünün oyuklar etrafında toplanmasına bu yüzden taşıyıcı elemanda yatay yerdeğişiklik kapasitesinin büyük ölçüde azalmasına sebep olurken, plastik şekil değişiklikler daha yaygın olduğundan yerdeğişiklik kapasitesini olumlu etkilediği görülmüştür. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre aynı deprem sırasında alt kat kolonların donatıları, korozyonlu yapılarda korozyonsuz olanlara göre daha büyük şekildeğişikliklere neden olduğu tespit edilirken, tahmin edildiği üzere donatıdaki korozyon; eleman ve yapıda yatay yük kapasitesini düşürerek hasar seviyesini artırmış olduğunu vurgulamışlardır.

Dinçer (2013), yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı kullanılan betonlarda durabiliteyi incelemiştir. Bu malzemeleri çimento yerine ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında tekli olarak %10 oranında ise iki ve üçlü karışım olarak kullanmıştır. Yine agrega yerine %5 ve %10 oranında yüksek fırın cürufu, %10 ve %20 oranında da pomza kullanılmıştır. Numunelerin 7, 28, 180 günlük basınç dayanımı; 28 günlük numunelerin permeabilite ve aşınma değerleriyle birlikte 60 günlük sülfat dayanımlarının yanı sıra SEM (elektron mikroskop) taramaları incelenmiştir. Deneyler sonucunda yüksek fırın cürufunun dayanıklılık ve dayanım üzerinde olumlu etkisi bulunurken, mineral katkıların ikili ve üçlü hallerde kullanımının tek başlarına kullanımı sırasındaki eksikleri telafi ettiğini belirlemişlerdir.

Gürbüz (2013), %10, %20 silis dumanı ve %0.4, %0.8 çelik tel katkılı betonlar üzerinde, 0 g/L, 15 g/L, 30 g/L sodyum klorürlü (NaCl) ortamlarda çalışılarak üretilen numuneler üzerinde işlenebilme (VeBe) ve birim ağırlık deneyleri yapmıştır. Çelik tel ve SD katkılı betonlarda 28 ve 91. günlerde yapılan yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneylerine göre; katkıda çelik tel oranı artışıyla işlenebilmenin ters orantılı olduğu, numunelerin tuzlu sulu kürlerde 28 günlük basınç dayanımının 91 güne kıyasla daha yüksek ve SD'nin tuzlu ortamda bekleyen beton dayanımına pek etkisi olmadığı, tuzlu su ihtivalı 28 günlük numunelerde çekme dayanımının 91 günlüklere göre daha yüksek olduğu ayrıca tuzlu suya maruz betonlarda çekme dayanımının azaldığı, çelik tel oranının artışıyla eğilme dayanımının da artış gösterdiği ve tuzlu su ortamında 91 günlük dayanımları ölçüldüğünde

korozyon sebepli azalma olduğu bulunmuştur. Deney boyu kırılma düzlem hattında çatlak oluşup yayılmasını çelik telin engellediği görölmüştür.

Durgun (2015), %20 zeolit ve diatomit ikameli betonlarla, katkısız (referans) beton bünyesindeki nervürlü donatıları 1 M HCl asit ve 0.5 M H₂SO₄ içerisinde korozyona uğratarak 240 gün süresince 10 günlük periyotlarda EIS (Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi) yöntemiyle ölçümler yapmıştır. Ölçümler sonucunda %20 zeolit katkılı betonun %20 diatomit ikameli beton ve referans betona göre beton ve donatı direnci açısından daha dayanımlı olduğu görölmüştür. Buradan diğerlerine oranla daha az korozyona uğradığı ve katkıların betondaki gözenekli yapıyı zamanla azalttığından donatıdaki korozyonun referans numuneden daha az olduğuna ulaşılmaktadır. Ayrıca beton numune ve içerdikleri donatının HCl ortamında H₂SO₄ ortamına kıyasla daha fazla değişim gösterdiğini tespit etmiştir.

Barış (2016), yaptığı çalışmada Datça bölgesinden eldesi sağlanan doğal puzolanla (volkanik tüf) kireç karışımından elde edilen bağlayıcının; mukavemet gelişiminde düşük sıcaklıkla buhar basınçlı otoklav kürü koşulları etkisi, bölücü duvar malzemesi olarak kullanılabilirliğinin anlaşılması açısından incelemiştir. Kür süresinin su buharı basıncı ve farklı sıcaklık etkisini kıyaslarken numuneler, ortam koşullarında, etüvde su içinde ve otoklavda kürlenmiştir. Karışımında optimum üretim koşulunun otoklavda 70°C sıcaklıkta 6 saat kür olduğunu tespit ettiklerinden, bu koşulda üretilecek bölücü duvar bloğunun yapılarda tuğlaya alternatif olarak kullanılabilirdiği söylenmiştir. Etüv ve otoklav kür koşullarında 70°C'den yüksek sıcaklıklarda harcın fiziksel-mekanik özelliklerinin bozulduğu ve otoklav kürünün etüv kürüne göre 18 kat fazla elektrik enerji tasarrufu sağladığı gösterilmiştir. Yine Datça toprağı ve sönmüş hidrate kireçten üretilen bu puzolanik karışımla tarihi yapılarda kullanılan sıva ve derz harçları için gerekli özellikler sağlandığı tespit edilerek, tarihi yapılarda kullanım alternatifli olduğu bulunmuştur.

Balaneji (2017), dağılma, genleşme, çatlama gibi sorunlara sebep olan sülfat saldırısının mineral katkılı betonlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çimento yerine %10, %20, %30 oranlarında yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve zeolit; %5, %10 ve %15 oranlarında da silis dumanı çimentoyla yerdeğiştirilerek üretilen beton numuneler üzerinde 28, 90 ve 180 günlük kür sonunda eğilme, basınç dayanımı ve birim ağırlık

deneyleri gerçekleştirmiştir. Hazırlanan örneklerde 28 gün kür sonunda 100g/l sülfatlı (Na_2SO_4) suda 90-180 gün aralığında sülfata maruz bırakılıp ASTM C 1012'ye uyarak sülfat testleri yapmıştır. Sonuç olarak, %5 SD katkılı betonlar sülfata karşı en etkili grup bulunmuştur. Zeolit katkılılarda durum; basınç dayanımıyla birlikte sülfat içeren ortamda dahil en iyi %10 zeolit ikameli grup olmuş ve değer %30'a çıktığında dayanımda azalma görülmüştür. Zeolit katkı eğilmede, düşük oranlarda olumluyken, ikame değeri arttıkça sülfat etkisinde kontrol grubuna göre daha düşük dayanımlı bulunmuştur.

Orhan (2018), yaptığı deneysel çalışmada, çelik liflerin beton ve donatı arasındaki aderansa etkisini incelemek amacıyla; iki ucu kancalı ve 60mm uzunluklu çelik lifleri hacimsel olarak %0.00(lif katılmayan), %0.25, %0.50 ve %1.00 oranlarında kullanıp beton üretiminde kullanılan diğer maddeleri sabit tuttuğu iki farklı su/çimento oranına sahip karışımlar hazırlamıştır. Elde ettiği karışımlara 10mm çaplı nervürlü demir donatı çubuklarını düşey olarak 5cm, 10cm ve 15cm boylarında sabitleyerek gömmüş, 28 günlük kür şartlarında bekleyen numuneler üzerinde çekip-çıkarma (pull-out) deneyleriyle aderans etkisini incelerken, donatı çubukları gömülmeyen numuneler üzerinde basınç deneyleri uygulamıştır. Deneyler sonucunda, genel olarak beton karışımlarda aderans boyunun uzaması aderansı olumlu yönde etkilemiş, %0.25'ten %1.00 hacimsel orana artan çelik liflerin basınç dayanımını artırmış olduğunu ortaya koymuştur. Fakat bu dayanımın çelik lif olmayan numunelerde daha yüksek olduğu görülürken, liflerin çatlak önlemede daha etkin olduğunu da vurgulamaktadır.

Ağaca (2019), çalışmada korozyon karşıtı önlemlerden geçirimsiz kimyasal katkıları iki adet yapısal geçirimsiz, iki adette yüzeysel geçirimsiz katkı kullanarak üretilen 9 seri numunede basınç dayanımı, elektriksel iletkenlik, hızlandırılmış korozyon deneyleri, hızlı klor geçirimliği ve mineralojik-morfolojik analizlerle incelemiştir. Sonuç olarak, su itici özellikli katkıların beton dayanımını biraz düşürdüğü, buna kıyasla kristalize ürün oluşturan katkıların daha etkili olduğu da görülürken, korozyon riski çimento esaslı yüzeysel katkılarda orta, yapısal katkılarda %2, bitüm esaslı katkılarda ihmal edilebilir seviyede olduğu bulunmuş ve tüm serilerin boşluk oranını azaltmada etkili olduğu da görülmüştür. Sonuç olarak, yüzeysel ve

bitüm esaslı katkıların geçirimsiz beton uygulamaları için daha avantajlı olduğunu vurgulamıştır.

Duysak (2019), 4mm ve 6mm kalınlıklı çelik levha numunelerde korozyon oluşumunu, eksenel çekme yükü etkisi altındaki davranışlarından yola çıkarak incelemiştir. Deney numuneleri üzerinde akma dayanımları ve akma birim uzamaları, maksimum çekme dayanımları ve maksimum gerilmeleri, çekme dayanımlarıyla maksimum eksenel çekme kuvvetleri ve kopma uzamalarını irdelemiş sonuçta korozyon açısından bu parametrelerde hep olumsuz etki görülmüştür. Sonuç olarak bulonlu birleşimlerin referans numunelere göre korozyona en dayanıklı tür olduğu tespit edilmiştir.

Uzbaş (2019), çimento yerine değişik oranlarda silis dumanı ve uçucu kül kullanarak betonun mekanik özelliklerine ve hidrasyon ürünlerine (C, H, CH, S) etkilerini incelemiştir. Portland çimentosu yerine %5, %10, %15, %20 oranlarında silis dumanı, uçucu kül, silis dumanı+uçucu kül ve maksimum dane çapı 16mm olan agrega kullanırken; bu numunelerin mikro yapılarını X- ışını kırınımı (XRD) ile incelemiş, uçucu kül, silis dumanı ve ikili kombinasyonunun kullanıldığı durumlarda numunelerdeki C-S-H oranının arttığını, betona uçucu kül eklendiğinde ise 7 günlük dayanımın düşükken 28 ve 90 günlük kürlerde basınç dayanımının arttığı belirlemişlerdir. Silis dumanı ve silis dumanı+ uçucu kül kullanılan tüm yaşlarda basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçta, erken yaş şartı olmayan durumlarda çimento yerine %10 oranlı uçucu külün ve erken dayanımda dahil tüm yaşlardaysa silis dumanı ve bunların ikili karışımının kullanılması katkısız betona göre daha avantajlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Portland Çimentosu

Doğada bulunan kil ve kalker taşının uygun oranlarda karıştırılıp, döner fırınlarda yüksek sıcaklıklarda ısıtıldıktan sonra öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcı türüdür. Birkaç çeşidi olmasına rağmen en yaygın olarak bilinen ve kullanılanı gri renkli olandır. Portland çimentosu her çeşit harç ve beton imalinde kullanılabilir. kullanılabilmektedir.

Deneysel çalışmada CEM I 42.5 R tipli portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento, Ünye Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir. TS EN 197-1 standartına uygun olarak üretilmiş olan Portland çimentosunun (PÇ) fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Portland Çimentosu Özellikleri (PÇ)

Kimyasal kompozisyon	Ağırlıkça (%)	Fiziksel ve mekanik özellikler			
SiO ₂	19.68	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	3.11		
Al ₂ O ₃	5.37	Priz başlangıç süresi, (dk.)	162		
Fe ₂ O ₃	3.36	Priz sonu süresi (dk.)	268		
CaO	62.57	Hacim genleşmesi, mm	1.00		
MgO	0.96	Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3313		
SO ₃	2.70	Basınç dayanımları	2.gün	7.gün	28 gün
Kızdırma kaybı	4.14	(MPa)	32.10	41.30	48.70

4.1.2 Doğal Zeolitler

Çalışmada doğal zeolit türlerinden analsim ve klinoptilolit kullanılmıştır. Analsim; Ordu-Perşembe, klinoptilolit; Manisa-Gördes bölgesinden temin edilmiştir. Şekil 4.1'de kullanılan analsim ve klinoptilolit numunesi örneği verilmiştir.



Şekil 4.1 Analsim ve Klinoptilolit Numunesi Örneği

4.1.3 Agregalar

Beton dayanımında doğrudan etkili olan, beton hacminin yarısından büyük payını kapsayan malzemelerin genel adıdır. Tanecik boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. İnce taneli olanlar kum, kırma kum; daha kaba tanecikleri olanlar çakıl ve ya kırmataş olarak adlandırılmıştır. Agregalarda,

- Homojen, dayanıklı ve sert olmaları
- Zayıf taneler içermemeleri
- Basınç ve aşınmaya mukavemetli olmaları
- Yassı ve uzun tanecikler içermemeleri (Genel olarak yuvarlak tanecikli olmaları aranmaktadır).
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleri gibi özellikler aranır.

Kullanılacak agregalarda kalite sürekliliği devamı amacıyla; özgül ağırlık, su emme, elek analizi, yassılık gibi deneyler belli aralıklarda yapılmalıdır. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır. Çalışmada kullanılacak agregalar elek analizinden önce etüvde kurutuldular (Şekil 4.2). Etüvden alındıktan bir süre sonra soğuyan agregalar, deneyde kullanılması gereken boyutlara göre büyükten küçüğe sırasıyla uygun şekilde dizilerek sınıflandırıldılar. Sınıflandırmanın yapıldığı elek takımı ve sınıflandırılmış agrega numunelerinden bir görünüm Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2 Agregaların Kurutulmasında Kullanılan Etüv



Şekil 4.3 Elek Analizinde Kullanılan Elek Takımı ve Sınıflandırılmış Agregalar

Ordu Altaş Hazır Beton tesislerinden temin edilen agregalar 0-4mm (ince) ve 4-16mm (iri) olarak ebatlandırılmıştır. İnce agrega yüzdesi %45, iri agrega yüzdesi ise %55 olarak kullanılmıştır.

4.1.4 Karışım Suyu

Karma suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidrasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. Karma suyu, taze beton ve sertleşmiş betonun özelliklerini etkileyecek konumda olduğundan hassas bir malzemedir. Kullanılacak su mümkün olduğunca temiz ve içinde zararlı etki gösterecek boyutta sülfat, asit, organik madde, klorür, silt, kil gibi malzemeler bulundurmamalıdır.

Karma suyu gerektiğinden fazla kullanıldığı durumda beton bünyesinde oluşacak boşluklar artacak dolayısıyla da dayanım ve beton durabilitesi azalacaktır.

Genel olarak karma suyu; çimento ve agregayla birlikte betonun karılmasında karışım suyu, yerine yerleştirilen taze betonun yüzeyine uygulanarak bakım suyu, kullanılacak agreganın temiz olmasını sağlamak amacıyla yıkama suyu olarak kullanılmaktadır. Çalışmada Ordu ili, şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.5 Süper Akışkanlaştırıcı

Betonun özelliklerini geliştirmek ve işlenebilirliği artırmak amacıyla üretim sırasında ya da öncesinde transmiklere ilave edilerek kimyasal ve mineral katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Süper akışkanlaştırıcılar sayesinde su/çimento oranı azaldığından beton kıvamı için kullanılması gerekli su miktarı da azalmaktadır. Su azaltıcı etkisi sayesinde betonun su geçirimsizliğini artırırken, büzülme ve sünmeyi de azaltmaktadır.

Deneylerde beton numunelerin üretiminde, LYKSOR firmasından temin edilen TS EN 934-2+A1 beton kimyasal katkıları standardına uygun, polikarboksilat esaslı, kod adı LEXP 1172 olan yüksek oranda su azaltıcı türde beton kimyasal katkısı kullanılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcıya ait bir görünüm Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Kullanılan Süper Akışkanlaştırıcı

4.1.6 Donatı

Betonda; basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen çekme kuvvetlerini karşılamada yetersiz kaldığından dolayı çatlamlar ve yer yer kırılmalar oluşmaktadır. Betonun bu eksikliğini kapatmak amacıyla çekme bölgelerine boyuna donatı ve etriye olarak adlandırılan çelik çubuklar yerleştirilmektedir. Betonarmede kullanılan ve yapı çeliği olarak anılan donatılardan beklenen performans özellikleri TS 708 standardıyla belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan donatıya ait özellikler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2’ye göre S420 donatısı, dişli olarak anlatılan nervürlü yapıya sahiptir. Bu özellik sayesinde beton ve donatı arasında kenetlenmeyi (aderansı) sağlayarak, betonarmenin görevini yerine getirmesini sağlamaktadır. Aderans deneylerinde Ø20 nervürlü S420 yapı çeliği kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 Çalışmada Kullanılan Donatıya Ait Özellikler

Tip	Nervürlü
Sınıf	S420
Akma dayanımı (en az) R_e (N/mm ²)	420
Çekme dayanımı (en az) R_m (N/mm ²)	500

4.2 Yöntem

Tez çalışmasında; Ordu/Perşembe’den elde edilen analsim ve Manisa/Gördes’ten temini sağlanan klinoptilolit doğal zeolitleri ile, %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ağırlıkça çimentoyla yer değiştirilerek analsim ve klinoptilolit içeren katkılı çimentolarla beton numuneler ve betonarme numuneler üretilmiştir.

Beton numuneler üzerinde; fiziksel özellikler (DKY, Kuru birim hacim ağırlıklar ve su emme) (7 seri), kılcal su emme (7 seri), ultrasonik ses geçiş hızı (UPV) ve basınç dayanımları (7 seri) ölçümleri gerçekleştirilirken, betonarme numunelerde; hızlandırılmış korozyon yöntemi ile korozyon oluşturularak, korozyon akımı ölçümü (mA), yarı hücreli potansiyel ölçüm yöntemi ile korozyon (mV) değerleri ölçümü, farklı (120 güne kadar) kür sürelerine karşılık gelen korozyonlu (7+7+7=21 seri) ve korozyonsuz (7+7+7=21 seri) deney numuneleri üzerinde de aderans deneyleri olmak üzere toplam 63 deney serisi ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar önce kendi aralarında daha sonra da birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Deneyler Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yapı ve Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 Kullanılan Malzemelerin Karakterizasyonu

Deneylerde kullanılan klinoptilolit numunesi Gördes Zeolit Madencilik San. ve Tic. A.Ş. firmasından istenilen incelikte öğütülmüş olarak temin edilirken, analsim numunesi ASTM C 430 standard gereğince 45- μ m incelik parametrelilikten yaklaşık %80'i geçecek halde bilyalı değirmende öğütülerek kullanılmıştır.

Analsim ve klinoptilolit numunelerinin kimyasal kompozisyonları X-Rays Fluorescence Spectrometer (XRF) analiz yöntemi ile tayin edilmiştir.

4.2.2 Puzolanik Aktivite Deneyleri

Puzolanik aktivite deneyleri TS 25' e uygun gerçekleştirilmiştir. Standarda göre, gerçekleştirilen deneylerle; belli incelikte öğütülmüş puzolan, su ve kalsiyum hidroksitle karıştırıldığında elde edilen harcın basınç dayanımı değeri ile tespiti sağlanan hidrolik özellik puzolanik aktiviteyi belirlenmektedir. Puzolanik aktivitenin bulunması amacıyla Kılınçkale kimyasal deneyler yaparken su ve puzolanlı çimentoyu karıştırıp bir haftalık süreçte 40°C sıcaklıktaki etüvde kurutmuş haftanın sonunda çözeltinin CaO ve OH⁻ değerlerini ölçmüştür (Kılınçkale, 1996).

Çizelge 4.3'te verilmiş olan malzeme miktarları kullanılarak numuneler üretilmiştir. Numunelerde buharlaşma kaybı olmaması amacıyla kalıpların üzerine cam plakalar yerleştirilerek 24saat süresince (23± 2)°C oda sıcaklığında bekletilmiştir. Süre sonunda (55±2)°C sıcaklık ayarlı etüvde 6 gün daha bekletilmiş ve oda sıcaklığına gelene kadar etüvden çıkardıktan sonra soğuması beklenilmiştir. İstenilen sıcaklığa ulaşan numuneler üzerinde TS EN 196-1 standardı baz alınarak basınç dayanımı tayin testi yapılmıştır.

Çizelge 4.3 Puzolanik Aktivite Değerlerinde Kullanılan Malzeme Miktarları

	TS 25	Miktar	
		Klinoptilolit	Analsim
Sönmüş Kireç (CaOH ₂)	150 g	150 g	150 g
Puzolan	2x150x(puzolan öz.ağ. / (CaOH ₂) öz. ağ. (g))	2x150x(2.11/2.15)=294.42 g	2x150x(2.28/2.15)=318.14g
Standart Kum	1350 g	1350 g	1350 g
Su	0.5x(150+puzolan) (g)	0.5x(150+294.42)=222.21 g	0.5x(150+318.14)=234.07g

4.2.3 Agrega Deneyleri

Beton üretiminde malzemelerin kullanım amacına uyup uymadığı deneylerle belirlenmektedir. Bu tez çalışmasında agregalar üzerinde su emme oranı ve agregalar birim hacim ağırlıklarını belirleyen deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.2.3.1 Agrega Özgül Ağırlıkları ve Su Emme Oranı

Beton dayanımında kritik derecede önemli olan su/çimento oranı, agreganın su emme oranını da önemli bir hale getirmiştir. Bu sebeple karışım hesabı yapılırken agreganın sahip olduğu yüzey nem miktarının karışım suyundan çıkarılarak işlem yapılmasına özen gösterilmiştir. Deneysel çalışma sırasında TS EN 1097-6 standardı gereğince özgül ağırlık ve su emme oranları tespit edilmiştir.

4.2.4 Beton Numuneler Üzerinde Gerçekleştirilen Deney Yöntemleri

Gördes ve Perşembe'den eldesi sağlanan doğal zeolitler beton üretiminde mineral katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. %0, %10 (düşük), %20 (orta), %30 (yüksek) yer değiştirme oranlarında olmak üzere analsim ve klinoptilolit içeren katkılı çimentolardan üretilmiş olan beton numuneler üzerinde su emme, kılcal su emme, fiziksel özellikler, basınç dayanım testleri ve upv gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üretilmiş olan betonarme numuneler üzerinde ise hızlandırılmış korozyon, korozyon hızı ölçme, yarı hücreli potansiyel ölçüm, korozyonlu ve korozyonsuz olacak şekilde aderans ölçümleri yapılmıştır.

4.2.4.1 Betonların Bileşimi ve Karışım Oranları

Numunelerin üretimi mutlak hacim yöntemi ile TS 802 standardı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Buna göre mutlak hacim bulunurken:

W_a : Agregatın ağırlığı,

W_c : Çimento kütlesi,

V_w : Su hacmi,

V_h : Hapsedilmiş hava miktarı,

γ_a : Agregatın özgül ağırlığı,

γ_c : Çimento özgül ağırlığını göstermek üzere;

$$V_a = \frac{W_a}{\gamma_a} = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (4.1)$$

Bağıntısıyla kurulmuştur. Agregalar, farklı granülometriye sahip olduklarından her birinin kütlesi de farklı olacaktır ve agregaların kütlece oranı (β_i) ile doymun kuru yüzeyli özgül ağırlığı (γ_{ai}) (4.1) bağıntısı yerine,

$$\sum_{i=1}^n \left(\beta_i \frac{W_a}{\gamma_{ai}} \right) = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (4.2)$$

bağıntısıyla daha hassas bir şekilde hesaplanabilmektedir.

Bu bağıntıdan yola çıkarak, hesaplanan toplam agregatın kütlesi her bir agregat sınıfının kütlece oranıyla çarpılarak ($W_{ai} = \beta_i \cdot W_a$) her sınıf agregat kütlelerine ulaşılmaktadır. Ulaşılan kütle değerleri doymun kuru yüzeyli agregat kütlesini belirtmektedir. Yüzey nemi durumundaki agregat kütlesini bulmak için ise,

$$DS = (SE - DN) \gamma_a \quad (4.3)$$

bağıntısı kullanılır. Bu ifadede bulunan;

DS: Agregatın doymun suyu miktarı

SE: Kütlece su emme oranı

DN: Doğal nem oranıdır.

(4.3)'teki bağıntıyla hesaplanan doymun suyu miktarını (kg/m^3), (4.2)'deki W_a değerinden çıkarıp her bir agregat sınıfı için hesaplanması gereken doymun suyu miktarı sebebiyle, toplam doymun suyu miktarı,

$$DS = \sum [(SE)_i - (DN)_i] \cdot W_{ai} \quad (4.4)$$

bağıntısıyla hesaplanmalıdır (Akgün, 2003).

Bu hesaplamalardan yararlanarak hazırlanan beton karışım oranları Çizelge 4.4' te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Beton Karışım Oranları

Beton Karışımları (kg/m ³)	PC	C10	C20	C30	A10	A20	A30
Portland Çimentosu	350	315	280	245	315	280	245
Zeolit	-	35	70	105	35	70	105
Su				175			
Doyma Suyu				17			
Toplam Agregası	1750.37	1736.12	1721.87	1707.60	1739.21	1728.05	1716.88
Akışkanlaştırıcı	2.8	3.15	3.50	3.85	3.15	3.50	3.50

4.2.4.2 Betonların Üretimi ve Saklama Koşulları

Betonlar üretilirken (Şekil 4.5)' de verilen 56 litre karıştırma kapasitesine sahip düşey eksenli (Pan tipi) betoniyerden yararlanılmıştır.

Betoniyer, kullanımdan önce ıslatılıp kalan su fazlası alınarak veya ıslak bezle silinerek nemlendirilmiştir. Üretim öncesi tartılarak hazırlanan her sınıf agrega ve doğal zeolit betoniyere yerleştirilerek 3 dakika karıştırılıp süre sonunda eklenen çimentoyla beraber 3 dakika daha karıştırılmıştır. Homojen karışım sağlamak amacıyla betoniyer çalışmaya devam ederken uygun miktarda süperakışkanlaştırıcı karma suyuna ilave edilerek eklenmiş ve 3 dakika daha karıştırmaya devam edilmiştir.



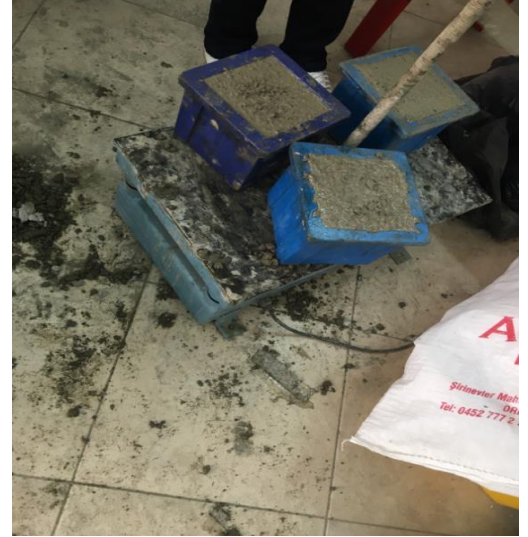
Şekil 4.5 Düşey Eksenli (Pan tipi) Betoniyer

Hazırlanan her bir beton karışımından basınç dayanımı, hızlandırılmış korozyon, aderans ve su emme deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanan numuneler üretilmiştir. Hazırlanan numuneler 15x15x15 cm boyutlarında standart küplerdir (Şekil 4.6). Korozyon ölçümü için üretilen 15x15x15cm boyutlu küp numuneler içerisine Ø20'lik 45cm boya sahip donatılar küp numunede tam ortaya gelecek şekilde boyunun 15cm'lik kısımları beton içerisine gömülerek lolipop beton numuneler üretilmiştir. Döküm öncesinde kıvamı belirlemek amaçlı her seriye ait karışımların Slump (çökme) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre, karışımların slumpları ortalama 7-8 cm'dir. Kalıplara yerleştirilen taze beton karışımları sarsma tablası yardımıyla sıkıştırılmıştır (Şekil 4.7).

Dökümün üzerinden 24 saat geçtikten sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Numuneler ilgili deneylerine ait olarak kür havuzuna ve NaCl çözeltili havuzlara yerleştirilerek deney gününe kadar bekletilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.6 Kalıplara Yerleştirilmiş ve Epoksi Koruması Yapılmış Numunelerden Görünüm



Şekil 4.7 Numunelerin Sıkıştırılmasında Kullanılan Sarsma Tablası



Şekil 4.8 Numunelerin Kür Havuzundaki Saklanma Koşulları

4.2.4.3 Slump (Çökme) Deneyi

Üretilen taze betonun işlenebilirliği slump (çökme) deneyleri ile belirlenmektedir (Şekil 4.9). Slump deneyinde kıstas TS EN 12350-2 standartlarıdır. Deney aleti; metal bir taban, ölçüm için metre, lastik tokmak, şişleme yapmak için çubuk, çökme hunisi ve tesviye yapabilmek amaçlı malayla birlikte numuneyi huniye yerleştirme amaçlı kürekten oluşmaktadır.

Deney yapılırken kullanılacak numune el arabası içerisinde deneye başlanmadan önce homojen duruma gelmesi için tekrar karıştırılmıştır. Düz yüzeye yerleştirilen metal tabanın üzerine 10cm üst taban çapına sahip, alt taban çapı 20cm ve 30cm yüksekliği olan huninin geniş tabanı alta gelecek biçimde yerleştirilmeden önce herhangi bir kayıp olmaması açısından huni nemli bezle silinmiştir. Ayak basma yerlerine basılarak sabitleştirilen huninin 3'te 1'ini dolduracak miktarda beton içerisine konularak şişleme çubuğu yardımıyla 25 kez şişlenmiştir. Ardından huninin 3'te 2'sinin dolmasına gerekli miktarda beton doldurulup tekrar 25 kez şişleme işlemi yapılmıştır. Geride kalan 3'te 1'lik kısmı da dolduracak miktardaki beton konularak son kez 25 defa şişleme yapılmıştır. Huni üzerindeki kalan beton mala yardımıyla alınıp yüzey tesviyesi yapılmış en son huninin tutma yerlerinden tutup sabit hızda yukarı çekilmiştir. Huni ters çevrilip yığılı kalan betonun yanına konularak üzerine de şişleme çubuğu yerleştirilmiştir. Çubuğun bir ucunun betonun üzerine gelmesi sağlanıp bu çubuk ve yığılı kalan beton üst yüzeyinin arasında kalan yükseklik mesafesi bizi betonun çökme değerine ulaştırmıştır. Bu değer ne kadar büyükse yani beton ne kadar çöktüyse işlenebilirlik o oranda fazla olmaktadır.



Şekil 4.9 Taze Betonun İşlenebilirliğinin Tespitinde Kullanılan Slump Deney Seti

4.2.4.4 Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Deneyleri

Kalıplarından çıkarılan beton numuneleri 28 gün suda kürlendikten sonra suya doygun kuru yüzeyli (DKY) ve kuru özgül ağırlıkları tespit etmek için Şekil 4.10'da gösterilen özgül ağırlık sehpası kullanılmıştır.

Birim hacim ağırlık hesaplaması yapılırken numuneler deney öncesi tartılarak değerleri hesap edilmiştir. Su emme oranı tespitinde etüvden çıkarılan numunelerin yüzeyleri kurularak, etüv kurusu ağırlığı ise 24 saat, $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilerek belirlenmiştir.



Şekil 4.10 Özgül Ağırlık Sehpası

4.2.4.5 Kılcal Su Emme Deneyi

Betonun klorür difuzyonunu etkileyen fiziksel özelliklerin başında, geçirimsizlik özelliği geldiği bilinmektedir. Bu çalışmadaki zeolit katkılı betonların geçirimsizliğinin belirlenmesi amacı ile 28 günlük beton numuneler üzerinde kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Böylelikle, betonun geçirimsizliğine zeolit oranının etkisi incelenmiştir.

Bu deneyi gerçekleştirmek için kurulan düzenek ASTM C1585 standartlarına uygundur. Deney gerçekleştirilirken belirli kür süreleri sonunda numuneler havuzdan alınmış ve etüvle tamamen kurutulmuştur. Numuneler sadece alt bölgesinden su alacak şekilde diğer yüzeyleri epoksiyle kaplanarak o bölgelerden su alması engellenmiştir. Bu haliyle kuru ağırlıkları ölçülüp not alınmış ve taban yüzeyleri suyla temas edecek halde kaplara yerleştirilmiştir (Şekil 4.11). Belirli aralıklarla (5, 10, 20, 30, 45, 60 ve

1440 dakika) sudan çıkarılarak hassas teraziyle ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir. Aşağıdaki bağıntı yardımıyla kılcallık katsayıları hesaplanmıştır.

$$\Delta Q / A = kx\sqrt{t} \quad (4.5)$$

Denklemden verilen;

ΔQ : Numunenin ağırlık değişimini (g)

A: Numunenin su ile temas eden yüzey alanını (cm²)

k: Kılcallık katsayısı

t: Deney başlangıcından son okumaya kadar geçen süreyi (dk) göstermektedir.

Elde edilen bulgular ile yatay eksene deney süresince tartım yapılan zamanların karekökü, düşey eksene de emilen su miktarının numunenin suya değen kesit alanına bölümü işaretlenerek grafik çizilip grafikte oluşan eğrinin eğimi kılcallık katsayısı olarak belirlenmiştir.



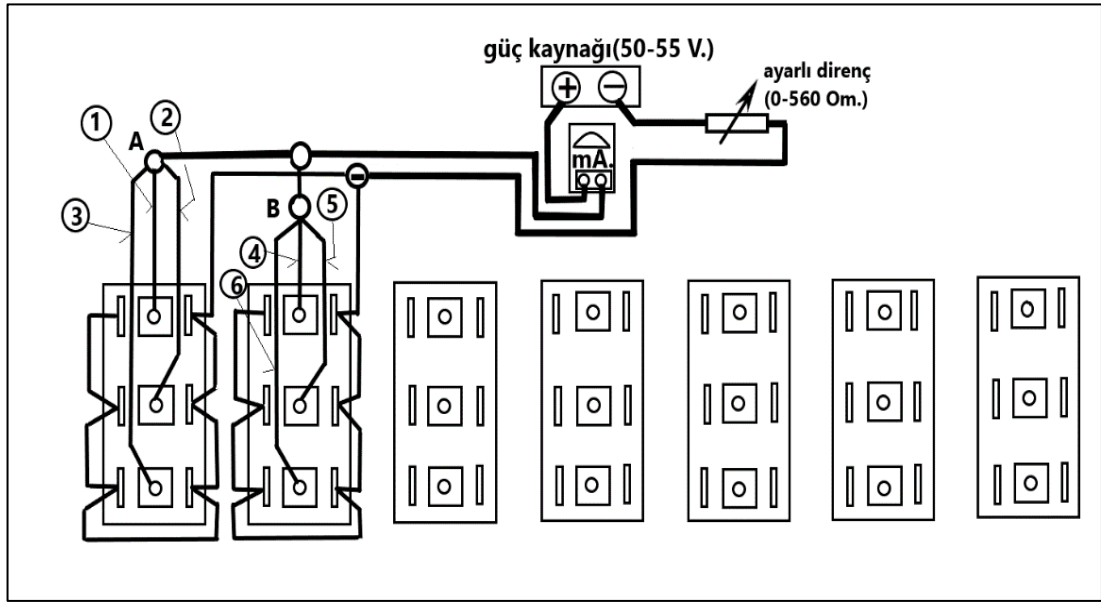
Şekil 4.11 Kılcal Su Emme Deneyi

4.2.4.6 Hızlandırılmış Korozyon Deneyi

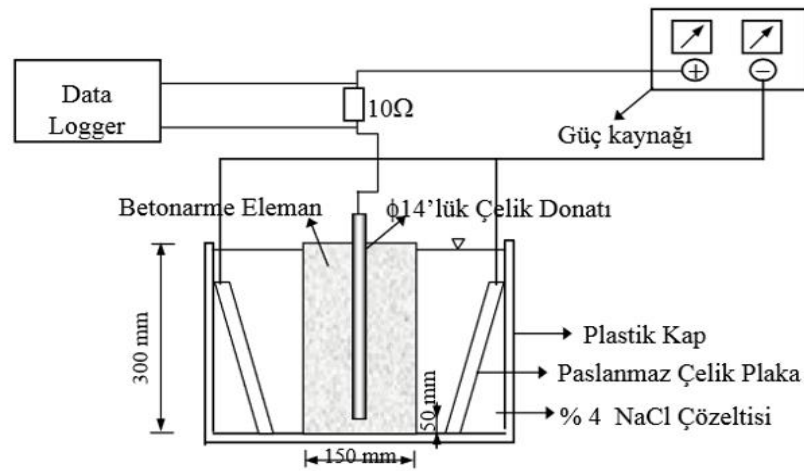
Korozyon hasarını etkileyen en önemli parametrelerden biri betonun elektriksel iletkenliğidir. Hızlandırılmış korozyon deneyi ile zamanla beton içinden geçen akım miktarı ölçülerek, farklı zeolit türü ve yer değiştirme oranlı beton karışımlarının performanslarının dolayısıyla geçirimsizlik özelliklerinin karşılaştırılması sağlanmıştır.

Hızlandırılmış korozyon deneylerini gerçekleştirmek üzere 150x150x150mm ebatlı küp beton numunelerin üretim esnasında içlerine Ø20'lik 450mm uzunluğa sahip donatıların 150mm'lik bölümleri yerleştirilmiş ve 150x450mm boyutlu lolipop beton olarak adlandırılan numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin kür havuzuna

yerleştirilmeden önce alt ve üst yüzeyleriyle birlikte atmosfere açık halde kalan donatı yüzeyleri de numune dökümünden 24 saat sonra epoksiyle kaplanmış ve su havuzuna yerleştirilerek kürlenmesi sağlanmıştır. Kürlenmiş numuneler hazırlanan deney düzeneğine kısmi olarak daldırılıp 28, 90 ve 120 günlerde korozyon miktarları ölçülmüştür. Deney düzeneğine ait bu tez çalışmasındaki laboratuvarında kurulmuş işleyiş şeması ve her bir numuneye ait detay şeması Şekil 4.12 ve 4.13'te verilmektedir.

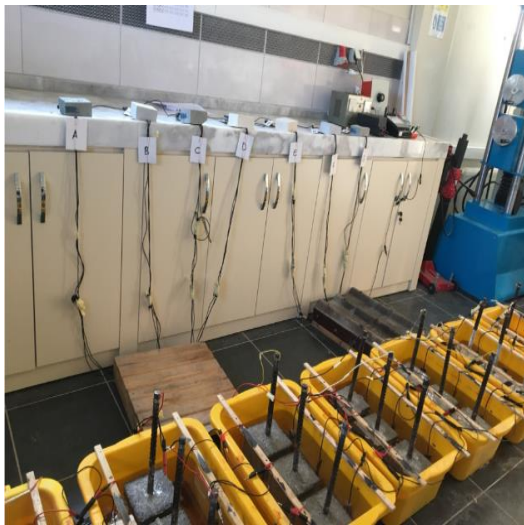


Şekil 4.12 Deney Düzeneği İşleyiş Şeması (1,2,3-CPC, 4,5,6-A10, 7,8,9-A20, 10,11,12-A30, 13,14,15-C10, 16,17,18-C20, 19,20,21-C30)



Şekil 4.13 Hızlandırılmış Korozyon Deney Düzeneği Detay Şeması

Donatının korozyon performansını ölçmek amacıyla yapılmış olan deneyde deney düzeneği; içerisine %5 NaCl solüsyonu, 6 adet paslanmaz çelik plaka ve 3 adet test numunesi bulunan bir plastik hazne, veri toplama-değerlendirme ünitesi, direnç ve doğru akım kapasiteli güç kaynağından oluşmaktadır. İçerisinde Ø20 donatı bulunan 150x450mm boyutlu lolipop test numunesi, içeriğinde %5 NaCl solüsyonu olan bir plastik hazneye yerleştirilmiştir. Şekil 4.14'te deney düzeneği fotoğrafları verilmiştir. Sistem, sabit voltajda gerilim uygulayan doğru akım kaynağının pozitif kutbu donatı ve negatif kutbu plakalar olacak şekilde kurulmuştur. Böylece donatı anot, plakalar katot ve NaCl çözeltisi elektrolit görevi görmüştür. Bu şekilde ölçümler yapılarak donatılardaki değişen korozyon akımları ölçülmüştür.

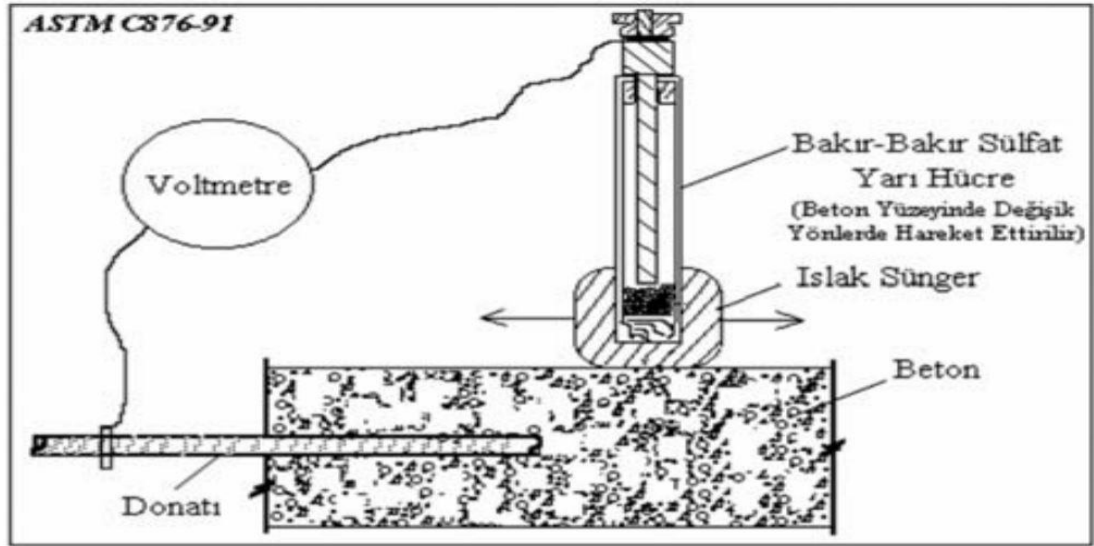


Şekil 4.14 Deney Düzeneği Fotoğrafları

4.2.4.7 Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Deneyi

Yarı hücreli potansiyel ölçüm yöntemi bu çalışmada üretilmiş olan deney serilerini tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olarak seçilmiştir. Betondaki donatının korozyonu elektrokimyasal bir süreç olup bilinen bir elektrot kullanılarak beton yüzey üzerinde bir potansiyel alan ölçümü yapılabilmektedir.

Çalışmadaki beton numunelerin korozyon potansiyel ölçümleri, Proceq marka, Canin (Corrosion Analyzing Instrument) olarak anılan korozyon analiz cihazı ile yapılmıştır. Cihaz, -999 mV to +340 mV aralığında ölçümler yapabilen ve 1mV hassasiyetlidir. Cihazın çalışma prensibi şeması Şekil 4.15’de verilmektedir.



Şekil 4.15 Bakır-Bakır Sülfat Yarı Hücre Devresi (ASTM C-876-91)

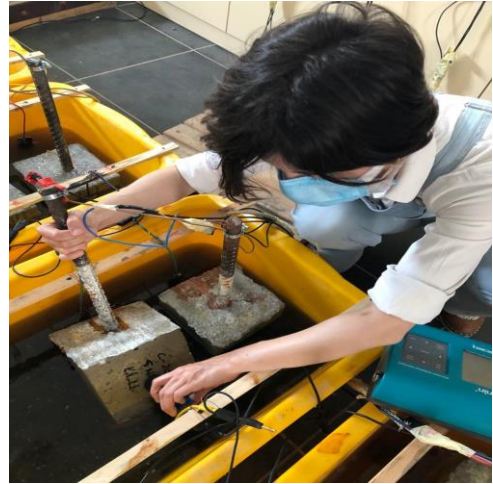
Numunelerdeki gömülmüş olan donatının yarı hücre korozyon potansiyelini incelerken hızlandırılmış korozyon deney düzeneğinden yararlanılmıştır. NaCl çözeltisindeki küp lollipop numuneler üzerinde, yüksek empedanslı bir voltmetre ve donatı potansiyeli Cu/CuSO₄ referans elektroduna göre ölçüm yapılmıştır.

Şekil 4.16’ daki elektrotun ıslak süngerli ucu beton yüzeyine yerleştirilirken diğer uç betondaki donatının temiz yüzeyine klamp ile tutturulmuştur. Bu şekilde elektro potansiyel direnç mV cinsinden saptanmıştır. Korozyon kriter değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 ASTM C 876'ya Göre Potansiyel Kriterleri

Bakır/Bakır Sülfat (CSE)	Kalomel Elektrot (SCE)	Korozyon Riski
$E > -200\text{mV}$	$E > -126\text{mV}$	Korozyon olasılığı %10
$-200\text{mV} > E > -350\text{mV}$	$-126\text{mV} > E > -276\text{mV}$	Korozyon belirgin değil
$E < -350\text{mV}$	$E < -276\text{mV}$	Korozyon olasılığı %90
$E < -500\text{mV}$	$E < -426\text{mV}$	Şiddetli korozyon hakim

Bu değerlere göre ölçüm -200mV potansiyel değerinden daha pozitif durumda bulunursa çelik pasif durumdadır. Donatıdaki yarı hücre potansiyel ölçümü -350mV değerinden daha negatif halde ise korozyon başlamıştır. Eğer ölçüm sonucu -200mV ve -350mV aralığında çıkarsa korozyonla alakalı net bilgi verilememektedir.



Şekil 4.16 Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Deneyi

4.2.4.8 Korozyon Ölçüm Deneyi

Bu yöntemle betona gömülü çelik donatılardaki korozyon ölçümleri deney süresince sisteme uygulanan bir fazlı tam dalga doğrultulmuş sabit değere sahip doğru gerilimin oluşturduğu her bir deney numunesinin direncine bağlı değişen akım değerleri ile yapılmıştır.

4.2.4.9 Aderans Deneyi (Pull-Out)

Aderans deneyleri, beton ve donatı arasındaki aderans kayıplarını yerdeğiştirme oranları ve zeolit tipine bağlı olarak belirlemek amaçlı yapılmış deneylerdir. Deney serileri bir seri korozyonlu diğer seri korozyonsuz olmak üzere düzenlenmiştir. Aderans deneyleri korozyonlu ve korozyonsuz numuneler üzerinde gerçekleştirilerek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, deney için, 150x150x150 mm boyutlu üretilen küp beton numuneler içerisine Ø20 nervürlü donatı 150mm kenetlenme boyu olacak şekilde yerleştirilmiştir. 600kN kapasiteli Üniversal çekme deney aleti kullanılarak donatıya merkezi yük uygulanmış ve betonla donatı arasındaki aderans kuvvetleri ölçülmüştür. Tüm numunelerde çatlama ve kırılma gibi hasarlar ve göçme anları gözlemlenmiştir. Maksimum yükte kırılmanın olduğu görülmüştür. Şekil 4.17'de deneylere ilişkin görünümeler verilmiştir.

Bu deneylere ait bulgular ile donatı ve beton arası aderans dayanımlarının (τ , MPa) hesabında aşağıdaki bağıntı kullanılarak (Aydın, 2012) belirlenmiştir.

Burada, τ : Aderans gerilmesi, \emptyset : Donatı çapı ve l : Aderans boyu (Betona gömülmüş donatı uzunluğu) göstermek üzere;

$$\tau = \text{Aderans Kuvveti} / \pi \times \emptyset \times l \quad (4.6)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.



Şekil 4.17 Aderans (Pull-Out) Deneylerine İlişkin Görünümler

4.2.4.10 Ultrasonik Ses Geçiş Hızları (UPV)

Beton numuneler üzerinde istenilen yaşlarda, şekilde verilmiş olan alettteki alıcı ve dalga gönderici (verici) probalar aracılığıyla ses üstü dalgaların beton içerisinden geçme hız ve sürelerini belirlemek amaçlı yapılmış tahribatsız muayene deney yöntemidir. ASTM C 597 standardı doğrultusunda gerçekleştirilen deneyde geçiş hızları m/sn, geçiş süreleri ise mikro saniye olarak lmlenmektedir.

Bu yöntemle betonun homojenliği, betondaki çatlak ve boşluklar gibi özellikler belirlenebilmektedir. Yine dalga ölüm özelliği sayesinde numunelerin dinamik elastisite modülleri ve poisson oranları hesaplanabilmektedir. Numune lmleri alınırken sensörlerin direk yöntem adı verilen karşılıklı olarak aynı hızda bulunmaları gerekmektedir. Ölüm yapılacak yüzey temiz olmasına dikkat edilmelidir. Numunelere sensörlerin tam temas etmesi ve dalga geçişinin sürekliliğini sağlamak için jel kullanılmaktadır (şekil 4.18).

Bu yöntem, basit olması ve ekipmanın kolay taşınabilirliği açısından hem sahada hem de laboratuvarında tercih edilen bir yöntemdir. Ancak, elde edilen bulguların tahrifatlı yöntemlerle de karşılaştırılması gereği daha doğru olacağı dşnlmektedir.



şekil 4.18 ölümlere Hazır Hale Getirilmiş Numune ve UPV lm Deney Anından Görünüm

4.2.4.11 Basınç Dayanımları

Basınç dayanımı deneyi için her bir karışımdan 15x15x15 cm boyutlarında hazırlanmış küp numuneler su küründen deney anı zamanlamaları ile çıkarılarak, oda koşullarında kuruması beklenmiştir. Daha sonra, TS EN 12390-3 (sertleşmiş beton deneyleri-deney numunelerinde basınç dayanımının tayini)'e göre 28, 60 ve 90 günlük yaşlarda deneye tabi tutulmuşlardır.

Numuneler tek eksenli basınç presine yerleştirilmeden önce yükleme başlık yüzeyleri temizlenmiş ve numuneler Şekil 4.19'da verilmiş olan otomatik kontrollü presin alt yükleme başlığı üzerine orta noktasına denk gelecek halde yerleştirilerek dayanım değerleri bulunmuştur. Yük, numune üzerinde darbe etkisi olmadan ve seçilmiş hızdan minimum sapma olacak şekilde en büyük yüke ulaşana kadar sabit hızda uygulanmıştır. Deney sonuçları her yaş için numunelerin ortalama değerleri alınarak kaydedilmiştir.

Basınç dayanım bağıntısı: $F_c = F / AC$ bağıntısıyla bulunmaktadır. (4.7)

F_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm²),

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N),

A_c : Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm²) (Aydın, 2012)



Şekil 4.19 Tek Eksenli Basınç Presi

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1 Portland Çimentosu, Katkılı Çimentolar ve Doğal Zeolitlerin Özellikleri

5.1.1 Fiziksel, Kimyasal Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan doğal zeolitlerden klinoptilolitin Blaine ve özgül ağırlık değerleri üretimini gerçekleştiren Manisa'daki Gördes Zeolit Madencilik San. ve Tic. A.Ş. firmasının deney sonuçlarından elde edilirken analsim numunelerinininki de aynı yöntemle Ünye Çimento A.Ş. malzeme laboratuvarında yapılan deney sonuçlarından elde edilmiştir. Agregata ve çimentonun özgül ağırlık özellikleri de yine tedarikçi firmalarca yapılan akredite özellikteki deney sonuçlarından alınmıştır (Çizelge 5.1).

Çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin fiziksel özellikleri ve temel bileşimlerini belirlemek amacıyla kullanılan XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi) analizi ile belirlenen kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.2'de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Fiziksel Özellikler

Fiziksel Özellikler	Zeolitler		Portland Çimentosu
	Analsim	Klinoptilolit	
Özgül ağırlık(g/cm ³)	2.28	2.11	3.11
Blaine inceliği (özgül yüzey alanı) (cm ² /g)	4780	4079	3313

Analsimin özgül ağırlığı, klinoptilolitin %8'i, blaine inceliği (özgül yüzey alanı) ise %17'si kadar fazladır. Portland çimentosuna karşı özgül ağırlık kıyaslaması yapıldığında, analsim % 27 ve klinoptilolit %32 daha azdır. Blaine inceliği açısından karşılaştırıldıklarında ise Portland çimentosuna göre analsimin %44 ve klinoptilolitin %23 daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 Doğal Zeolitlerin Kimyasal Kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon	Klinoptilolit (%)	Analsim(%)
SiO ₂	64.70	46.71
Al ₂ O ₃	11.21	17.24
Fe ₂ O ₃	1.38	9.21
CaO	2.08	3.03
MgO	0.79	5.29
NaO ₂	0.38	4.84
K ₂ O	3.78	4.08
Kızdırma Kaybı	11.80	7.00

Analsim ve klinoptilolit örneklerine ait mineralojik ve petrografik bulgulara göre; analsim örneğinin vitrik tuf sınıfında olduğu ve altere olmuş zeolit ve klorite dönüştüğü belirlenmiştir. Klinoptilolit örneğinin ise %80-85 oranında klinoptilolit minerali içerdiği tespit edilmiştir (Yazıcıoğlu, 2016; Yılmaz, 2018).

5.1.2 Zeolitlerin Puzolanik Aktiviteleri

TS 25' te, puzolanlar için uygunluk kriterleri tanımlanırken kireç-doğal puzolan karışımı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımı göz önünde bulundurularak, basınç dayanımının sınır değeri en az 4 MPa verilmiştir. Çalışmada kullanılan doğal zeolitler TS 25 standardına uygun puzolanik aktivite özellikleri göstermektedir. Puzolanik aktivite değerleri için yapılan testlerde, kireç-zeolit karışım numuneleri için ortalama basınç dayanımı değerleri, analsim için 6.30 MPa iken klinoptilolit için 9.02 MPa'dır.

Diğer taraftan, TS 25' teki bir diğer kriter, SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ toplamının kütle olarak en az % 70 olması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre, bu toplam değer çalışmada kullanılan analsim için %73.16 ve klinoptilolit için %77.3 olarak tespit edilmiştir.

Son olarak, aynı standarda göre, puzolanların özgül yüzeylerinin 3000 cm²/g'dan büyük olması gerektiği belirtilmektedir. Özgül yüzeyler, çalışmada kullanılan analsim için 4780 cm²/g ve klinoptilolit için 4079 cm²/g olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar çalışmada kullanılan zeolitlerin yüksek puzolanik aktiviteye sahip olup, bir puzolan olarak kullanılabilir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Çizelge 5.3'te doğal zeolitlerin puzolanik aktivite değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.3 Doğal Zeolitlerin Puzolanik Aktivite Değerleri (Yazıcıoğlu, 2016)

Puzolanik Aktivite Değerleri		
TS 25 limit değerleri	Klinoptilolit	Analsim
Kireç-puzolan karışımı 7 günlük basınç dayanımı > 4MPa	9.02MPa	6.30MPa
SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ ağırlıkça > %70	%77.30	%73.16
Blaine inceliği > 3000cm²/g	4079 cm ² /g	4780 cm ² /g

5.2 Agregaların Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranı

TS EN 1097-6 standardında istenilen özelliklere göre agregaların birim hacim ağırlıkları ve su emme oranları belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.4'te verilmektedir.

Çizelge 5.4 Agregaların Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranı

Agrega	Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm³)	Doğru Kuru Yüzey Birim Hacim Ağırlık (g/cm³)	Görünür Birim Hacim Ağırlık (g/cm³)	Su Emme Oranı (%)
Kaba Agregası	2.50	2.55	2.65	2.20
İnce Agregası	2.55	2.60	2.69	1.96

5.3 Beton Numunelerine Ait Bulgular ve Tartışma

5.3.1 Slump (Çökme) Deneyi

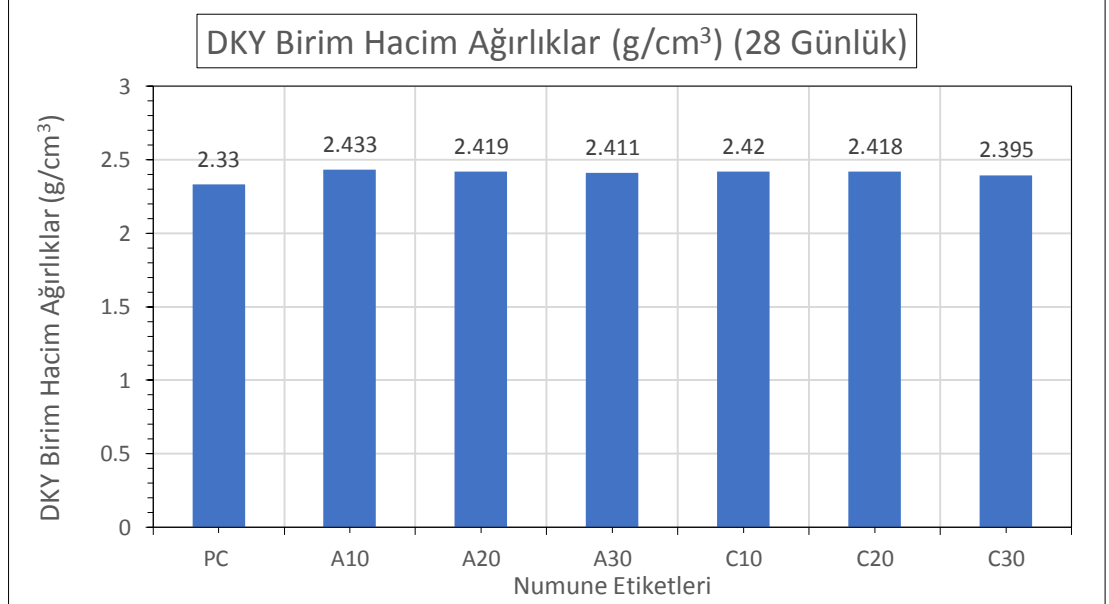
TS EN 12350-2 standartlarına uyularak beton karışım serileri kalıplara yerleştirilmeden önce gerçekleştirilen slump deneyi sonuçları 7-8 cm' dir.

5.3.2. Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranları

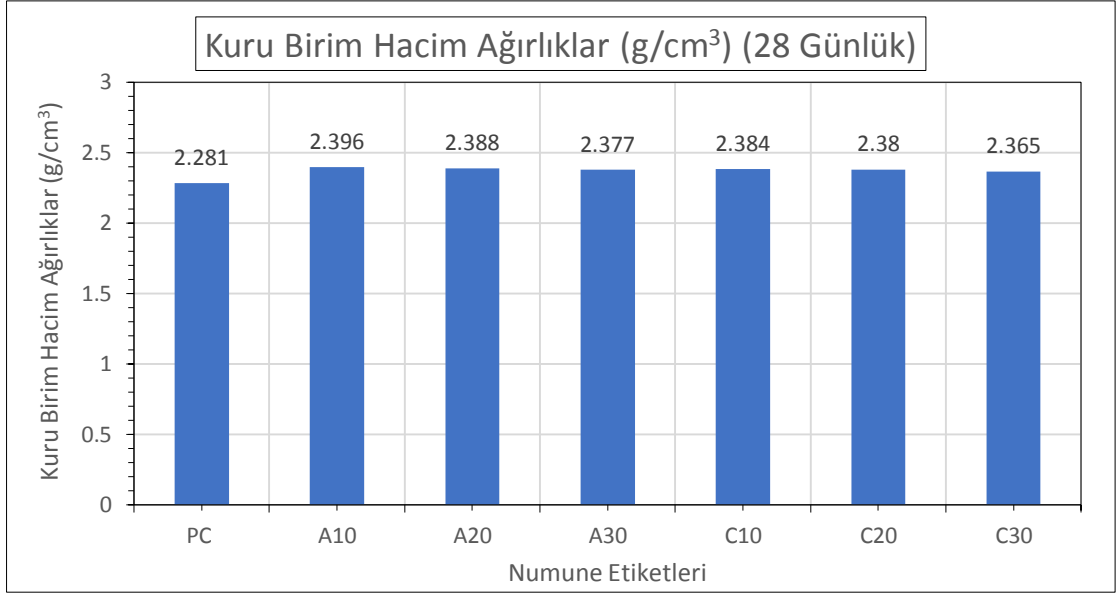
Üretilen beton numunelerine ait birim hacim ağırlıkları ve su emme oranları Çizelge 5.5’de verilmiştir. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de değişim grafikleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 Beton Numunelerin Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranları

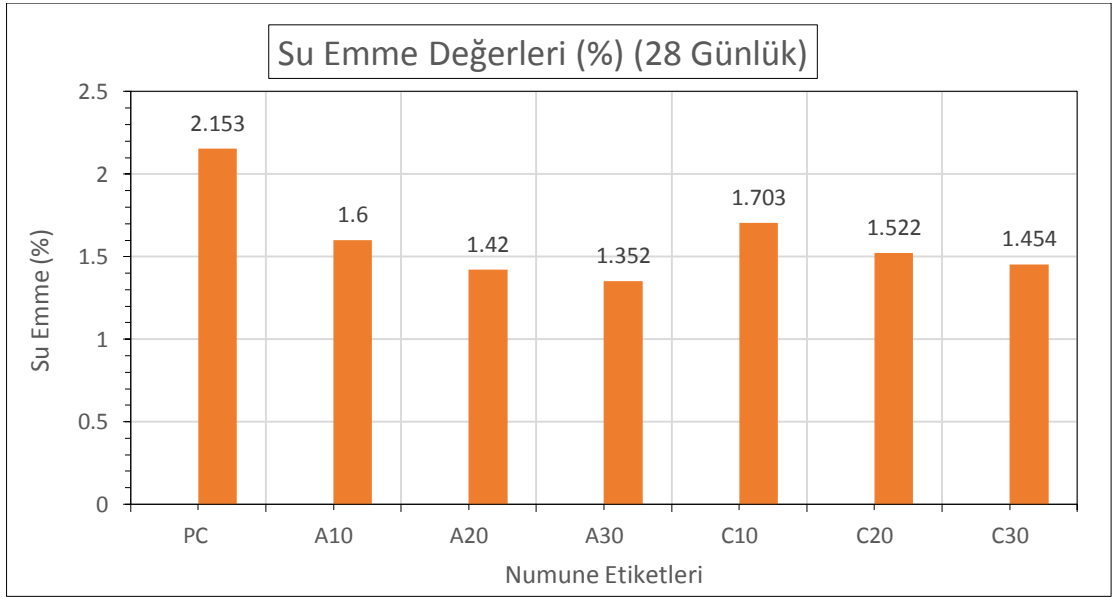
Numune Etiketleri	Birim Hacim Ağırlıklar (g/cm ³) (28 Günlük)		Su Emme (%)
	DKY	Kuru	
PC	2.330	2.281	2.153
C10	2.420	2.384	1.703
C20	2.418	2.380	1.522
C30	2.395	2.365	1.454
A10	2.433	2.396	1.600
A20	2.419	2.388	1.420
A30	2.411	2.377	1.352



Şekil 5.1 Beton Numunelerin DKY Birim Hacim Ağırlık Değişimleri



Şekil 5.2 Beton Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimleri



Şekil 5.3 Beton Numunelerin Su Emme Değerleri

Çizelge 5.5'te verilen beton numunelerin birim hacim ağırlıkları incelendiğinde, ansim ve klinoptilolit katkı numunelerde yer değiştirme oranlarına göre benzer değişimler gözlemlenmiştir.

PC içeren beton numuneler ile ansim yer değiştirmeli beton numunelerin (PC, A10, A20, A30) DKY birim hacim ağırlıkları sırasıyla %4.42, %3.82, %3.48 ve kuru birim hacim ağırlıkları %5.04, %4.70, %4.20 oranlarında artmıştır.

PC içeren beton numuneler ile klinoptilolit yer değiştirmeli beton numunelerin (PC, C10, C20, C30) DKY birim hacim ağırlıkları sırasıyla %3.86, %3.78, %2.7 ve kuru birim hacim ağırlıkları %4.51, %4.34, %3.68 artmıştır.

PC içeren beton numuneler ile analsim yer değiştirmeli beton numunelerin (PC, A10, A20, A30) su emme değerleri sırasıyla %25.68, %34.04, %37.20 azalmıştır.

PC içeren beton numuneler ile klinoptilolit yer değiştirmeli beton numunelerin (PC, C10, C20, C30) su emme değerleri sırasıyla %20.90, %29.30, %32.46 azalmıştır.

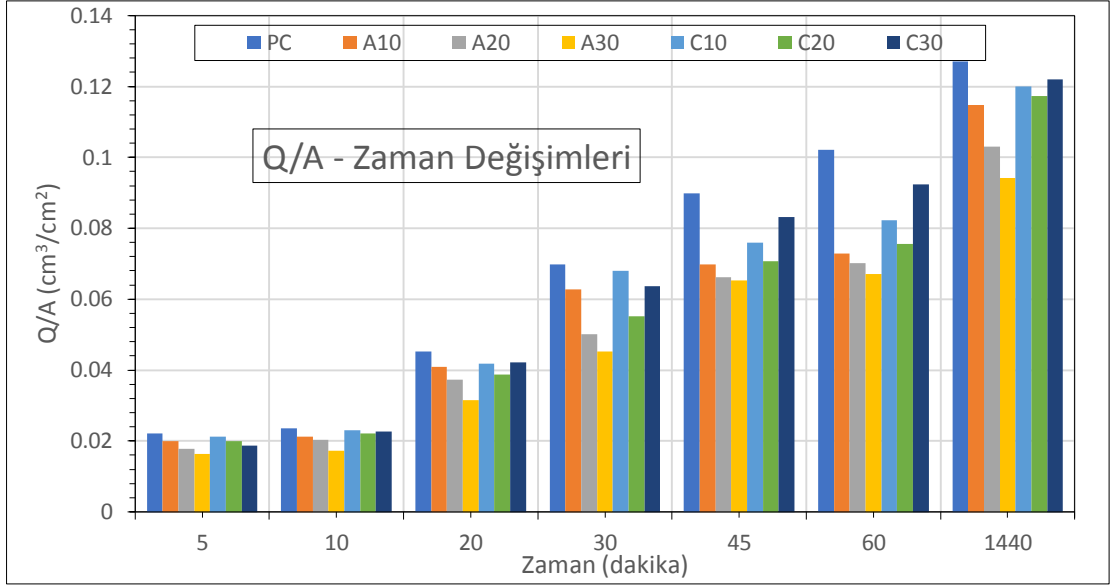
Çizelge 5.5, Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'ten görüldüğü gibi, her iki doğal zeolit için yer değiştirme miktarları arttıkça beton numunelerin birim hacim ağırlıkları ve su emme değerleri azalmıştır.

5.3.3 Kılcal Su Emme Değerleri

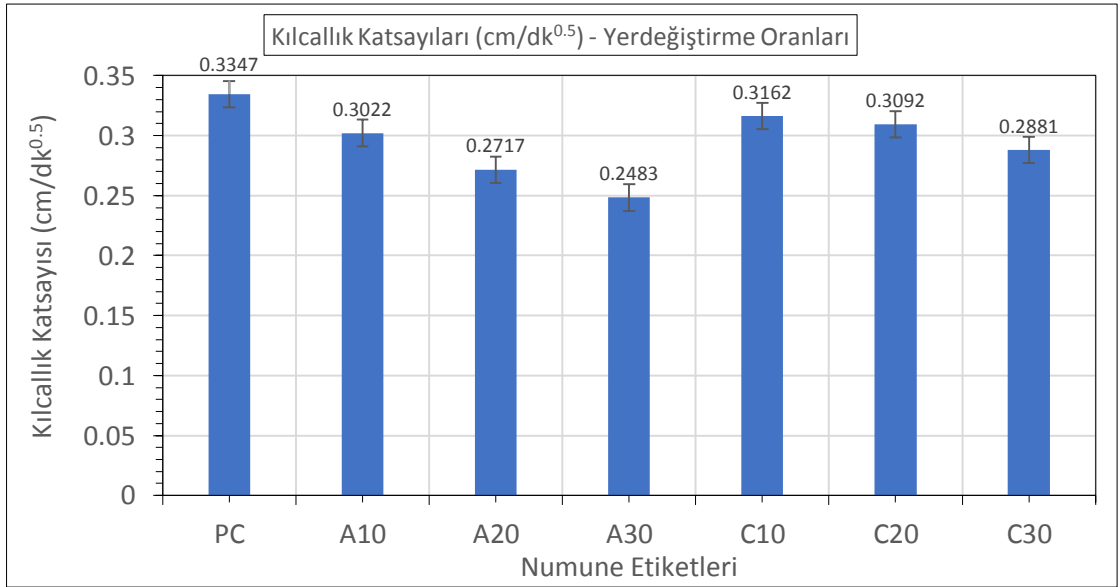
Deneyisel çalışmalarda Portland çimentosunun doğal zeolitlerden klinoptilolit ve analsimle %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirmesiyle elde edilen katkılı çimentolardan üretilen beton numunelerin kılcal su emme değerleri Çizelge 5.6'da ve kılcal su emme değerleri değişim grafikleri Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Deney Numunelerinin Kılcal Su Emme Değerleri (28 Günlük)

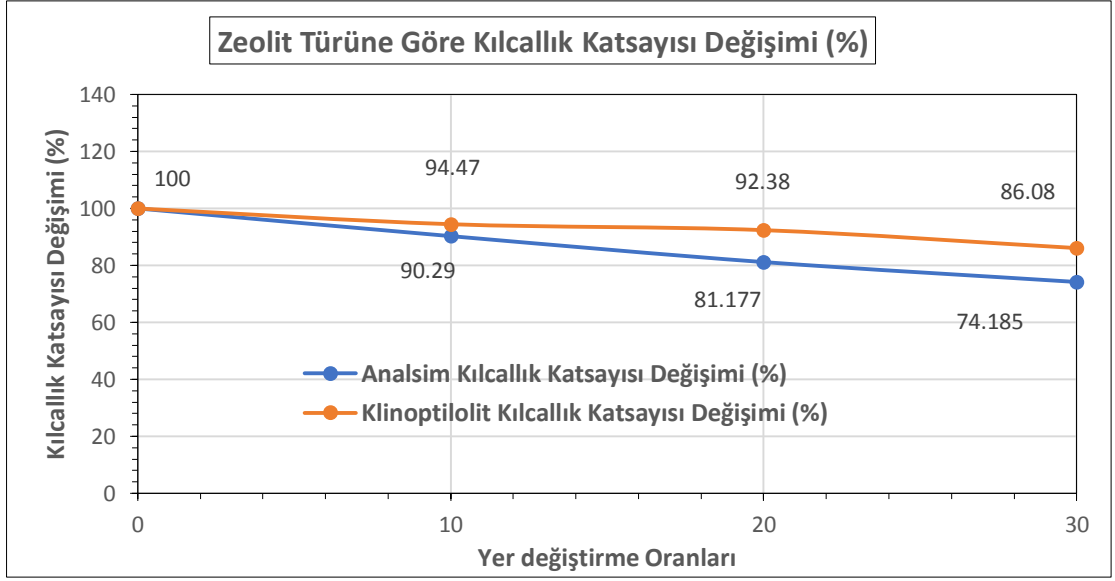
BetonNumune Etiketleri	Kılcallık katsayıları (cm/dk ^{0.5})	Kılcallık Katsayısı Değişimi (%)
PC	0.3347	100
C10	0.3162	94.47
C20	0.3092	92.38
C30	0.2881	86.08
A10	0.3022	90.29
A20	0.2717	81.17
A30	0.2483	74.18



Şekil 5.4 Beton Numunelerin Q/A Zaman Değişimleri



Şekil 5.5 Beton Numunelerin Kılcallık Katsayısı Değişimleri



Şekil 5.6 Zeolit Türüne Göre Kılcallık Katsayısı Değişimi

Bilindiği gibi, mineral katkıları betonun boşluk yapısını iyileştirerek geçirimsizliğini artırmakta dolayısı ile betonun dayanıklılığını artırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan iki farklı zeolit katkı, çimento inceliğinin altında öğütülmüş olmaları nedeni ile, çimento hamuru-agrega ara yüzü ve çimento hamuru içindeki boşluklarda filler etki yaparak kılcal boşlukların azalmasını sağlamış ve daha az geçirimli beton elde edilmesini mümkün kılmıştır. Böylelikle, su ve klorür gibi betona nüfuz eden maddelerin azalmasına katkı sağlamıştır.

PC içeren beton numuneler ile analsim yer değiştirmeli beton numunelerin (PC, A10, A20, A30) kılcallık katsayıları sırasıyla %9.71, %18.82, %25.81 azalmıştır.

PC içeren beton numuneler ile klinoptilolit yer değiştirmeli beton numunelerin (PC, C10, C20, C30) kılcallık katsayıları sırasıyla %5.52, %7.61, %13.92 azalmıştır.

Çizelge 5.6 ve Şekil 5.5’den görüldüğü gibi, her iki doğal zeolit için yer değiştirme miktarları arttıkça beton numunelerin kılcallık katsayıları azalmıştır.

Şekil 5.6’da her iki doğal zeolite ait yer değiştirme oranlarına bağlı olarak kılcallık katsayılarındaki değişimler görülmektedir. Buna göre beton numunelerinde her iki zeolit yer değiştirmesinin de kılcallık katsayılarını azalttığı belirlenmiştir. Burada, analsim yer değiştirmesinin klinoptilolit yer değiştirmesine göre kılcallık katsayısı değişim yüzdelerinde daha etkin bir durumda olduğu görülmektedir. Beton numunelerinde geçirimsizlik çalışmalarında analsim türü zeolitin tercih edilmesi daha

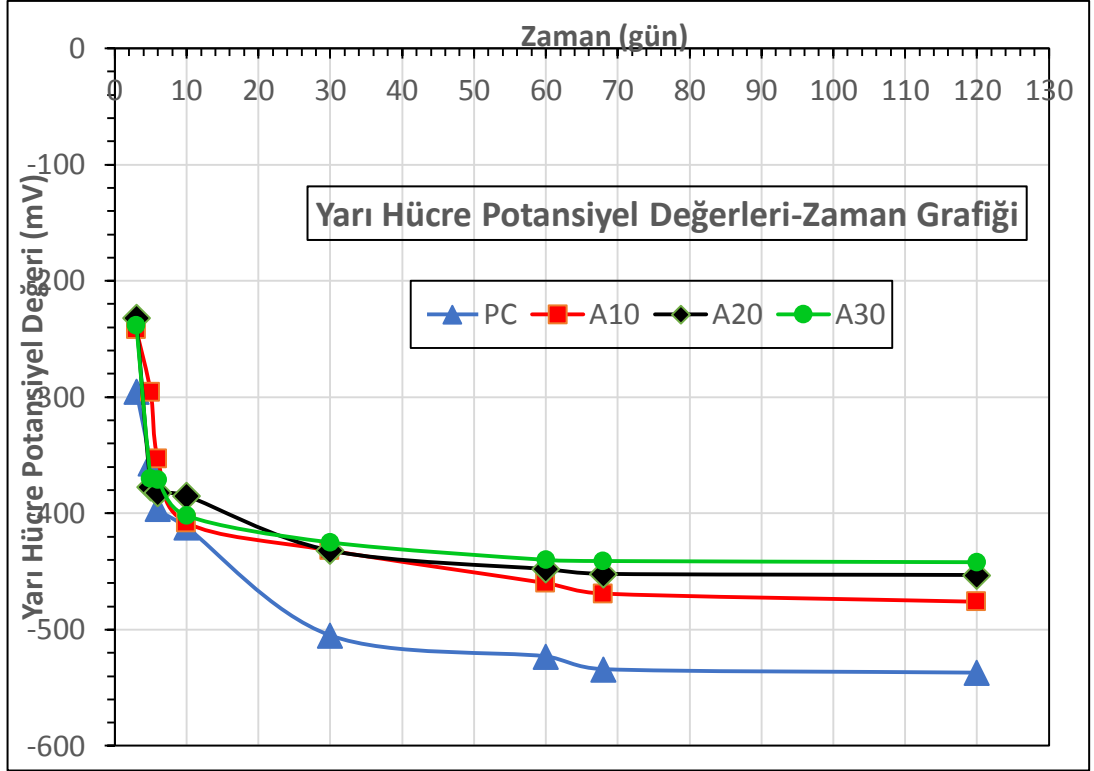
uygun olacaktır. Kılcallık katsayılarındaki değişimleri, her iki doğal zeolit in portland çimentosuna göre inceliklerinin daha az oluşunun etkisinin bir sonucu olduğu düşünölmektedir.

5.3.4 Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Deneyi

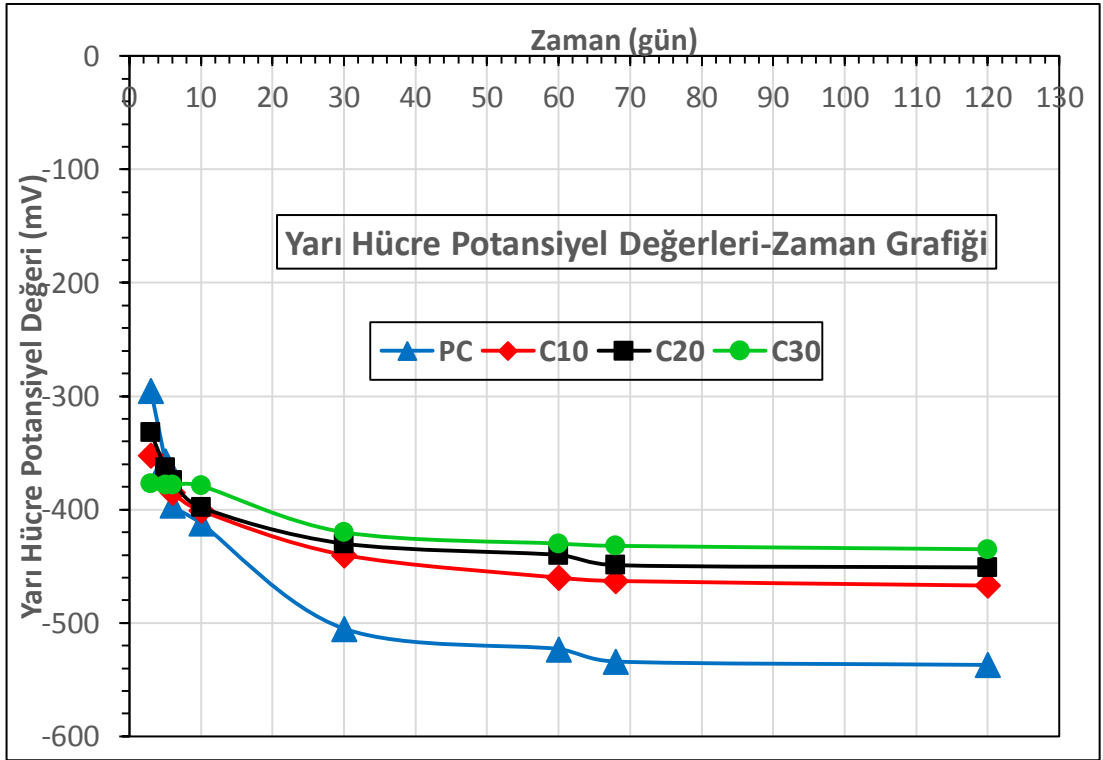
Deney sel çalışmalarda Portland çimentosunun doğal zeolitlerden klinoptilolit ve analsimle %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikamesiyle elde edilen katkı çimentolardan üretilen betonarme numunelerin 120 günlük yarı hücreli potansiyel ölçüm değerleri Çizelge 5.7’de, değişim grafikleri analsim için Şekil 5.7 ve klinoptilolit için Şekil 5.8 ’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Numunelerin Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Değerleri (120 Günlük)

Numune Etiketleri (Gün)	PC	A10	A20	A30	C10	C20	C30
3	-295	-242	-232	-238	-352	-332	-377
5	-357	-296	-377	-370	-375	-363	-378
6	-396	-353	-382	-371	-385	-374	-378
10	-412	-408	-385	-402	-301	-498	-379
30	-505	-432	-432	-425	-428	-400	-420
60	-523	-460	-448	-440	-462	-431	-430
68	-534	-469	-452	-441	-463	-449	-432
120	-537	-475	-453	-442	-467	-451	-435



Şekil 5.7 Analsim Numunelerine Ait Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Değerleri (120 Günlük)



Şekil 5.8 Klinoptilolit Numunelerine Ait Yarı Hücreli Potansiyel Ölçüm Değerleri (120 Günlük)

Çalışmada kullanılan her iki zeolit türü katkıları içeren betonarme numunelerin 120.günün sonunda A10, A20, A30, C10, C20, C30 deney serileri için ölçülen değerler sırasıyla; -475, -453, -442, -467, -451, -435 mV'dur. Bu değerler yarı hücre potansiyel değerleri ortalamasını ifade etmektedir. Bu değerler donatılardaki korozyonun varlığını gösteren bölgededirler. Geleneksel betonarme numunelerinin 120.gündeki değeri ise -537mV'dur. Bu değerlere bakıldığında zeolit katkılı betonarme numunelerin korozyonunun daha az olduğu görülmektedir.

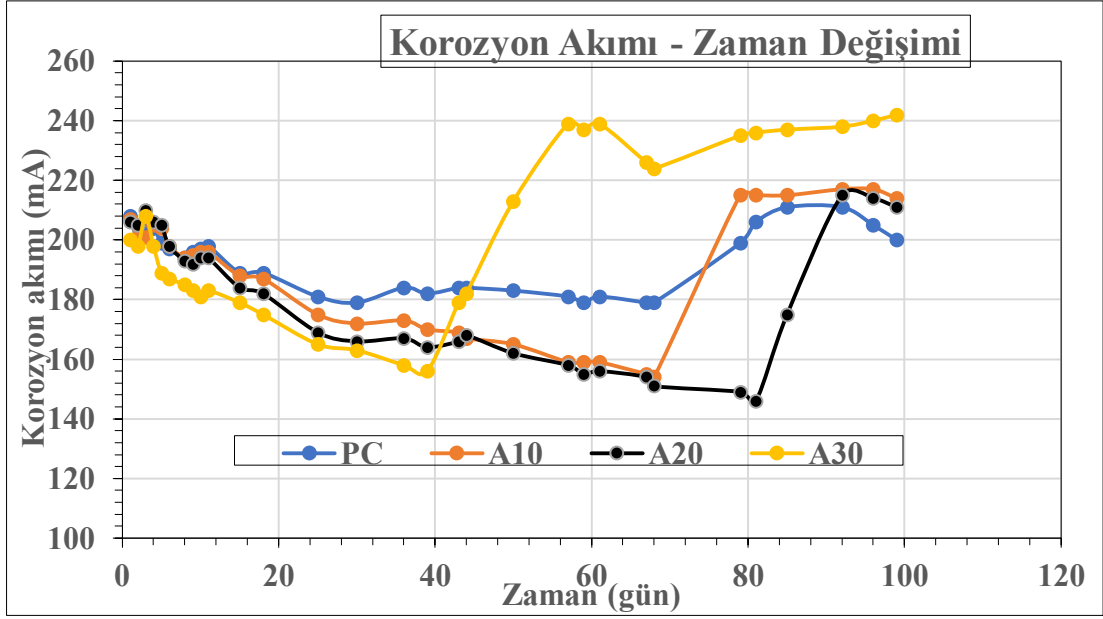
Bu sonuçlara bakıldığında, çalışmada kullanılan her iki doğal zeolit katkı korozyona karşı koruma yöntemlerinden biri olarak kullanılabilceği yönünde bir bulgu oluşturmaktadır. Betona katılan doğal zeolit içeriğinin inceliklerinin Portland çimentosuna göre daha yüksek olmaları nedeniyle beton boşluklarını doldurması ve numune içerisine su-klor gibi agresif iyonların ve oksijenin girişini azalmasını sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak, çelik donatı yüzeyinde korozyon oluşumunu geciktirici ya da engelleyicidir. Bu düşünce literatürdeki daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalarla desteklenmektedir. (Kepler ve ark., 2000; Aydın, 2012).

Her ne kadar korozyon potansiyeli değerleri ile korozyon hakkında kesin ve güvenilir sonuçlara varmak için kontrol amaçlı farklı muayeneler gerekse de, betonarme donatılarının aktif yada pasif halde oluşları net olarak anlaşılabilir.

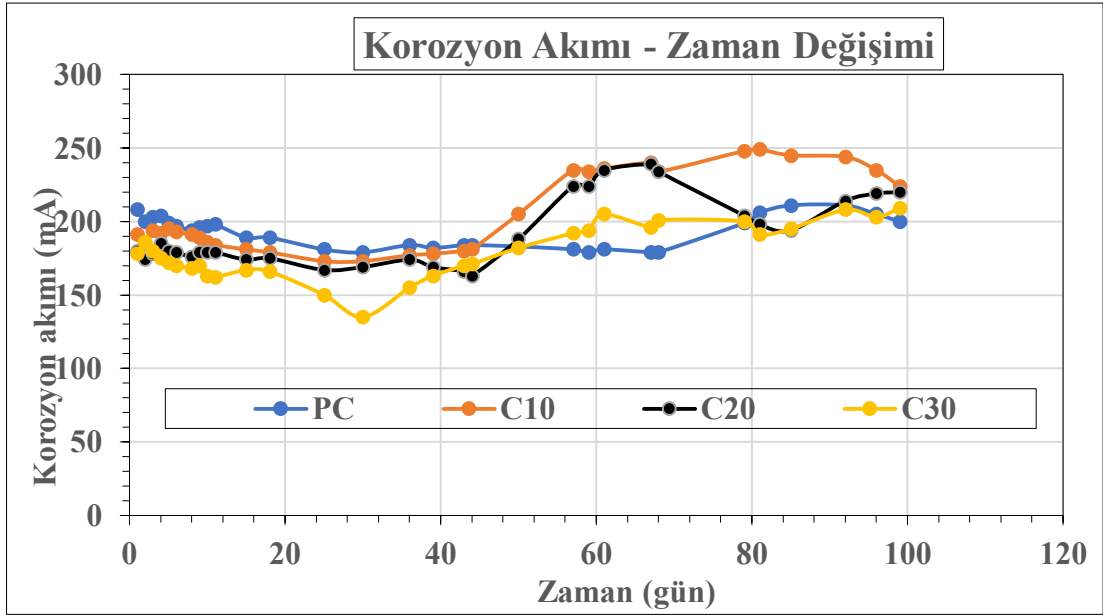
Çalışmada kullanılan zeolit katkıların korozyon ve aderansa karşı etkinliklerinin kesin olarak değerlendirebilmek için ayrıca korozyon akım ölçümleri de aşağıda belirlenmiştir.

5.3.5 Korozyon Ölçüm Deneyi

Deneysel çalışmalarda Portland çimentosunun doğal zeolitlerden klinoptilolit ve analsimle %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikamesiyle elde edilen katkılı çimentolardan üretilen betonarme numunelerin korozyon hızı ölçüm değerleri değişim grafikleri şekil 5.9 ve şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9 Analsim Korozyon Akımı-Zaman Değişimi



Şekil 5.10 Klinoptilolit Korozyon Akımı-Zaman Değişimi

Klinoptilolit katkı içeren betonların elektriksel direncinin normal betonlardan daha yüksek değer aldığı, klinoptilolit korozyon akımını azaltarak korozyona karşı betonun koruyuculuk özelliğini artırdığı, bazı araştırmacılar tarafından da farklı deneyler ile gösterilmiştir (Boğa, 2010; Durgun, 2011; Aydın, 2012;).

Bu çalışmada farklı bir zeolit türü daha kullanılarak piyasada yaygın olarak kullanılan klinoptilolit'e alternatif olabilecek analsim katkının korozyona karşı

performansı incelenmiştir. Böylelikle, çalışmadan elde edilen sonuçlar hem geleneksel numunelerle hem de zeolit türleri arasında olmak üzere karşılaştırmalar yapılmıştır.

Buna göre, bu çalışmada kullanılan analsim ve klinoptilolit katkı içeren betonarme numunelerin Portland çimentosu içerenlere göre, korozyon akım değerlerinin azalmasına bağlı olarak elektriksel dirençlerinin arttığı dolayısıyla da korozyona karşı koruyuculuk özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Korozyon akım değerlerindeki Portland çimentosu içerenkilere göre azalmalar, analsim katkılı numunelerde %6.59, %9.89, %14.29, klinoptilolit katkılı numunelerde ise %2.74, %4.40, %14.83 şeklindedir. Bu azalmalar, analsim katkılı betonarme numunelerde %20 yerdeğiştirme oranına kadar daha fazladır.

Diğer taraftan, 120 gün yalnızca su kürü uygulanan (agresif şartlara maruz olmayan korozyonsuz) betonarme numunelerin potansiyel değerleri -15 mV ile +63 mV aralığında değişimler göstererek donatılarının pasif durumda olduğunun tespiti de yapılmıştır.

5.3.6 Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin Aderans Dayanımı Bulguları

Deneyisel çalışmalarda Portland çimentosunun doğal zeolitlerden klinoptilolit ve analsimle %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirmesi ile elde edilen katkılı çimentolardan üretilen betonarme numunelerin korozyonsuz aderans ölçüm değerleri Çizelge 5.8'de verilmektedir.

Deneyisel çalışmalarda Portland çimentosunun doğal zeolitlerden klinoptilolit ve analsimle %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirmesi elde edilen katkılı çimentolardan üretilen betonarme numunelerin korozyonlu aderans ölçüm değerleri ise Çizelge 5.9'da verilmektedir.

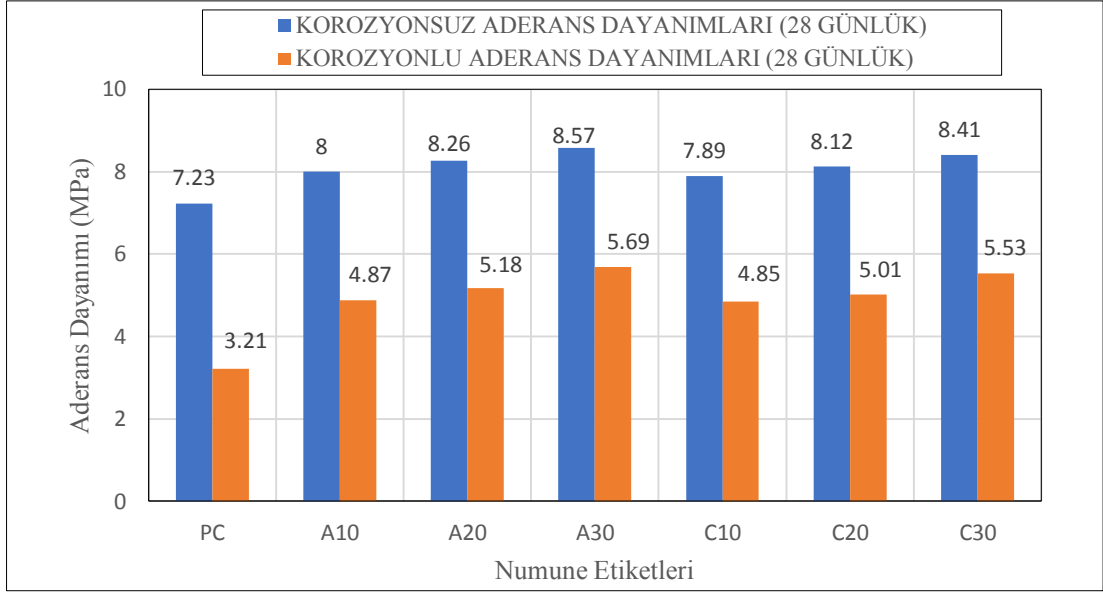
Korozyonsuz ve korozyonlu betonarme numunelerin 28, 60, 90 günlük aderans dayanımı değişim grafikleri sırası ile Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.8 Korozyonsuz Betonarme Numunelerin Aderans Dayanımları

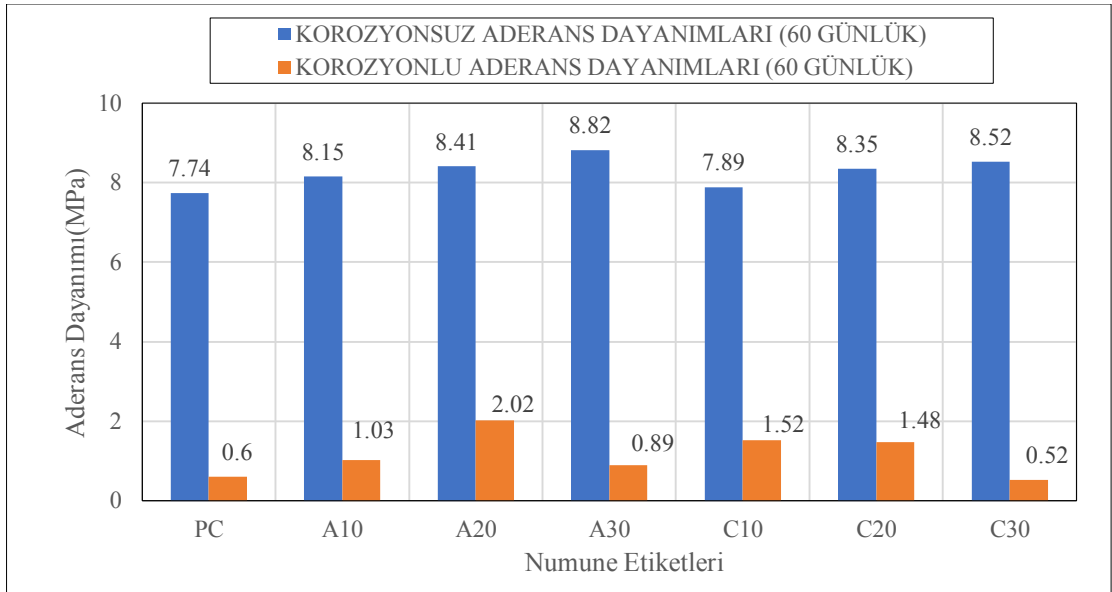
Numune Etiketleri	28 Günlük	60 Günlük	90 Günlük
PC	7.23	7.74	8.04
A10	8.00	8.15	9.04
A20	8.26	8.41	9.20
A30	8.57	8.82	9.39
C10	7.89	7.89	8.85
C20	8.12	8.35	8.98
C30	8.41	8.52	9.07

Çizelge 5.9 Korozyonlu Betonarme Numunelerin Aderans Dayanımları

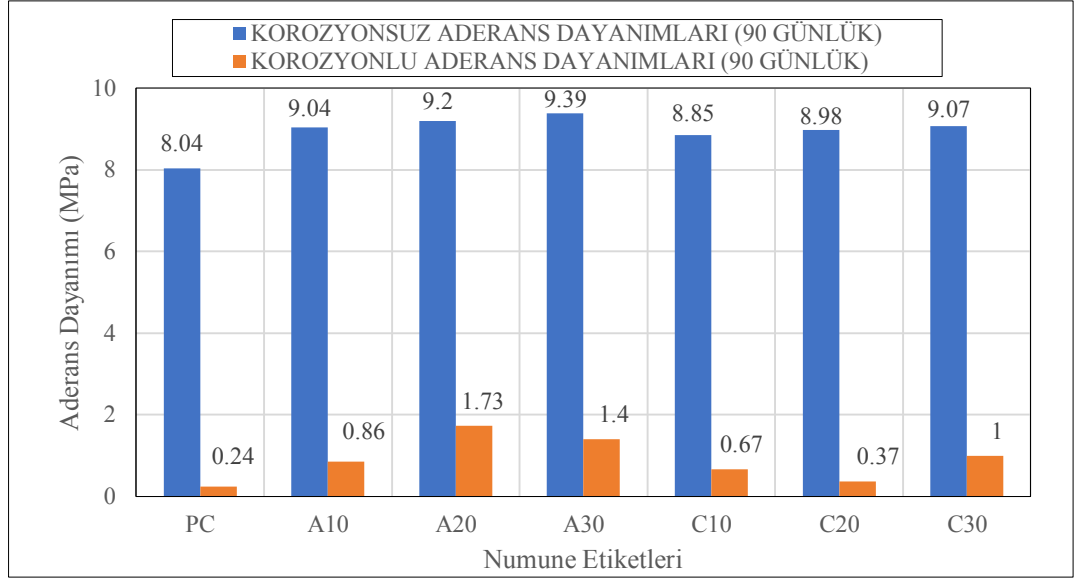
Numune Etiketleri	28 Günlük	60 Günlük	90 Günlük
PC	3.21	0.60	0.24
A10	4.87	1.03	0.86
A20	5.18	2.02	1.73
A30	5.69	0.89	1.40
C10	4.85	1.52	0.67
C20	5.01	1.48	0.37
C30	5.53	0.52	1.00



Şekil 5.11 Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin 28 Günlük Aderans Dayanımı Değişimleri



Şekil 5.12 Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin 60 Günlük Aderans Dayanımı Değişimleri



Şekil 5.13 Korozyonsuz ve Korozyonlu Betonarme Numunelerin 90 Günlük Aderans Dayanımı Değişimleri

Yalnızca su kürü uygulanan (korozyonsuz) zeolit katkılı çimento içeren betonarme numunelerin (A10, A20, A30, C10, C20, C30) aderans dayanımları Portland çimentosu (PC) içerenkilere göre 28. günde sırasıyla %10.65, %14.24, %18.53, %9.12, %12.30, %16.32; 60. günde sırasıyla %5.29, %8.65, %13.95, %1.93, %7.88, %10.07; 90. günde sırasıyla %12.43, %14.42, %16.79, %10.07, %11.69, %12.81 artmıştır.

NaCl katkılı kür uygulanan (hızlandırılmış korozyonlu) zeolit katkılı çimento içeren betonarme numunelerin (A10, A20, A30, C10, C20, C30) aderans dayanımları Portland çimentosu (PC) içerenkilere göre 28. günde sırasıyla %51.71, %61.37, %77.25, %51.09, %56.07, %72.27 artmıştır.

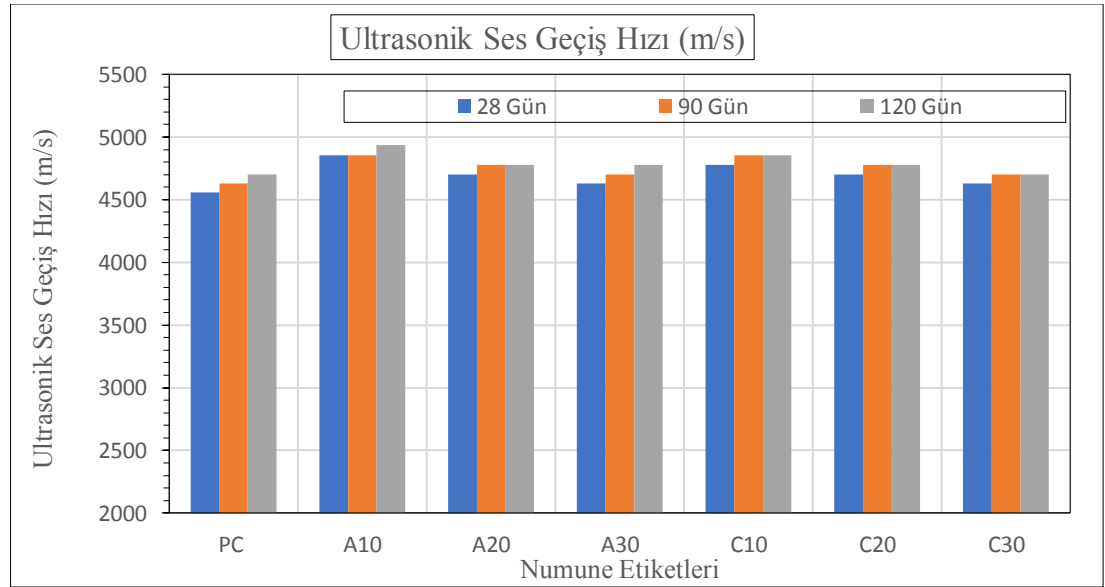
Ancak diğer kür süreleri sonundaki aderans dayanımları numunelerin korozyon kaynaklı çatlak gelişimine bağlı olarak önemli derecede düşmüştür. Bu düşüşler bazı numunelerde sıfıra yakın olarak belirlenmiştir. Bu değişimler aynı tasarım bileşenleriyle üretilen beton numunelerin basınç dayanımlarıyla benzer eğilimdedirler. Bu durumda beton dayanımının yükselmesi ile aderans dayanımını olumlu yönde etkileneceğini söylemek mümkündür.

5.3.7 Beton Numunelerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızları (UPV)

Deneyisel çalışmalarda Portland çimentosunun doğal zeolitlerden klinoptilolit ve analsimle %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirmesi ile elde edilen katkıli çimentolardan üretilen beton numunelerin ultrases geçiş hızları Çizelge 5.10'da verilirken UPV değişim grafikleri Şekil 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.10 Beton Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı

Beton Numuneleri	Ultrases Geçiş Hızı (m/sn)		
	28 Günlük	90 Günlük	120 Günlük
PC	4559	4630	4702
A10	4854	4854	4934
A20	4702	4777	4777
A30	4630	4702	4777
C10	4777	4854	4854
C20	4702	4777	4777
C30	4630	4702	4702



Şekil 5.14 Beton Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değişim Grafiği

Tahribatsız muayene yöntemi olan ultrasonik ses dalga geçiş hızı (UPV) deney bulguları ile belirlenen numunelerin boşluk yapısına dayalı geçiş hızı değişimleri, tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları ile benzer eğilimler göstermiştir. Sonuçlar,

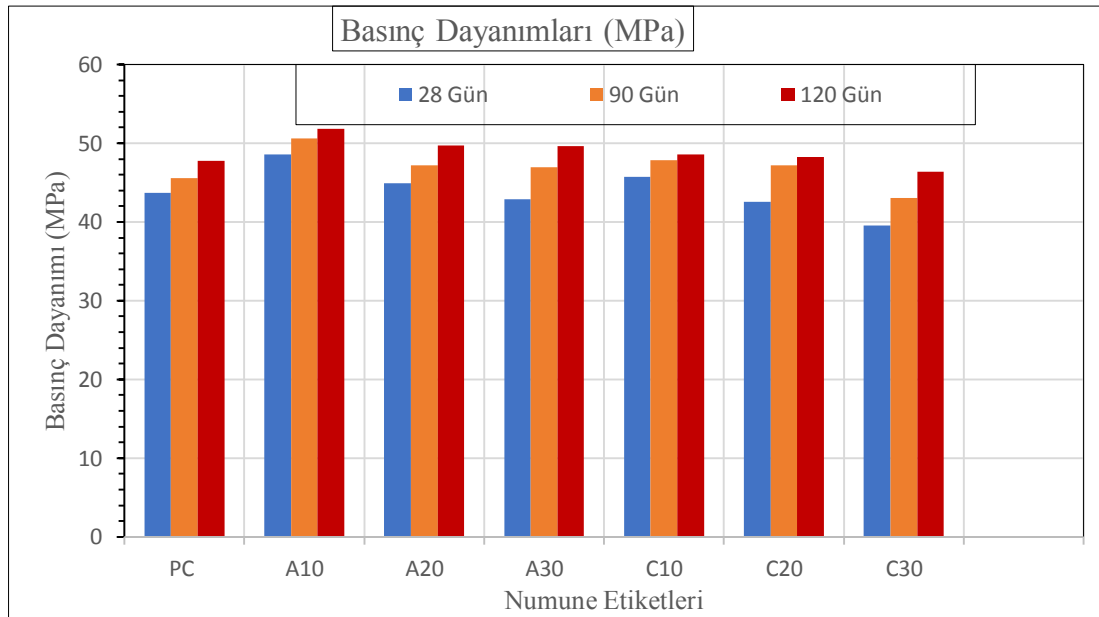
kullanılan zeolitlerin incelik değerleri ve zeolitlerin puzolanik aktiviteleri sonucu gelişen imento hamur yapısı nedeniyle beklenen davranış ile uyumludur (Yazıcıoğlu, 2016).

5.3.8 Beton Numunelerin Basınç Dayanımları

DeneySEL alışmalarda Portland imentosunun doğal zeolitlerden klinoptilolit ve analsimle %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirmesi ile elde edilen katkılı çimentolardan üretilen beton numunelerin basınç dayanımı değerleri izelge 5.11’de verilirken değişim grafikleri Şekil 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.11 Beton Numunelerin Basınç Dayanımları

Numune Etiketleri	Basınç Dayanımı (MPa)		
	28 Günlük	90 Günlük	120 Günlük
PC	43.67	45.59	47.79
A10	48.54	50.59	51.83
A20	44.93	47.20	49.70
A30	42.89	46.96	49.62
C10	45.70	47.82	48.56
C20	42.53	47.18	48.29
C30	39.52	43.07	46.37



Şekil 5.15 Beton Numunelerinin Günlere Göre Basınç Dayanımları

Zeolit katkılı çimento içeren beton numunelerin basınç dayanımları Portland çimentosu içerenkilere göre %10 yer değiştirme ve 28, 90, 120 günlük için analsim katkılı numuneler için sırasıyla %11.15, %10.97, %8.45 artmıştır. Klinoptilolit katkılı numuneler için ise sırasıyla %4.65, %4.89, %1.61 artmıştır.

Her iki doğal zeolit katkı için de yer değiştirme oranlarının artmasıyla basınç dayanımları azalmaktadır. Ancak, numunelere uygulanan kür süresinin artmasıyla birlikte her iki zeolit katkı içeren çimentolarla üretilen beton numunelerin basınç dayanımları artmıştır. Bu artış en fazla 120 günlük A10 deney serilerinde gözlemlenmiştir.

Beton numunelerdeki basınç dayanımlarının bu sonuçları her iki zeolit türünün puzolanik aktiviteleri ve inceliklerine bağlı olarak boşluk yapısındaki değişimlerle açıklamak mümkündür. Kür sürelerinin uzamalarına bağlı olarakta dayanım artışları net bir şekilde gözlemlenmektedir (Uzal, 2010).

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Donatının korozyona uğramasında ve korozyon riskine karşı donatı-beton arasındaki aderans dayanım kaybına karşı alınabilecek ilk akla gelen kolay çözüm yolu minimum boşluğa sahip, akışkan geçirimsizliği düşük, dayanıklı bir beton üretmektir. Dayanıklı betonların aynı zamanda dayanımlı olmaları da onların performanslarının ana belirleyici özellikleridir. Beton ve betonarme yapı elemanlarından beklenen bu özelliklerin iyileştirilmesine yönelik bu tez çalışmasında iki farklı zeolit türü olan analsim ve klinoptilolit katkı %0, %10, %20 yer değiştirme oranları ile kullanılmıştır. Katkılı çimentoları içeren beton ve betonarme numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bazı sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir.

1. Çimento ağırlığının %0, %10, %20 ve %30 yer değiştirme oranlarında doğal zeolit katkı içeren 28 günlük beton numunelerin doymuş kuru yüzeyli ve kuru birim hacim ağırlıkları Portland çimentosu içeren beton numunelerinkine göre, analsim katkı (A10, A20, A30) için sırasıyla %4.42, %3.82, %3.48 ve klinoptilolit katkı (C10, C20, C30) için ise sırasıyla %3.86, %3.78, %2.79 artmıştır. Ancak, zeolit katkılı beton numunelerin doymuş kuru yüzeyli ve kuru birim hacim ağırlıklarının her iki doğal zeolit için de yer değiştirme oranları artışına bağlı olarak, kendi deney serileri içerisinde azaldığı görülmektedir.

2. Doğal zeolit katkı içeren beton numunelerin su emme oranlarının Portland çimentosu içeren beton numunelerinkine göre analsim katkı için (A10, A20, A30) için %25.68, %34.04, %37.20 ve klinoptilolit katkı (C10, C20, C30) için ise %20.90, %29.30, %32.46 azaldığı, her iki doğal zeolit için yer değiştirme oranları arttığında, su emme oranlarının kendi deney serileri içinde de azaldığı görülmektedir. Bu azalma en fazla A30 deney serilerinde gözlemlenmiştir.

3. Zeolit katkılı çimento içeren beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımları Portland çimentosu içerenkilere göre, analsim katkılı numuneler için sırasıyla %11.15, %2.88 artarken A30 için %1.78 düşmüş ve klinoptilolit katkılı numuneler için ise C10 %4.65 artarken C20 ve C30 sırasıyla %2.61, %9.50 düşmüştür. Her iki doğal zeolit katkı için de yer değiştirme oranlarının artmasıyla basınç dayanımları azalmaktadır. Ancak, numunelere uygulanan kür süresinin artmasıyla

birlikte her iki zeolit katkı içeren çimentolarla üretilen beton numunelerin basınç dayanımları artmıştır. Bu artış en fazla 120 günlük A10 deney serilerinde gözlemlenmiştir.

4. Tahribatsız muayene yöntemi olan ultrasonik ses dalga geçiş hızı (UPV) deney bulguları ile belirlenen numunelerin boşluk yapısına dayalı geçiş hızı değişimleri, tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları ile benzer eğilimler göstermiştir. Sonuçlar, kullanılan zeolitlerin incelik değerleri ve zeolitlerin puzolanik aktiviteleri sonucu gelişen çimento hamur yapısı nedeniyle beklenen davranış ile uyumludur (Yazıcıoğlu, 2016).

5. Beton numuneler (28 günlük) üzerinde yapılan kılcal su emme deneyi bulgularına göre, katkılı beton numunelerin kılcallık katsayıları Portland çimentolu olanlarınkine göre, analsim katkılı numuneler için sırasıyla %9.71, %18.82, %25.81 ve klinoptilolit katkılı numuneler için ise %5.52, %7.61, %13.92 azalmıştır. Yer değiştirme oranlarının artmasıyla her iki doğal zeolit katkı içeren beton numunelerin kılcallık katsayıları da ayrı ayrı kendi deney serileri içerisinde de azalmaktadır. Her iki doğal zeolit katkı içeren beton numunelerin kılcallık katsayısı değişim yüzdeleri incelendiğinde, kılcallık katsayılarındaki azalma, en fazla analsim katkı içeren beton numune deney serilerinde gözlemlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan çimento inceliğinin altında öğütülmüş iki farklı zeolit katkı çimento hamuru-agrega ara yüzü ve çimento hamuru içindeki boşluklarda filler etki yaparak kılcal boşlukların azalmasını sağlamış ve daha az geçirimli beton elde edilmesini mümkün kılmıştır. Böylelikle, su ve klorür gibi betona nüfuz eden maddelerin azalmasına katkı sağlamıştır. Beton numunelerde geçirimsizlik çalışmalarında analsim türü zeolitin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

6. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği ile doğal zeolit katkılı çimento içeren betonarme numunelerin çektikleri ölçülen korozyon akım değerlerinin Portland çimentosu içerenkilere göre azalmaktadır. Benzer şekilde, katkı yer değiştirme oranlarının artmasıyla da numunelerin çektikleri korozyon akımlarının azalmaktadır. Diğer bir deyişle, bu çalışmada kullanılan analsim ve klinoptilolit katkı içeren betonarme numunelerin Portland çimentosu içerenkilere göre, korozyon akım değerlerinin azalması sonuçlarına bağlı olarak elektriksel dirençlerinin arttığı,

dolayısıyla da korozyona karşı koruyuculuk özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir.

7. Çalışmada üretilen 120 günlük betonarme numunelerin PC, A10, A20, A30, C10, C20, C30 deney serileri için ölçülen korozyon potansiyeli değerleri sırasıyla; -537, -475, -453, -442, -467, -451, -435 mV' dur. Bu değerler donatılardaki korozyonun varlığını gösteren bölgededirler. Ancak, bu değerlere bakıldığında zeolit katkılı betonarme numunelerin korozyon potansiyelinin Portland çimentolu betonarme numunelerinkinden daha az olduğu ve çalışmada kullanılan her iki doğal zeolit katkının korozyona karşı korunma yöntemlerinden biri olarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

8. Diğer taraftan, 120 gün yalnızca su kürü uygulanan (agresif şartlara maruz olmayan korozyonsuz) betonarme numunelerin potansiyel değerleri -15 mV ile +63 mV aralığında değişimler göstererek donatılarının pasif durumda olduğunun tespiti de yapılmıştır.

9. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği ile bütünleşik olarak ölçülen korozyon akım ölçüm değerleri ile harici tahribatsız muayene yöntemi olan ve donatının elektriksel yarı hücre potansiyelini ölçen cihaz ile belirlenen korozyon potansiyeli ölçüm değerlerinin sonuçları birbirlerini destekler niteliktedir. (Liam ve ark., 1992) donatı korozyon düzeyini belirlemek ve izlemek için korozyon potansiyeli ölçümünün güvenilir ve uygun bir metot olduğunu belirtmişlerdir.

10. Yalnızca su kürü uygulanan (korozyonsuz) zeolit katkılı çimento içeren betonarme numunelerin (A10, A20, A30, C10, C20, C30) aderans dayanımları Portland çimentosu (PC) içerenkilere göre kür sürelerine bağlı olarak artmıştır. NaCl katkılı kür uygulanan (hızlandırılmış korozyonlu) zeolit katkılı çimento içeren betonarme numunelerin (A10, A20, A30, C10, C20, C30) aderans dayanımları Portland çimentosu (PC) içerenkilere göre 28. günde artmıştır. Ancak diğer kür süreleri sonundaki aderans dayanımları numunelerin korozyon kaynaklı çatlak gelişimine bağlı olarak önemli derecede düşmüştür. Bu düşüşler bazı numunelerde sıfıra yakın olarak belirlenmiştir. Bu değişimler aynı tasarım bileşenleriyle üretilen beton numunelerin basınç dayanımlarıyla benzer eğilimdedirler. Bu durumda beton

dayanımının yükselmesi ile aderans dayanımını olumlu yönde etkileneceğini söylemek mümkündür.

11. Burada yukarıda belirlenen sonuçların çalışmada kullanılan doğal zeolitler ve bu deneysel çalışma şartlarında geçerli olduğunu belirtmekte fayda vardır. Farklı bölgelerden elde edilecek olan zeolit türleri üzerinde daha çok çalışmanın gerçekleştirilmesi gerektiği açıktır.

Özetle, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, her iki doğal zeolit (analsim ve klinoptilolit) katkı beton numunelerin geçirimsizliklerini azaltarak elektriksel dirençlerini artırmaktadır. Elektriksel dirençleri yüksek zeolit katkılı betonların donatı korozyonunu önleyerek betonarme yapı elemanlarının dayanıklılığına olumlu etki yapacağı ve donatı-beton aderans dayanımlarını iyileştireceği belirlenmiştir.

Betonarme numunelerin bulgularının beton numunelerin fiziksel ve mekanik özellik bulguları ile değerlendirilmesi sonucunda korozyon ve aderansa karşı performansın iyileştirilebilmesi için her iki doğal zeolit türü (analsim ve klinoptilolit) için %20 yer değiştirme oranına kadar kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür.

Diğer taraftan bu tez çalışmasındaki parametreler dikkate alınarak tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, zeolitik tüflerden piyasada yaygın olarak kullanılan klinoptilolitin katkı çimento üretimlerinde kullanılmasıyla sağlanan üstünlüklerin klinoptilolite alternatif olarak analsim katkı ile de sağlanabileceği de görülmüştür.

Betonarme yapılarıdaki donatının NaCl'den kaynaklanan korozyona karşı direncinin artırılabilmesi için, puzolanik aktiviteye sahip, zeolit katkının (analsim ve klinoptilolit) kullanılmasının uygun olacağı bu tez çalışması bulgularına dayanılarak önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- ACI, (1994). Use of natural pozzolans in concrete. ACI Committee 232 Report, *ACI Mater*, 91 (4), 410-426.
- Ağaca, M. (2019). Geçirimsizlik sağlayan beton katkılarının donatı korozyonuna etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.
- Akgün, Y. (2003). Kısmen öngerilmeli yüksek başarımlı beton kirişlerin davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Arslan, ME. (2007). Eğilmede taşıyıcı hafif beton- donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırılmalı olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Asan, A. (2002). Uçucu kül katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (1), 47-54.
- ASTM C 125. (1994). Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM C 618. (1994). Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM C-876-91. (1999). American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Half Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- Aydın, Ö. (2012). Beton yapılarında donatı korozyonunun önlenmesine yönelik tedbirlerin araştırılması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Balaneji, HH. (2017). Farklı mineral katkılı betonların sülfat direncinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Baradan, B., Yazıcı, H. & Ün, H. (2002). Betonarme yapılarında kalıcılık (durabilite). *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 298, İzmir, 263.
- Barış, KE. (2016). Doğal puzolan katkılı kireç bağlayıcının otoklavla kür koşullarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Barrer, RM. (1978). Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves. Academic Press, London, 497 pp.

- Benli, A. (2007). Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Benjamin, SE. & Sykes, JM. (1995). Effect of temperature and chloride content on the corrosion potential of iron in chloride contaminated concrete. *The Arabian Journal of Science and Engineering*, 20, 269-278.
- Bilim, C. (2011). Çimento harçlarında ikame malzemesi olarak zeolit ve silis dumanı kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4), 339-345.
- Boğa, AR. (2005). Uçucu küllü betonarme elemanlarda donatı korozyonunun hızlandırılmış yöntemlerle araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Boğa, AR. (2010). Yüksek fırın cürufu ve korozyon inhibitörü kullanımının beton içerisindeki donatı korozyonuna ve beton özelliklerine etkileri. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Bulut, Ü. (2007). Perlitin puzolanik aktivitesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Calleja, J. (1989). Doğal maddelerde puzolanik aktivitenin çabuk ve kolay analizinde kondüktometrik metodun kullanımı. Puzolanlı Çimento Semineri, TÇMB, Ankara.
- Celep, Z. & Kumbasar, N. (1998). Betonarme Yapılar. Sema Matbaacılık, İstanbul, 860s.
- Cook, DJ. (1986). Rice husk ash, Cement Replacement Materials. *Concrete Technology and Design*, 3, 171- 196.
- Çakır, Ö. (2006). Yüksek fırın cürufunun betonun ve betonarmenin kalıcılığına (durabilitesine) etkisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çil, İ. (2006). Betonarme donatısında elektriksel yöntemlerle korozyon ölçümü. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (1), 59-63.
- Çolakoğlu, K. (2016). Bitümlü Su Yalıtımı Üreticileri Derneği (BİTÜDER) Yönetim Kurulu Basın Toplantısı.
- Davis, RE., Carlson, RW., Kelly, JW. & Davis, HE. (1937). Properties of cements and concretes containing fly ash. *ACI Journal*, 33(5), 577-612.
- Demir, A. (2008). Kiremit kırığı agregalı betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

- Demir, H. & Polat, E. (2003). Zeolit (klinoptilolit) ve tarımda kullanımı. *Hasad*, (221), 54-59.
- Demir, İ. (2009). Aynı oranlarda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özelliklerine etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 1(2), 1-7.
- Demirel, B. & Gönen, T. (2008). Yüksek sıcaklığın karbon lif takviyeli hafif betonda basınç dayanımı ve poroziteye etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 223-228.
- Dinçer, A. (2013). Pomza, silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların durabilite özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Doruk, M. (1996). Korozyonun temel ilkeleri üzerine. V. Korozyon Sempozyumu, 6-9 Kasım, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Durgun, H. (2015). Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatı korozyonunun elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.
- Durgun, MY. (2011). Pomza, kolemanit, barit ve yüksek fırın cürufu katkılı boylarla kaplanan beton ve donatıların korozyon performansı. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Duysak, Y. (2019). Çelik yapılarda bulonlu ve kaynaklı birleşimlerde korozyon etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Eker, A. (2009). Beton içindeki çelik korozyonu. <http://www.docplayer.biz.tr/> (Erişim tarihi: 08.10.2021).
- Erdoğan, ST. & Erdoğan, TY. (2007). Puzolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişleri. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 12-13 Nisan, Milli Kütüphane, Ankara.
- Erdoğan, TY. (2004). Sorular ve yanıtlarıyla beton malzemeleri. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 277s.
- Eren, D. (2018). Puzolanların puzolanik aktivitelerinin çimento özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ersoy, U. & Özcebe, G. (2001). Betonarme: temel ilkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) göre hesap. Evrim Yayınevi, 2, İstanbul, 816s.

- Erten, KM. (2009). Katkılı betonların aderans dayanımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Gündeşli, U. (2008). Uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun beton ve çimento katkısı olarak kullanımı üzerine bir kaynak taraması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Gürbüz, M. (2013). Çelik Tel ve Silis Dumanı İçeren Betonların Sodyum Klorürlü Ortamda Mekanik Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat.
- Haberal, Y. (2010). Uçucu küllü betonlarda klor iyonu geçirgenliğinin ve donatı korozyonunun incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı, Eskişehir.
- Hoşhan, P. (1994). Beton içindeki çeliğin korozyonunun üç elektrot yöntemiyle incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- İnci, P. (2011). Donatı korozyonunun betonarme yapıların deprem performansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Karabacak, E. (1994). Betonarme konstrüktif esaslar, detaylandırma ve donatım Sanatı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Karahan, O. (2006). Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Kepler, JL., Darwin D., Carl E. & Locke, JR. (2000). Evaluation of corrosion protection methods for reinforced concrete highway structures. Structural Engineering and Engineering Materials SM Report No:58, University of Kansas Center for Research Inc., Lawrence, Kansas.
- Kılıçoğlu, C. (2007). Betonarme yapılarda donatı korozyonu durumunun aletsel değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Kılınçkale, F. (1989). Pirinç kabuğu külünün puzolanik özellikleri ve külün çimento harcının dayanıklılığına etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılınçkale, F. (1996). Çeşitli puzolanların puzolanik aktivitesi ve bu puzolanlarla üretilen harçların dayanımı. *İmo Teknik Dergi*, 91, 1217-1229s.

- Konca, C. (2006). Çimento cinsi, donatı çapı ve tipinin beton-donatı aderansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Küçükyıldırım, E. (2013). Kimyasal veya ısıtılmış görmüş klinoptilolit zeolitinin puzolanik aktivitesinin ve katkılı çimentolardaki performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde.
- Liam, KC., Ray, SK. & Nortwood, DO., (1992). Chloride ingrees measurement and corrosion of potential mapping study of a 24 year old reinforced concrete Jetty Sructue in a Tropical Marine Environment. *Magazine of Concrete Research*, 44(160), 205-215.
- Mazsazza, F. (1989). Puzolanlar, puzolanlı çimentolar ve kullanım alanları. Seminer, TCMB, Ankara, 41-79.
- Orhan, M. (2018). Çelik liflerin beton ve donatı arasındaki aderansa etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Ticaret Odası Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Özcan, F. (2005). Silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri ve hızlandırılmış kür ile dayanım tahmini. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Sancak, E. (2005). Silis dumanı katkılı bimsbetonların özellikleri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Sarıkaya, H. (2006). Zeolit katkılı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
- Sheppard, AR. (1975). Zeolites in sedimentary rocks, *Industrial Minerals and Rocks*. *A.I.M.E*, New York, 1257-1262.
- Soğukoğlu, M. & Vatan, M. (2014). Mevcut betonarme konut binalarında enerji verimliliğinin artırılması için mimari çözüm önerileri. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 6(21), 13-22.
- Surama, MS. & Joshi, SN. (1988). Spectrophotometric method for estimating the reactivity of pozzolanic materials. *Advances in Cement Research*, V. 1, N. 4, pp. 238-42.
- Tanyıldızı, H. (2006). Beton tipi ve donatı boyutlarının beton ve çelik yüzeyleri arası dayanıma etkisinin kür şartları altında incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- Tashiro, C., Ikeda & Inoue, Y. (1994). Evaluation of pozzolanic activity by the electric resistance measurement method. *Cem and Concrete Research*, pp. 1133-39.

- Tokyay, M. & Erdoğan, K. (2009). Cürüfler ve cürüflü çimentolar. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayınları, Ankara, 48s.
- Topçu, İ.B. (2006). Yapı malzemesi ve beton. Sahvar Ofset A.Ş., Eskişehir.
- Topçu, İ. & Canbaz, M. (2008). Silis dumanının betonda mekanik çatlak oluşumlarına etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2), 18-26.
- TS-708. (2010). Beton çelik çubukları standardı. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- Tuutti, K. 1982, Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, CBI forskning research, 4(82), Stockholm, 468 pp.
- Uzal, B., Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu, M. C & Çulfaz, A. (2010). Pozzolanic activity of clinoptilolite: A comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic natural pozzolan. *Cement and Concrete Research*, 40(3), 398-404.
- Uzbaş, B. (2019). Çimento esaslı silis dumanlı uçucu küllü kompozitlerin sem ve xrd destekli görsel analizlerin yapay sinir ağları ile modellenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Ün, H. (2007). Bağlayıcı maddeler, yapı malzemeleri-2 ders notları. Denizli, [https://silo.tips/download/maddeler-yrd-do-dr-hayri-n-pamukkale-niversitesi-bahar-\(Erişim tarihi:13.01.2022\)](https://silo.tips/download/maddeler-yrd-do-dr-hayri-n-pamukkale-niversitesi-bahar-(Erişim tarihi:13.01.2022)).
- Yalçın, H. ve Koç, T. (1998). Mühendisler için korozyon. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kimya Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yamaç, S. (2010). Silis dumanı katkılı betonda klorür etkisinde korozyon oluşumu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yazıcıoğlu, Ö.F. (2016). Çimento ve beton endüstrisinin sürdürülebilir üretimlerinde Doğal zeolit (analsim)'in puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu.
- Yılmaz, T. (2006). Betonarme yapılarda taşıyıcı sistem ve donatı düzenleme ilkeleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, T. (2018). İki farklı doğal zeolit (analsim ve klinoptilolit) ikamesi ile üretilmiş çimento harç ve betonun ısı depolamada kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu.

- Yiğiter, H. (2008). Betonarme donatısında klorid korozyonu gelişiminin elektrokimyasal yöntemlerle belirlenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yüzer, N. (1999). Su Geçirimsizliğinin Donatı Korozyonuna Etkisi: Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara, 112s.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Meryem ÇETİNKAYA
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Aksaray Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	08.06.2015
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Fakülte	Fen Bilimleri Enstitüsü
Bölümü	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	