

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KROM VE OLİVİN ATIKLARININ BETONDA KULLANIMININ
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Ömer ÇOBAN

**Danışman
Doç. Dr. Emre SANCAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2014**

© 2014 [Ömer ÇOBAN]

TEZ ONAYI

Ömer ÇOBAN tarafından hazırlanan "**Krom ve Olivin Atıklarının Betonda Kullanımının Durabilite Özelliklerine Etkisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

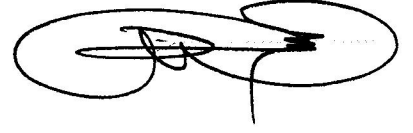
Danışman

Doç. Dr. Emre SANCAK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Fuat DEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. S. Gamze ERZENGİN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Ahmet ŞAHİNER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ömer ÇOBAN


İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu, Kapsam ve Amaç	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Beton	3
2.1.1. Betonun tanımı	3
2.1.2. Betonun çeşitleri.....	3
2.2. Betonda Durabilite (Kalıcılık).....	7
2.2.1. Betonda durabilite kıstasları.....	8
2.2.2. Betonun kimyasal nedenlerle bozunması.....	10
2.3. Korozyon ve Betonarme Donatısındaki Korozyon Çeşitleri	21
2.3.1. Atmosferik korozyon	22
2.3.2. Elektro-kimyasal korozyon	23
2.3.3. Temas korozyonu	25
2.3.4. Klorür ve klorür kaynaklarının neden olduğu korozyon.....	25
2.3.5. Çatlaklı betonda oluşan korozyon.....	26
2.4. Korozyon Ölçüm Yöntemleri.....	28
2.4.1. Ağırlık kaybı yöntemi	28
2.4.2. Tafel ekstrapolasyon yöntemi	28
2.4.3. Galvanostatik yöntem.....	30
2.4.4. Potansiyostatik yöntem	31
2.4.5. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi (EIS).....	31
2.4.6. Lineer polarizasyon yöntemi	32
2.5. Krom	33
2.5.1. Krom ve tanımı	33
2.5.2. Kromun fiziksel ve kimyasal özellikleri	34
2.5.3. Krom rezervleri	35
2.5.4. Kromun kullanım alanları	37
2.6. Olivin.....	38
2.6.1. Olivinin tanımı	38
2.6.2. Olivinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	39
2.6.3. Olivin rezervleri	40
2.6.4. Olivinin kullanım alanları	41
2.7. Kaynak Taraması	45
3. MATERYAL VE YÖNTEM	64
3.1. Materyal	64
3.1.1. Çimento	64
3.1.2. Agregat	65
3.1.3. Karışım suyu	66
3.1.4. Krom atıkları	67
3.1.5. Olivin atıkları	67

3.1.6. Betonarme çeliği	68
3.1.7. Referans elektrot	68
3.1.8. Karşıt elektrot.....	69
3.1.9. Çözelti	70
3.2. Yöntem.....	70
3.2.1. Numunelerin hazırlanması ve kodlanması	70
3.2.2. Çökme hunisi (Slump) deneyi.....	73
3.2.3. Sertleşmiş betonun yoğunluğu deneyi	74
3.2.4. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	75
3.2.5. Yüzey sertliği (Schmidt çekici) deneyi	76
3.2.6. Kılcal su emme (kapilerite) deneyi	76
3.2.7. Kütlece su emme, porozite ve kompasite deneyi	77
3.2.8. Basınç dayanımı deneyi	78
3.2.9. Lineer polarizasyon yöntemi ile korozyon ölçümleri için numune üretimi	79
3.2.10. Lineer polarizasyon ölçümleri.....	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	83
4.1. Çökme Hunisi (Slump) Deneyi Bulguları.....	83
4.2. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğu Deneyi Bulguları.....	84
4.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Bulguları	86
4.4. Yüzey Sertliği Deneyi (Schmidt Çekici) Bulguları	88
4.5. Kılcal Su Emme (Kapilerite) Deneyi Bulguları	89
4.6. Kütlece Su Emme, Porozite ve Komposite Deneyi Bulguları	91
4.7. Basınç Dayanımı Deneyi Bulguları	95
4.8. Lineer Polarizasyon Ölçümleri Bulguları	97
4.8.1. Korozyon hızı (corosion rate) bulguları.....	97
4.8.2. Polarizasyon direnci (R_p) bulguları	100
4.8.3. Korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) bulguları	102
4.8.4. Korozyon akımı (I_{cor}) bulguları.....	106
4.8.5. Açık devre potansiyeli (OCP) bulguları.....	109
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	130

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KROM VE OLİVİN ATIKLARININ BETONDA KULLANIMININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Ömer ÇOBAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Emre SANCAK

Bu tez çalışmasında krom ve olivin atıklarının betonda kullanımının durabilite özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu etkinin araştırılması amacı ile hedef basınç dayanımı C30 olarak belirlenmiş ve referans beton ile karşılaştırılmak üzere bilyeli değirmen ile çimento inceliğine kadar öğütülmüş krom ve olivin atıklı betonlar üretilmiştir. Krom ve olivin atıkları betonda çimentoyla hacimce %5, %10, %20 ve %40 oranlarında yer değiştirilerek 15x15x15 cm'lik küp numuneler üretilmiştir. Prizini tamamlayan sertleşmiş beton numuneler kalıplarından çıkarılarak 7 ve 28 gün boyunca kür uygulanmıştır. 7 gün 22±1°C'de suda kür edildikten sonra beton numunelerin yoğunluk, ultrases geçiş hızı, yüzey sertliği (Schmidt çekici) ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. 28 gün 22±1°C'de suda kür edilen beton numunelerde ise yoğunluk, ultrases geçiş hızı, yüzey sertliği (Schmidt çekici), kılcal su emme katsayısı, kütlece su emme yüzdesi, porozite - kompazite yüzdesi ve basınç dayanımı değerleri bulunmuştur. Krom ve olivin atığı içeren numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızı, yüzey sertliği ve basınç dayanımı değerlerinde belirli oranlarda düşüş meydana gelmiştir. Ancak %5, %10 ve %20 oranlarında atık içeren numuneler hedef basınç dayanımı üzerinde dayanım değeri sağlamışlardır.

Yeterli basınç dayanımına sahip %5, %10 ve %20 oranlarında ayrı ayrı krom ve olivin atığı içeren beton karışımları ile Ø5x10 cm boyutlarındaki kalıplara demir donatılı (Ø10) betonarme numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler, betonarme donatısı korozyon dirençlerinin belirlenmesi amacı ile 14 gün normal kür uygulandıktan sonra %5'lik NaCl çözelti ortamına nakledilmişlerdir. Çözelti içerisinde 17 hafta (yaklaşık 120 gün) tutulan numuneler, her hafta Lineer Polarizasyon ölçümlerine tabi tutularak donatı korozyonu ile ilgili Korozyon hızı, R_p , E_{cor} , I_{cor} ve OCP değerleri ile belirlenmiştir.

Deney sonuçlarına göre krom ve olivin atıklarının ayrı ayrı %5 ve %10 oranlarında çimento yerine kullanımı, beton numunelere göre gömülü betonarme demirinin korozyon hızını yavaşlatmış ve korozyon direncini referans numuneye nazaran arttırmıştır.

Krom ve olivin atıklarının çevre kirletici etkilerinin azaltılması amacıyla %5 ve %10 oranlarında ayrı ayrı çimento ile yer değiştirilerek beton üretiminde kullanımı betona

gömülü betonarme donatısının korozyona karşı direncini arttırdığından hem çevre hem de beton maliyetlerini azaltması bakımından yapı malzemeleri sektörüne olumlu katkı sağlayabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yapı malzemeleri, beton, durabilite, endüstriyel atıklar, krom, olivin, korozyon hızı, Lineer polarizasyon, kılcal su emme.

2014, 131 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECTS OF USAGE OF CHROME AND OLIVIN WASTES IN CONCRETE ON DURABILITY PROPERTIES

Ömer ÇOBAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Construction Education**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Emre SANCAK

In this research, the effects of usage of chrome and olivin wastes in concrete on durability properties were examined. With the aim of this effect's examination, aimed compressive strength was fixed at C30 and concrete with ball mill grinding wastes of chrome and olivin was produced. Chrome and olivin wastes were replaced in the ratio of %5, %10, %20 and %40 in concrete and 15x15x15 cubic concrete samples were produced. Hardening concretes were taken out of their molds and they were cured for 7- 28 days. After 7 days of cure in 22±1°C water, values of density, ultrasonic pulse velocity, surface hardness, and compressive strength were determined. After 28 days of cure in 22±1°C water density, ultrasonic pulse velocity, surface hardness, values of capillary absorption coefficient, water absorption by weight percentage, porosity - compactness percentage and compressive strength were determined. Decrease was shown in values of ultrasonic pulse velocity, surface hardness and compressive strength of chrome and olivin wastes including samples. On the other hand, samples with %5, %10 and %20 waste have shown more strength than the aimed Compressive strength.

Using concrete mix with enough compressive strength, seperately including %5, %10 and %20 chrome and olivin waste, reinforced concrete samples were produced in Ø5x10 cm molds. In order to determine reinforced concrete corosion resistance, these samples were cured normally for 14 days, following that they were transferred to %5 NaCl solution. Samples kept in solution for 17 weeks (about 120 days) were evaluated by lineer polarisation every week and corrosion rate related to reinforcement corosion was determined in R_p , E_{cor} , I_{cor} ve OCP values.

By test results, use of chrome and olivin wastes seperately %5 and %10 instead of cement, slowed down corrosion rate of reinforced concrete and increased corrosion resistance with regard to the reference sample.

Use of chrome and olivin wastes in concrete production, replacing seperately %5 and %10 with cement, in order to decrease their effects in enviromental pollution increases reinforced concrete's resistance of corrosion. Therefore, it will provide positive contribution to the building materials industry, in terms of decrease in both enviromental and concrete costs.

Keywords: Construction materials, concrete, durability, industrial wastes, chrome, olivine, corrosion rate, lineer polarisation, capillary absorption.

2014, 131 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırmada beni yönlendiren, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli Danışman Hocam sayın Doç. Dr. Emre SANCAK'a, deneysel çalışmalarımada Maden Mühendisliği Laboratuvarı'nın imkanlarından yararlanmamı sağlayan sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup UMUCU'ya; çalışmalar esnasında yanımda olup her türlü desteğini ve yardımını eksik etmeyen değerli arkadaşlarım Süleyman DALKILIÇ'a, Onur ACAR'a, Bülent TOPBAŞLI'ya, Yılmaz SEVİNÇLİ'ye, Fırat ÇINAR'a; deneysel çalışmalarımada yardımcı olan öğrenci arkadaşlarımdan Ahmet AKKO'ya, İlhan ASLAN'a, Yetiş ALTINPARMAK'a, Mustafa UZUN'a, Halil KILAVUZ'a, Uğur GÜL'e; tez çalışmamda yanımda olup manevi desteklerini eksik etmeyen değerli arkadaşlarım Gamze KURKUT'a, Hafize ÖZKAYA'ya teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, 3061-YL-12 nolu projeyle finansal olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP) teşekkür ederim.

Tezimde konu olarak incelediğim atıkların temini konusunda yardımlarını esirgemeyen ŞETAT Madencilik Ltd. Şti'ye ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezimde, bana destek olan ismini an itibariyle hatırlayamayıp burada yer veremediğim herkese çok teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, maddi ve manevi her türlü desteği hiçbir zaman benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ömer ÇOBAN
ISPARTA, 2014

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Betonun asit etkisiyle bozulması	12
Şekil 2.2. Sülfat etkisiyle betonun bozulması	14
Şekil 2.3. Gecikmiş etrenjit (DEF) oluşumunun meydana geldiği bir adet prefabrik betonarme eleman.....	16
Şekil 2.4. Alkali silika reaksiyonu (ASR) sonucunda zarar görmüş beton eleman	17
Şekil 2.5. Alkali silika reaksiyonu ile zarar görmüş betonda agrega-jel oluşumu ve çatlak görüntüsü.....	18
Şekil 2.6. Alkali silika reaksiyonu (ASR) oluşumu nedeniyle betonun bozulma mekanizması.....	18
Şekil 2.7 Yüzeyine fenolfetalin püskürtülmüş yüzey	19
Şekil 2.8. Beton içerisindeki donatının elektro-kimyasal korozyonu	24
Şekil 2.9. Betonarme donatısında klorür iyonlarının yol açtığı korozyon	26
Şekil 2.10. Betonda çatlak bölgesinde meydana gelen korozyon gelişimi	27
Şekil 2.11. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri.....	29
Şekil 2.12 Galvanostatik yöntem.	30
Şekil 2.13. Galvanostatik yöntemde sistemler a) Üç elektrotlu b) İki elektrotlu.....	31
Şekil 2.14. Potansiyostatik yöntem	31
Şekil 2.15. Dış akıma karşı polarizasyon aşırı gerilimi	32
Şekil 2.16. Krom	34
Şekil 2.17. Olivin minerali	39
Şekil 3.1. Karışımda kullanılan agreganın granülometri eğrisi.....	66
Şekil 3.2. Karışımlarda kullanılan betonarme çeliğinin kullanım şeması.....	68
Şekil 3.3. Referans elektrot	69
Şekil 3.4. Karşıt elektrot.....	69
Şekil 3.5. Bilyeli öğütme cihazı	72
Şekil 3.6. Beton karışım mikseri	72
Şekil 3.7. Sarsma tablası	72
Şekil 3.8. Sertleşmeye bırakılan beton numuneler	73
Şekil 3.9. Sertleşmiş beton num. kür havuzuna yerleştirilip kür edilmesi.....	73
Şekil 3.10. Çökme hunisi (Slump) değerlerinin belirlenmesi	74
Şekil 3.11. Çökme hunisi (Slump) deney aparatları	74
Şekil 3.12. Arşimed terazisi	75
Şekil 3.13. Ultrases cihazı	75
Şekil 3.14. Ultrases geçiş hızı değerlerinin elde edilmesi.....	75
Şekil 3.15. Schmidt çekici ile beton numunelerin yüzey sertliklerinin belirlenmesi	76
Şekil 3.16. Kılcal (kapiler) su emme düzeneği	77
Şekil 3.17. Basınç dayanım cihazı ve basınç dayanım değerlerinin belirlenmesi	78
Şekil 3.18. Donatının beton içerisine yerleşme şeması.....	79
Şekil 3.19. Silindir kalıpların şok masasına yerleştirilip beton dökümüne hazırlanması	79
Şekil 3.20. Beton dökümü tamamlanan silindirik korozyon numunesi	80
Şekil 3.21. Nemini korumak üzere plastik örtülerle kaplanan silindirik korozyon numuneleri.....	80

Şekil 3.22. Kalıptan çıkarılmış silindirik korozyon numuneleri	80
Şekil 3.23. Korozyon numunelerinin % 5'lik NaCl çözeltisinde korozyon ortamına maruz kalması	81
Şekil 3.24. %5' lik NaCl çözeltisinde platin ve kalomel elektrot ile korozyon ölçümünün yapılması	82
Şekil 4.1. KA'lı taze beton numunelerinin çökme hunisi (Slump) değerleri.....	83
Şekil 4.2. Olivin atıklı taze beton numunelerinin çökme hunisi (Slump) değerleri.....	84
Şekil 4.3. KA'lı sertleşmiş beton numunelerinin yoğunlukları (kg/m^3) .	84
Şekil 4.4. OA'lı sertleşmiş beton numunelerinin yoğunlukları (kg/m^3) .	85
Şekil 4.5. Krom atıklı betonların ultrases geçiş hızı değerleri (km/s).....	86
Şekil 4.6. OA'lı betonların ultrases geçiş hızı değerleri (km/s).....	87
Şekil 4.7. KA'lı betonların yüzey sertliği değerleri	88
Şekil 4.8. OA'lı betonların yüzey sertliği değerleri	89
Şekil 4.9. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin kılcal (kapiler) su emme katsayıları	90
Şekil 4.10. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin kılcal (kapiler) su emme katsayıları	90
Şekil 4.11. KA'lı sertleşmiş beton numunelerinin kütlece su emme yüzdeleri	91
Şekil 4.12. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin kütlece su emme yüzdeleri	92
Şekil 4.13. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin porozite yüzdeleri	93
Şekil 4.14. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin porozite yüzdeleri	93
Şekil 4.15. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin kompasite yüzdeleri	94
Şekil 4.16. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin kompasite yüzdeleri	95
Şekil 4.17. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin basınç dayanımı değerleri (N/mm^2).....	95
Şekil 4.18. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin basınç dayanımı değerleri (N/mm^2).....	96
Şekil 4.19. KA'lı numunelerin korozyon hızı değerleri.....	97
Şekil 4.20. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon hızı değerleri.....	98
Şekil 4.21. OA'lı numunelerin korozyon hızı değerleri.....	99
Şekil 4.22. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon hızı değerleri.....	99
Şekil 4.23. KA'lı numunelerin polarizasyon direnci (R_p) değerleri	100
Şekil 4.24. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama polarizasyon direnci (R_p) değerleri	101
Şekil 4.25. OA'lı numunelerin polarizasyon direnci (R_p) değerleri	101
Şekil 4.26. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama polarizasyon direnci (R_p) değerleri	102
Şekil 4.27. KA'lı numunelerin korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri.	103
Şekil 4.28. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri.....	104
Şekil 4.29. OA'lı numunelerin korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri.	104
Şekil 4.30. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri.....	105
Şekil 4.31. KA'lı numunelerin korozyon akımı (I_{cor}) değerleri	106

Şekil 4.32. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon akımı (I_{cor}) değerleri	107
Şekil 4.33. OA'lı numunelerin korozyon akımı (I_{cor}) değerleri	107
Şekil 4.34. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon akımı (I_{cor}) değerleri	108
Şekil 4.35. Krom atıklı numunelerin açık devre potansiyeli değerleri	109
Şekil 4.36. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama açık devre potansiyeli değerleri	110
Şekil 4.37. OA'lı numunelerin açık devre potansiyeli değerleri	110
Şekil 4.38. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama açık devre potansiyeli değerleri	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Hafif betonların sınıflandırılması.....	4
Çizelge 2.2. Normal, ağır ve hafif beton için basınç dayanımı sınıfları ...	6
Çizelge 2.3. Çeşitli ülkelerin hazır beton sektörüne başlangıç yılları	7
Çizelge 2.4. Betonun iç ve dış etkenlerle bozulması	9
Çizelge 2.5. Değişik endüstri kollarında ortaya çıkan ve betona temas ettiği takdirde zararlı etkilere neden olacak olan asitler.....	12
Çizelge 2.6. ACI 201' e göre zemin suyunda ve toprakta bulunan sülfat yoğunluklarının betona etkisi ve önerilen maksimum Su/Çimento oranları	14
Çizelge 2.7. TS 3440' a göre sülfat (SO_{4-2}) iyonlarının zararlı etkinlik dereceleri	14
Çizelge 2.8. İngiltere de açıkta bırakılan (yağmurdan korunmuş) beton elemanların 30 yıl sonundaki karbonatlaşma derinlikleri	20
Çizelge 2.9. Kromun fiziksel ve kimyasal özellikleri	35
Çizelge 2.10. Dünya kromit rezervleri	36
Çizelge 2.11. Olivinin genel kimyasal özellikleri	39
Çizelge 2.12. Olivinin genel özellikleri	39
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel kimyasal ve mekanik özellikleri	64
Çizelge 3.2. Karışımda kullanılan agreganın fiziksel özellikleri	65
Çizelge 3.3. Karışımda kullanılan agreganın granülometrik dağılımı	65
Çizelge 3.4. Isparta SDÜ şebeke suyunun kimyasal özellikleri.....	66
Çizelge 3.5 Krom atıklarının kimyasal özellikleri	67
Çizelge 3.6. Bursa- Orhaneli yöresi olivinlerinin kimyasal özellikleri...	67
Çizelge 3.7. Betonarme çeliğinin kimyasal özellikleri	68
Çizelge 3.8. $1m^3$ beton için karışım oranları (kg)	71
Çizelge 4.1. Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM Amerikan standartları

A_s	Deney numunesinin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı
A_c	Uygulama yönüne dik deney numunesi kesit ortalama alanını
$C_{w,s}$	Beton doğal taş ve yapay taş kagir birimlerin kapiler su emme katsayısı
d	Tane çapı
D	Numunenin nem ve hacim tayini metoduna bağlı birim hacim kütlesi
DKY	Doygun kuru yüzey
d_{max}	Malzemedeki en büyük tane çapı
E	Potansiyel
$E_{(I=0)}$	Korozyon potansiyeli
F	Kırılma yükü
f_c	Deney numunesinin basınç dayanımı
GK	Görünen kompasite yüzdesini
GP	Görünen porozite yüzdesi
I	Akım
I_{cor}	Korozyon akımı
KA	Krom atığı
l	Ölçü boyu
m	Numunenin deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi
m_a	Numunenin havadaki kütlesi
$m_{dry,s}$	Deney numunesinin kurutma sonrasındaki kütlesi
$m_{so,s}$	Deney numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütlesi
m_{st}	Kefenin su içerisindeki görünür kütlesi
m_w	Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi
OA	Olivin atığı
OCP	Açık devre potansiyeli
p_w	Suyun 998 kg/m^3 olarak kabul edilen, 20°C sıcaklıktaki yoğunluğu
R	Direnç
R_p	Polarizasyon direnci
SCE	Doygun kalomel elektrot
t	Ses geçiş süresini
TS	Türk standartları
t_{so}	Deney numunesinin suya temas ettirilme süresini
V	Hacim
V	Ses hızı
W_0	Etüv kurusu ağırlığı
W_1	Suya doymuş ağırlığı
W_2	Numunenin su içinde asılı ağırlığı
W_w	Kütlece su emme yüzdesi
y	Çapı d' den küçük olan tanelerin karışımdaki yüzdesi
β_a, β_c	Tafel sabitleri
$\emptyset$	Demir donatı çapı

1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılan, agrega, su, çimento ve gerektiğinde bazı katkı malzemelerinin karıştırılmasıyla elde edilen beton, kendisini oluşturan malzemelerin kolay ve ucuz temin edilmesi, istenilen formda üretilebilir olması, onarım maliyetlerinin alternatif malzemelere göre düşük ve maruz kaldığı zararlı ortam şartlarındaki performansının yüksek olması sebebiyle en çok tercih edilen yapı malzemesidir (Erdoğan, 2003; Erdoğan ve Kubetci, 2003; Topçu vd., 2006; Uygunoğlu, 2008).

Uzun yıllardan bu yana en önemli yapı malzemesi olma özelliğini ve güncelliğini korumuş olan beton, yollar, sulama kanal kaplamaları, köprüler, barajlar ve konutlar gibi bütün inşaatlarda az veya çok kullanılmaktadır (Şimşek, 2012). Bu yüzden beton, yapıda hizmet gördüğü müddetçe çevrede oluşan yıpratıcı etkiler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Donma-çözülme, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma, aşınmaya, asitlere, sülfatlara ve alkali agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilecek kalitede olmalıdır. Yani zaman içerisinde çevreden maruz kalacağı etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Buna da durabilite (kalıcılık) denilmektedir (Erdoğan, 2003).

Durabiliteyi sağlamak ve betonun özelliklerini iyileştirmek için beton kompozisyonları çeşitli katkılarla yenilenmiştir. Bunlar arasında başlangıçta bertaraf problemini azaltmak için betona ilave edilen çeşitli atık ürünleri yer almaktadır. Her ne kadar başlangıçta bertaraf problemini çözmek adına betona ilave edilseler de yıllar içinde beton özelliklerini olumlu bir biçimde değiştirme yeteneklerinin olduğu görülmüştür. Bunlara lignosülfat, silis dumanı ve uçucu kül gibi yaygın kullanılan atıklar örnek olarak verilebilir (Millitrath, 2003).

Endüstriyel atık olarak da tanımlanabilen bu atıkların depolanması ya da doğaya bırakılması çevre kirliliği dahil olmak üzere çok büyük güçlükleri ve sorunları meydana getirmektedir. Günümüzde, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen yan ürün veya bu atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmalar yapılmaktadır (Üstünkol ve Turabi, 2009). Ayrıca bu atıkların inşaat sektöründe kullanımı çok yönlü yarar sağlayabilecek bir konu haline gelmiştir. Bu atıkların

kullanımı ile bir yandan sınırlı doğal kaynakların hızlı tüketimi önlenirken, diğer yandan ise bu atıkların neden olduğu çevre problemlerine çözüm getirilmiştir. Ayrıca bu atıkların kullanımının ülke ekonomisine yararlı olduğu bilinen bir gerçektir (Rojas and Sánchez de Rojas, 2004; Gülderen, 2011).

Tüm endüstriyel faaliyetlerde olduğu gibi madenlerin işletilmesi sonucunda oluşan atıklar uygun olmayan biçimde çevreye bırakıldıklarında diğer atıklar gibi insan sağlığını tehdit etmektedirler. Ülkemizde ve Avrupa’da hayli büyük miktarlarda maden atık oluşumu söz konusudur. Örneğin, Avrupa Birliğinde madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atık miktarı, Avrupa’da oluşan yıllık atık miktarının %29’unu oluşturmaktadır. Diğer bir ifadeyle meydana gelen maden atıkları yıllık 400 milyon tonu aşmaktadır (Commission of the European Communities, 2003). Avrupa’da özellikle 2000’li yıllara doğru maden atıklarının depolandığı havuzlarda/barajlarda meydana gelen kazaların ciddi çevresel sorunlar yaratması bu konu üzerindeki çalışmaları yoğunlaştırmıştır (Çetiner vd., 2006).

1.1. Konu, Kapsam ve Amaç

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı’nda, Yapı Malzemeleri alanında, Yüksek Lisans tez çalışması olarak yürütülmüş olup, krom ve olivin atıklarının betonda kullanımının durabilite özelliklerine etkisinin araştırılmasını konu edinmiştir.

Çalışma genel olarak endüstriyel atıkların bir kolu olan maden atıklarından krom ve olivin atıklarının betonda kullanımıyla betonun durabilite özellikleri çerçevesinde dayanımını, geçirgenliğini, korozyon ortamındaki davranışını kapsamaktadır.

Çalışmada endüstriyel atıklardan maden atıklarının depolanmasına yönelik bertaraf sorununa kolaylık sağlanması, çevre ve hava kirliliklerinin önüne geçilmesi, krom ve olivin atıklarının yeni alanlarda değerlendirilerek ülke ekonomisine katkı sağlanması, durabilite kapsamı içerisinde yer alan donatı çeliği korozyonunun engellenmesi veya en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bunun başarılabilmesi uzun ömürlü yapıların elde edilebilmesine de katkı sağlayacağından ülke öz kaynaklarının tasarrufu mümkün olabilecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Beton

2.1.1. Betonun tanımı

Çimento, beton agregası, su ve uygun katkı maddelerinin belirli hesaplar sonucunda, belirli bir üretim teknolojisine uygun olarak belirli oranlarda karışımı ile elde edilen önce plastik kıvamda olup zaman içerisinde çimentonun hidrotasyonu sebebiyle katılaşp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit yapı elemanına beton denilmektedir (Şimşek, 2012).

Tipik bir beton karışımı yüzde 60-70 oranında kum ve çakıl taşı veya kırma taş, yüzde 15-20 oranında su ve yüzde 10-15 oranında kireç taşı, kil ve diğer maddelerin pişirilmesiyle elde edilmiş çimentodan oluşur. (Goho, 2005).

Beton, çimento, agrega, kimyasal katkılar, mineral katkılar ve su gibi büyük miktarı insan yapımı (yapay) malzemelerden oluştuğu gibi betonun aktif bileşeni çimento pastasıdır ve betonun performansı büyük ölçüde çimento pastasıyla tespit edilir. Bununla birlikte betonda kullanılan katkılar (priz) hızlanma,(priz) yavaşlama, hava sürüklenme, su azaltma, plastisite vb. gibi faydalı etkiler oluşturur ve bu özellikler çimento-katkı etkileşimiyle ilgilidir. Yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve diğerleri gibi mineral katkılar ise sadece betonun özelliklerini iyileştirmektedir (Ramachandran ve Beaudoin, 2001).

2.1.2. Betonun çeşitleri

Betonları genel olarak, yoğunluklarına göre, basınç dayanımlarına göre ve üretildikleri yerlere göre olmak üzere üç gruba ayırmak mümkündür (Şimşek, 2012).

2.1.2.1. Yoğunluklarına göre betonlar

Yoğunluklarına göre betonlar; hafif betonlar, normal betonlar ve ağır betonlar olmak üzere gruplandırılabilir. (Şimşek, 2012).

a. Hafif betonlar:

28 günlük silindirik basınç dayanımları 17 MPa'nın üzerinde olan, birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 'ü geçemeyen betonlar hafif beton sınıfında yer alırlar. Ülkemiz de dahil olmak üzere, bazı ülkelerin standartlarında, hafif betonun birim ağırlığının 1900 kg/m^3 e kadar çıkmasına izin verilmektedir. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{-}800 \text{ kg/m}^3$ 'tür (Postacıoğlu vd., 1986; Taşdemir, 2003).

Çizelge 2.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Ünal ve Uygunoğlu, 2007)

Hafif Beton Tipi	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Isı iletkenlik ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)
Çok Hafif Yalıtım Betonu	< 800	< 2	< 0.16
Çok Hafif Beton	< 800	> 2	< 0.16
Hafif Taşıyıcı Yalıtım Betonu	800-1400	> 10	< 0.80
Hafif Taşıyıcı Beton	> 1200	> 20	-
Yüksek Dayanımlı Hafif Beton	> 1200	> 30	-

b. Normal betonlar:

Etüv kurusu yoğunluğu $2000\text{-}2600 \text{ kg/m}^3$ arasında değişim gösteren, genellikle yoğun beton agregası ile üretilen betonlar normal beton olarak adlandırılmakla birlikte betonda kullanılan agreganın çeşidi, orjini ve granülometrik yapısı normal betonun yoğunluğunun bağlı olduğu unsurlardır (Şimşek, 2012). Bu beton türleri inşaat mühendisliğinde en yaygın olarak kullanılan malzeme olduğu gibi birim ağırlığı yüksek ve çok iyi taşıyıcı bir malzemedir (Akman ve Taşdemir, 1977; Neville, 2011; Kadiroğlu, 2012).

c. Ağır betonlar:

Etüv kurusu yoğunluğu, 2600 kg/m^3 ten daha büyük olan beton ağır beton olarak tanımlanmaktadır (TSE, 2010). Ağır beton üretiminde genel olarak barit, limonit, magnetit gibi demir cevheri olan doğal agregalar ve ya sanayi atıkları olan demir ve

kurşun parçacıkları gibi yapay nitelikteki özel agregalar kullanılmakla birlikte geleneksel betonlardan en önemli farkı birim kütlelerinin daha fazla olmasıdır (Durmuş, 2000; Akgün, 2007; Binici 2010). Dünyada ve özellikle Türkiye’ de ağır betonların üretim ve kullanımı bu konu üzerinde yeterli inceleme yapılmamış olduğundan oldukça sınırlı olmakla beraber bugün en çok radyasyon yayan tesislerde tehlikeyi önleme adına kullanılmaktadır (Gürsoy, 1997; Durmuş ve Gürsoy, 2000; Akgün, 2007).

2.1.2.2. Basınç dayanımlarına göre betonlar

Basınç dayanımlarına göre betonları, düşük dayanımlı betonlar, normal dayanımlı betonlar ve yüksek dayanımlı betonlar olarak gruplandırabilmekteyiz.

a. Düşük dayanımlı betonlar:

Genellikle basınç dayanımı özelliği ilk tercih sebebi olmayan, ısı yalıtımı, hacimleri bölme, alanları kapatma, canlıları olumsuz etkilerden koruma amaçlı üretilen, yapımında karışık agrega, hafif, organik, polipilen kökenli agregalar kullanılabilen, basınç dayanımları C8’ den C18’ e kadar olan betonlara düşük dayanımlı betonlar denilmektedir (Şimşek, 2012).

b. Normal dayanımlı betonlar:

Yapımında karışık agrega, kullanılacağı gibi, TS 802’ de öngörülen agregalarında kullanılabildiği, C40 ‘tan küçük C20’ den C35’e kadar basınç dayanım özelliği gösteren betonlara normal dayanımlı betonlar denilmektedir(Atış, 2001; Şimşek, 2012).

c. Yüksek dayanımlı betonlar

Türkiye standartlarına göre basınç dayanımları 50 MPa’ dan daha yüksek olan betonlara yüksek dayanımlı betonlar denilmektedir. Ülkemizde yüksek katlı binaların yapımıyla yaygınlaşan yüksek dayanımlı betonlar, silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıları kullanılarak ve bu katkıların küçük yapıda olmalarından dolayı

çimento ve agreganın arasını doldurarak, agreganın çimento hamuruna daha iyi tutunmasıyla elde edilmesi yaygın bir yöntemdir (Barada vd., 2001; Yılmaz ve Mertol, 2011).

Çizelge 2.2. Normal, ağır ve hafif beton için basınç dayanımı sınıfları (TSE, 2010)

Basınç Dayanım Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı ($f_{ck,sil}$) N/mm ²	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı ($f_{ck,küp}$) N/mm ²	Basınç Dayanım Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı ($f_{ck,sil}$) N/mm ²	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı ($f_{ck,küp}$) N/mm ²
C 8/10	8	10	LC 8/9	8	9
C 12/15	12	15	LC 12/13	12	13
C 16/20	16	20	LC 16/18	16	18
C 20/25	20	25	LC 20/22	20	22
C 25/30	25	30	LC 25/28	25	28
C 30/37	30	37	LC 30/33	30	33
C 35/45	35	45	LC 35/38	35	38
C 40/50	40	50	LC 40/44	40	44
C 45/55	45	55	LC 45/50	45	50
C 50/60	50	60	LC 50/55	50	55
C 55/67	55	67	LC 55/60	55	60
C 60/75	60	75	LC 60/66	60	66
C 70/85	70	85	LC 70/77	70	77
C 80/95	80	95	LC 80/88	80	88
C 90/105	90	105	a) Küp ve silindir numune basınç dayanımları arasında yeterli kesinliğe sahip ilişki kurulması ve bu ilişkinin belgelendirilmesi şartıyla, verilen bu dayanımlardan başka değerler de kullanılabilir.		
C 100/115	100	115			

2.1.2.3. Üretildikleri yerlere göre betonlar

Betonlar üretim yerlerine göre şantiye betonu ve santral betonu olmak üzere gruplandırılabilir.

a. Şantiye betonu:

Beton kullanıcısı tarafından şantiyede ve sadece kendi kullanımı için imal edilmiş betona şantiye betonu denilmektedir (TSE, 2010). Hazır beton ile üretim sisteminin gelişmesinin adından yavaş yavaş üretiminden vazgeçilmeye başlanmıştır. Üretimi

genellikle şantiyelerde tamir işlemlerini gerçekleştirmek ve geçici yapıların inşası gibi sürekli olmayan işler için yapılmaktadır.

b. Santral betonu (hazır beton):

Malzemelerin istenilen oranlarda bilgisayar kontrolüyle bir araya getirilmesiyle, beton santrali ya da mikserde karıştırılmasıyla üretimi gerçekleştirilen ve tüketiciye taze beton olarak teslim edilen betona hazır beton denilmektedir. Bu tür betonlar, şantiye dışındaki bir tesiste uygun karışım oranlarıyla hazırlanan, yeterli suyu, ya hazırlama tesisinde ya da gideceği yere yaklaşıncaya eklenen beton taşımaya ve karıştırmaya uygun araçlarla şantiyeye götürülüp orada basınçla kalıplarına kadar pompalanarak yerleştirilen betonlardır (Özışık, 2000; Ünal ve Yurtçu, 2007).

Türkiye’de, diğer ülkelerle kıyaslandığında hazır beton sektörü oldukça yenidir. Hazır beton sektörünün ilk oluştuğu ülke olan Almanya yaklaşık 100 yıl önce hazır beton endüstrisini kurmuştur. Türkiye’de ise hazır beton üretimi ilk olarak 1976’da Ankara’da başlamıştır (Karakule vd., 2005).

Çizelge 2.3. Çeşitli ülkelerin hazır beton sektörüne başlangıç yılları (Karakule vd., 2005)

Almanya	1903
İngiltere	1930
Fransa	1933
İspanya	1942
Hollanda	1948
Belçika	1956
Avusturya	1961
İtalya	1962
İsrail	1963
Türkiye	1976

2.2. Betonda Durabilite (Kalıcılık)

Genel olarak durabilite (kalıcılık), yapı malzemelerinin ve yapıların uzun yıllar boyu işlevlerini bozulmadan yerine getirebilmeleri olarak tanımlanmaktadır (Baradan vd.,2002). Bir başka deyişle, bir yapı malzemesinin, kendisi için ön görülen servis

zamanı içinde hiçbir eksiklik göstermeden işlevini yerine getirmesi, durabilite (dayanıklılık) veya kalıcılık olarak adlandırılmaktadır (Karagüler, 2003).

Önemi günümüzde daha fazla anlaşılmış ve üzerinde çalışmaların başlandığı durabilite, betonun performansının sadece işlenebilirlik ve dayanımla değil, dayanıklılığın da göz önüne alınarak değerlendirildiği bir kavramdır (Karagüler, 2003).

2.2.1. Betonda durabilite kısıtları

Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı olmamakla birlikte, aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde kalıcı denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması yavaşlatılmalıdır (Mather, 2004; Kurt, 2007)

Kullanılacağı yapısal sistemin koşullarına göre tasarlanmış ve gerekli kalite kontrol prosedürlerine uyularak hazırlanmış, yerleştirilmiş ve kür uygulanmış bir beton, servis süresi boyunca hiçbir onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur. Dayanıklı başka bir deyişle kalıcı bir beton; bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur. Dolayısıyla, betonun durabilitesi mekanik yükler dışında bulunduğu ortamdaki kimyasal ve fiziksel etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesi olarak tanımlanabilir (Mather, 2004; Kurt, 2007).

Betonun içerisine sızarak (su, karbondioksit, sülfat, asit... vb.) betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların yer almasına neden olan maddeler, yine betonda bulunan alkaliler ile reaktif agregalar arasında oluşan ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına neden olan reaksiyonlar ile ıslanma-kuruma, donma çözülme, ısınma-soğuma ve aşınma gibi fiziksel olaylar betonun yıpranmasına neden olmakta, betonu daha boşluklu bir malzeme haline getirebilmekte, içerisindeki demir donatıları paslandırabilmekte, betonun içerisinde çok büyük gerilmeler meydana getirerek betonun hasar görmesine ve hizmet edemez duruma gelmesine neden

olmaktadır (Erdoğan, 2003). Betonun bozulup hasar görmesine ve hizmet veremez duruma gelmesine neden olan iç ve dış etkenler Çizelge 2.4’ de görülmektedir.

Çizelge 2.4. Betonun iç ve dış etkenlerle bozulması (Baradan ve Yazıcı, 2003)

Fiziksel ve Mekanik Etkenler	Kimyasal ve Biyolojik Etkenler
• Donma- Çözülme • Buz Çözücü Tuzlar • Deniz Suyu Etkisi • Erozyon, yüzeysel aşınma, oyulma • Yüksek sıcaklıklar, yangın vb.	• Asitlerin, Amonyum ve magnezyum tuzlarının sertleşmiş çimento ile reaksiyonu • Betona sülfat saldırısı • Gecikmiş Etrenjit Oluşumu (DEF) • Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) • Karbonatlaşma • Korozyon vb.

Üretimi gerçekleştirilen betonun diğer yapılarda olduğu gibi betonarme yapılar için de, üretim öncesinde hedeflenen özelliklerini zaman içerisinde yitirmemesi ve çevre şartlarına karşı dayanıklılık göstermesi betondan istenilen çok önemli bir özelliktir. Durabilite kapsamında betonda aranan dayanıklılık özellikleri şu şekilde sıralanmıştır:

- Donma - çözülmeye karşı dayanıklılık,
- Islanma - kurumaya karşı dayanıklılık,
- Isınma - soğumaya karşı dayanıklılık,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Ateşe karşı dayanıklılık,
- Asit ve tuzlara karşı dayanıklılık
- Hacim değişikliğine yol açıcı kimyasal reaksiyonlara (alkali-agrega reaksiyonuna) karşı dayanıklılıktır (Erdoğan, 1995; Küçük, 2000).

Bazı bilim adamları betonun durabilitesinden sorumlu üç ana faktör önermişlerdir.

Bunlar;

1. Betonun tek başına dayanım özellikleri, tanımlanması için yeterli değildir,
2. Farklı ve uygunsuz çimento kullanımı ve bilinçsiz beton üretimi yapılması, dayanım azalmasına yol açabilir,
3. Betonarmedeki donatının korozyonu, beton dayanımı ile ilgili bir faktördür (Neville, 1983; Küçük, 2000).

Yine bazı araştırmacılar, beton dayanımı ve betonun kullanımındaki problemlerini, ilk olarak betonun bünyesel özelliklerine, geçirgenlik ve kimyasal bileşimine bağlamışlardır. İkinci olarak iklim ve hava şartları ile dışarıdan gelen zararlı kimyasal etkiler ve aşınma gibi dış etkilere kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bunlar tasarım hatalarının ve konstrüksiyon problemlerinin önemli olumsuz etkilerdir (Roper and Baweja, 1992; Küçük, 2000). Böylece beton özellikleriyle dış etkenler arasındaki etkileşimler ve betonun o çevre şartlarına uygun seçilmediğinin işareti olan betonarme elemanlarda görülen çatlaklar yapı elemanlarının durabilitesini ve bozulmasını belirlemiş olmaktadır (Küçük, 2000).

2.2.2. Betonun kimyasal nedenlerle bozunması

Çoğunlukla çevreden betonun bünyesine taşınan zararlı maddeler (iyon- molekül) ile bazı hallerde betonun kendi bünyesinden kaynaklanan zararlı maddelerin, betonda meydana getirdiği zararlı kimyasal reaksiyonlar kendini, betonun gözenekliliğinin ve geçirimsizliğinin artması, çatlamlar, dökülmeler, kapak atmalar, betonun yumuşaması, dayanım ve rijitliğini kaybetmesi şeklinde göstererek betonun hasar görme derecesinin artırılır ve bozulma süreci hızlandırılır. Pratikte beton birçok kimyasal etkiye aynı anda maruz kalabilir ve bu etkiler bir diğerini ortaya çıkarabilir veya şiddetlendirebilir. Beton içerisine su ve su buharının ortamda bulunmasıyla taşınan zararlı maddeler ile betonun reaktif bileşenleri arasındaki reaksiyon gerekli ortam oluşunca hemen başlar. Ancak genelde, beton bünyesi içinde veya yüzeyden içeriye taşınım hızı oldukça yavaş olduğundan, bazı reaksiyonların zararlı etkileri yıllar sonra ortaya çıkabilir (Baradan vd., 2002).

Betonun bozunmasma yol açan kimyasal reaksiyonları üç ana grupta toplamak mümkündür:

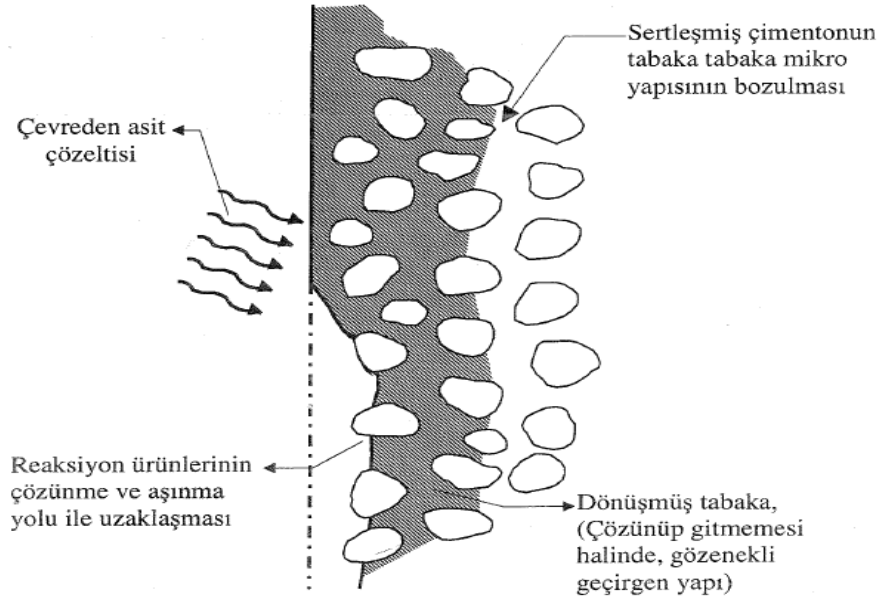
1. Düşük sertlikteki suların çimento hidrate bileşenlerini çözmesi ve yıkayarak beton bünyesinden uzaklaştırması şeklinde gelişen reaksiyonlar *I. Grup reaksiyonları*,
2. Agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesiyle reaksiyon ürünlerinin ya yıkanarak uzaklaştığı ya da suda çözünmeyen yeni bir yapı oluşturarak gelişen reaksiyonlar *II. Grup reaksiyonları* meydana getirmektedir. Asitlerin ve Mg^{2+} iyonu içeren suların oluşturdukları hasarlar bu tür reaksiyonlara örnek olarak verilebilir.
3. Sülfat etkisi, MgO ve CaO gibi çimento bileşenlerinin gecikmiş hidratasyonları, alkali silika reaksiyonu (ASR), beton içinde gömülü çelik donatının korozyonu gibi geniş ürünler oluşturarak betonda hasara yol açan reaksiyonlar *III. Grup reaksiyonları* oluşturmaktadır (Baradan vd., 2002).

2.2.2.1. Asit etkisi

Yapıyı etkileyen ve sertleşmiş betonun içine sızan sularda bulunan asitlerin yapmış olduğu yıpratıcı etkiye asit hücumu denilmektedir (Uğurlu, 2003; Çakır, 2006). Asit hücumuna maruz kalan bir sertleşmiş betonun içinde bulunan $Ca(OH)_2$ ve C-S-H gibi jellerin çözülmesi sonucunda beton yüzeyinde çamur gibi ince bir tabaka oluşmakta beton gözenekli hale gelerek dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır (Akman, 1987; Neville, 1990; Erdoğan, 2003; Çakır, 2006). Yapıyı etkileyen asitlerden karbonik asit (H_2CO_3) CO_2 'nin su içerisinde çözülmesiyle oluşan zayıf bir asittir. Kırıllardaki akarsular ve kar suları içerisinde bu tür zayıf asitlerden bulunmaktadır. Ayrıca çeşitli endüstri kollarının faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan Çizelge 2.5'te verilen bazı asitler de endüstri yapılarını ve deşarj ünitelerini etkilemektedirler (Erdoğan, 2003; Çakır, 2006). Asit hücumunun betonu etkileme biçimi Şekil 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Değişik endüstri kollarında ortaya çıkan ve betona temas ettiği takdirde zararlı etkilere neden olacak olan asitler (Erdoğan, 2003)

Asit	Formülü	Ortaya Çıktığı Endüstri Kolu
Hidroklorik asit	HCl	Kimya endüstrisi
Nitrik asit	HNO ₃	Gübre endüstrisi
Asetik asit	CH ₃ CO ₂ H	Fermantasyon işlemi
Formik asit	H.CO ₂ H	Gıda ve boya endüstrisi
Laktik asit	C ₂ H ₄ (OH).CO ₂ H	Süt endüstrisi
Tannik asit	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆	Deri endüstrisi
Fosforik asit	H ₃ PO ₄	Gübre endüstrisi
Tartarik asit	[CH(OH).CO ₂ H] ₂	Şarapçılık



Şekil 2.1. Betonun asit etkisiyle bozulması (Baradan vd., 2002)

2.2.2.2. Sülfat etkisi

Sülfat saldırısı, terim olarak sülfat iyonları ve sertleşmiş betonun bileşenleri arasındaki kimyasal reaksiyonlar serisi olarak tanımlanır, özellikle çimento pastasının, betonun sülfat ve neme maruz kalmasından kaynaklanır. Diğer saldırgan kimyasalların olduğu gibi, sülfatların da beton için çok zararlı potansiyelleri vardır. Gaz veya sıvı hallerinde saldırıları oldukça yaygınken; katı haldeyken nadirdir (Skalny et al, 2002).

Sülfat saldırılarının kimyasını, serbest halde olan sülfat kaynakları oluşturur; etkisi daha sonra görülecek şekilde; süreçler, bazı fiziko-kimyasal ilkeler tarafından yönetilir. Herhangi bir sülfat saldırısının sonuçlarındaki farklılıklar çevresel ve fiziksel koşullar altında devam eden reaksiyonlardan kaynaklanır (Skalny et al, 2002).

Sülfatlar, sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sızan sularla birlikte girerek, betonun genişip çatlamasına yol açan kimyasal olaylara neden olmaktadır. Sülfatların betonda yapmış oldukları bu yıpratıcı etki sülfat etkisi olarak isimlendirilmektedir. (Topçu, 2006; Görür, 2007). Yer altı sularında, bazı killi topraklarda ve cüruflla doldurulmuş arazilerde oldukça yüksek miktarda bulunan sülfat bileşimleri, bunların dışında düşük seviyeli nükleer atıklarda da bulunarak içinde saklandıkları yeraltı depolarını da sülfat korozyonuna uğratabilmektedirler (Philipp ve Clifton, 1992; Görür, 2007).

Yer altı sularında bulunan ve betona en çok zarar veren kimyasal maddelerden olan sülfat (SO_4^{-2}) iyonlarının betonun üzerindeki korozif etkisini iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu etkilerden birincisi sülfat anyonlarının çimentonun hidrotasyon ürünü hidrate kireçle tepkimesi sonrası alçı taşı meydana getirmesidir. Sülfat tuzunun katyon türüne bağlı olarak alçı taşı ile birlikte oluşturduğu reaksiyon ürünü NaOH gibi suda eriyen veya $\text{Mg}(\text{OH})_2$ gibi suda erimeyen türde olabilmektedir. Sülfatların asıl önemli olan, ikinci etkisi ise alçı aşısıyla veya suda erimiş halde bulunan kalsiyum sülfatla C_3A 'ın reaksiyona girmesiyle ortaya çıkmakta ve etrenjit ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$) içerdiği kristal suyunun fazlalığı nedeniyle büyük hacim artışına neden olmaktadır. Kristalleşip betonun boşluk çeperlerinde büyük basınç gerilmeleri oluşturan katı haledaki tuz önce çatlamalar şeklinde olan hasar, ileriki yaşlarda ayrışma ve parça dökülmesine sebep olmaktadır (Akman, 1992; Baradan vd., 2002; Uygunoğlu vd., 2006).

Beton açısından sülfat etkilerinin şiddeti toprak veya suda bulunan sülfat iyonunun konsantrasyonuna bağlı olup zeminde bulunan SO_4^{-2} veya SO_3^{-2} yoğunlukları % veya mg/kg, yer altı suyundaki konsantrasyon ise ppm veya mg/l olarak ifade edilmektedir (Baradan vd., 2002). ACI 201 (Amerikan Beton Enstitüsü) standartında sülfat etkisi açısından yapılmış sınıflandırma Çizelge 2.6' da, TS 3440 “ Zararlı

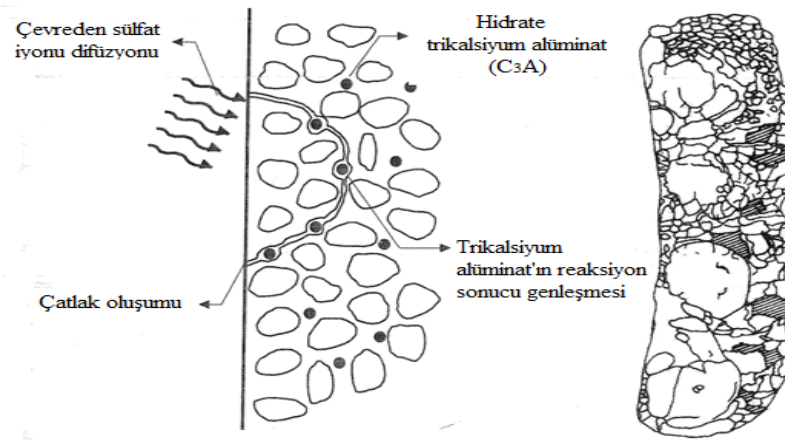
Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gaz Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları” standardına göre Sülfat (SO_4^{-2}) iyonlarının zararlı etkinlik derecesi Çizelge 2.7’de, sülfat etkisiyle betonun bozulması ise Şekil 2.2’ de verilmiştir.

Çizelge 2.6. ACI 201’ e göre zemin suyunda ve toprakta bulunan sülfat yoğunluklarının betona etkisi ve önerilen maksimum Su/Çimento oranları (Baradan vd., 2002; Erdoğan, 2003)

Etki Derecesi	ZEMİNDE Suda Çözünen Sülfat (SO_4^{-2}) (%)	SUDA Sülfat (SO_4^{-2}) mg/l	Betondaki Maksimum Su/Çimento oranı
İhmal Edilebilir	0.00 – 0.10	0 - 150	-
Orta	0.10 – 0.20	150 - 1500	0.50
Şiddetli	0.20 – 2.00	1500 - 10000	0.45
Çok Şiddetli	2.00 ve üstü	10000 ve üstü	0.45

Çizelge 2.7. TS 3440’ a göre sülfat (SO_{4-2}) iyonlarının zararlı etkinlik dereceleri (Baradan vd., 2002)

Etki Derecesi	SUDA SO_4^{-2} (mg/l)	ZEMİNDE SO_4^{-2} (mg/kg)
Zayıf	200 – 600	2000 - 5000
Kuvvetli	600 - 3000	5000’den büyük
Çok Kuvvetli	3000’den büyük	-



Şekil 2.2. Sülfat etkisiyle betonun bozulması (Baradan vd., 2002)

2.2.2.3. Gecikmiş etrenjit oluşumu etkisi (DEF)

Sertleşmiş betonun sülfatlı sulardan etkilenecek oluşturduğu etrenjit, taze betonların prizini alması esnasında da meydana gelen ve prizin ayarlanması bakımından gerekli bir üründür. Çimentonun kontrollü bir biçimde prizini alması için üretim sırasında klinkere alçı katılması gereklidir. Klinkere alçı katılmasıyla hedeflenen amaç çimento hamurunda çok hızlı priz yapan $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün yüzeyine çökecek olan etrenjitin oluşmasını sağlamaktır. Priz sırasında sıvı kıvamda olan beton bu etrenjitten zarar görmez (Akman, 2003).

1980 yıllarında Almanya'da ısıtma işlemi uygulanan ön gerilmeli demiryolu traverslerinde çatlama hasarları gözlenmiş ve bu sorun incelendiğinde, bu durumun betonda bulunan etrenjitten kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Heinz et al., 1982; Akman, 2003). DEF'nin ısıtma işlemleri ve öngermeli prefabrike elemanlarla sınırlı olduğu hipotezi Amerika'da yapılan birçok araştırma neticesinde kısa zamanda çürütülmüştür. Isıtma işlemi tabii olmayan traverslerde veya art germe ile üretilen traverslerde, traversin dışındaki yapı elemanlarında da DEF' nin varlığı tespit edilerek, DEF olayı ile karşılaşmıştır. Bir otoparkın prekast duvarında inşaatından 8 yıl sonra yoğun çatlamların meydana gelmesi, elektrik iletim direklerinin temellerinde, bir beton fırın bacasının dış çeperlerinde, Suudi Arabistan'da bulunan bir uçak pistinde, selülozik lifli çatı örtü malzemelerinde (asbest içermeyen eternit) DEF varlığına rastlanmış ve bu durum taramalı elektron mikroskobu ile (SEM) tespit edilmiştir (Hime, 1996; Collepardi, 1997; Akman, 2003).

Isıtma işlemi, çözünen SO_3 oluşmasında ikincil bir etmen olarak değerlendirirsek, DEF oluşumunu aşağıdaki üç ana etmene bağlayabiliriz:

1. Çimentonun zamanla yüksek miktarda çözünecek sülfat içermesi,
2. Betonun mikro ve makro çatlaklar içermesi,
3. Yapı elemanlarının sürekli veya kademeli olarak suyla temas etmesi veya nemli ortamda bulunmasıdır (Collepardi, 1997; Akman, 2003). Şekil 2.3'de gecikmiş etrenjit oluşumunun meydana geldiği bir prefabrik eleman verilmiştir.



Şekil 2.3. Gecikmiş etrenjit (DEF) oluşumunun meydana geldiği bir adet prefabrik betonarme eleman (Baradan vd., 2002)

2.2.2.4. Alkali- Silika reaksiyonu etkisi (ASR)

Alkali-silika reaksiyonu, harçlarda ya da betonda meydana gelen, çimento ya da diğer kaynaklarda bulunan alkalilerle ilişkili hidroksit (OH^-) iyonları ve büyük ya da küçük boyuta sahip agregalarda bulunabilen belirli reaktif silisli bileşenler arasındaki zararlı kimyasal reaksiyonla bir jel meydana getirmesidir. Bu alkali-silika jeli, nemi absorbe ettiği zaman genişlererek betondaki çimento hamurunda ve agrega parçacıklarında çatlaklar meydana getirmektedir. Genleşme, osmosis olayı neticesinde meydana gelen hidrolik basınç ve aynı zamanda alkali-silika jelinin meydana getirdiği şişme basıncı ile açıklanabilmektedir. Bu nedenle sert agrega tanelerinin betonda şişmesiyle betonun daha fazla zararlı etki görmesine neden olacağı düşünülmektedir. Reaktif silis içeren agrega tanelerinin büyüklükleri reaksiyonun hızını etkilemekte ve küçük tanelerin reaksiyonu sonucunda genişleme bir iki ay içerisinde oluşmaktayken daha büyük tanelerin reaksiyonunda oluşan genişleme yıllar sonra ortaya çıkmaktadır (Sağlık vd., 2013; Bayhan, 2006).

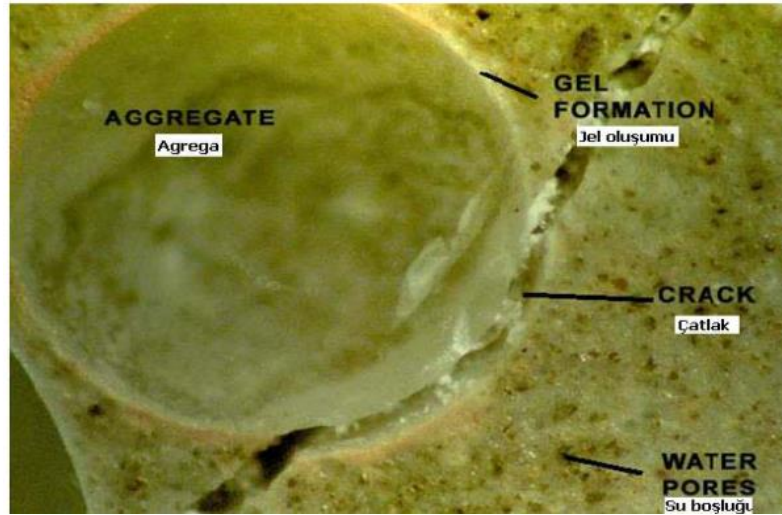
ASR oldukça kompleks kimyasal bir reaksiyon olup, bazı çimentolarda fazla miktarda bulunan sodyum oksit (Na_2O) ve potasyum oksit (K_2O) gibi alkali oksitler beton gözenek suyunda çözülerek sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) oluşturularak aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerek, zamanla betonu çatlatan bir jelin oluşmasına neden olurlar (Neville, 1981; Arslan ve Çullu, 2006). Bazı jeller çok az, bazıları hemen hemen hiç genişleme özelliği göstermezler. Eğer

jeller az su emme ve şişme özelliğine sahipse problem oluşturmazlar. Fakat jeller çok su emme özelliğine sahipse betonda meydana getirdiği içsel gerilmeler ile betonun çekme dayanımını aşarak çatlamalara neden olmaktadır. Bu da beton boşluklarındaki çözeltinin reaksiyon bölgesine ulaşması ve sıcaklıkla jelin şişme basıncının artması sonucu gerçekleşmektedir (Diamond et al., 1981; Arslan ve Çullu, 2006). Bazı durumlarda betondaki genleşmenin hacimce %2-3 düzeyine kadar ulaşması söz konusudur. ASR’ de diğer reaksiyonlar gibi yavaş ilerleyen ve diğer alkali agrega reaksiyonları gibi birçok faktörün etkisi altında olduğu için, genleşme nedeniyle betonun içyapısında oluşan hasar (çatlak) birkaç yıl sonra görünür hale gelmektedir. ASR, beton bünyesinde meydana gelen ve genleşmenin neden olduğu bir reaksiyon olması sebebiyle, ASR’ nin dış belirtisi harita şeklindeki çatlaklardır (Binal, 2002; Arslan ve Çullu, 2006). (Şekil 2.4)

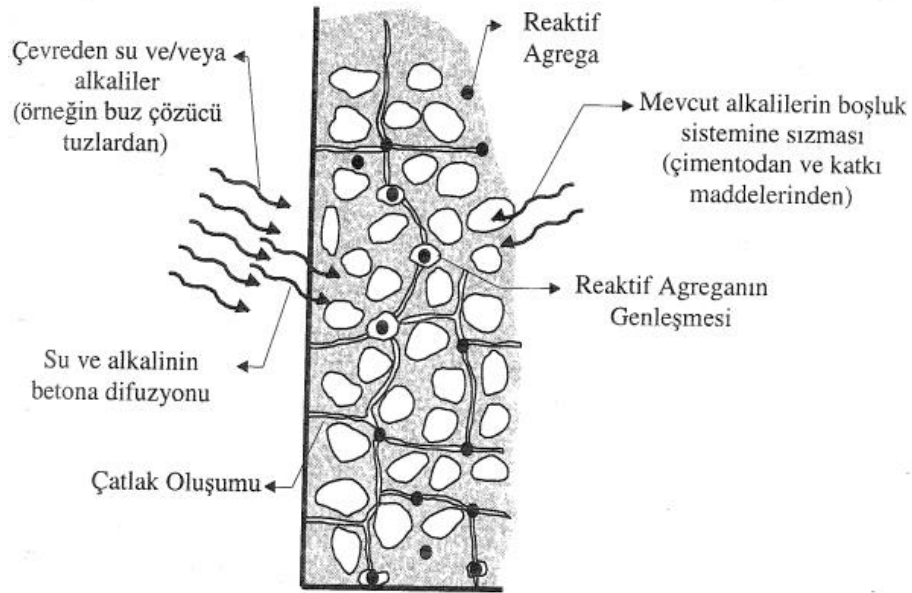


Şekil 2.4. Alkali silika reaksiyonu (ASR) sonucunda zarar görmüş beton eleman (Anonim, 2013)

X ışınları, elektron mikroskobu ve diğer cihazların kullanımıyla desteklenen petrografik incelemeler ile ince kesit çalışmaları, agrega minerallerinin belirlenmesinde yeterli bilgi sağlayabilir. Agreganın, porozitesi, tane boyu dağılımı, beton içinde reaktif parçacık miktarı ve çevre koşulları, alkali-agrega reaksiyonu sonucu ortaya çıkan genleşmeler üzerinde önemli etkiye sahip nedenlerdir (Swamy,1992; Arslan ve Çullu, 2006). Şekil 2.5’de alkali silika reaksiyonu (ASR) ile zarar görmüş betonda, agrega-jel oluşumu ile Şekil 2.6’ da alkali silika reaksiyonu (ASR) oluşum mekanizması şematik ve görsel olarak verilmiştir.



Şekil 2.5. Alkali silika reaksiyonu ile zarar görmüş betonda agrega-jel oluşumu ve çatlak görüntüsü (Beycioğlu vd., 2010)



Şekil 2.6. Alkali silika reaksiyonu (ASR) oluşumu nedeniyle betonun bozulma mekanizması (Baradan vd., 2002)

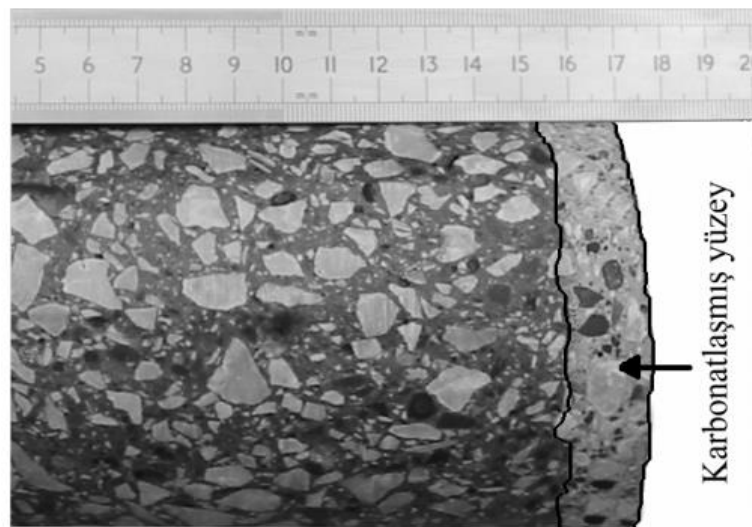
2.2.2.5. Karbonatlaşmanın etkisi

Beton yüzeyi ile temas eden ve betonun içersine giren karbondioksitin (CO_2) betonun içinde bulunan kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) ile reaksiyonu sonucunda kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşturması karbonatlaşma olarak adlandırılmaktadır. Karbonatlaşma havada bulunan karbondioksit (CO_2) miktarı az olsa bile yavaş olmak

suretiyle yine oluşmaktadır. Karbonatlaşmanın oluşum şekli betonun yüzey kısımlarından başlayarak iç kesime doğru olup yüzeye yakın bölgeler karbonatlaşmanın etkisi altındadır. Karbonatlaşmanın oluşabilme hızı havada bulunan karbondioksit (CO_2) ve nem oranına bağlıdır. Havadaki karbondioksit miktarının yüksek ve bağıl nem oranının %50 olması karbonatlaşmayı arttırırken, relatif nemin %25' ten az ve %100 olduğu durumlarda ise karbonatlaşma meydana gelmemektedir (Erdoğan, 2003).

Beton ve betonarme yapılarda karbonatlaşmanın meydana gelmesiyle betonun pH değeri düşmekte, bu değer düşmesiyle betonda donatı korozyonu oluşumu hızlanmaktadır. Betonun geçirimsizliği arttıkça ve beton yüzeyinde mikro çatlaklar çoğaldıkça karbonatlaşmanın da etki ettiği derinlik artmaktadır (Sha'at et al., 1993; Hearn et al., 1994; Kurtis et al., 2001; Subaşı, 2005; Subaşı ve Arslan, 2008) .

Karbonatlaşmanın betonda olup olmadığını anlamak için betonun yüzeyinden bir parça kopartılarak, bu beton parçasının yüzeyine fenolfetalin uygulanmalıdır. Serbest durumda bulunan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pembe renge dönüşürken karbonatlaşmış kısımda herhangi bir renk değişimi meydana gelmemektedir (Şekil 2.7). Karbonatlaşmanın daha az olmasını sağlamak için yapılması gereken önemli işlem, beton mümkün olduğunca geçirimsiz üretilmelidir (Erdoğan, 2003).



Şekil 2.7 Yüzeyine fenolfetalin püskürtülmüş yüzey (Subaşı, 2005)

Betonun basınç dayanımının artırılması, daha fazla çimento kullanımının sağladığı geçirimsizliğin artırılmasıyla karbonatlaşma oranında düşüş beklenmektedir. Bundan dolayı beton sınıfı seçilirken yapısal kaygılar tek parametre olarak alınmamalı, dayanıklılık açısından da örneğin TS 206-1 standardına göre karbonatlaşma nedeniyle korozyon riskiyle karşı karşıya olan ıslanmaya maruz kalabilecek betonarme elemanlarda en düşük dayanım sınıfı C30 kullanılmalı ve pas paylarının kalitelerinin de istenilen düzeyde sağlanması gerekmektedir (Baradan vd., 2002). Beton dayanım sınıfının öneminin anlaşılması açısından Çizelge 2.8’ de İngiltere’de açıkta bırakılan (yağmurdan korunmuş) beton elemanların 30 yıl sonundaki karbonatlaşma derinlikleri verilmiştir.

Çizelge 2.8. İngiltere’de açıkta bırakılan (yağmurdan korunmuş) beton elemanların 30 yıl sonundaki karbonatlaşma derinlikleri (Baradan vd., 2002)

28 günlük basınç dayanımı (MPa)	Karbonatlaşma derinliği (mm)
20	45
40	17
60	5
80	2

2.2.2.6. Deniz suyu ve klorür iyonlarının etkisi

Denizler yeryüzünün %78’lik kısmını kaplayan, birçok beton ve betonarme yapının doğrudan temas halinde bulunduğu ve de dolaylı olarak etkilendiği bir ortamdır. Deniz ortamında bulunan beton ve betonarme yapılarda karbonik asit etkisi, klorürün neden olduğu korozyon, sülfat etkisi gibi kimyasal etkilere maruz kalabilmektedirler. Deniz suyunun kimyasal etkisi içinde çözülmüş halde bulunan bazı tuzları içermesinden kaynaklanmaktadır. Deniz ve okyanuslara göre farklılık olsa da tipik su tuz oranı % 3.5 civarındadır. Örneğin Baltık denizinde tuzluluk oranı % 0.7, Atlantik okyanusunda % 3.6, Akdenizde % 3.9 olduğu gibi, buharlaşmanın çok fazla olduğu sıcak iklimlerden İsrail’de bulunan Ölü Denizde bu oran % 31.5’ lere kadar yükselmektedir. Deniz sularında önemli miktarda bulunan tuzlara sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl), magnezyum sülfat (MgSO₄), kalsiyum sülfat

(CaSO₄), potasyum klorür (KCl) ve potasyum sülfat (KSO₄) örnek olarak verilebilir (Baradan vd., 2002).

Deniz suyu etkisinde kalan betonlar, sülfat hücumuyla beraber gözeneklerinde çökelen (biriken) tuz kristallerinin yarattığı basınç nedeniyle de genişli, yıpranabilmektedirler. Betonun, su seviyesi üzerinde kalan bölgelerinde gözeneklerinde tuz birikmesi, betonun içerisine giren deniz suyunun kapiler hareketle yukarı çıkması ve buharlaşmasıyla oluşmaktadır. Deniz sularının gel-git hareketiyle yükselip alçalması sonucunda beton yüzeyinin bir bölümü, ıslanma-kuruma döngülerinin etkisinde kalmaktadır. Bu tür ıslanma-kuruma durumu ile karşı karşıya kalan beton devamlı olarak su içinde yaralan betona göre daha çok hasar görmektedir. Diğer taraftan, deniz suyunun içerisinde bulunan magnezyum sülfat, betondaki bağlayıcı özellikteki kalsiyum-silika-hidrat (CSH) jelinin çözünmesine neden olmaktadır. Bu çözünme oldukça yavaş tempoda meydana gelmektedir. Bu yüzden, gözeneklerde magnezyum sülfat kristalleri birikmekte ve gözeneklerin bir ölçüde tıkanmasına, dışarıdan daha az su sızabilmesine yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

Deniz sularının beton yapılara esas zararı, bu tür sularda bulunan klorürden kaynaklanmakta olup deniz suyundaki klorür, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu (paslanmasını) hızlandırarak betonun parçalanmasına yol açabilmektedir. Bunu önleme adına deniz suyu ortamındaki betonların üretiminde kullanılacak olan Su/Çimento oranı 0.45'i geçmemeli ve eğer pas payı 2.5 cm'den az ise Su/Çimento oranı 0.40'dan yüksek olmamalıdır (Erdoğan, 2003).

2.3. Korozyon ve Betonarme Donatısındaki Korozyon Çeşitleri

Metallerin içinde bulundukları ortam ile kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlarla tahrik olmaları korozyon olarak adlandırılmaktadır. Metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp korozyona uğrayabilirler. Bütün metallerin doğada mineral olarak bulundukları hale dönüşme eğilimde olmalarından dolayı korozyon olayları enerji açığa çıkararak kendiliğinden devam etmektedir. Bazı soy metallerin (Au, Pt, Ir ve Pd) haricindeki, teknolojik öneme sahip bütün metaller

ve alaşımlar korozyona uğrayabilmektedir(Erbil, 1980; Aksüt, 1982; Menekşe, 2008).

Teknikte hayli fazla miktarda kullanılan metal ve alaşımlarının korozyonu tamamıyla önlenememekte fakat dikkate değer ölçüde azaltılabilmektedir. Bu amaçla kullanılması için belli başlı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler uygulanırken metalin türü ve ortamla etkileşim parametreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Korozyon mekanizmasına uygun yöntemin uygulanması, korumanın başarılı bir şekilde sağlanması adına önemli öğelerden biridir. Katodik koruma, anodik koruma, organik maddelerle kaplama, boyama, korozif gidericilerle muamele etme ve inhibitör uygulamaları gibi yöntemler metalin korozyondan korunmasında uygulanan koruma yöntemlerinden başlıcalarıdır (Menekşe, 2008).

2.3.1. Atmosferik korozyon

Çevremizi dolduran hava metal alaşımlar için tehlikeli olup, içinde bulundurduğu oksijen ve nem de korozyona yol açan ana etmenlerdendir. Ayrıca yerel koşullar ve mevsimlerin durumu dikkate alındığında hava içindeki miktarları değişebilen diğer maddeler de korozyon hızını önemli ölçüde etkilerler. Endüstri ve kömürle ısınmanın yoğun olduğu bölge ve kentlerde havayı kirleten kükürt bileşikleri, deniz atmosferindeki sodyum klorür (NaCl) akla ilk gelen örneklerdir. Korozyon etkinliklerini tamamlama bakımından da atmosferlerin kırsal, endüstri ve deniz atmosferi olarak da sınıflandırmada fayda vardır. Kırsal atmosfer bu atmosfer çeşitlerine göre en az saldırgan olandır. Deniz atmosferinin saldırganlığı kırsal atmosfere oranla 400-500 defa fazla olup endüstri atmosferi için bu oran 50-100'dür. Deniz atmosferinin saldırganlığının öncelikli sebebi içerdiği bol miktardaki sodyum klorür (NaCl)'den kaynaklanmaktadır. Kıyıdan uzaklaştıkça bu sodyum klorür (NaCl) oranı azalmakta bu da korozyon hızına da yansımaktadır. Örnek olarak, çelik yapılar üzerinde yapılan gözlemler korozyon hızının kıyıda 250 m uzaklıktakine oranla 12 kat daha fazla olduğunu göstermiştir. Atmosferin saldırganlığını belirleyen önemli parametrelerden biri de nem miktarıdır. İlke olarak bağıl nemliliğin % 100'e ulaşmadığı durumlarda atmosferik korozyonun hissedilir ölçüde oluşamayacağı var sayılabilir. Ancak bağıl nem miktarı sıcaklık düşmesi ile artar. Ayrıca havanın higroskopik özelliğe sahip katı parçacıklarla yüklü olması korozyon için gerekli olan

su yoğuşmasının daha düşük nem miktarlarında oluşmasına neden olmaktadır. Araştırmalar, atmosferik korozyonu önleyebilmek için bağıl nemliliğin diğer koşullara bağlı olarak % 50-70'in altında tutulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Havada asit buharı olmamak kaydı ile bağıl nemin % 50'nin altına düşürülmesi (örneğin ısıtılarak) atmosferik korozyonun önlenmesi için yeterlidir (Doruk, 1982; Boğa, 2005).

2.3.2. Elektro-kimyasal korozyon

Korozyon, elektriksel ara yüzey olarak adlandırılan elektrot/elektrolit ara yüzeyinde meydana gelmektedir. Elektriksel ara yüzey terimi bir elektrolitin sınırında fazlar arasındaki bölgeyi oluşturan iyonlar, yönelmiş dipoller ve elektronların sıralanışını anlatmak için kullanılmaktadır (Bockris and Reddy, 1977; Menekşe, 2008).

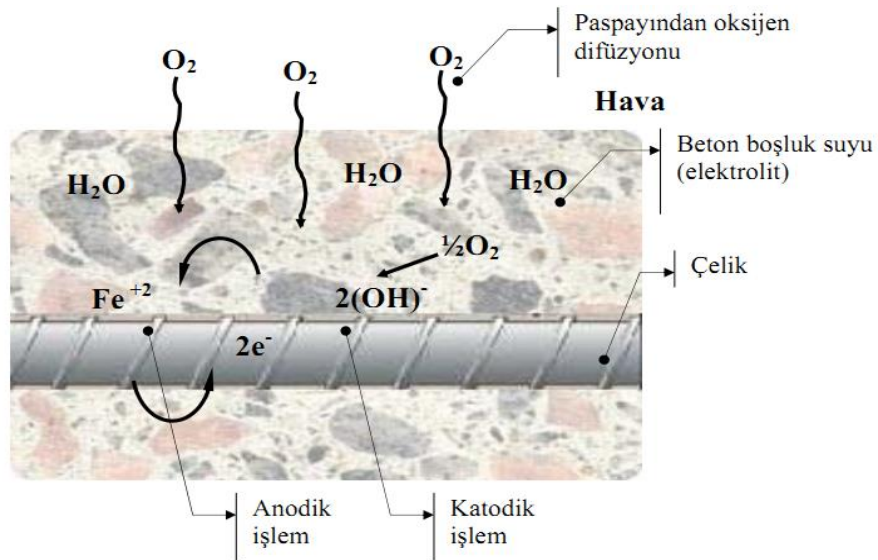
Birini tamamlayan, aynı anda gelişen, oksidasyon (yükseltgenme) ve redüksiyon (indirgenme) adı verilen iki elektro-kimyasal reaksiyonla korozyon meydana gelmektedir. Oksidasyon atom halinde bulunan metalin (çeliğin) elektron kaybederek iyona dönüşmesi, redüksiyon ise atomdan ayrılan elektronların başka bir ortamda harcanması anlamına gelmektedir. Ayrıca oksidasyona “anot reaksiyonu”, redüksiyona da “katot reaksiyonu” adı verilmektedir (Yiğiter, 2008).

Anodik işlem demirin çözünmesi olayını ifade etmektedir. Pozitif iyonların çözeltiyle karşılaşmasıyla ve de negatif yüklü serbest elektronların ise çelik vasıtasıyla katoda geçip elektrolitin bileşenleri tarafından adsorbe edilmesi anodik işlemin oluşumudur. Katotik işlemde, çelik vasıtasıyla katoda geçen elektronlar su ve oksijen ile birleşerek hidroksit (OH) iyonlarını oluşturmaktadırlar. Anottan çözeltiye geçen demir iyonları ile hidroksit (OH) iyonlarının reaksiyonu sonucu demir hidroksiti (Fe(OH)_2) oluşturmaktadırlar. Demir hidroksiti (Fe(OH)_2) kararsız ve suda çözünebilen bir yapıda olup su ve oksijenle birleşerek anot çevresinde sarı renkli boşluklu bir pas tabakası meydana getirmektedir (Yiğiter, 2008).

Elektrot/elektrolit ara yüzeylerinde yürüyen tepkimeler başlıca beş aşamada gerçekleşir (Moore, 1999; Menekşe, 2008):

- a) Difüzlenme:** Elektrolit içerisinde yer alan iyon ve moleküller elektrot yüzeyine doğru difüzlenir,
- b) Adsorplanma:** Elektrolit içerisinden gelen ve yüzeye kadar difüzlenmiş olan moleküller, yüzeye adsorbe olur,
- c) Reaksiyon Kademesi:** Yüzeye adsorbe olan moleküller, elektrokimyasal bir tepkimeye uğrar,
- d) Desorplanma:** Elektrokimyasal tepkime sonucu yüzeyde oluşan ürünler desorbe olur,
- e) Geriye difüzlenme:** Desorbe olmuş ürün molekülleri, yüzeyden çözelti içine doğru difüzlenir.

Bununla beraber yeni bir tepkimeyi başlatmak için elektrot yüzeyi serbest hale geçerek yukarıda belirtilen aşamaları yeni iyonlarla birlikte tekrarlamaktadır. Korozyon tepkimeleri elektrot/elektrolit ara yüzeyinde metalin çözünmesi şeklinde oluşmakta ve korozyon ürünlerinin yüzeyden uzaklaşması korozyonun devam etmesini sağlamaktadır. Yüzeyde tepkimeye girmek üzere difüzyonla gelip tepkime ürünlerinin desorpsiyonu ile olayın sürmesini sağlayan iyonlar daha çok katotik tepkimeyi üstlenenlerdir (Menekşe, 2008). Beton içerisindeki donatının elektro-kimyasal korozyonu Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Beton içerisindeki donatının elektro-kimyasal korozyonu (Baradan vd., 2002; Yiğiter, 2008)

2.3.3. Temas korozyonu

Elektro-kimyasal korozyonun özel bir şekli, iki farklı metalin temas halinde kullanılması sonucu oluşan paslanmadır. İki farklı metal bir sıvı vasıtası ile birleştirilir ve bir tam hücre elde edilirse, elektromotif seride elektropotansiyeli yüksek olan metal katot, düşük olan ise anot reaksiyonu gösterecektir. Bu iki metalin standart elektropotansiyel farkları yaklaşık olarak sistemde oluşacak potansiyel farkını (voltajı) gösterir ve bu farkın büyük olması devreden akım geçeceğinin işaretidir. Akım şiddetinin artmasıyla korozyon hızının da artması beklenir. Betonarme elaman içinde iki farklı metalin kullanılması çok az rastlanan bir durumdur. Donatının korozyondan korunması için çeşitli maddelerle kaplanması durumunda, kaplanan ve kaplanmayan donatıların bir arada kullanımı da bu tür korozyona neden olabilmektedir (Baradan vd., 2002; Boğa, 2005).

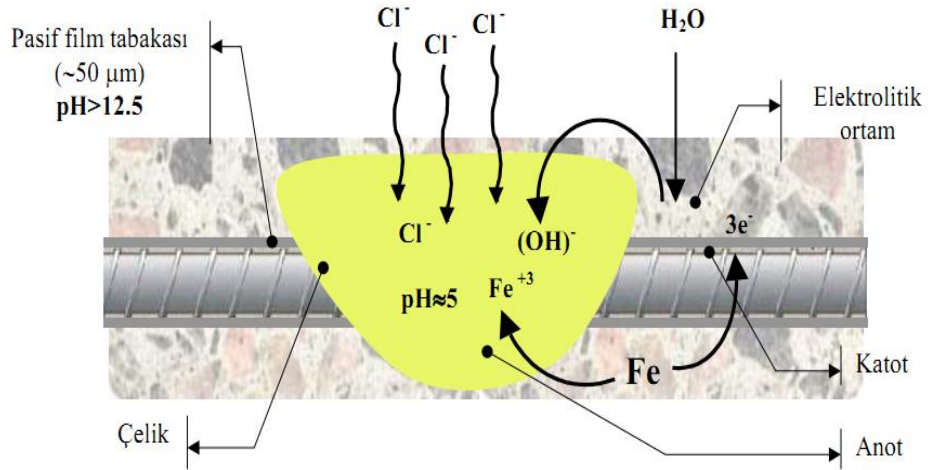
2.3.4. Klorür ve klorür kaynaklarının neden olduğu korozyon

Klorür iyonları çelik donatının korozyona uğraması açısından en zararlı madde kabul edilmektedirler. Betonarme yapıda çeliğin korozyona uğramasının en önemli nedeni, betona katkılar vasıtasıyla, deniz suyu etkisiyle, kılcallık yoluyla, beton karışım suyunun tuz içermesiyle ve bu tuzların çözülmesiyle girebilen klorür iyonlarının ortamda yer almasıdır. Beton alkalinitesi yüksek olan bir yapı malzemesi olup bu özelliğiyle içinde yer alan donatının yüzeyinde kararlı, koruyucu bir oksit tabakası oluşturarak anodik akım yoğunluğunun kısıtlanmasını sağlayarak, çeliğin korozyona uğramasını önlemektedir. Bu durum alkali passivasyonu olarak adlandırılmaktadır (ACI, 2001; Boğa, 2005). Klorür iyonları korozyon sürecine olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Çelik donatı üzerinde oluşan ve korozyonun gelişimini engelleyen pasif tabakanın çözülmesine yol açmaları bu etkilerden en önemlisidir (Boğa, 2005).

Pasif tabakanın nasıl bozulmaya uğradığı konusunda farklı teoriler geliştirilmiş olup klorür iyonlarının donatıya ulaşarak pasif tabakayı gevşettikleri, yüzeydeki tabaka ile reaksiyona girerek $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{FeCl}_2$ gibi kararsız klor kompleksleri oluşturdukları düşünülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda bu tür çözünebilen bileşiklerin oluşmasında $\text{Cl}/(\text{OH})^-$ oranının önemli bir parametre olduğu ve bu oranın 0.6 değerini aşmasıyla pasif tabakada hasarın belirgin bir hal aldığı görülmektedir.

Klorür iyonları, ortamın elektrolitliğini arttırarak ve elektriksel direnci azaltarak anot-katot iyon akışını kolaylaştırmakla beraber akım şiddetinin artışına sebep olarak korozyon hızını da arttırmış olurlar. Pasif tabakanın kararlılığını koruması için ortamın pH değerinin 9.5-11.5'in üzerinde olması gerekmektedir. Asit karakterli olmaları ve ortamın pH değerini azaltmaları klorür iyonlarının bir diğer olumsuz etkilerindendir. Ayrıca klorür iyonları metal tarafından O_2 ve $(OH)^-$ iyonlarına göre çok daha kolay adsorbe edilerek katalizör görevi görürler ve anodik reaksiyonun kolaylıkla oluşmasını sağlayarak demirin iyonlaşmasını çarpıcı bir biçimde hızlandırmaktadırlar (Boğa, 2005).

Demir ve $(OH)^-$ iyonlarının bol miktarda ortamda bulunması, klorür iyonlarının reaksiyon sonucu sürekli yenilenmesine ve donatıdaki bozulmanın devamlılık meydana getirmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, klorürlerin donatıda oluşturdukları korozyonun en tehlikeli korozyon türü olduğunu söylemek mümkündür (Baradan vd., 2002; Boğa, 2005). Klorür iyonlarının yol açtığı oyulma tarzı korozyon şematik olarak Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



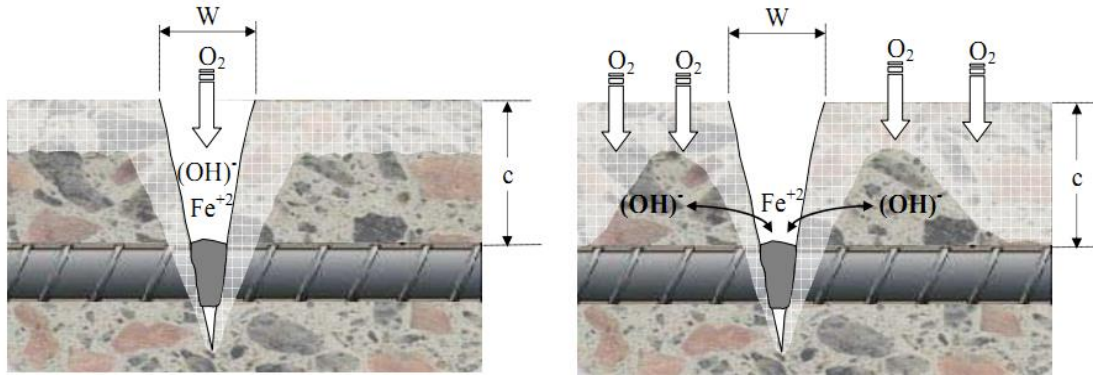
Şekil 2.9. Betonarme donatısında klorür iyonlarının yol açtığı korozyon (Baradan vd., 2002; Yiğiter, 2008)

2.3.5. Çatlaklı betonda oluşan korozyon

Betonda meydana gelen çatlaklar, klorürlerin, karbonatlaşma cephesinin, oksijen ve nemin betonarme çeliğine ulaşmasını kolaylaştırmaktadırlar. Bundan dolayı çatlak

genişliklerinin belli bir seviyede olması istenmektedir. Donatıya dik meydana gelen çatlaklar, korozyonun nispeten daha dar bir alanda oluşmasına yol açmaktadırlar. Donatı boyunca uzanan, tüm donatının ve dolayısıyla pas payı tabakasının hasar görmesine yol açan çatlaklar enine çatlaklara göre çok daha tehlikeli kabul edilmektedirler (Baradan vd., 2002; Yiğiter, 2008).

Şekil 2.10 betonda meydana gelen enine çatlakların bulunduğu bölgede meydana gelen korozyon şematize edilmiştir. Bu durumda korozyon gelişimi konusunda iki seçenek bulunmaktadır. Sol tarafta gösterilen birinci durumda anot ve katot çatlaklı bölgede birbirine çok yakın olurken, çatlak dar (<0.5 mm) ve aktif değilse, açılmaya devam etmiyorsa, büyük olasılıkla korozyon ürünleri, betondan süzülen bileşenler, toz, kir, vb. gibi maddeler çatlağın içini doldurup korozyonun yavaşlamasını sağlayacaktır. Sağ tarafta gösterilen ikinci durumda ise, çatlak içindeki küçük bölge anot, beton içinde kalan daha büyük alan ise katot olmakta ve bu durumdaki yüksek korozyon hızı sebebi ile donatının lokal olarak hasar görüp kopması mümkün olmaktadır. Klorürlerin de ortamda bulunması halinde korozyonun çok daha da tehlikeli bir hal alacağı unutulmamalıdır (Baradan vd., 2002; Yiğiter, 2008).



Şekil 2.10. Betonda çatlak bölgesinde meydana gelen korozyon gelişimi (Baradan vd., 2002; Yiğiter, 2008)

Betonarme donatılarda çatlak genişliklerinin sınırlandırılması, pas payı tabakasının kalınlığı ve kalitesinin artırılmasıyla beraber, korozyonu önleme adına ikincil bir önlem olarak düşünülmektedir. Çünkü uygulama uygulamada çatlaksız bir beton elde etmek oldukça zor olmakla beraber çatlaksız bir betona da oksijen (O_2), klorür (Cl) ve karbondioksit (CO_2) girişi mümkündür. Aşılması önerilen çatlak genişlikleri 0.2-0.3 mm civarındadır (Baradan vd., 2002; Yiğiter, 2008).

2.4. Korozyon Ölçüm Yöntemleri

2.4.1. Ağırlık kaybı yöntemi

Oldukça yaygın bir biçimde kullanılan, belirli bir zaman süresince agresif ortamda tutulan numunelerin ağırlığındaki değişim miktarının ölçülmesine dayanan bir yöntemdir. Korozyonun neden olduğu ağırlık miktarının doğru bir biçimde belirlenebilmesi için korozyon ürünlerinin çok dikkatli şekilde temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme işleminin tamamlanmasıyla, temizlik sonrası numune ağırlığının, temizlik öncesi ilk ağırlık ile kıyaslanmasıyla belirlenen ağırlık farkının deney süresine oranı korozyon hızını vermektedir. Bu yöntem pahalı aletler kullanmaya gerek kalmadan ortalama bir korozyon hızı elde etmemizi sağlasa da numuneye hasar verdiği için numunenin yapı üzerinde tekrar kullanılmaması gerekmektedir. Laboratuarda gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar güvenilir olsa da bu sonuçların sağlaması uzun sürmektedir. Beton içerisinde yer alan çeliğe uygulanması halinde ağırlık kaybının ölçülebilmesi için çeliğin betondan tamamen temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu yöntemde anlık korozyon hızının ölçülemeyip ortalama ve son duruma göre bir korozyon hızı hesaplanabilmesi ve düşük korozyon hızlarında uygulama gücü diğer zorluklardandır. Ağırlık kaybı ölçümleri genellikle diğer yöntemlerle elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde ve doğruluğunun kontrol edilmesinde kullanılmaktadır (Escalante and Ito, 1990; Lemoine et al., 1990; Asthana et al., 1999; Elsener et al., 1999; Doğan, 2008) .

2.4.2. Tafel ekstrapolasyon yöntemi

Metal ile çözelti arasında karşılıklı iki elektrokimyasal reaksiyonun dengeye gelmesiyle korozyon meydana gelmektedir. Reaksiyonlardan biri metalin çözünmesiyle oluşan anodik reaksiyon, diğeri ise çözelti ortamında bulunan O_2 veya H^+ 'ın indirgenmesiyle oluşan katodik reaksiyondur. Anodik reaksiyon sonucu açığa çıkan elektronlar katodik reaksiyonda indirgenmede kullanılır. Hem anaodik hem de katodik tafel eşitliklerinin Stern-Geary eşitliği ile birleştirilerek aşağıdaki eşitlik bulunmaktadır (Mamaş, 2003; Değirmenci, 2006).

$$I = i_{kor} \{ \exp[2.303(E - E_{kor})] - \exp[2.303(E_{kor} - E)] \} \quad (2.1)$$

Burada;

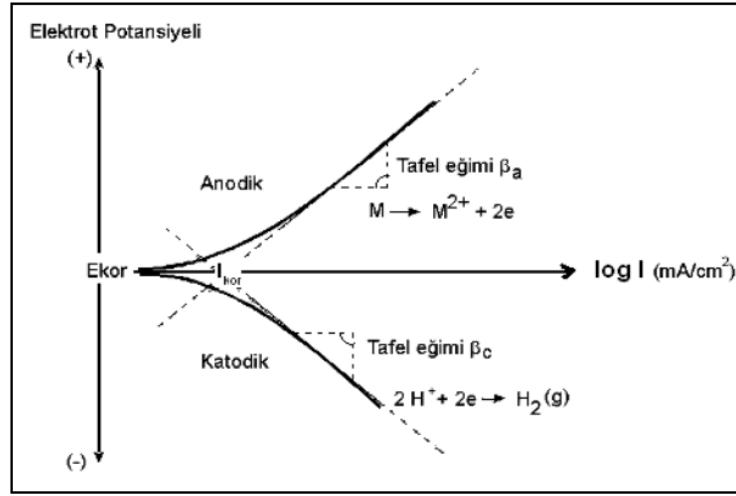
I : Ölçülen hücre akımı, (amper).

i_{kor} : Korozyon akımı, korozyon hızının bir ölçüsü, (amper).

E_{kor} : Korozyon potansiyeli, (volt).

E : Elektroda uygulanan gerilim, (volt).

β_a , β_c : Anodik ve katodik tafel katsayılarıdır (Mamaş, 2003; Değirmenci, 2006).



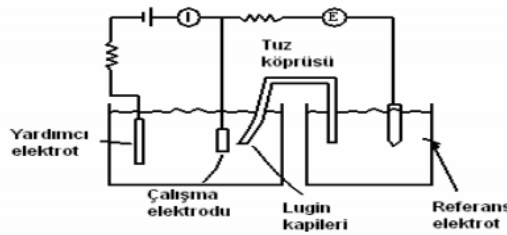
Şekil 2.11. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri (Mamaş, 2003; Değirmenci, 2006).

Şekil 2.11’ de elektrokimyasal olarak elde edilen bir tafel polarizasyon diyagramı verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere; E-logi polarizasyon eğrilerinde, uygulanan dış akım belirli bir değere eriştikten sonra polarizasyon eğrileri lineer hale gelmektedir. Aşırı gerilimle uygulanan dış akımın logaritmasının lineer olarak değiştiği bu bölgelere tafel bölgesi adı verilmektedir. Bu bölgede tafel doğrusunun eğimi deneysel olarak elde edilerek korozyon hızının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Korozyona uğrayan bir elektrotta anodik ve katodik reaksiyonlar elektrot yüzeyinde aynı anda meydana gelerek elektrot potansiyeli bir karma potansiyel değerine (E_{kor} , korozyon potansiyeli) erişir ve bu potansiyele karşı gelen akıma da korozyon akımı (i_{kor}) denir (Mamaş, 2003; Değirmenci, 2006).

Tafel ekstrapolasyonu yönteminde korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik Tafel eğrileri elde edilir ve bunların çizgisel olan kısımları uzatılarak kesim noktalarından o sistem için korozyon hızı i_{cor} ve korozyon potansiyeli E_{cor} bulunur (Mamaş, 2003; Değirmenci, 2006).

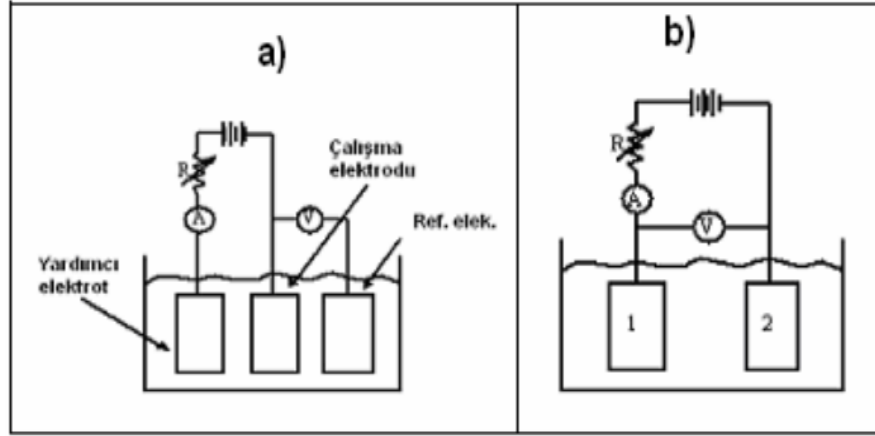
2.4.3. Galvanostatik yöntem

Biri üç elektrot, diğeri iki elektrot yöntemi olmak üzere iki şekilde uygulanabilen Galvanostatik yöntemin (Şekil 2.12), üç elektrotlu uygulama yönteminde biri çalışma elektrotu, biri yardımcı elektrot ve biri de referans elektrot olmak üzere üç elektrotun bulunmasıyla uygulanmaktadır (Şekil 2.13a). İncelenmekte olan elektroda inert bir yardımcı elektrotla anodik veya katodik yönde sabit bir dış akım uygulanarak bu akım altında belirli bir süre beklenerek elektrot potansiyeli referans elektroda karşı ölçülür. Daha sonra değişken bir reosta ile uygulanan akım yoğunluğu değiştirilerek elektrot potansiyeli yeniden ölçülür (Gümüş, 2007).



Şekil 2.12 Galvanostatik yöntem (Gümüş, 2007).

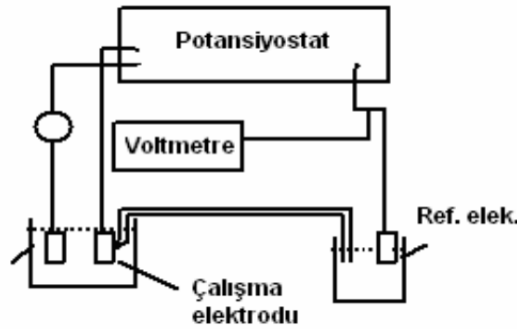
Galvanostatik yöntemin ölçülmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise iki elektrot yöntemidir. Bu yöntemde birbirinin aynı olan iki çalışma elektrodu kullanılır ve referans elektrot bulunmamaktadır (Gümüş, 2007). Galvanostatik yöntemin ölçülmesinde kullanılan üç elektrotlu sistem ile iki elektrotlu sistem sırasıyla Şekil 2.13a ve sırasıyla Şekil 2.13b' de verilmiştir.



Şekil 2.13. Galvanostatik yöntemde sistemler a) Üç elektrotlu b) İki elektrotlu (Gümüş, 2007)

2.4.4. Potansiyostatik yöntem

Potansiyostatik yöntemde, incelenen elektrotun potansiyeli bir potansiyostat yardımı aracılığıyla belirli bir değerde sabit tutularak bu potansiyele karşı gelen akım yoğunluğu ölçülmektedir. Daha sonra bir potansiyelde ölçüm tekrarlanarak Şekil 2.14'te verilmiş olan potansiyostatın burada görevi uygulanan dış akımı ayarlayarak elektrot potansiyelinin ölçüm süresince sabit kalmasını sağlamaktır (Gümüş, 2007).



Şekil 2.14. Potansiyostatik yöntem (Gümüş, 2007)

2.4.5. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi (EIS)

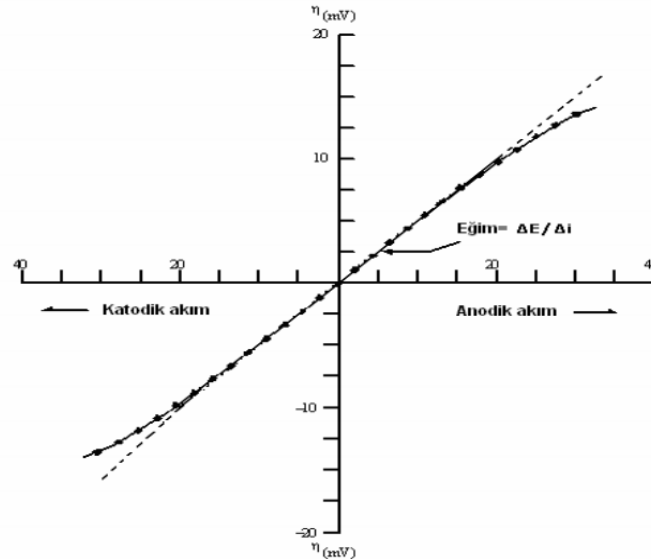
Alternatif akım elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemi, özellikle kaplama yapılmış olan elektrokimyasal korozyon sistemlerinin kinetiğini aydınlatmada kullanılan bir araçtır. Korozyon kinetiği, korozyon mekanizması ve

önemli fiziksel parametrelerin belirlenmesinde birçok yöntem uygulanmaktadır. EIS metal ile elektrolit ara fazının karakterizasyonunda kullanılan bir yöntemdir. EIS elektrokimyasal sistem içinde gerçekleşen kaplamanın aydınlatılmasına yardımcı olmaktadır. Potansiyostat, elektrolit içindeki örneğe hem dc potansiyeli hem de buna ek olarak ac potansiyeli uygulamaktadır (Mamaş, 2003; Değirmenci, 2006).

EIS' den kaplamanın değerlendirilmesinde, elektrokimyasal sistem içindeki yük taşınım unsurlarının aydınlatılmasında, korozyon mekanizması ve korozyon hızının belirlenmesinde yararlanılmaktadır (Mamaş, 2003; Değirmenci, 2006).

2.4.6. Lineer polarizasyon yöntemi

Liner polarizasyon yöntemi, korozyon hızını izlemeye genellikle kullanılan bir yöntem olup korozyon hızının kısa sürede ölçülmesini sağlamaktadır. Yöntemin temeli, polarizasyon akım eğrilerinin elde edilmesi ve bundan faydalanarak korozyon akımının tespitine dayanmaktadır. Korozyon potansiyelinin ± 10 mV yakınında uygulanan dış akım ile polarizasyon aşırı geriliminin lineer olarak değiştiği gözlenmiştir. Bu durum Şekil 2.15'de görülmektedir (Keleştemur, 2002).



Şekil 2.15. Dış akıma karşı polarizasyon aşırı gerilimi (Atkinson and Vantroffelaar, 1985; Gümüş, 2007; Keleştemur, 2002)

Bu lineer kısmın eğimi için Stern- Geary (1957) tarafından aşağıdaki bağıntı verilmiştir (Keleştemur, 2002).

$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{(\beta_a + \beta_c) 2.3 \dot{I}_{cor}} \quad (2.2)$$

Burada;

$\frac{\Delta E}{\Delta I}$: Polarizasyon direnci, (mV/mA)

$\dot{I}_{cor}$: Korozyon hızı, (mA)

β_a : Anodik tafel sabiti, (mV)

β_c : Katodik tafel sabiti, (mV)

(2.2) bağıntısında görüldüğü üzere polarizasyon direnci, korozyon hızı ile ters orantılıdır. Anodik ve katodik tafel sabitlerinin bu dirence etkisi oldukça azdır. Bu sabitler 0.12 V alınırsa korozyon hızı (2.3) bağıntısıyla kolaylıkla bulunabilmektedir (Keleştemur, 2002).

$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{0.026}{\dot{I}_{cor}} \quad (2.3)$$

Lineer polarizasyon yöntemi, kısa sürede sonuç vermesi, çok hassas ölçümler yapabilmesi gibi avantajlarının yanında, ağırlık kaybı yönteminin uygulanamadığı ortamlarda rahatlıkla uygulanabilmektedir (Keleştemur, 2002).

2.5. Krom

2.5.1. Krom ve tanımı

Kimyasal açıdan tanımına bakıldığında krom, atom numarası 24, atom ağırlığı 51.9961 g/mol olan oda sıcaklığında gümüşümsü metalik katı halde bulunan bir metaldir. Simgesi ve işlenmiş hali Şekil 2.16'da gösterilmektedir (Taştan, 2008).



Şekil 2.16. Krom (Taştan, 2008; Anonymous, 2013)

Maden endüstrisi açısından tanımına bakıldığında ise, yeryüzünde nispeten az mevcut olan bir metal olup doğada kromlu demir halinde ve daha nadir olarak da kurşun kromatı veya krom okru (oksit) şeklinde bulunan bir mineraldir (Çoban ve Sancak, 2013; MTA, 2013).

Bir başka ifadeyle yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek minerale kromit denilmektedir. Tüvenan kromit, kromit konsantresi, ferrokrom ve krom metali gibi mineraller satılabilir krom ürünlerine örnek verilebilir. Kromit minerolojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, kübik sistemde kristallenen bir mineraldir. Teorik formülü FeCr_2O_4 olup, doğada bulunan kromit mineralleri $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$ formülüyle sembolize edilmektedir (DPT, 2001; Hacıoğlu, 2010).

2.5.2. Kromun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Krom mineralinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Kromun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Hacıoğlu, 2010)

Temel Özellikleri		Atom Özellikleri	
Atom Numarası	24	Kristal Yapısı	Kübik
Element Serisi	Geçiş Metalleri	Elektronegatifliği	1.66 (pauling ölçeği)
Grup, Periyot, Blok	6, 4, d	İyonlaşma Enerjisi	1 st: 652.9 KJ/mol
Görünüş	Metalik Gümüş	Atom Yarıçapı	128 pm
Atom Ağırlığı	51.9961 g/mol	Kovalent Yarıçapı	139±5 pm
Elektron Dizilimi	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	Diğer Özellikleri	
Enerji Seviyesi Başına Elektronlar	2,8,13,1 (Image)	Isıl İletkenlik	(300 K)93.9 W/mK
Fiziksel Özellikleri		Elektrik Direnci	(20°C) 125 nΩm
Madde Hali	Katı	Young Modülü	279 GPa
Yoğunluk	7.19 g/cm ³	Shear Modülü	115 Gpa
Sıvı Haldeki Yoğunluk	6.3 g/cm ³	Isıl Genleşme	(25°C) 4.9 µm/mK
Ergime Noktası	2180 K, 1907 °C	Ses Hızı	(20°C) 5940 m/s
Kaynama Noktası	2944 K, 2671 °C	Mohs Sertliği	8,5
Ergime Isısı	21 kJ/mol	Vickers Sertliği	1060 MPa
Buharlaşma Isısı	339.5 kJ/mol	Brinell Sertliği	1120 Mpa
Isı Kapasitesi	(25°C) 23.35 J/mol*K	Poisson oranı	0.21

Krom mineralinin ekonomik olarak üretildiği tek mineral olan kromit mineralinin bazı fiziksel özelliklerini de ele alınırsa, özgül ağırlığının 4.1-4.9 gr/cm³, sertliğinin 5.5, renginin *parlak siyah*, çizgi renginin *kahverengi* ve genellikle de manyetik özellik taşımadığının söylemek mümkündür (DPT, 2001).

Kromit minerali kimyasal açıdan da incelenirse, Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralinin oluşturan elementler olmakla birlikte gang minerallerinden de kaynaklanan silis de krom cevheri analizlerinin parçasıdır. Krom cevherinin kimyasal bileşimi sanayideki kullanım alanlarını belirlemekte olup kimyasal analizlerde belirlenen SiO₂, CrO₃, Al₂O₃ elementlerinin % miktarları ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit miktarının doğadaki en yüksek içeriği CrO₃ içeriği %68 olarak bilinmektedir (DPT, 2001).

2.5.3. Krom rezervleri

2006 yılının rakamlarıyla dünya krom rezervlerinin satılabilir derecede cevher olarak (%45 Cr₂O₃ içeren) 8.000.000 ton, rezerv bazlı olarak yaklaşık 2.500.000.000 ton olmak üzere toplamda 12 milyar ton'dur. Dünya krom rezervinin 12 milyar ton

olduğu; krom metali (Cr) bazında dünyada bilinen 3.5 milyar ton dolayındaki tanımlanmış (toplam) rezervin %95'inin de coğrafi konum olarak Kazakistan ve Güney Afrika'da toplanmış olduğu bilinmektedir. Dünya görünür krom rezervlerinde ise Güney Afrika'nın payı %77 düzeyindedir. Dünya kromit rezevleri Çizelge 2.10'de verilmiştir (Önal vd., 1995; Hacıoğlu, 2010).

Çizelge 2.10. Dünya kromit rezevleri (Hacıoğlu, 2010)

Ülkeler	Rezerv(2005)(x1000 ton)	Baz Rezervler (2005) (x1000 ton)
	Gemiye yüklenebilir -%45 Cr ₂ O ₃ içeren	
A.B.D.	110	120
Hindistan	25.000	57.000
Kazakistan	290.000	470.000
Güney Afrika	160.000	270.000
Türkiye	30.000	200.000
Finlandiya	60.000	120.000
Diğer Ülkeler	250.000	1.600.000
Dünya Toplamı	800.000	2.500.000

Türkiye'de ise krom yatakları belirgin dağılım şekli göstermemiş olup ultra bazik kayalar içerisinde ülke geneline yayılmış durumdadır. Türkiye'de 800'e yakın tek ya da grup halinde krom yatağı ve zuhuru bulunmaktadır. Coğrafi yönden krom yataklarının dağılımlarının 6 bölgede toplamamız mümkündür. Bunlar önem sırasına göre şöyle belirtilebilmektedir:

1. Guleman (Elazığ) yöresi
2. Fetiye-Köyceğiz-Denizli yöresi
3. Bursa-Kütahya-Eskişehir yöresi
4. Mersin-Karsantı-Pınarbaşı yöresi
5. Erzincan-Kopdağ yöresi
6. İskenderun-Kahramanmaraş yöresidir (DPT, 2001; Kıdıman, 2009)

2.5.4. Kromun kullanım alanları

Krom mineralleri element içerikleri dikkate alınarak kimyasal bileşimleri ile fiziksel özelliklerine göre metalurji, kimya, refrakter ve döküm alanlarında kullanıma uygun cevherler olarak sınıflandırılabilir (DPT, 2001; Er, 2011) . Ayrıca kromit minerali ısıya oldukça dayanıklı olduğundan dolayı yüksek fırınların yapımında kullanılan tuğlalarda, aşınmaya karşı dayanıklı olup pirinç, bronz ve çelik üzerinde dekoratif koruyucu kaplama olarak da kullanılmaktadır (Kıdıman, 2009).

Metalurji sanayi krom cevherinin en çok kullanıldığı alandır. Fiziksel özellik açısından cevherin sert, parça cevherler olması tercih edilse de konsantre krom tozları da kullanılabilir (Samanlı,1998; Kıdıman, 2009). Metalurji sanayinde krom cevherinin çok kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Ferrokrom paslanmaz çelik metal ve silah sanayisinin en önemli maddesidir. Krom çeliğe sertlik ile kırılma ve darbelere karşı direnç özelliği kazandırıp aşınmaya, oksitlenmeye karşı da korur (DPT, 2001; Kıdıman, 2009).

Kimya sanayinde kullanılan kromit konsantrelerinin ince taneli ve yüksek Cr_2O_3 olması ve Al_2O_3 ve SiO_2 tenörlerinin çok az olması istenmektedir (Çilingir 1990; Kıdıman 2009). Kimyasal krom kimyasalları, kimyasal kaliteye sahip krom cevherinden elde edilen sodyum bikromattan üretilmektedir. Sodyum bikromat, kromik anhidrit ve krom oksit krom kimyasallarından en yaygın kullanılanlarıdır. Ticari olarak üretilen diğer yan bileşikler ise kurşun kromat, bazik krom sülfat, sodyum karomat, potasyum bikromat, potasyum çinko kromat ve amonyum bikromattır. Krom kimyasalları paslanmayı önleyici özelliğe sahip oldukları için uçak ve gemi sanayinde yaygın olarak; kimya endüstrisinde de sodyum bikromat, kromik asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca krom kimyasalları metal kaplama, deri tabakalama, boya maddeleri (pigment), seramikler, parlatici gereçler, katalizör, boyalar, konserve kutulama, su işleme ve temizleme, sondaj çamuru ve diğer birçok alada kullanılmaktadır (Kıdıman, 2009).

Refrakter özelliğe sahip krom cevheri, çelik üretiminde yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın yöntemiyle çelik üretiminin azalması sebebiyle kromun refrakter sanayinde kullanımını olumsuz yönde etkilemiştir (Kıdıman, 2009).

Ayrıca Cr_2O_3 yanında Al_2O_3 miktarı daha fazla olan cevherler refrakter sanayinde tuğla üretiminde de kullanılır ve refrakter ismini alırlar. Refrakter yapımında kullanılan kromitte % Al_2O_3 miktarının oldukça fazla olması istenmektedir. Al_2O_3 , refrakter malzemenin kimyasal ve mekanik dayanıklılığını arttırmaktadır (Çilingir, 1990; Ağaçayak, 2004; Er, 2011). Kromun refrakter sanayinde kullanımıyla ilgili olarak başka bir özelliğini ele alacak olursak kromit kimyasal olarak nötr ve ergime derecesi yüksek bir mineral olduğundan asidik ve bazik ortama mukavemetlidir. Bu özelliğinden dolayı izabe fırınların iç yüzeylerinin örülmesinde kullanıldığı gibi, ateş tuğlası, ateş çimentosu ve ateş toprağı da kromitin önemli refrakter ürünlerindendir. Kromlu refrakterler başlıca çelik, cam ve kâğıt endüstrisinde de kullanılmaktadırlar (Ağaçayak, 2004; Er, 2011). Ayrıca kromun savunma sanayinde kullanımı onun stratejik bir element olmasını sağlamıştır. Kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, uçak, silahla ilgili destek sistemlerinde kullanılmaktadır. Krom sparge alaşımları, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerin kullanıldığı verimi yüksek, askeri amaçlı türbin motorların yapımında, krom kimyasalları da paslanmayı önlediğinden uçak ve gemi sanayinde de kullanılmaktadır (Kıdıman, 2009; Er, 2011).

2.6. Olivin

2.6.1. Olivinin tanımı

Diğer madenlerle karşılaştırıldığında oldukça yeni sayılan ancak teknolojik ve fiziksel özelliklerinden dolayı son 25 yıl içinde Avrupa ve Dünya'nın birçok ülkesinde önemli bir mineral haline gelmiş, genellikle yeşil ve koyu yeşil renkte bulunan oldukça sert bir mineraldir. Ortorombik sistemde kristalleşen olivin grubu mineraller esas olarak magnezyum (II) ve demir (II)'li silikatlar içermekte olup orto-silikat grubunda yer almaktadır. Baskın olan uç mineral magnezyum (II) ise Fosterit (Mg_2SiO_4), demir (II) ise Fayalit (MgSiO_4) olarak isimlendirilmekte kısacası olivin denildiğinde akla Fosterit ve Fayalit gelmektedir (Özkarakaşoğlu, 2006).

Şekil 2.17'de görülen olivin ultrabazik kayalar ana kaya yapan minerallerden biridir. Olivinin içerisinde en çok bulunduğu ultra bazik kayalar ismini Yeni Zellanda'da bulunan Dun Dağları'ndan alan dünitlerdir. Dünitler minerolojik olarak %90'dan fazla olivin içermektedirler (Çevik, 2006).



Şekil 2.17. Olivin minerali

2.6.2. Olivinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Olivinin genel kimyasal bileşimi Çizelge 2.11’ de, olivinin genel özellikleri ise Çizelge 2.12’de verilmiştir.

Çizelge 2.11. Olivinin genel kimyasal özellikleri (Aydınlı, 2008)

Bileşen	% min	% max
MgO	44.50	50.00
SiO ₂	41.00	43.00
Fe ₂ O ₃	6.22	7.5
Al ₂ O ₃	0.06	0.20
Na ₂ O	0.02	0.05
Cr ₂ O ₃	0.15	0.30
NiO	0.10	0.20

Çizelge 2.12. Olivinin genel özellikleri (Sayın, 1995; DPT, 2001; Aydınlı, 2008)

Kayaç İsmi	DUNİT
Ürün Adı	OLİVİN
Mineral	FORSTERİT
Kimyasal Formülü	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄
Renk	KOYU YEŞİL
Tane Şekli	KÖŞELİ
Yoğunluğu	3.4 gr/cm ³
Hacimsel Yoğunluk	1.9 gr/cm ³

Çizelge 2.12. Olivinin genel özellikleri (Devam) (Sayın, 1995; DPT, 2001; Aydın, 2008)

Sertlik (mohs)	6,5-7
pH	8-8,5
Sinterleşme Başlangıcı	1450 °C
Genleşme Katsayısı	%1.1 (1200 °C lineer)
L.O.I.	max. %1.85
Nem	max. %1.5
Kızdırma Kaybı	% 0.5-2
Serbest Silikat veya Çözülebilir Tuzlar	YOK
Ergime Sıcaklığı	1760 °C

Olivin mineralinin fiziksel özelliklerinden bahsetmek gerekirse, camsı özelliklere sahip bir mineral olup, zeytinin rengine benzediği için ismini de İngilizce Olivine’ den almış olan olivinin rengi koyu yeşil, yeşildir. Güneş ışınları ve atmosferik etkiyle renk açık yeşile dönmektedir. Nem açısından ise parça halindeki olivin ile toz halindeki ya da kırılmış öğütülmüş olivinin nem miktarı aynı olmamakla birlikte parça, kırılmış ve toz olivinde istenen nem miktarı en fazla ve sırasıyla %1, %1.5 ve %2 olarak değişmektedir. Sertlik açısından olivin oldukça sert bir mineraldir. Bu özelliği de ufalanabilme ve öğütülebilme özelliklerine etki eder. Sertliği 6.5-7 Mohs arasında değişmektedir. Ayrıca olivinler belirgin köşeli yapıya sahip olması sebebiyle aşındırıcı özelliğe de kazanmışlardır. Olivinin yoğunluğu ise 3.22 ile 4.40 gr/cm³ arasında değişmektedir (Acar, 2003; Kanarya, 2010).

2.6.3. Olivin rezervleri

Dünyada işletilen en büyük olivin (dünit) yatağı Norveç’te bulunmakta olup Aheim civarında bulunan ve önemli miktarda forsterit içeren bu dünit kütlesi yaklaşık 6.5 km²’lik alanı kapsamakta ve rezervinin de 2 milyar tonun üzerinde olduğu bilinmektedir. Dünya dünite pazarında da en fazla söz sahibi olan dünitler bunlardır ve 1948 yılından beri bu yatakta madencilik yapılmaktadır. İtalya’da Torino yakınlarındaki Vidrocco, Castellamonte kasabaları yakınlarındaki dünit rezervleri ise yaklaşık 100 milyon ton olmakla beraber bu bölgede dünit madenciliğine 1960 yılında başlanılmıştır. İspanya’da ise ülkenin kuzeybatı yönünde yer alan Galicia

civarındaki dünit rezervinin de 100 milyon tondan fazla olduğu bilinmektedir. İsveç'te ise 1980 yılına kadar refrakter sanayinde ve ısıtıcılarda (radyatör şeklinde) kullanılmak üzere yılda 50.000 tondan fazla dünit üretildiği ifade edilmektedir. Ancak İngiltere'ye yapılan satışların durmasının ardından olivin üretimine son verilmiştir. Bu ülkedeki olivin hakkında kesin bir bilgi edinilememiştir. A.B.D.'de Washington ve North Carolina bölgelerinde önemli taze olivin içeren dünitler mevcuttur. Washington civarında 200 milyon tondan fazla rezerv tespit edilmiştir. Avusturya'da Styria bölgesinde yer alan Leoben civarındaki dünit varlığı bilinmekte fakat rezervi hakkında herhangi bir bilgi mevcut değildir. Ayrıca Güney Afrika, Yeni Zellanda ve Meksika'da işletilmekte olan önemli dünit yatakları bulunmakta fakat rezervleri hakkında detaylı bir bilgiye ulaşılamamıştır (DPT, 2001; Özkarakışoğlu, 2006; Kanarya, 2010).

Türkiye'de ise oldukça geniş alanlar kaplayan ultra bazik kayalar ve bunların içerisinde de önemli dünit oluşumları mevcuttur. Özellikle Adana-Karsantı (Kızılyüksek), Guleman-Kef, Busa- Orhaneli, Muğla-Fethiye, Köyceğiz, Beyşehir, Konya-Meram'da ultra bazik kayalarında önemli dünit zonları mostra vermektedir. MTA Genel Müdürlüğü tarafından bu dünitleri ekonomik değerlerinin belirlenmesi için bir proje yaptırılmıştır. Sayın (1989) tarafından yapılan etüd ile Orhaneli'nin kuzeyindeki ultra bazik masifler içerisinde dünit zonları ayırt edilmeye çalışılmış ve sahada 5 milyar tonun üzerinde bir rezerv ortaya çıkarılmıştır. İkinci önemli dünit zuhurları ise Adana-Karsantı (Kızılyüksek) ultra bazik masifi içerisinde yer almaktadır. Kızılyüksek'teki dünitlerin yaklaşık 50 km²'lik bir alanı kapladığı ve yapılan sondajlarda da kalınlılarının 400 m'den fazla olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu durumda da yöredeki dünitin milyarlarca ton rezerve sahip olduğu gayet açıktır (DPT, 2001).

2.6.4. Olivinin kullanım alanları

Olivin mineralinin demir-çelik sanayi, refrakter sanayi, döküm sanayi, aşındırıcı (abrasiv) olarak kullanımı, elektrikli ısıtıcı (radyatör) olarak kullanımı, ballast (denge) malzemesi olarak kullanımı mümkündür (Kanarya, 2010).

Olivin günümüzde en çok *demir-çelik sanayinde* kullanılmakta olup yüksek fırınlarda cüruf düzenleyici, elektrik ark ocaklarında delik kumu, tandiş destek kumu, pota destek kumu olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek fırınlarda çelik üretimi için demir cevheri ve kok kömürü kullanılmakta ve hammaddeler yeterinde saf olmamaktadır. Bu sebepten dolayı yüksek fırına giren hammaddelerin yeteri derecede erimesi ve cürufa karışması gerekmektedir. Bundan dolayı ilk plandaki gerekli olan ergimede olivinin eritici olarak büyük rolü bulunmaktadır (DPT,2001; Aydınli, 2008).

Refrakter sanayinde, olivin yüksek ergime derecesinden dolayı, olivinden forsterit ateş tuğlası üretimi, katkı maddesi, refrakter harçlar (püskürtme, tamir harcı vb.) ve refrakter beton yapımında yararlanılmaktadır. Forsterit tuğla yapımına 1930 yılından bu yana devam edilmektedir. Forsterit tuğlanın refrakterlik derecesi 1890 °C olmakla beraber başta demir-çelik sanayinde yüksek fırınlarda, çimento sektöründe ve yüksek ısının gerektirdiği birçok iç tuğla ve refrakter malzeme yapımında kullanılmaktadır. Ancak olivinin yüksek fırındaki cürufa dayanıklılık gösterememesi üzerine genellikle yüksek fırının nispeten daha az sıcak kesimlerinde ve taban kısımlarında kullanılmaktadır. Olivinin diğer bir avantajı da içerisinde bulunan çelik malzemeyi daha çabuk soğutmasıdır. Devamlı döküm elde etmek için kullanılan tundislerin (tundish) üretiminde de önemli miktarda olivin kullanılmaktadır. Tundislerden geçen eriyik cevher potada son şekli verilerek piyasaya sürülmektedir. Bilhassa tundislerin astar şeklinde kaplanmasında çok miktarda olivin püskürtülerek kullanılmaktadır. Ayrıca refrakter endüstrisinde değişik oranlarda olivin içeren tuğlaların kullanımı da bilinmektedir. Bu tuğlalar değişik oranlarda olivin ile fosfat, karbon, krom gibi minerallerin inorganik maddeler ya da reçine gibi bağlanmaları sonucu meydana getirilmekte ve bunlara kimyasal bağlı tuğlalar denilmektedir. Olivin ayrıca çöp veya benzeri atıkların yakıldığı fırınların üretiminde de; özellikle A.B.D.'de, Avustralya'da ve Pasifik kıyı ülkelerinde bol miktarda kullanılmaktadır (DPT, 2001; Aydınli 2008; Kanarya, 2010).

Olivin, 1970'li yıllarda Avrupa'da *döküm sanayinde* yüksek miktarda kullanılmakta olan zirkon ve kromitteki yüksek fiyat artışları sebebiyle bu pazarda kullanılmaya başlanmıştır. Aslında döküm sanayinde en fazla kuvars kumu kullanılmakta fakat döküm sırasında dökülen metalik malzemelerle kalıp arasında, problemleri durumlarda

olivinden yapılmış kalıplar tercih edilmektedir. Kuvars kumları döküm sırasında metalle reaksiyona girmekte, olivin kalıp ise metalin bünyesine girmesine izin vermemektedir. Özellikle manganezli çelik dökümünde olivinden yapılmış kalıplardan yararlanılmaktadır. Zira silis kumu döküm sırasında düşük ergime sıcaklığını sebep olmakta, bu da çeliğin kum üzerinde sinterleşmesine neden olmaktadır. Bu durum, döküm parça yüzeyinde birçok yüzey hatasının oluşmasını sağlamaktadır. Olivin ise manganezli çelik ile düşük ergime sıcaklığına sahip fazı oluşturmaz. Döküm üretiminde, olivin kumuna düşük oranlarda krom ve zirkon ilavesi de yapılabilir (DPT, 2001; Özkarakışoğlu, 2006; Aydın, 2008; Kanarya; 2010).

Döküm sanayinde olivinin silis kumuna göre avantajlı özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Isı karşısında oldukça düşük ve tekdüze genleşme göstererek genleşmeden dolayı meydana gelebilecek hataların önüne geçilmesini sağlamaktadır.
- Düşük ısı genleşmesine sahip olması nedeniyle bağlayıcı olarak yalnızca bentonit ve suyun %3 oranlarında olması yeterlidir.
- Termal şoka karşı sürekli mukavemet göstermektedir.
- Daha kolay şekillendirilebilmektedir.
- Kısmen köşeli parçalardan oluşması daha fazla kuru kırılma mukavemeti (Green Strength) göstermesine neden olmaktadır.
- Silis kumları silikosis denilen hastalığa neden olmakta, olivinle çalışıldığında ise böyle bir hastalık ortaya çıkmamaktadır.
- Olivin işlem sırasında oldukça iyi kalsine olduğundan, bünyelerine oldukça az miktarda su kabul etmekte bunun sonucu olarak da yeniden kullanımı kolay olabilmektedir (DPT, 2001; Özkarakışoğlu, 2006; Aydın, 2008; Kanarya; 2010).

Olivin minerallerinin yoğunluklarının 3.3-3.5 gr/cm³, sertliklerinin 6.5-7 mohs ve genellikle köşeli tane yapısına sahip olmaları nedeniyle, *aşındırıcı (abrasiv)* özellikler kazanmıştır. Avrupa'nın birçok ülkesinde inşaat ve köprü gibi yapıların yüzeylerinin temizlenmesi için olivin malzemesi kullanılmaktadır. Temizlenen yüzeylerde yüzeye göre 0.09-1.7 mm boyutlarında olan olivinlerin basınçlı hava

kullanılarak temizlenecek yüzey üzerine püskürtülmesiyle kir, pas vb. yüzeylerde istenmeyen materyaller kolayca uzaklaştırılarak yüzey temizlemesi gerçekleştirilir. Temizleme işlemine ek olarak düzgün yüzey ya da girintili çıkıntılı yüzey elde edilmesi, herhangi bir yapının, dekorun bir kısmının alınması (koparılması) için de basınçlı hava kullanılarak toz şeklindeki olivinler kesim işlerinde kullanılırlar. Avrupa’da aşındırma ve kesme olayı için 1988 yılından önce arada sırada olivin yerine silis kumu kullanılmaktaydı fakat silis kumunun sağlığa zararlı oluşu ve bir takım hastalıklara neden olması dolayısıyla 1988 yılından itibaren silis kumu yasaklanarak yerine olivin kullanılmaya başlanmıştır (DPT, 2001; Çevik, 2006; Özkarakaşoğlu, 2006; Aydın, 2008; Kanarya, 2010).

Elektrikli ısıtıcılar Avrupa’da gece ısıyı depo eden ısıtıcılar (Night Storage Heaters) olarak isimlendirilmektedir. Bir elektrikli malzemeden ısıyı absorbe eden ve depolayan bir radyatör şeklinde tasarlanmış tuğlalar, belirli bir süre sonra özellikle gündüzleri bu ısıyı yayarak konutları ısıtmaktadır. 1965-1975 yılları arasında Avrupa’da büyük oranda kullanılan bu ısıtıcıların, daha sonraki elektrik fiyatlarındaki artışlar ve doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasıyla kullanımı sekteye uğramıştır. Olivinli radyatörler ısıyı daha fazla tutması açısından manyezitli radyatörlere göre tercih edilmekte ve son yılda demirden (manyetit) yapılmış radyatörlerin üretimi de bu alanda olivinin payını oldukça küçültmüştür. Demirli radyatörler, yoğunluğunun fazla olmasından dolayı daha ince üretilmekte, bu da daha fazla ısıyı depo etmesine ek olarak estetik görünüm elde etmesini sağlamaktadır (DPT, 2001; Çevik, 2006; Kanarya, 2010).

Olivin yüksek yoğunluğundan dolayı bazı denge fonksiyonlarının gerektiği alanlarda *ballast (denge) malzemesi* olarak kullanılmaktadır. Olivin, özellikle Kuzey Denizi’ndeki petrol platformlarını dengede tutmak ve bu alanda kullanılan betonların gözeneklerini gayet iyi bir biçimde doldurarak, ağırlığı sebebiyle denge işlevine yardımcı olmak için olivin malzemesi kullanılmaktadır. Ayrıca ağır beton uygulamalarında, liman platformları ve deniz altı boru hatlarında da olivin kullanılmaktadır. Kirlenmiş dok ve deniz yatakları için filtre ve örtü malzemesi olarak, beyaz asbest üretimi, su arıtma ve kaya yünü üretiminde de olivin kullanılmaktadır. Bunu yanı sıra tren yollarında sağlam ve dengeli bir temel sağlamak amacıyla, aynı zamanda güvenli bir yolculuk için de tren yolu

zeminlerinde olivin kullanılmaktadır. Nispeten sağlam ve köşeli çakıllar burada iyi bir drenaj sağlayarak tren yolunun kaymasını engellemektedir (DPT, 2001; Çevik, 2006; Özkarakışoğlu, 2006; Aydınli, 2008; Kanarya, 2010) .

2.7. Kaynak Taraması

Bu tez çalışmasında betonun durabilitesi kapsamında yer alan beton içerisinde bulunan betonarme donatısının korozyonu ile bu durumun önlenmesi hususu ele alınmış ve konuyla ilgili yapılan bilimsel çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

Şahin, (2002), çalışmasında her türlü betonlu ve benzeri çimentolu çevrenin içindeki metallerin nasıl korunduğunu incelemiştir. Ayrıca donma önleyici tuz, deniz atmosferi ve başka tuz kaynakları olmadığı halde buradaki yapılarda neden korozyon oluştuğuna dair deliller sunmakta olup betonarme çeliklerinin korozyona uğrama nedenleri, korozyondan korunma nedenleri ve çeliği korozyona uğramış betonarme elemanların onarımına ait çözüm önerileri vermiştir.

Taşdemir, (2002), çalışmasında İnşaat Mühendisliği'nde taşıyıcı malzeme olarak yaygın biçimde kullanılan betonun performansı üzerine genel bir değerlendirme yapmış, özellikle Marmara depremleri sonrası beton ile ilgili karşılaşılan bazı sorunlara yer vermiştir. Ayrıca, sık sık karşılaşılan taze beton çatlaklarını özetlemekte ve betonda kalite denetimi üzerinde durmuştur.

Kılınçkale, (2003), çalışmasında betonun basınç dayanımının, sertleşmiş betonun bir özelliği olduğunu ve beton sınıflarının da bu dayanıma göre belirlendiğini, dayanıklılığın (durabilite) da beton veya betonarme yapının zaman içinde özelliklerini kaybetmemesi olduğunu belirtmiş ve çalışmasında betonun dayanıklılığını azaltan, hasar görmesine neden olan kimyasal etkenleri sıralamıştır. Bu etkenlerden sülfat etkisinin en sıklıkla ortaya çıkan ve çok görülen bir etki olduğunu belirtmiş ve betona etki eden dış ortam karşısında betonun dayanıklılığını artırmak, betonun hasarını en aza indirmek veya bunu önlemek için uyulması gereken kurallara da değinmiştir.

Berke ve Hicks, (2004), çalışmalarında çelik katkılı betonların oldukça durabil ve maliyetli inşaat malzemeler olduğunu, ancak çevrede bulunan yüksek derecedeki klorürün çeliğin yüzeyindeki pasif tabakayı bozarak korozyon meydana getirebildiğini ve çeliğinde bundan zarar görebileceğini ve bu durumun engellenmesi için beton karışımına korozyonu engelleyici maddelerin eklenmesinin gerektiğini belirtmişlerdir. İnhibitör özelliklerinin mükemmel olması ve beton özellikleri üzerinde olumlu etki göstermesi nedeniyle en yaygın kullanılan korozyon inhibe katkısının kalsiyum nitrit olduğunu ve kalsiyum nitritin iyi tanımlanmış bir koruma mekanizması olduğunu bildirmişleridir. Bu çalışmalarında korozyon seviyesini düşük tutmak amacıyla kalsiyum nitriti karışımlarda kullanmışlar ve başlayan korozyon oranlarını mevcut kalsiyum nitritle düşürmeyi başarmışlardır.

Boğa, (2005), çalışmasında, korozyona karşı daha etkili beton üretmek amacıyla yaptığı çalışmada CEM II/B 32.5 R, CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 N çimentoları kullanarak ve bu çimentoları da 300 ve 375 dozajlarında kullanarak katkısız ve % 10 ve 20 oranında uçucu kül katkılı olmak üzere beton karışımları hazırlamıştır. Ayrıca numunelere 28 ve 180 gün olmak üzere iki farklı kür uygulayarak toplamda 36 farklı seri üretim gerçekleştirmiştir. Üretilen bu betonların mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiş ve beton içine donatıların dikildiği lolipop şeklinde üretilen numunelerde hızlandırılmış korozyon deneylerini yaparak betonlarda hasar oluşum süreleri ile aderans kayıplarını belirlemek amacıyla hızlandırılmış korozyon deneylerinden sonra aderans deneylerini yaparak aderans kayıplarını tespit etmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda hızlandırılmış korozyon deneyi sonrasında beton içerisindeki donatının korozyona uğradığını, beton içerisinde genleşmelerin oluştuğunu ve numunelerin çatladığını yani hasara uğradığını görmüştür. Hasar oluşum süreleri kullanılan çimentonun tipine ve uçucu kül miktarına göre farklılıkları göstermiş olup kullanılan uçucu külün artmasıyla da hasar oluşum sürelerinin arttığını belirlemiştir. Ayrıca dozaj miktarının artmasıyla da hasar oluşum süreleri artmış ve korozyon sonucu hasara uğrayan numunelerin aderansının çok büyük oranlarda azaldığını tespit etmiştir.

Sancak, (2005), çalışmasında hafif agrega olan bims agregası ile ürettiği taşıyıcı bimsbeton (BB) ve normal yoğun agrega ile ürettiği normal betonların (NB) karşılaştırmalı olarak: 1) betonların içerisindeki donatıyı korozyona karşı koruma

etkinliğini, 2) donatı - beton kenetlenme (aderans) özelliklerini ve 3) yüksek ısıya (20 °C, 100 °C, 400 °C, 800 °C, 1000 °C) maruz kaldıktan sonraki bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bu amaçla, 12 farklı beton karışımı hazırlayarak silis dumanını (SD), mineral katkı olarak % 0, % 5 ve % 10 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirerek kullanmıştır. Süper akışkanlaştırıcı (SA) katkısını ise betona, çimento ağırlığının % 2'si oranında katmıştır. Çalışmalarının sonucunda, BB'lerin birim ağırlıklarını, NB'lara göre % 23 daha düşük olduğunu, basınç dayanımlarının, SD veya SA katkısına bağlı olarak, NB'ların % 48'i ile % 65'i arasında değişen değerler aldığını, BB'larda ve NB'larda, SD ve SA katkısının birlikte kullanılması ile donatı – beton aderansının artmakta olduğunu, NB ve BB'lerin, 20 °C, 100 °C ve 400 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıklarında, NB'lerin daha dayanıklı olduklarını tespit etmiştir. Yarı-hücre potansiyel verilerine göre NaCl çözeltisinde, 17 ıslatma- kurutma çevrimine maruz kalan, % 10 SD - % 2 SA'lı BB ve NB'lerin, en olumlu sonucu verdiğini bildirmiştir (sırasıyla; -511.2 ve -485.8). BB ve NB'lerde, % 10 SD – % 2 SA'nın birlikte kullanılması durumunda, 0-10 mm derinlikte klorür miktarının sırasıyla; % 2.24 ve % 1.76 olduğunu ve donatı ağırlığında en az kaybın, % 10 SD - % 2 SA'lı BB ve NB'lerde elde edildiğini bildirmiştir (sırası ile % 0.87 ve % 0.85). NB ve BB'lerde, SD'nin tek başına kullanımı ile karbonatlaşma derinliğinin arttığını, en düşük karbonatlaşma derinliğinin % 5 SD - % 2 SA'lı BB ve NB'lerin sağladığını bildirmiştir (sırası ile 1.40 ve 1.61 mm).

Değirmenci, (2006), çalışmasında silis dumanı katkısının betonarme çeliği korozyonuna etkisini araştırmıştır. Bu amaçla silis dumanı, PÇ 42.5 çimentosuna ağırlıkça %5, %10 ve %15'i yerine ikame ederek kullanmıştır. 7, 28 ve 90 günde betonun basınç dayanımını belirlemek için 100 mm'lik standart küp numuneler, elektrokimyasal korozyon ölçümleri için de 50x100 mm'lik özel silindir betonarme numuneler üretmiştir. Betonarme çeliği korozyonunu ölçmek için üç elektrotlu sistem kullanmıştır. Akım potansiyel gürültü ölçüm tekniklerini, betonarme çeliği korozyonu için uyarlamış, ayrıca tahribatlı ve tahribatsız ölçüm yöntemleri ile yaşlandırma yaparak betonarme çeliği korozyonu belirlemiştir. Basınç dayanımı deneyi sonucunda silis dumanı miktarı arttığında genel olarak betonların basınç dayanımlarının da arttığını, silis dumanı katkısının betonarme çeliği korozyonu üzerinde birbirine zıt yönde iki farklı etkide bulunduğunu, silis dumanı katkısının

betonun porozitesini azaltarak çeşitli korozif maddelerin çevreden çelik yüzeyine difüzyon hızını kısıtlamasına rağmen, çelik yüzeyinde kendisinin temas ettiği bölgelerde korozyon direncini düşürerek, özellikle lokalize korozyonu hızlandırdığını tespit etmiştir.

Kayali ve Zhu, (2005), çalışmalarında yüksek dayanımlı silis dumanı- çimento beton karışımı ve 70 MPa basınç dayanımlı döşemeleri %2 klorür çözeltisi içine kısmi batırdıktan sonra klorür difüzyonu ve korozyon aktivesi için test etmişlerdir. Benzer levhalar olan 32 MPa dayanımlı geleneksel beton levhaları da aynı ortamda test etmişlerdir. Yüksek dayanımlı betondaki klorür difüzyonunu çok düşük, en yüksek klorür konsantrasyonunu ise 32 MPa'lık betonlarda tespit etmişlerdir. 32 MPa'lık betonların korozyon potansiyelinin negatiflik değerinin büyük oranlara ulaştığını tespit etmişlerdir. Yüksek dayanımlı betonun korozyon potansiyeli değerlerinin oldukça sabit kaldığını, 200 mV seviyesinde olduğunu tespit etmişlerdir. 32 MPa dayanımındaki betonun korozyon akım yoğunluğunun nispeten kısa bir sürede aktif değerlere ulaştığını, yüksek dayanımlı betonun, korozyon akım yoğunluğunun ise eşik aktivasyon değerine yaklaşmadığını tespit etmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre, %10 silis dumanı katkılı yüksek dayanımlı betonun son derece yüksek korozyon direncine sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Mermerdaş, (2006), çalışmasında havada ve suda kür edilmiş betonların dayanım ve özellikle durabilite özellikleri üzerinde metakaolinin etkisini deneysel olarak incelemiştir. Metakaolini çimento ile ağırlıkça üç farklı düzeyde (%0, %10 ve %20) yer değiştirmiş ve bu çalışma kapsamında su bağlayıcı oranı (w/cm), beton yaşı, kür koşulları ile klorür ve sülfata dayanıklılık dirençleri irdedeği diğer deneysel parametrelerdir. Ayrıca çalışmasında, yalın ve metakaolin modifiyeli betonların performans özelliklerini belirlemek amacıyla, basınç dayanımını, kılcal su geçirirmliliğini, su emmesini, klorür iyon geçirirmliliğini, kurutma rötresini, kurumadan dolayı ağırlık kaybını ve sülfat dayanımını incelemiştir. Bunun yanı sıra, civalı porozimetre deneyi ile betonların harç fazında porozite ve boşluk dağılımlarını da incelemiş ve deneylerini 180 günlük süre zarfında, belirtilen test yöntemlerine uygun zamanlarda gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda, metakaolin değişim düzeyinin ve uygulana kür koşullarının durabilite özelliklerini önemli ölçüde

etkilemiş ve özellikle suda kür edilen metakaolin katkılı betonlarda metakaolin katkı oranının %20'ye ulaştığı betonların performanslarında iyileşme tespit etmiştir.

Üncü, (2006), çalışmasında boya sanayinde kullanılan kolofonun, çelik ve betonarme çeliği korozyonu üzerindeki etkilerini betonarme korozyonu için yeni deneysel yaklaşımlar önererek araştırmıştır. NaCl çözelti ortamlarında kolofon katkılı beton içindeki çelik elektrotun korozyon davranışlarını araştırmıştır. % 3 tuzlu su içinde bekletilen betonarme örneklerinin korozyon özelliklerini, ADP (açık devre potansiyeli), $E_i=0$ (korozyon potansiyelleri), EIS (elektrokimyasal empedans spektroskopisi), koroamperometri, kronoklonometre ve dönüşümlü voltametri tekniklerini kullanarak 71 gün boyunca belirli periyotlarda takip etmiştir. Sonuç olarak kolofonun yapışkan özelliği ile betonun gözeneklerini kapatmasından dolayı su ve çeşitli kimyasalların yapıya girişini ve çeliğe difüzyonunu engelleyerek korozyonu yavaşlatıcı bir etki gösterdiğini belirlemiştir. Bununla birlikte kolofonun yüzey oksit filminin çözünmesini hızlandırarak, beton içerisindeki çeliğin korozyonunu artırma eğiliminde olduğunu da tespit etmiştir.

Çolak, (2007), çalışmasında (kireç taşı) dolgulu ve krom oksitli beyaz Portland çimento pastasının betonun aşınma karakteristiğini incelemiştir. Sonuçların kalker (kireç taşı) dolgulu beyaz Portland çimento hamurunun genel olarak 38'den ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$) daha yüksek aşınma kaybı olduğunu, kalker (kireç taşı) dolgulu beyaz Portland çimentolu beton örneklerin aşınma kayıpları oranının ise 21.79'dan 27.98'e ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$) doğru olduğunu tespit etmiştir. Ancak, kalker dolgu yerine karışıma eklenen krom oksit içeren örneklerin belirgin bir şekilde aşınma kaybını düşürdüğünü ve bu örneklerin aşınma kaybı değerinin 14.83 ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$) olup krom oksitsiz beyaz Portland çimentolu beton örneklerin aşınma kayıplarının ise 6.96'dan ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$) daha az olduğunu tespit etmiştir. Portland çimentolu betonun aşınma kaybı ile eğilme dayanımı arasında belirgin bir korelasyon olduğunu da gözlemlemiştir.

Görür, (2007), çalışmasında yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza katılarak üretilen betonların deniz suyuna karşı dayanıklılığını araştırmıştır. Yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomzanın ince agregayla yer değişim yüzdelerini değişik şekillerde incelemiş ve 3 yıl deniz suyu etkisine maruz bırakılan beton örneklerin mekanik özelliklerindeki değişimini araştırmıştır. Ayrıca deniz suyuna maruz bırakılan

örneklerin mikro yapılarının ortaya çıkarılmasında diferansiyel kalorimetre taramalarını kullanmıştır. Bozulmaların etkilediği harçlarda yer alan çelik çubukların 3 yıl sonraki kütle kayıplarını direkt olarak ölçerek tespit etmiştir. Yapmış olduğu testlerin sonucu olarak betonda yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza varlığının aşınma ve deniz suyu etkisinden dolayı oluşan basınç dayanım kaybı üzerine olumlu etkiler yaptığını, bu etkinin katkı tipi ve miktarına bağlı değiştiğini, %80 yüksek fırın cürufu katkılı betonların kontrol betonlarına göre deniz suyuna karşı daha dayanıklı olduğunu, bu durumun da mineral katkıların betonun geçirimsizliğini azaltmasıyla yorumlayarak, kontrol gruplarının korozyon oranının mineral katkılı gruba göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Kurt, (2007), çalışmasında silis dumanının betonun basınç dayanımına, kılcal yolla su emmesine, klorür geçirimsizliğine, öz direncine etkisi ve betona gömülü çelik korozyon durumu arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Çalışmasının kapsamında merkezi karma tasarım yöntemi kullanarak beton karışım oranlarını belirlemiş ve bu karışım oranları doğrultusunda farklı silis dumanı/toplam bağlayıcı, su/toplam bağlayıcı ve toplam bağlayıcı oranlarını kullanarak yirmi farklı beton üretmiştir. 15x15x15 cm'lik küp numuneleri basınç dayanımı deneyi için, 7x7x28 cm prizma numuneleri kılcallık deneyi için ve 10x20 cm'lik (çap x yükseklik) silindir numuneleri hızlı klorür geçirimsizliği deneyi için üretmiş ve içerisine 10 cm çapında nervürlü inşaat demiri yerleştirerek 10x20 cm'lik silindir lolipop numuneleri korozyon ölçümlerinde kullanmıştır. Numunelerin yarısını suda ve yarısını havada bekleterek 90 günlük kür süresi sonunda betonların basınç dayanımlarını, kılcallık katsayılarını, kılcal penetrasyon direnci katsayılarını, etkin porozite katsayılarını bulmuş ve ASTM C1202-97 standardına göre betonların klorür difüzyonuna karşı performanslarını belirlemiştir. Korozyon ölçümlerini ise kür süresini tamamlayan lolipop numunelerin bir molar NaCl çözeltisinde bekletmiş ve Gecor 8 cihazı ile (Korozyon ölçüm sistemi) iki haftada bir olmak üzere öz direnç, yarı hücre potansiyeli ve korozyon hızı ölçümleri gibi parametreleri belirlemiştir. Deneysel çalışmaların sonunda, silis dumanının betonda kullanımının genel olarak betonun dayanıklılığını arttırdığı sonucuna varmıştır.

Saran, (2007), çalışmasında beton üretiminde kullanılan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun betonun durabilite özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla,

merkezi karma tasarım yöntemi kullanarak, farklı karışım oranlarında 20 adet beton üretmiş ve bu betonlara ait numuneler üzerinde basınç dayanımı, kılcal su emme, hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri ile lineer polarizasyon (korozyon hızı), yarı hücre (korozyon potansiyeli) ve öz direnç deneylerini yapmıştır. Ayrıca kür koşullarının etkisini de araştırmak için, deneyde kullanılan tüm betonlara ait numuneleri havada ve suda kür etmiştir. Yapılan deneylerin sonunda, su kürü numunelerinin hava kürü numunelerine göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmıştır. Ortamda yeterli su bulunması durumunda, cüruf oranının belirli bir noktaya kadar artması ile betonun kılcal su emme ve hızlı klorür geçirimsizliğinde düşüşler olduğunu gözlemiştir. Hava kürlerinde ortamda yeterli su bulunmamasına rağmen cüruf miktarının belirli bir noktaya kadar artması, betonun elektriksel direncini olumlu yönde etkilediğini, diğer taraftan betonların basınç dayanımlarının, cüruf oranının artması ile azaldığını tespit etmiştir. Ayrıca yapılan korozyon ölçümlerinde, cüruf oranının artması ile su kürü uygulanmış betonlarda önemli ölçüde direnç artışlarının meydana geldiğini ve genel olarak, cüruf oranının artması ile betonun durabilite özelliklerinde iyileşmeler meydana geldiğini tespit etmiştir.

Song ve Saraswathy, (2007), çalışmasında betonarme yapıların çok dayanıklı olma potansiyeline sahip olduğunu ve çeşitli olumsuz çevre koşullarına dayanıklı olabildiğini fakat erken donatı korozyonu sebebiyle yapılarda hasarların ortaya çıkabildiğini, köprü ve binaların bakım ve onarımında onların güvenliği için muayene ve donatı korozyonu değerlendirme, izleme tekniklerinin gerekli olduğunu, bakım ve onarım gerektiğinde yapının durumunu değerlendirmek için mühendislerin daha iyi tekniklere ihtiyaç duyduğunu, yapılarda herhangi ciddi bir durabilite problemi meydana gelmeden önce bu sorunları bu yöntemlerle tespit edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, korozyonun değerlendirilmesi açısından tüm elektrokimyasal ve tahribatsız yöntemleri çalışmasında özetlemiştir.

Trezza ve Scian, (2007), çalışmalarında endüstriden kaynaklı tehlikeli atıkların genellikle Portland çimentosunda enerjiden tasarruf etmek, toksin maddeleri, maliyetleri ve cüruf içindeki ağır metalleri dengelemek için kullanıldıklarını belirtmişler ve çalışmalarını Portland çimento klinkerine ekledikleri tabakalanmış deri parçalarındaki krom tuzlarının etkileri üzerine odaklamışlardır. Hammaddeleri olan cüruf talaşının farklı oranlarında laboratuarda %2 Cr_2O_3 içeren klinker haline

getirmişlerdir ve ham karışımların DTA-TG'sini termal değişiklikleri değerlendirmek için yapmışlardır. Bu değişiklikleri klinkerleme işlemi sırasında XRD yoluyla elde ettikleri fazların analizi sırasında gerçekleştirebilmişlerdir. Klinkerlerin öğütme esnasındaki davranışlarıyla aynı zamanda bu klinkerlerin refrakter değişim analizini de incelemişlerdir. Krom tutma işlemini damıtma testleriyle değerlendirmişlerdir. Hidratasyon hızı sonucunda oluşan silikat yapısındaki krom varlığının, mekanik direnç ve gözenek dağılımı konusunda yapısal iyileştirme sağladığını tespit etmişlerdir.

Dinakar vd., (2008), çalışmalarında kendiliğinden yerleşen yüksek hacimli (yoğunluklu) uçucu küllü betonların durabilite özellikleri üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çeşitli dayanım sınıflarında kendiliğinden yerleşen uçucu küllü betonun, uçucu külün %0, %10, %30, %50, %70 ve % 85 gibi istenilen oranlarda betonda kullanmışlar ve eşdeğer dayanımda normal vibrasyonla sıkıştırılmış beş farklı karışımla da karşılaştırılmak üzere tasarlayarak, durabilite özelliklerini geçirgen boşlukların ölçümü, su emme, asit saldırısı ve klorür geçirgenliği ile belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, kendiliğinden yerleşen betonların yüksek permeabilite boşluklarına sahip olduğunu ve su emme özelliklerinin aynı dayanımlı vibrasyon uygulanmış normal betonlardan daha fazla olduğunu göstermiştir. Fakat asit saldırısı ve klorür geçirgenliği açısından yüksek hacimli uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonların ağırlık kayıplarının ve klorür iyon difüzyonunun önemli ölçüde düşük olduğu tespit etmişlerdir.

Menekşe, (2008), çalışmasında betonarme çeliğinin, klorürlü ortamlardaki korozyon davranışlarına asetat ve yapı kimyasalının etkisi araştırmıştır. Çalışmalarında elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon ölçüm yöntemlerini kullanmıştır. Sabit sıcaklıkta (298°K), çözeltilerin pH'sını 8'e ayarlamıştır. Klorürlü ortamlardaki betonarme çeliğinin anodik çözünme hızını, asetat iyonu ve yapı kimyasalı inhibe ettiğini, inhibisyon etkisi, asetat iyonu ve yapı kimyasalının korozyon ürünleri ile oluşturduğu kompleksin yüzeyde fiziksel olarak adsorplanması ile gerçekleştiğini belirtmiştir. Ayrıca inhibisyon etkisinin klorür iyonlarını azaltmakta olduğunu bildirmiştir.

Vedalakshmi vd., (2008), çalışmalarında Portland Pozzolan Çimentosu, Portland Cürüflu Çimento ile yapılan donatılı betonun korozyon direncini 847 gün boyunca macro-cell korozyon altındaki davranışını sıradan Portland Çimentosu kullanımıyla karşılaştırılarak incelemişlerdir. Değerlendirme için 20, 30 ve 40 MPa'lık karakteristik basınç dayanımına sahip olan betonlar belirlenmiş, potansiyel ile macro-cell korozyon akımlarını belirli aralıklarla ölçülmüşler ve korozyon değerlerini ağırlık kaybı metoduyla saptamışlardır. Uzun süre yaptıkları deneyler dayanımı 20 MPa olan Portland Pozzolan Çimentolu ve Portland Cürüflu Çimentolu betonlardaki donatılardaki korozyon değerleri sıradan Portland Çimentolu betondan 9 ve 10 kat daha düşük olduğunu, 30 MPa'lık beton durumunda Portland Pozzolan Çimentolu ve Portland Cürüflu Çimentodaki donatının korozyon değerleri sırasıyla 17 ve 6 kat daha düşük olduğunu, 40 MPa'lık betondaki korozyon değerleri sıradan Portland Çimentolu betondaki donatıdan 1.6 ve 2.5 kat daha düşük olduğunu 3 betonda da tespit etmişlerdir. 20 MPa'lık Portland Pozzolan Çimentosu ve Portland Cürüflu Çimentolu donatı seviyesindeki alkaliliğindeki azalma sıradan Portland Çimentolu betona göre sırasıyla 6 ve 10 kat daha düşük olduğunu, 30 ve 40 MPa'lık durumdaki betonlarda ise 2 ve 1.6 kat daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca çimento karışımı betonlardaki klorür difüzyon katsayısı sıradan Portland Çimentolu betona göre 1.6 – 1.8 kat daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Yücegök, (2008), çalışmasında buğday sapı, mısır sapı ve çınar yaprağı küllerini betonda ince agrega olarak kullanmış ve bu malzemelerin betonun durabilitesine etkisini araştırmıştır. Öncelikle 300 kg/m³ dozlu 3 seri olmak üzere on farklı karışım hazırlayarak beton numunelere organik katkı olarak %2, %4 ve %6 oranlarında sırasıyla buğday sapı, mısır sapı ve çınar yaprağı küllerini ince agregayla yer değiştirmek üzere katmıştır. Üretmiş olduğu beton numunelerin işlenebilirliklerini, 7,28 ve 180 günlük basınç dayanımlarını, 12 aylık sülfat dirençlerini, donatı korozyon oranlarını belirlemiş ve SEM de taramalar yapmıştır. Deneyler sonucunda mısır sapı, buğday sapı ve çınar yaprağı külü katkılı betonların kontrol betonlarına göre, işlenebilirliğinin daha iyi değerlere sahip olduğunu, %2 ve %4 organik katkılı betonların korozyon oranının yine kontrol betona göre daha düşük ve sülfat direncinin yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bu sebeplerden dolayı bu organik katkıların yüksek durabiliteli beton üretiminde kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Akın, (2009), çalışmasında mikro silika ve uçucu kül muadili olarak 5 ve 20 μm 'lik tane boyutlarına sahip kalsit kullanılarak beton numuneler üretmiştir. Numunelerin mekanik özellikleri ile durabilite davranışlarını karakterize etmiştir. Kalsit ilavesinin, beton numunelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemediğini gözlemlemiştir. Durabilite deney sonuçlarına göre, kalsit ilavesinin özellikle klor difüzyon geçirimsizlik katsayısını yaklaşık on beş katı kadar arttırdığını gözlemlemiştir. Ucuz ve temini kolay, yerli üretim olan kalsitin, betona ilavesinin mekanik özellikleri değiştirmedikçe, ancak durabilite davranışlarını olumsuz etkilediğini gözlemlemiştir. Dolayısıyla, dolgu malzemesi olarak kalsit içeren betonların, barajlar gibi yoğun kütle beton uygulamalarında kullanılmasının uygun olduğunu, ancak donatılı betonlarda uygulanması ise klor geçirimsizliği yüksek olduğu için uygun olmadığını belirtmiştir.

Badogiannis ve Tsivilis, (2009), çalışmalarında metakaolinin betonun durabilitesine etkisini, araştırmışlardır. Düşük kaolinit içeren bir Yunan kaolinitini ısı koşulları altında işlemle geçirerek ürettikleri kaolinitin ince öğütmüşler ve bununla beraber yüksek saflıkta ticari bir metakaolin kullanmışlardır. Yüksek performanslı beton üretmek için sekiz karışımı ya çimentonun ya da kum ağırlığının %10, veya %20 oranında metakaolinitin ikame ederek hazırlamışlardır. Metakaolinli betonun durabilitesini klorür penetrasyon direnci, hava geçirgenliği, kılcallık, porozite (gözeneklilik) ve gözenek boyutu dağılımı deneylerinin sonuçlarıyla değerlendirmişlerdir. Metakaolinli betonların önemli ölçüde düşük klorür geçirgenliği, gaz geçirgenliği ve kılcallık sergilediğini; ayrıca metakaolin ilavesinin betonun gözenek sistemini iyileştirdiğini, ortalama gözenek boyutunu azalttığını ve gözenek dağılımını homojen hale getirip düzelttiğini tespit etmişlerdir. Zayıf Yunan kaolinitinden türetilerek üretilen metakaolinitin, betonun durabilitesine etkisi açısından ticari kaolinit benzer bir davranış kazandığını bildirmişlerdir.

Binici vd., (2009), çalışmalarında yüzeyleri pomza katkılı boyalarla kaplanan betonların deniz suyuna karşı durabilitesini araştırmışlardır. 15x15x15 cm boyutlarında ürettikleri küp numuneleri 4 farklı pomza katkılı boya ile kaplamışlar ve deniz suyunda iki yıl bekletmişlerdir. Bu sürenin sonunda hem betondaki dayanım, aşınma kaybı ve korozyon oranlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak da kaplama sayısının artmasıyla pomza katkılı boyalarla kaplanan betonların basınç dayanımı ve

donatı korozyon oranlarında iyileşmeleri gözlemlemişlerdir. Osmaniye bazaltik pomzası ile üretilen boyaların diğer bölgelerin pomzalarına göre daha iyi korozyona direnci gösterdiğini ve betonlarda en düşük kütle kaybı verdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca bu çalışmanın genel sonucu olarak deniz suyu, sülfat ve tuzlara karşı betonarme donatıların korozyon direncinin pomza katkılı boyalar ile iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir.

Elyiğit, (2009), çalışmasında, korozyonun çeşitlerini, korozyonu etkileyen nedenleri ve korozyonun beton içerisindeki bor kaplamalı betonarme çeliğine etkilerini, korozyon tespit etme yöntemlerini araştırmıştır. Çeliğin beton içindeki korozyon hızını ölçmek üzere NaCl çözelti ortamında beton içindeki bor kaplamalı betonarme çeliğinin korozyon davranışlarını araştırmıştır. Beton içerisindeki bor kaplamalı betonarme çeliği ile normal betonarme çeliğinin NaCl ortamlardaki korozyon davranışlarını karşılaştırmıştır. 0.3 mol NaCl çözeltisi içinde bekletilen betonarme örneklerinin korozyon özelliklerini 120 gün boyunca belirli periyotlarda takip etmiştir. Sonuç olarak borun etkin bir yüzey sertleştirme ve çeliğin Fe₂B ve FeB yapısında oluşan borür tabakası; 2000 HV civarındaki sertlik ve çok yüksek aşınma direncine sahip olması, çelik yüzeyindeki gözenekleri kapatması sebebiyle su ve çeşitli kimyasalların yapıya girişini ve çeliğe difüzyonunu engelleyerek korozyonu yavaşlatıcı bir etki gösterdiğini tespit etmiştir.

Erten, (2009), çalışmasında 5 tip çimento ve 3 farklı su/çimento oranı ile deney örneklerini üreterek ıslanma-kuruma çevrimli deniz suyunda 50000-ppm sodyum sülfat çözeltisinde bekletmiş sonrasında elde ettiği mekanik ve kalıcılık özelliklerini araştırmıştır. Prizmatik örnekler üzerinde eğilme dayanımı, basınç dayanımı, klorür miktarı tayini, kılcal yolla su emme ve toplam su emme deneylerini yapmıştır. ASTM C 1012 standardına göre, 50000 ppm sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen harç çubuklarının komparatörle boy değişimlerini ölçmüş ve silindirik örneklerle klor geçirimsizlik deneyi yapmıştır. Yüksek sülfat konsantrasyonunda beklettiği örneklerin mekanik ve kalıcılık özelliklerinin standart deney örneklerine göre, genellikle azaldığı sonucunu gözlemlemiştir. Mineral katkı içeren çimentolarla hazırladığı örneklerin Portland çimentosuyla hazırladığı örneklerden her koşulda daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmıştır.

Haberal, (2010), çalışmasında klor iyon geçirgenliğine ve korozyona karşı daha etkili beton üretmek amacıyla CEM I 42.5 R çimento ve uçucu külü (çimento yerine) %15, %30, ve %45 oranlarında kullanılmak suretiyle % 0.8 kg katkı olmak üzere beton karışımları hazırlamış ve numunelere 28 ve 56 günlük olmak üzere dış ortam koşullarında ve suda bekletilmek üzere iki farklı kür uygulayarak toplamda 16 farklı seri üretim gerçekleştirmiş ve bu betonların mekanik, fiziksel özelliklerini belirlemiştir. Hızlı klor iyon geçirimliliği deneyi sonucunda, uçucu kül kullanımının basınç dayanımı düşürdüğünü, klor iyon geçirimliliğini azalttığını, hızlandırılmış korozyon deneyi sonrasında beton içerisindeki donatının korozyona uğradığını, beton içerisinde genleşmelerin oluştuğunu ve numunelerin çatladığını yani hasara uğradığını, hasar oluşum sürelerinin kullanılan uçucu külün miktarına, kür süresine ve tipine göre farklılıklar gösterdiğini, kullanılan uçucu külün artmasıyla da hasar oluşum sürelerinin arttığını tespit etmiştir. Çimento yerine belli oranlarda uçucu kül kullanımının hem klor iyon geçirimliliğini azaltmada hem de korozyona karşı dayanıklılık açısından oldukça yararlı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Keleştemur ve Demirel (2010), çalışmalarında çimento ile %5, %10, %15 ve %20 ağırlıkça yer değiştirerek kullandıkları ince öğütülmüş pomzalı beton örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleriyle birlikte betonda yerleştirilmiş olan donatının korozyon davranışını araştırmışlardır. Ayrıca silis dumanını, ince öğütülmüş pomza ile betonda bulunan donatının korozyon etkisini belirlemek amacıyla katkı olarak eklemişler ve kontrol numunesi haricindeki tüm serilere çimento ağırlığının %10'unun yerini alacak şekilde silis dumanı ikame etmişlerdir. Korozyon deneylerini iki aşamada gerçekleştirerek, birinci aşamada betonda gömülü donatının bulunduğu örnekleri 160 gün boyunca her gün ASTM C 876 standardını baz alarak korozyon ölçümüne tabi tutmuşlardır. İkinci aşamada ise betonda yer alan donatılı örneklerin anodik ve katodik polarizasyon değerlerini elde etmişlerdir ve daha sonra korozyon akımlarını katodik potansiyel eğrileri yardımı ile belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, ince öğütülmüş pomzalı betonarme örneklerin mekanik dayanımlarının azaldığını ve korozyon hızlarında bir artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Silis dumanı ile takviye edilmiş ince öğütülmüş pomzalı betonlarda ise, betonarme donatısının korozyon hızında belirgin bir azalma gözlemlemişlerdir.

Tevrizci, (2010), çalışmasında kaolin kilinin 600-800°C arası sıcaklıklarda kalsine edilmesiyle üretilen bir mineral katkı olan metakaolin ile üretilen harç örneklerinin, gecikmiş etrenjit oluşumu, alkali silika reaksiyonu, klor geçirimsizliği, kapiler su emme özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Metakaolin 8 farklı oranda karışımlara katılarak 2 grup oluşturmuştur. I. Grup karışımlarda su/bağlayıcı oranını değiştirerek yayılma değerini sabit tutmuştur. II. grup karışımlarda sabit yayılma çapı için süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanmış ve su/bağlayıcı oranının 0.5 olarak sabit kalmasını sağlamıştır. Çalışmanın sonucunda metakaolin katkısının, harçların ASR'sini, klor geçirimsizliğini ve kapilarite katsayısını önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir.

Binici ve Aksoğan, (2011), çalışmalarında öğütülmüş yüksek fırın cürufu, krom cürufu ve mısır kökü külünü bir dizi işlemde geçirerek üretmiş ve aderansı arttırmak amacıyla farklı oranlarda zift ile karıştırmışlardır. Daha sonra demir plakaları bu karışım ile kaplamışlardır. Kaplanmış ve kaplanmamış plakaları bir NaCl (35 g/L NaCl) çözeltisi içinde paslanmaya bırakmışlardır. Örneklerin potansiyel farklarını, ölçtükten sonra örnekleri bir ay boyunca elektrotlar vasıtasıyla çözeltide bekletmişlerdir. Kaplanmamış demir plakalar için potansiyel farkı (öğütülmüş yüksek fırın cürufu, krom cürufu, mısır kökü külünüsüz demir plaklar) yaklaşık 0.501 V olarak ölçmüşlerdir. Zift ile kaplanmış olanlar da ise bu değeri 0.363 V olarak tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, kaplı demirlerin NaCl çözeltisiyle muameleden sonra elektrotların potansiyel farkını 0 V ölçmüşler, korozyonun bulunmadığını ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu, krom cürufu, mısır kökü külünün kaplama malzemesi olarak kullanıma uygun malzemeler olduğunu belirlemişlerdir.

Özger, (2011), çalışmasında kendiliğinden yerleşen betonun maliyetini arttıran çimentoyu kademeli olarak azaltmış ve yerine mineral katkı ekleyerek betonun durabilitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla da betonun agrega, kimyasal katkı tipi ile kimyasal katkı oranı ve su/çimento oranlarını sabit tutarak çimento miktarının azalış etkilerini gözlemlemek amacıyla 500 kg/m³ dozajlı referans betonlar üretmiş ve bu çimentoların dozajını kütlece %20, %30 ve %40 oranlarında azaltıp yerine kütlece aynı oranlarda uçucu kül eklemiş, bir farklı karışım serisinde çimento dozajından kütlece %20, %30 ve %40 azaltmış yerine yoğunluk farkından dolayı %24, %36, %48 oranlarında kireçtaşı filler ve bir başka

karışım serisin de de yine yoğunluk farkından dolayı %24, %36, %48 oranlarında çimento kütlelerinden azaltarak kum taşı filler ekleyerek refrans ile birlikte 9 farklı tip beton karışımı hazırlamıştır. Üretilen betonların basınç dayanımlarını, elastisite modüllerini, geçirimsizlik (kılcallık, ağırlıkça su emme, basınçlı su geçirimsizlik) değerlerini tespit etmiştir. Ayrıca ürettiği beton numuneleri %15'lik magnezyum sülfat çözeltisinde 8 ay boyunca bekletmiş ve her ay periyodik olarak ultrases hızını, ağırlık değişim miktarlarını, sülfat çözeltisi uygulanmadan ve uygulandıktan sonra 3 eksenli eğilme, enerji yutma kapasitesi ile enerji dayanım değerlerini belirlemiştir. Betona çimentoyla yer değiştirilerek ilave edilen mineral katkıların kendiliğinden yerleşen betonun geleneksel betona göre, elastisite modülünde çok ciddi değişiklik meydana getirmediğini, geçirimsizlik açısından genel betonlara göre iyi sonuçlar verdiğini, sülfat etkisine maruz bırakılan betonlarda ultrases değerlerini belirgin bir şekilde etkilemediği, kütle kaybı değerlerinde ultrases deneyine göre daha belirgin sonuçlar gösterdiğini ve ağırlıklarında az miktarda olumsuzluğa neden olduğunu, sülfat deneyinden önce enerji emme kapasitelerinde pek bir belirgin olmadığını fakat sülfat deneyinden sonra enerji emme kapasitelerinde referans beton hariç düşüş olduğunu, eğilme dayanımlarında da mineral katkının artmasıyla lineer ve düzenli olmamak şartıyla düşmelerin meydana geldiğini, sülfat deneyinden önce ve sonra düşmeler olduğunu tespit etmiştir.

Şengül, (2011), çalışmasında klor iyonu bulunan ortamlarda kalacak yapıların dayanıklılığa (durabiliteye) göre tasarımını temel amaç edinmiştir. Çalışmasında, klor iyonlarının beton içine girişini, taşınımını Fick'in 2. yasası ile modellendirmiş, yapı özelliklerindeki ve çevresel etkilerdeki dağılımlarını Monte Carlo analizi ile dikkate alan basit bir yazılım hazırlamıştır. Ayrıca, korozyonu önemli oranda etkileyen yapısal parametrelerin durabiliteye etkilerini irdelemiştir.

Hassan vd., (2012), çalışmalarında metakaolinin çimento/beton uygulamalarında silis dumanı kadar çimento karışımlarının performanslarını puzolanik reaktivite açısından arttıran değerli bir katkı olduğunu ve silis dumanlı betonun üstün mekanik ve durabilite özellikleri ile karakterizeyken, metakaolin içeren betonların düşük maliyet ve iyi işlenebilirlik ile benzer özellik sağladığını bildirmişlerdir. Çalışmalarının hedefinin çimento ile metakaolinin yer değiştirmesinin kendi kendini takviye eden betonların durabilitesine etkisinin araştırılması olduğunu ve metakaolin ile aynı

seviyede yer deşistirmek üzere silis dumanının göstereceği etkiyi belirlemek amacıyla da silis dumanının karışımlara dahil edildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca kendi kendini takviye eden betonların durabilite performansının kuruma büzülmesi, donma ve çözülme, tuz ölçeği ve hızlı klorür geçirgenliği deney sonuçlarına göre değerlendirildiğini ve bu deneylerin sonuçlarının, yüksek durabiliteli kendi kendini takviye eden betonların optimum %20 metakaolin içeriğiyle üretilebileceğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlardan kendi kendini takviye eden betonların durabilitesinin özellikle metakaolin içerenlerinkinin, silis dumanı içerenlerinkinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Karaboğa, (2012), çalışmasında, betona, toplam bağlayıcı miktarının %0, %1.5, %3 ve %5 oranlarında NaCl katılması ile klorür kirlenmesini sağlamıştır. Metakaolin katkısının korozyon direnci üzerindeki etkisini irdelemek amacıyla, bu malzeme toplam bağlayıcı miktarının %5 ve %15 oranında çimento ile yer değiştirerek kullanmıştır. Beton içerisindeki donatı çubuklarının korozyon direncini; hızlı korozyon deneyi, lineer polarizasyon yöntemiyle korozyon akımının ölçülmesi ve buna bağlı korozyon hızının belirlenmesiyle değerlendirmiştir. Ayrıca, betonların elektriksel direncini de ölçmüş ve deney sonuçlarının metakaolinin ciddi klorür kirlenme seviyelerinde bile aktif korozyonun önlemesi bakımından oldukça etkili olduğunu belirtmiştir.

Koluçolak, (2012), çalışmasında yüksek fırın cürufunu ve granüle bazaltik pomzayı tek başlarına ve her ikisinden eşit miktarlarda olacak şekilde, % 5, 10 ve 15 oranlarında kum yerine ağırlıkça kullanmış ve bu karışımlardan elde ettiği beton boruların dayanım ve dayanıklılıklarını araştırmıştır. Beton boruların tepe yükü basınç dayanımlarını TS 821 EN 1916'ya göre test etmiş ve beton boruların dayanım özelliklerinin yanı sıra sülfat dirençleri ile permeabilite özelliklerini de araştırmıştır. Yaptığı araştırmalar sonunda, katkılı beton boruların tepe yükü dayanım değerlerinin tanık numunelere göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Özellikle yüksek fırın cürufu katkılı beton borularda, katkı oranının artmasıyla birlikte tepe yükü dayanımında da bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca yine araştırma sonuçlarına göre 28 gün sonunda, % 15 oranında yüksek fırın cürufunun kullanıldığı numunelerde, % 5 dayanım artışı ve sülfat direncine en yüksek dayanımı sağlamış ve sülfat direncinin

en düşük olduğu numuneler ise pomzanın tek başına kullanıldığı numunelerin olduğunu tespit etmiştir.

Lowinska-Kluge vd., (2012), yaptıkları çalışmalarında betonarme yapılar tarafından karşılanması gereken temel koşulun yeterince uzun bir süre durabilitesini korumak olduğunu, dikkatli tasarlanmış ve üretilmiş betonun (veya donatılı betonun; fonksiyonuna uygun ve fonksiyonunu bir şekilde yerine getiren, tüm jeolojik koşullarının ve şantiye ikliminin göz önünde bulundurulması gibi) uzun yıllar dayanım gösterebilecek şekilde karakterize edilmiş olması gerektiğini belirtmiştir. Fakat bu durumun güncel beton yapıların özelliklerini proje hesaplamalarında ortaya çıkanlar durumlardan farklı olduğunu ve sonuç olarak betonun üretiminin ve yapının oturmasında ortaya çıkan hatalardan (çimentonun kalitesinin yetersiz olması, çimentonun kötü kalitesi, istenenden farklı çimento kullanımı, çimento yerine ve çimentoyla birlikte kullanılan katkı maddeleri, uygunsuz agrega, agregaların uygun olmayan boyutlarda kullanımı, doğru olmayan teknolojik prosedürler vb.) kaynaklandığını bildirmiştir. Bununda binanın fonksiyonel olup olmaması ve amacına uygun kullanılamaması gibi sonuçlara neden olduğunu, insan sağlığını tehdit ettiğini ve vakit kaybına neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmanın da betonun daha yaygın problemlerini ve beton karışım parçalarının yanlış seçimi ile birlikte yanlış teknolojilerin gerçekleştirilmesinden kaynaklanan betonarmenin zararlarını irdelemişlerdir. Bu zararları yapım halindeki bir spor salonunun temelleri üzerinde incelemişlerdir. Bu çalışmada inşa edilen yapının gelecekteki durabilitesini engelleyen istenmeyen reaksiyonların oluşumunu tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Bunu da mikroskopik, kimyasal, derivatografik ve X-ray deney sonuçlarını baz alarak yapmışlar ve çalışmada tarif edilen olayın, şüphe nedeniyle ki bu farklı beton reçetelerinin ve tasarımda farklı maddelerin kullanıldığının ve yanlış teknolojik prosedürlerin uygulanarak (durabilite ve dayanıklılık sonuçlarındaki azalış sebebiyle), yapıların sağlığı ve insan yaşamı için tehdit ve risk oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

Aköz ve Çakır, (2013), yaptıkları çalışmalarında betonun bazik özelliğe sahip olup betonu korozyondan çok iyi bir şekilde koruduğunu, fakat çevresel etkiler sebebiyle meydana gelebilen korozyonun betonun ara yüzünde aderans kaybına sebebiyet verdiğini, beton ile çeliğin bu etkiyle çalışamaz hale geldiğini ve böylelikle yapının

güvenlik zaafına uğradığını bildirmiştir. Ayrıca hasarların en aza indirilmesi için betonun basınç dayanımının yüksek, geçirimsizliğinin düşük, örtü betonu kalınlığının yeterli ve sürekli olması gerektiğini, tasarımın ve onarımın zamanında ve eksiksiz yapılması gerektiğini bildirmiştir.

Baradan ve Aydın, (2013), çalışmasında betonun basınç dayanımının artmasıyla betonun birçok özelliğinin etkilendiği gibi dayanıklılığının da olumlu yönde etkilendiğini, ancak yükler açısından istenilen dayanımı sağlayan kaliteli bir betonarme elemanın bile tasarım aşamasında dikkate alınmamış etkiler nedeniyle kısa sürede bozularak kullanılmaz hale geldiğini ya da büyük bakım ve onarım masraflarına yol açabildiğini vurgulamıştır. Betonun bozulmasına yol açan etmenlerin fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik kökenli olabileceğini ve bu faktörlerin betonarme elemanlar üzerinde bazen bileşik etki yaparak birbirlerini de olumsuz yönde etkileyebileceğini belirtmiştir. Ayrıca betonarme yapıların servis ömürlerinin azalmasına yol açan iç ve dış kökenli bu etmenleri çalışması kapsamında özet olarak sunmuştur.

Dinçer, (2013), çalışmasında çimento yerine silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül, ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında tekli, %10 oranında ikili ve üçlü karışım olarak, agrega yerine de ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında ve %5 ve %10 oranlarında yüksek fırın cürufu kullanarak betonun durabilite özelliklerine etkisini araştırmıştır. Üretmiş olduğu beton numunelerin 7, 28 ve 180 günlük basınç dayanımlarını, 28 günlük beton numunelerin permeabilite ve aşınma ile 60 günlük sülfat dayanımlarını belirlemiştir. Yapılan deneyler sonucunda yüksek fırın cürufu agrega ikameli numunelerin basınç ve sülfat dayanımının, pomza agrega ikameli numunelere ve referans numunelere göre daha yüksek, permeabilite ve aşınma değerlerinin ise daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Çimento ikamesi olarak %10 silis dumanı ve agrega olarak %10 yüksek fırın cürufu numunelerin 28 günlük ve 180 günlük basınç dayanımlarını referans numunesine göre sırası ile %17 ve %20 oranlarında daha yüksek bulmuştur. %5 silis dumanı ve uçucu kül ile agrega olarak %10 yüksek fırın cürufu katkılı numunelerin sülfat ortamında bekletildikten sonraki basınç dayanımlarını ise en yüksek ve kütle kaybının en az olduğunu, ayrıca bu numunelerin permeabilite ve aşınma değerlerinin ise en az olduğunu tespit etmiştir.

Kalla vd., (2013), çalışmalarında bazı materyallerin uçucu kül, silis dumanı, metakaolin, wollastonit gibi, ya endüstriyel atık ya da doğal içerikli mineraller içerdiğini, bu minerallerin kalıcı beton malzemeler yapmak için incelendiğini bildirmişlerdir. Uçucu kül, silis dumanı, mermer çamuru ile wollastonitin kombinasyonlarının beton çimentosundaki karışımların özelliğini geliştirmek için kullanmışlardır. Kullanılan kombinasyonlardaki uçucu külün büyük bir kısmının her yıl Hindistan'da üretildiğini, bu miktarın 2017 yılında 225 milyon ton olması beklendiğini ve bu maddenin yararlı uygulamalarda kullanılarak azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında yaptıkları incelemede uçucu kül ile wollastonit kombinasyonlarının betonun mukavemet, permeabilite ve durabilite gibi özelliklerine etkisini su/bağlayıcı ve çimentoyla yer değiştirme oranları üzerinden araştırmayı amaçlamışlardır. Beton karışımlarının mikro yapısını ve civa püskürtmeli porozotelerini belirlemiş ve çimento yerine eklenen malzemelerdeki uçucu kül ve wallastonit artışının (%45-%55) durabilite ve mekanik deneylerin sonuçlarına göre betonda yoğunlaşmayı sağladığını tespit etmişlerdir.

Sabet vd., (2013), çalışmalarında mineral katkıların yüksek performanslı beton ve kendi kendini takviye eden betonların her ikisinde çimentoyla yer değiştirilerek yaygın olarak kullanıldığını; kendi kendini takviye eden betonların reolojik özelliklerine ve yüksek performanslı betonların mekanik davranışlarına etkisinin birçok araştırmacı tarafından incelendiğini; fakat kendi kendini takviye eden yüksek performanslı betonlarda bu katkıların dozajlarının optimize edilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Dahası doğal zeolit gibi bazı mineral katkıların kendi kendini takviye eden yüksek performanslı betonların özelliklerine olan etkilerinin henüz iyi tespit edilemediğini belirtmişlerdir. Bundan yola çıkarak da çalışmalarında doğal zeolit, silis dumanının ve uçucu külün taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine etkilerini ele almışlardır. Çökme akışını, süper plastiklik isteğini, basınç dayanımını, elektrik direncini, su emme oranını ve klorür geçirgenliğini bütün karışımlar için ölçmüşlerdir. Elde ettikleri deney sonuçları mineral katkı maddelerinin eklenmesiyle genel olarak karışımların mekanik ve durabilite davranışlarını iyileştirdiğini göstermiştir. Ancak doğal zeolit çok maliyetliken, silis dumanının çok az doğal zeolit veya uçucu küle göre kendi kendini takviye eden yüksek performanslı betonların durabilite ve mekanik özelliklerini iyileştirmede daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Zhang ve Li, (2013), çalışmalarında parametrik deneysel çalışmalarla uçucu kül ve silis dumanı katkılı kompozit betonun durabilitesi ve polipropilen lifin işlenebilirliği üzerindeki etkisini araştırmayı hedeflemişlerdir. Bunun için 4 farklı oran (%0,06, %0,08, %0,1 ve %0,12) kullanmışlardır. Deney sonuçlarından silis dumanı ve uçucu kül içeren beton kompozitlerinin işlenebilirliği üzerinde polipropilen lifin çok az kötü bir etki oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Lif oranının artışıyla çökme ve çökme akış değerlerinde de bir azalış gözlemişlerdir. Ayrıca silis dumanı ve uçucu kül katkılı beton kompozitin durabilitesini önemli derecede geliştirdiği sonucunu elde etmişlerdir. Su geçirgenliğinin, kuru büzülme deformasyonunun, silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonun karbonatlaşma derinliğinin lif oranının yüzde 0.12'nin altında olduğu durumlarda azaldığını; bunun yanı sıra silis dumanı ve uçucu kül katkılı lifli betonların donma çözülme dayanımlarını lifsiz betonlarla karşılaştırarak çok az miktar bir artış gözlemlemişlerdir. Dahası lif oranının yüzde 0,08'in altında olduğunda ise oranın artmasıyla donma çözünme direncinde de artış eğilimi gözlemiş ve bununla birlikte yüzde 0.08'in üzerine çıkıldığında donma çözülme direnci çok az miktarda azalmaya başladığını tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada, çimento, agrega, karışım suyu, krom atıkları, olivin atıkları, betonarme çeliği, referans elektrot, karşıt elektrot, NaCl çözeltisi materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan materyallerin özellikleri ilgili standartlara uygunluğu dikkate alınarak bu bölümde incelenmiştir.

3.1.1. Çimento

Beton karışımlarında, Isparta Göltaş Çimento Fabrikası'nda üretilen CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler			
Oksit (%)	CEM I 42,5 R	TS EN 197-1	
SiO ₂	19.87	(SiO ₂ + CaO) ≥ %50	
CaO	63.65		
Al ₂ O ₃	4.11	≅ %6	
Fe ₂ O ₃	3.44	≅ %3	
MgO	1.61	≤ %5	
SO ₃	2.53	≤ %4	
Na ₂ O	0.12	(Na ₂ O+ K ₂ O) ≤ %0.6	
K ₂ O	0.48		
B ₂ O ₃	-	-	
C ₃ S	65.52	C ₃ S+ C ₂ S≥ %66.7	
C ₂ S	6.44		
C ₃ A	5.04	-	
C ₄ AF	10.47	-	
Cl ⁻	0.004	≤ %0.10	
Fiziksel Özellikler			
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.16	-	
Blaine (incelik) modülü (cm ² /gr)	3440	2800-4000	
Priz Başlama Süresi (dakika)	155	≥ 60	
Hacimsel Genleşme (mm)	0.8	≤ 10	
Mekanik Özellikler			
2 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	23.6	≥ 20	
7 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	42.1	-	
28 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	50.2	≥ 42.5	≤ 62.5

3.1.2. Agregalar

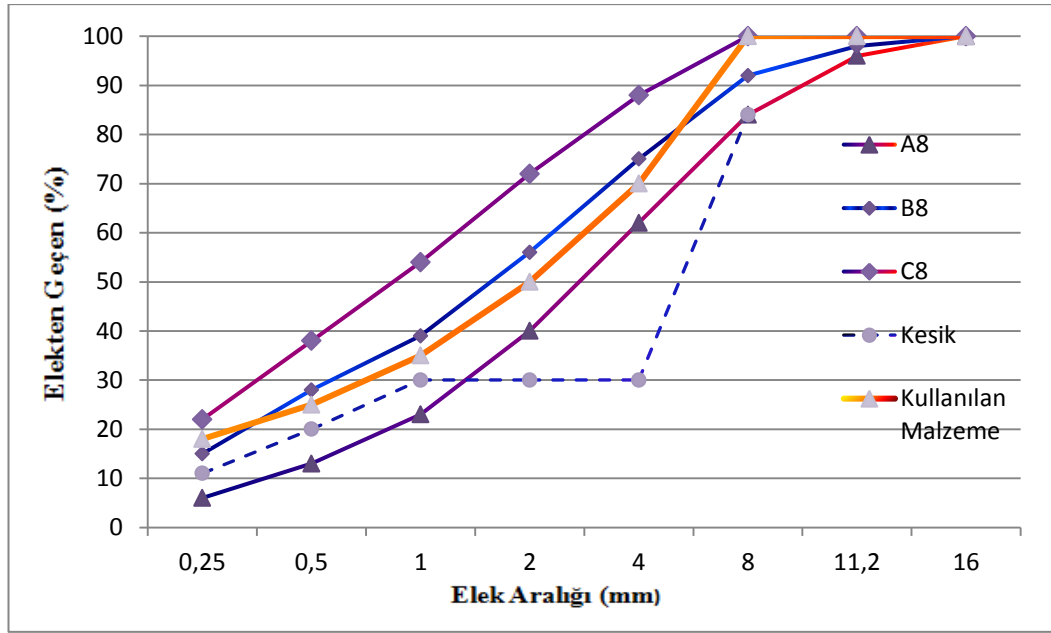
Numunelerin üretiminde kullanılan 0-2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm aralıklarındaki kırma taş agregaları Isparta Atabey ilçesinden temin edilmiştir. Agregalar, TS 3530 EN 933-1' e göre tane büyüklüğü dağılımı (TSE,1999) , TS 3529' a göre gevşek- sıkışık birim ağırlık tayini (TSE, 1980), TS 3526' ya göre özgül ağırlık ve su emme oranı (TSE, 1980), TS EN 1744-1' e göre organik madde oranı tayini (TSE, 2011) deneyleri yapılarak kullanılmıştır. Karışımda kullanılan agreganın fiziksel özellikleri Çizelge 3.2' de, karışımda kullanılan agreganın granülometrik dağılımı Çizelge 3.3.'de, granülometri eğrisi Şekil 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Karışımda kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Deneyin Adı		0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm	Standart
Birim Ağırlık (kg/dm ³)	Gevşek	1642.83	1533.25	1520.08	TS 3529
	Sıkışık	1841.67	1629.33	1635.25	TS 3529
Özgül Ağırlık (kg/m ³)		2530	2610	2660	TS 3526
Su Emme Oranı (%)		3.43	2.01	0.74	TS 3526
Organik Madde Oranı		Yok	Yok	Yok	TS EN 1744-1

Çizelge 3.3. Karışımda kullanılan agreganın granülometrik dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)		
	0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm
8	100	100	100
4	100	100	0
2	100	0	0
1	63	0	0
0.5	35	0	0
0.25	25	0	0
PAN	0	0	0



Şekil 3.1. Karışımında kullanılan agreganın granülometri eğrisi

3.1.3. Karışım suyu

Beton karışım suyu olarak Isparta, Süleyman Demirel Üniversitesi şebeke suyu kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan Isparta, SDÜ şebeke suyunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Isparta SDÜ şebeke suyunun kimyasal özellikleri (Elyiğit, 2011)

Kimyasal Özellikler	Oranlar
Na ⁺ (mg/l)	9.95
K ⁺ (mg/l)	3.51
Mg ⁺² (mg/l)	35
Ca ⁺² (mg/l)	82.04
Fe ⁺² (mg/l)	0.12
Pb ⁺² (mg/l)	0.14
Zn ⁺² (mg/l)	< 0.2
Cu ⁺² (mg/l)	0.22
Al ⁺³	< 0.05
Cl ⁻ (mg/l)	6
SO ₄ ⁻² (mg/l)	20
NO ₃ ⁻ (mg/l)	12.3
NH ₄ (mg/l)	< 0.06
NO ₂ ⁻ (mg/l)	< 0.07
CO ₃ ⁻² (mg/l)	0
% Na	6.93
SAR	0.23
Toplam Sertlik (°f)	40.9
Karbonat Sertliği (°f)	43.2

3.1.4. Krom atıkları

Beton karışımlarında kullanılan çimento ile hacimce yer değiştirilerek kullanılacak olan krom atıkları Bursa- Orhaneli yöresi Şetat Madencilik A.Ş.'nin atık sahasından temin edilmiştir. Krom atıklarının kimyasal özellikleri Çizelge 3.5' te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Krom atıklarının kimyasal özellikleri (Mirdalı, 2007)

Oksit	Kromit Pasası (%)
SiO ₂	30.85
Al ₂ O ₃	1.05
TiO ₂	0.02
Fe ₂ O ₃	7.11
CaO	0.51
MgO	40.5
Na ₂ O	0.01
K ₂ O	0.01
Cr ₂ O ₃	4.3
MnO	0.09
NiO	0.3
A.Z	15.18

3.1.5. Olivin atıkları

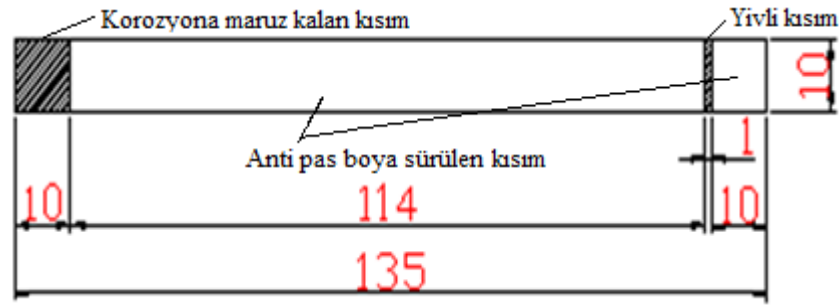
Beton karışımlarında kullanılan çimento ile hacimce yer değiştirilerek kullanılacak olan olivin atıkları Bursa- Orhaneli yöresi Şetat Madencilik A.Ş.'nin atık sahasından temin edilmiştir. Olivin atıklarının kimyasal özellikleri Çizelge 3.6' da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bursa- Orhaneli olivinlerin kimyasal özellikleri (Kanarya, 2010)

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
MgO	43.6-50.3
Fe ₂ O ₃	7 - 9
SiO ₂	36.8-40.2
Al ₂ O ₃	0.2-0.4
Ateş kaybı	0.8-11

3.1.6. Betonarme çeliği

Korozyon ölçümleri için donatılı üretimi gerçekleştirilecek olan Ø5/10 silindir numunelerde kullanılmak üzere Ø10'luk düz (nervüzsüz) betonarme çeliği Isparta Küçük Sanayinden temin edilmiştir. 135 mm boyunda kesilen demir donatılarının yüzeyleri temizlenmiş ve bir kenarından çapı 10 mm, boyu 10 mm' lik 3.92 cm² lik bir silindir alan korozyona uğratılmak üzere boyanmadan bırakılmış, bu alan haricindeki diğer kısımlar üç kat antipas boya ile boyanmıştır. Ayrıca elektronik ölçümlerin yapılması amacıyla donatının diğer ucunda 1mm' lik derinliği ve genişliği olan bir yiv açılmıştır. Açılan yivlere elektriği iletmesi için yumuşak bakır kablo bağlanmıştır. Karışımlarda kullanılan betonarme çeliği Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Karışımlarda kullanılan betonarme çeliğinin kullanım şeması

Betonarme çeliğinin kimyasal özellikleri Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Betonarme çeliğinin kimyasal özellikleri

Oksit	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cu
(%)	0.13	0.21	0.50	0.023	0.026	0.052

3.1.7. Referans elektrot

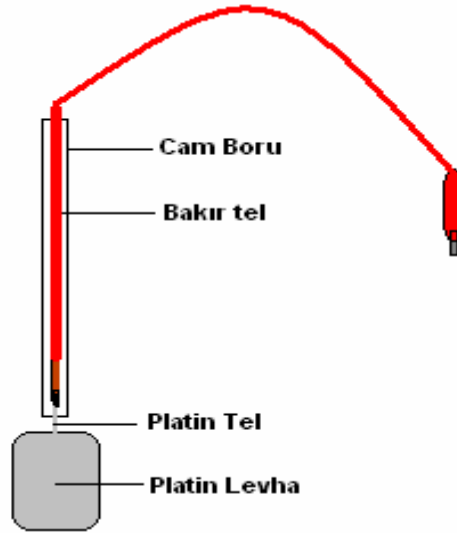
Doygun kalomel elektrot (SCE) korozyon ölçümleri için referans elektrot olarak seçilmiştir. Şekil 3.3' de verilen kalomel elektrot Ø5/10 olarak hazırlanan betonarme çelikli silindir numunelerin korozyon ölçümleri sırasında sistemdeki potansiyel değeri belirlemek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Referans elektrot

3.1.8. Karşıt elektrot

Karşıt elektrot olarak 2 cm²'lik yüzey alana sahip platin elektrot kullanılmıştır. Platin levhaya bir bakır tel lehimlenerek sabitlenmiştir. Şekil 3.4' de verilen bakır tel şeffaf bir cam borunun içine alınarak bakır telin çevreyle teması kesilmiştir.



Şekil 3.4. Karşıt elektrot (Değirmenci, 2006)

3.1.9. Çözelti

Betonarme donatılı numunelerin korozyonunu ölçmek için iletken bir ortam sağlamak amacıyla ve betonarme silindirik numunelere korozif bir ortam hazırlamak için deniz suyu ortamını temsilen % 5'lik NaCl çözeltisi hazırlanmıştır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada krom ve olivin atıklarının betonda kullanımının durabilite özelliklerine etkisini araştırmak amacı ile beton numunelerde yoğunluk, ultrases geçiş hızı, yüzey sertliği (Schmidt çekici), kılcal su emme katsayısı, kütlece su emme yüzdesi, porozite - kompasite yüzdesi ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca yeterli basınç dayanımına sahip %5, %10 ve %20 oranlarında ayrı ayrı krom ve olivin atığı içeren beton karışımları ile üretilen donatılı numuneler üzerinde, donatı korozyon dirençlerinin belirlenmesi amacı ile her hafta Lineer Polarizasyon ölçümleri yapılarak 17 hafta boyunca Korozyon hızı, R_p , E_{cor} , I_{cor} ve OCP değerleri ile belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar bu bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.2.1. Numunelerin hazırlanması ve kodlanması

Bu çalışmada, materyaller temin edilmesiyle amaçlanan deneylerin yapılması için bir hazırlık aşamasına geçilmiştir. Öncelikle TS EN 206-1'e (TSE, 2002) uygun hedef basınç dayanımı C30, çökme sınıfı S2 (50-90 mm) olarak belirlenmiş ve TS 802'e (TSE, 2009) uygun olarak karışımlara girecek malzeme miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan malzeme miktarları Çizelge 3.8'de verilmiştir. Hesaplamalar esnasında çalışmada kullanılacak agrega max. dane çapı 8 mm seçilmiş ve agrega aralığı Fuller Parabolü prensibine göre Denklem 3.1 ile hesap edilerek 0-2 mm % 50, 2-4 mm % 20, 4-8 mm % 30 olarak belirlenmiştir. Burada Fuller Parabolü yardımı ile maksimum kompasiteye sahip beton üretimi hedeflenmiştir.

$$y = \left(\sqrt{\frac{d}{d_{max}}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

y: Çapı d' den küçük olan tanelerin karışımdaki yüzdesi, (%)

d: Tane çapı, (mm)

d_{max}: Malzemedeki en büyük tane çapını (mm) belirtmektedir. (Şimşek, 2012)

Agrega hesaplarının yapıp kullanım oranlarının belirlenmesinin ardından krom ve olivin atıkları 0-200 µ aralığına gelinceye kadar Şekil 3.5' de verilen bilyeli değirmenle öğütülmüştür. Öğütülen krom ve olivin atıkları beton tasarımında hacimce %5, %10, %20, %40 oranlarında çimentoyla yer değiştirilerek kullanılmıştır. Krom ve olivin atıklarının kullanıldığı beton karışımlarının S/Ç oranı 0.40 seçilmiştir. Tüm malzemeler hazırlandıktan sonra tartılmış ve Şekil 3.6' da verilen dikey eksenli beton mikseriyle karışım işlemleri yapılmıştır. Karışımlar 3 adeti 7 günlük, 6 adeti de 28 günlük (3'ü mekanik, 3'ü kılcal su emme, kütlece su emme, porozite, kompasite deneyleri için) kür koşullarına tabi tutulmak üzere 9 adet referans, 9 adet % 5'lik, 9 adet % 10' luk, 9 adet % 20'lik, 9 adet % 40'lık krom ve olivin atıklı (krom atıklar için ayrı, olivin atıkları için ayrı) olmak üzere toplam 81 adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.8. 1m³ beton için karışım oranları (kg)

Malzeme Türü ve Oranları		Referans	Atık türü ve katkı oranları								
			Krom					Olivin			
			0	5	10	20	40	5	10	20	40
8-4 mm İri Agreg (kg/m ³)	30%	503	503	503	503	503	503	503	503	503	
4-2 mm İnce Agreg (kg/m ³)	20%	329	329	329	329	329	329	329	329	329	
2-0 mm İnce agreg (kg/m ³)	50%	797	797	797	797	797	797	797	797	797	
KROM ATIĞI		0	19	38	76	152	0	0	0	0	
OLİVİN ATIĞI		0	0	0	0	0	22.5	45	90	180	
ÇİMENTO		475	449	427	379	284	449	427	379	284	
SU		190	190	190	190	190	190	190	190	190	

Numunelerin kodlanması: R ve 0 simgesiyle C30 dayanımında dökülmüş katkısız beton numuneleri, K5, K10, K20 ve K40 ifadeleri, %5, %10, %20 ve %40 oranlarında çimento ile hacimce yer değiştirilerek betona ikame edilen C30 dayanımında dökülmüş krom atıklı beton numuneleri, O5, O10, O20 ve O40

ifadeleri, %5, %10, %20 ve %40 oranlarında imento ile hacimce yer değiştirilerek betona ikame edilen C30 dayanımında dökölmüş olivin atıklı beton numuneleri ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Bilyeli öğütme cihazı



Şekil 3.6. Beton karışım mikseri

Karışım işlemlerinin yapılmasının ardından numuneler 15 x 15 x 15 cm' lik küp kalıplara Şekil 3.7' de verilen sarsma cihazıyla ihtiyaca göre 15-30 sn (Şimşek, 2012) sarsılarak yerleştirilme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Sarsma tablası

Sarsma cihazı ile kalıplara yerleştirilen numuneler 7 ve 28 gün ve içerisindeki atık katkı miktarına bağlı olarak etiketlenerek Şekil 3.8' de verildiği gibi sertleşmeye bırakılmıştır.



Şekil 3.8. Sertleşmeye bırakılan beton numuneler

Bir gün (24 saat) kalıpta prizini tamamlayan numuneler kalıptan çıkarılmış ve Şekil 3.9’ da verilen kür havuzunda kür ortamında deney gününe kadar kürlenmiştir.



Şekil 3.9. Sertleşmiş beton numunelerin kür havuzuna yerleştirilip kür edilmesi

3.2.2. Çökme hunisi (Slump) deneyi

Beton tasarımında kullanılan krom ve olivin atıklarının taze betonun kıvamına olan etkisinin tespit edilmesi için TS EN 12350-2 standardına uygun olarak Slump deneyi yapılmıştır (Şekil 3.10). Deneyde Şekil 3.11’ de verilen aparatlar kullanılmıştır (TSE, 2010).



Şekil 3.10. Çökme hunisi (Slump) değerlerinin belirlenmesi



Şekil 3.11. Çökme hunisi (Slump) deney aparatları (Utest, 2012)

3.2.3. Sertleşmiş betonun yoğunluğu deneyi

7 ve 28 gün kür havuzlarında bekletilen sertleşmiş beton numunelerinin doymuş kuru yüzey (DKY) ağırlıkları belirlenerek TS EN 12390-7' ye göre Şekil 3.12' de verilen Arşhimed terazisi yardımıyla yoğunlukları aşağıda verilen denklemlerle (3.2; 3.3) hesaplanmıştır (TSE, 2010) .

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} - m_w) - m_{st}]}{p_w} \quad (3.2)$$

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.3)$$

Burada;

V: Numune hacmi, (m³)

m_a: Numunenin havadaki kütlesi, (kg)

m_{st}: Kefenin su içerisindeki görünür kütlesi, (kg)

m_w: Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi, (kg)

p_w: Suyun 998 kg/m³ olarak kabul edilen, 20°C sıcaklıktaki yoğunluğu,

D: Numunenin nem ve hacim tayini metoduna bağlı birim hacim kütlesi, (kg/m³),

m: Numunenin deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesini, (kg) belirtmektedir.



Şekil 3.12. Arşimed terazisi

3.2.4. Ultrases geçiş hızı deneyi

Yoğunlukları tespit edilen beton numunelerin ASTM C 597' ye göre ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 3.13' de verilen Ultrases cihazı ile Şekil 3.14'deki gibi belirlenmiş ve aşağıda verilen Denklem 3.4 yardımıyla hesaplanmıştır (ASTM, 1998).

$$V = l/t \quad (3.4)$$

Burada;

V: Ses hızı, (km/s)

l: Ölçü boyu, (km)

t: Ses geçiş süresini, (saniye) belirtmektedir.



Şekil 3.13. Ultrases cihazı



Şekil 3.14. Ultrases geçiş hızı değerlerinin elde edilmesi

3.2.5. Yüzey sertliği (Schmidt çekici) deneyi

Ultras ses geçiş hızları tespit edilen beton numunelerin TS 3260'a (TSE, 1978) göre Schmidt çekici ile yüzey sertlikleri ölçülerek geri tepme sayısına yüzey sertliği değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Schmidt çekici ile beton numunelerin yüzey sertliklerinin belirlenmesi

3.2.6. Kılcal su emme (kapilerite) deneyi

28 günlük 22 ± 1 °C sıcaklıkta $\%95 \pm 5$ bağıl nemli kür ortamında bekletilen sertleşmiş beton numuneler, TS EN 772-11'ye (TSE, 2012) göre 70 ± 5 °C' de sabit kütleye gelinceye kadar etüvde bekletilmiştir. Ardından, kılcal (kapiler) su emme deneyine dört yan yüzeyi Şekil 3.16' da verildiği gibi parafinle kaplanarak, 5 mm'lik kısmı suya daldırılmış, 1 dk., 2 dk., 4 dk., 9 dk., 16 dk., 25 dk., 36 dk., 49 dk., 64 dk., (Biricik, 1999; Yüzer, 1999) boyunca tabi tutulmuş, bu dakikalardaki kütlelerindeki artış değerleri elde edilerek aşağıda verilen Denklem 3.5 yardımı ile hesap edilmiştir.

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6 \left[\frac{g}{m^2 \times s^{0,5}} \right] \quad (3.5)$$

Burada;

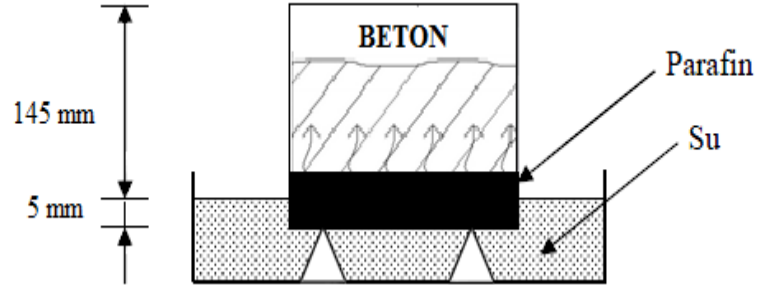
$C_{w,s}$: Beton doğal taş ve yapay taş kagir birimlerin kapiler su emme katsayısı, $[g/(m^2 \times s^{0,5})]$

$m_{dry,s}$: Deney numunesinin kurutma sonrasındaki kütlesi, (g)

$m_{so,s}$: Deney numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütlesi, (g)

A_s : Deney numunesinin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı, (mm^2),

t_{so} : Deney numunesinin suya temas ettirilme süresini, (s) belirtmektedir.



Şekil 3.16. Kılcal (kapiler) su emme düzeneği

3.2.7. Kütlece su emme, porozite ve kompasite deneyi

28 günlük kür ortamında bekletilip suya doymun ağırlıklarının belirlenen beton numuneler sabit kütleyle gelinceye kadar kurutularak etüv sonrası kuru ağırlıkları belirlenerek kütlece su emme yüzdeleri, boşluk miktarının belirlendiği porozite ve doluluk oranının belirlendiği kompasite yüzdeleri Denklem 3.6, 3.7 ve 3.8 yardımı ile hesaplanmıştır (3.6- 3.7- 3.8).

$$W_w = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.6)$$

$$GP = \frac{(W_1 - W_0)}{(W_1 - W_2)} \times 100 \quad (3.7)$$

$$GK = 100 - GP \quad (3.8)$$

Burada;

W_w : Kütlece su emme yüzdesi, (%)

W_2 : Numunenin su içinde asılı ağırlığı, (kg)

W_1 : Suyu doymun ağırlığı, (kg)

W_0 : Etüv kurusu ağırlığı, (kg)

GP: Görünen porozite yüzdesi, (%)

GK: Görünen kompasite yüzdesini (%) belirtmektedir (Postacıoğlu, 1989; Uygunoğlu, 2008).

3.2.8. Basınç dayanımı deneyi

7 ve 28 gün kür havuzunda bekleyen beton numuneleri kür havuzundan çıkarılmış ve doymun kuru yüzey (DKY) durumuna getirilerek TS EN 12390- 3' e uygun olarak Şekil 3.17' de verilen 300 ton kapasiteli basınç dayanımı cihazıyla kırılma yükleri elde edilmiştir. Basınç dayanım değerleri Denklem 3.9 ile hesaplanmıştır (TSE, 2010).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.9)$$

Burada;

f_c : Deney numunesinin basınç dayanımı, (N/mm²)

F: Kırılma yükü, (N)

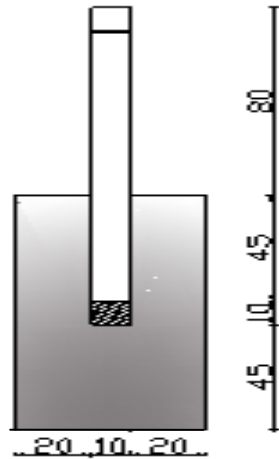
A_c : Uygulama yönüne dik deney numunesi kesit ortalama alanını, (mm²) belirtmektedir.



Şekil 3.17. Basınç dayanım cihazı ve basınç dayanım değerlerinin belirlenmesi

3.2.9. Lineer polarizasyon yöntemi ile korozyon ölçümleri için numune üretimi

Korozyon ölçümleri için Ø5/10 cm'lik silindir donatılı numuneler üretilmiştir. Beton mekanik özelliklerin belirlenmesi için numune üretiminde kullanılan maksimum tane boyutu ($D_{max}=8$ mm) korozyon numunelerin üretiminde de kullanılmıştır. TS 802' ye göre hedef basınç dayanımı C30 olacak şekilde karışım hesabı yapılarak karışımda kullanılacak olan malzeme miktarları belirlenmiştir. Dökülecek numune sayıları 5 adet referans ve her birinden 5 adet olmak üzere %5, %10, %20 oranlarında (krom ve olivin atıkları için ayrı ayrı) krom ve olivin atıkları için çimentoyla hacimce yer değiştirilerek, toplam 35 adet silindir numune dökümü planlanmıştır. Silindir kalıplar ve kalıba yerleştirilecek donatılar Şekil 3.18 ve Şekil 3.19' da verildiği gibi hazırlandıktan sonra beton döküm işlemine geçilmiştir. Beton döküm işlemleri, malzemelerin mikser yardımıyla karıştırılmasından sonra şok masasıyla sarsma işleminin yapılmasının ardından tamamlanmıştır (Şekil 3.20). Beton dökümü tamamlanan silindir numuneler içerisindeki bağıl nemini kaybetmemesi açısından poşetlenerek kürlenmeye bırakılmıştır (Şekil 3.21). Yaklaşık 48 saat kürlenip prizini tamamladıktan sonra kalıplardan çıkarılarak (Şekil 3.22) normal kür ortamına bırakılmıştır.



Şekil 3.18. Donatının beton içerisine yerleşme şeması (Değirmenci, 2006; Üncü, 2006)

Şekil 3.19. Silindir kalıpların şok masasına yerleştirilip beton dökümüne hazırlanması



Şekil 3.20. Beton dökümü tamamlanan silindirik korozyon numunesi



Şekil 3.21. Nemini korumak üzere plastik örtülerle kaplanan silindirik korozyon numuneleri



Şekil 3.22. Kalıptan çıkarılmış silindirik korozyon numuneleri

Kalıptan çıkarılan korozyon numuneleri 14 gün normal kür ortamında bekletilmiştir. 14 günün sonunda % 5'lik NaCl çözeltisinin bulunduğu ortama alınmış ve korozyona maruz bırakılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Korozyon numunelerinin % 5'lik NaCl çözeltisinde korozyon ortamına maruz kalması

3.2.10. Lineer polarizasyon ölçümleri

Korozyon ölçümünde, genel olarak I (akım), E (potansiyel), R (direnç) parametrelerinden yararlanılır. Lineer polarizasyon ölçümlerinde, I_{cor} (korozyon akımı), R_p (polarizasyon direnci), $E_{(t=0)}$ (korozyon potansiyeli), OCP (açık devre potansiyeli) ve korozyon hızı sonuçları bulunmuştur. Korozyon ölçümleri PAR marka potansiyostat cihazı kullanılarak üç elektrot ölçüm yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Korozyonu ölçümleri için oluşturulan ölçüm düzeneğinde, korozif ve iletken ortam olarak % 5'lik NaCl çözeltisi, karşıt elektrot olarak platin (Bkz. Şekil 3.5), karşılaştırma referans elektrotu olarak da doygun kalomel (SCE) elektrot (Bkz. Şekil 3.4), çalışma elektrodu olarak silindirik beton numuneler içersindeki betonarme donatı kullanılmıştır (Şekil 3.24). Korozyon ölçümleri sonunda elde edilen değerler Denklem 3.10 yardımıyla hesaplanmıştır.

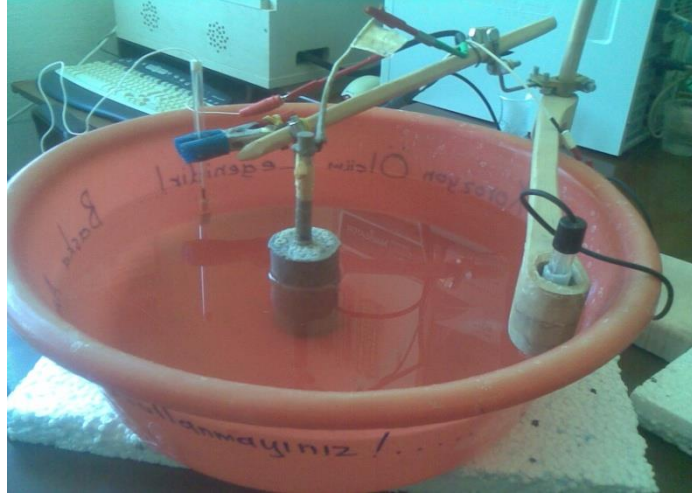
$$I_{cor} = \frac{\beta_a \beta_c}{2,3 \times R_p (\beta_a + \beta_c)} \quad (3.10)$$

Burada;

I_{cor} : Korozyon akımı, ($\mu A/cm^2$)

β_a, β_c : Tafel sabitleri, (mV)

R_p : Polarizasyon direncini, (Kohms) belirtmektedir (Yalçın ve Koç, 2004).

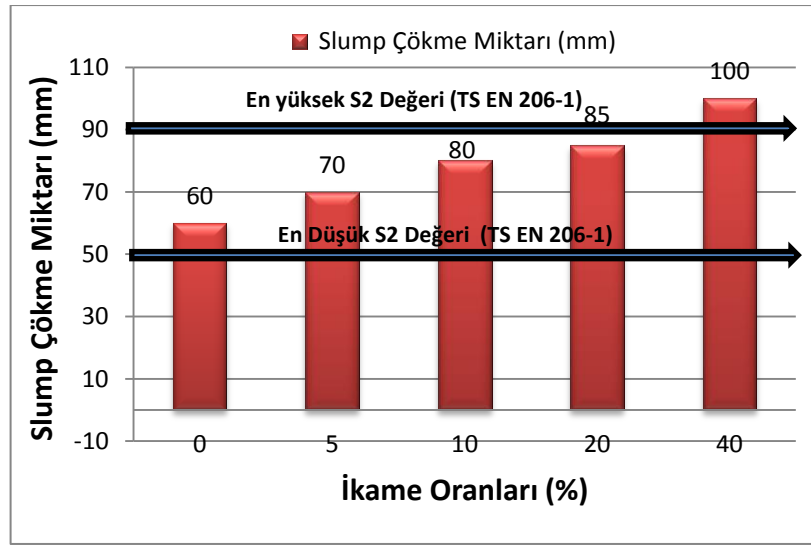


Şekil 3.24. %5' lik NaCl çözeltisinde platin ve kalomel elektrot ile korozyon ölçümünün yapılması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

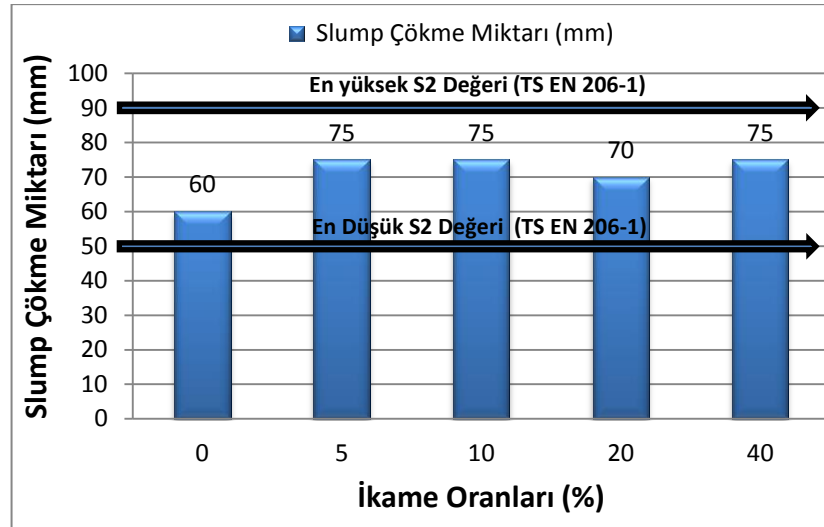
4.1. Çökme Hunisi (Slump) Deneyi Bulguları

Karışım hesapları aşamasında, çökme sınıfı 50-90 mm aralığında yer alan S2 sınıfı seçilerek TS EN 12350-2' ye uygun yapılan çökme hunisi (Slump) deneyinin bulguları krom atıklı (KA) taze betonlar için Şekil 4.1 ve olivin atıklı (OA) taze betonlar için Şekil 4.2'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. KA'lı taze beton numunelerinin çökme hunisi (Slump) değerleri

Şekil 4.1' de verilen grafikte KA'lı taze beton numunelerinin çökme miktarları referans numunelerle (%0) karşılaştırıldığında %5 KA içeren numunelerin çökme miktarını etkilemediği fakat %10 KA içeren numunelerde %14.29, %20 KA içeren numunelerde %21.43, %40 KA içeren numunelerde ise %42.85 oranında arttırdığını söylemek mümkündür. Bu durum KA katkı miktarı arttıkça çökme miktarının artmasını yani işlenebilirliğin artmasını ifade etmektedir.

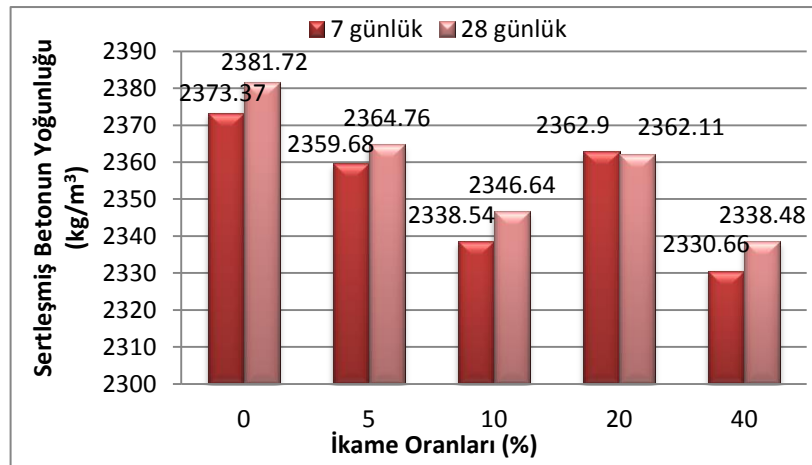


Şekil 4.2. OA'lı taze beton numunelerinin çökme hunisi (Slump) değerleri

Şekil 4.2' de verilen grafikte OA'lı taze beton numunelerinin çökme miktarları referans numunelerle karşılaştırıldığında %5, %10 ve %40 OA içeren numunelerin çökme miktarını %7.14 arttırdığı, %20 OA atıklı taze beton numunelerinin çökme miktarını etkilemediğini söylemek mümkündür. Buna göre OA katkı miktarı arttıkça çökme miktarı fazla etkilenmemekte, atık katkı kullanım oranı-slump miktarı arasında doğrusal bir değişim gözlenmemektedir.

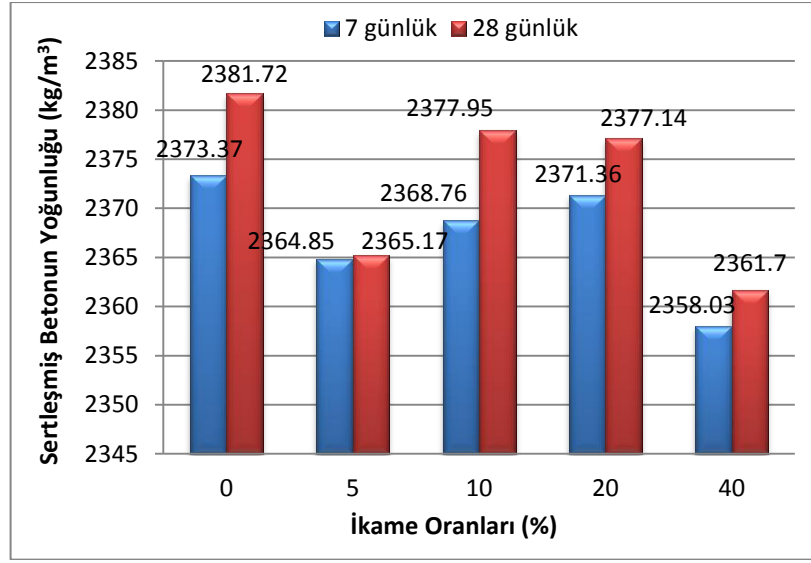
4.2. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğu Deneyi Bulguları

KA'lı ve OA'lı sertleşmiş beton numunelerinin TS EN 12390-7' ye göre bulunan yoğunlukları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' te grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.3. KA'lı sertleşmiş beton numunelerinin yoğunlukları (kg/m³)

Şekil 4.3'e göre KA' lı betonlardan elde edilen değerler, referans (%0) numunelerle karşılaştırıldığında 7 günlük değerler için % 5' lik KA' lı beton numunelerde yoğunluk %0.58, % 10'luk da %1.47, %20'likte % 0.44, % 40'lıkta %1.80 oranında bir düşüşe neden olmuştur. 28 günlük değer için ise %5' lik KA' lı beton numunelerde %0.71, %10' lukda %1.47, % 20' likte %0.82, %40' lıkta %1.82 oranında azalma meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak KA oranı arttıkça genel olarak sertleşmiş betonun yoğunluğunda çok düşük düzeyde bir azalma meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 4.4. OA'lı sertleşmiş beton numunelerinin yoğunlukları (kg/m³)

Şekil 4.4' te OA'lı sertleşmiş beton numunelerinin yoğunlukları verilmiştir. OA'lı betonlardan elde edilen değerler, referans numunelerle karşılaştırıldığında 7 günlük %5' lik OA'lı numunelerde yoğunluk %0.36, %10'lukta %0.19, %20'likte %0.08, %40' lıkta %0.65 oranında azalma görülmüştür. 28 günlük değerler için ise, % 5' likte %0.69, %10'lukta %0.15, %20'likte % 0.19, %40'lıkta %0.84 oranında azalma meydana gelmiştir. Buna göre OA miktarı arttıkça genel olarak sertleşmiş betonun yoğunluğunda çok düşük olmakla birlikte bir azalma eğilimi gözlenmektedir.

Benzer olarak Emiroğlu vd., (2011), çalışmalarında yüksek fırın cürufunun %10, %20 ve %30 oranlarında çimentoya ikamesinin referans betona göre sertleşmiş betonun yoğunluğu değerlerini azalttığını bildirmiştir.

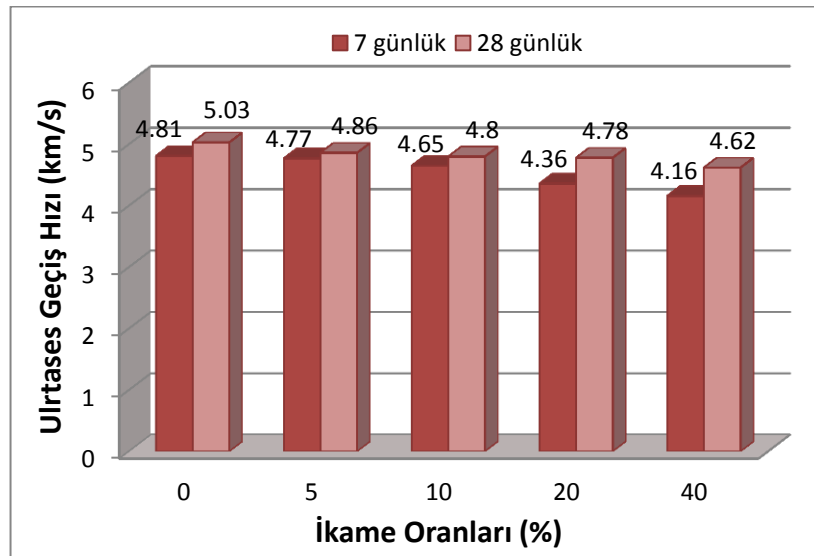
4.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Bulguları

7 ve 28 günlük krom ve olivin atıklı sertleşmiş beton numuneleri ASTM C 597'ye göre Ultrases Geçiş Hızı deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen değerler sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da grafik olarak verilmiş ve Çizelge 4.1' de verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi (Şimşek, 2011)

Ses Hızı (V) km/s	Beton Kalitesi
> 4.5	Mükemmel
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Şüpheli
2.0-3.0	Zayıf
< 2.0	Çok Zayıf

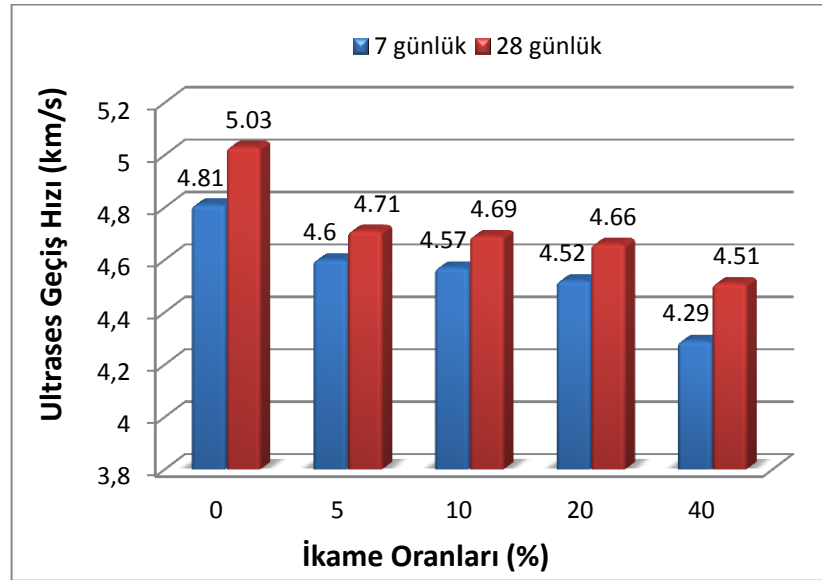
Çizelge 4.1' de ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesini sağlayan parametreler betonun ses geçiş hızına göre büyükten küçüğe doğru mükemmel, iyi, şüpheli, zayıf, çok zayıf şeklinde sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.5. KA'lı betonların ultrases geçiş hızı değerleri (km/s)

Şekil 4.5'de KA'lı beton numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri verilmiştir. KA içeren beton numunelerin ultrases geçiş hızlarında referans (%0) betona göre 7 günlük %5 KA içeren numunelerde %0.83, %10'luklarda %3.33, %20'liklerde

%9.36, %40'lıklarda ise %13.51 oranlarında azalma meydana gelmiştir. 28 günlük KA içeren numunelerde ise %5'liklerde %3.38, %10'luklarda %4.57, %20'liklerde %4.97, % 40'lıklarda ise %8.15 oranlarında düşüş meydana gelmiştir. İlgili standarda göre 4.5'ten büyük değerler beton kalitesi açısından mükemmel olarak, 3.5-4.5 arası değerler ise iyi olarak tanımlanmaktadır (Şimşek, 2011). Bu sonuçlara göre 7 günlük değerlerde %20 ve %40 KA içeren numuneler haricindeki numuneler mükemmel, %20 ve % 40'luk numuneler iyi kalite sergilemişlerdir. 28 günlük KA'lı beton numunelerden referans (%0) betona göre bir miktar düşük değerler elde edilmiş olsa da 4.5 değerinin üzerinde olduklarından beton kalitesi açısından mükemmel olarak ifade edilen düzeye ulaşmışlardır.



Şekil 4.6. OA'lı betonların ultrases geçiş hızı değerleri (km/s)

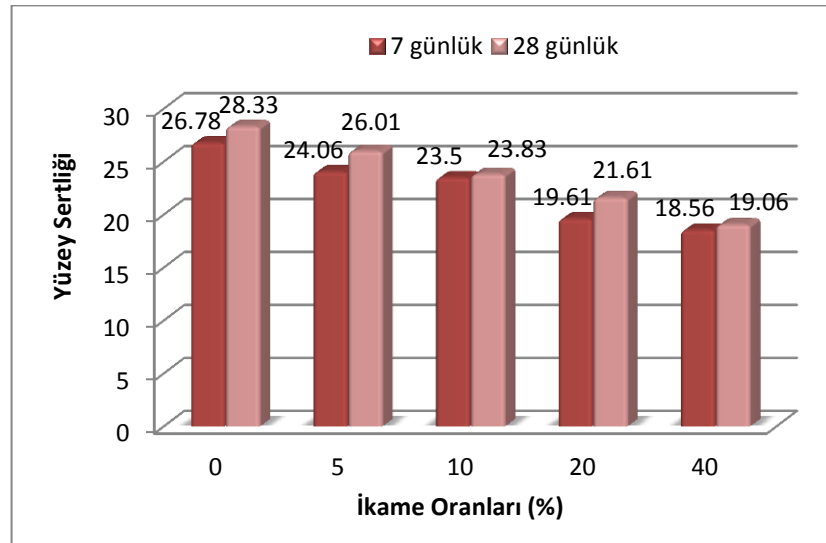
Şekil 4.6'da OA'lı beton numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri verilmiştir. OA içeren beton numunelerin ultrases geçiş hızlarında referans (%0) betona göre 7 günlük %5 OA içeren numunelerde %4.37, %10 katkı için %4.99, %20 katkılarda %6.02, %40 oranı için ise % 10.81 oranlarında azalma meydana gelmiştir. 28 günlük OA içeren numunelerde ise %5 katkı oranı için %6.36, %10 katkı için %6.76, %20 içeren numunelerde %7.36, %40 oranı için ise %10.34 oranlarında düşüş meydana gelmiştir. Bu değerler çizelge 4.1'e göre değerlendirildiğinde 7 günlük değerlerde %40 OA içeren beton numunelerin haricindeki numuneler mükemmel, %40 atıklı numuneler ise iyi kalite olarak nitelendirilebilir. 28 günlük OA'lı beton numuneler referans (%0) betona göre bir miktar azalma göstermiş olmalarına rağmen 4.5

değerinin üzerine çıkarak beton kalitesi açısından mükemmel olarak ifade edilen kalite değerini sağlamışlardır.

Benzer olarak Haberal, (2010), çalışmasında uçucu külün %15 oranında çimentoya ikamesinin referans betona göre ultrases geçiş hızı değerini arttırdığını, %45 uçucu kül ikamesinin ise ultrases geçiş hızını azalttığını belirtmiştir. Bunun da uçucu küldeki puzolanik özelliği sağlayan SiO_2 miktarının yaklaşık %51, KA'da yaklaşık %31, OA'da %37-40 oranlarında bulunmasından kaynaklandığı söylenebilir.

4.4. Yüzey Sertliği Deneyi (Schmidt Çekici) Bulguları

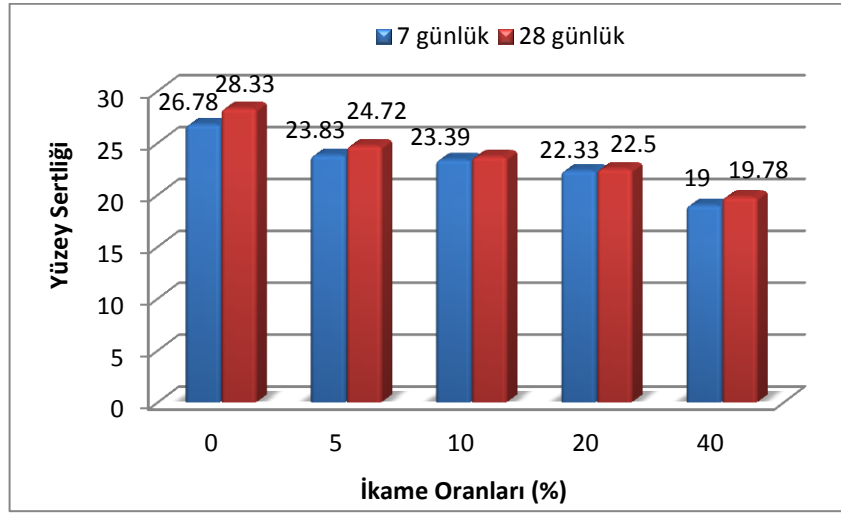
7 ve 28 günlük krom ve olivin atıklı sertleşmiş beton numuneleri TS 3260'a (TSE, 1978) göre Yüzey Sertliği deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen değerler sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.7. KA'lı betonların yüzey sertliği değerleri

Şekil 4.7'de KA içeren beton numunelerin yüzey sertliği değerleri genel olarak katkı oranının artışına paralel olarak azalmaktadır. 7 günlük %5 KA içeren numunelerde %10.16, %10'luklarda %12.25, %20'liklerde %26.77, %40'luklarda ise %30.69 oranlarında referans numunelere (%) göre azalma meydana gelmiştir. 28 günlük KA içeren numunelerde ise referans numunelere (%) göre, %5, %10, %20, %40

oranları için sırası ile %8.19, %15.88, %23.72, %32.72 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

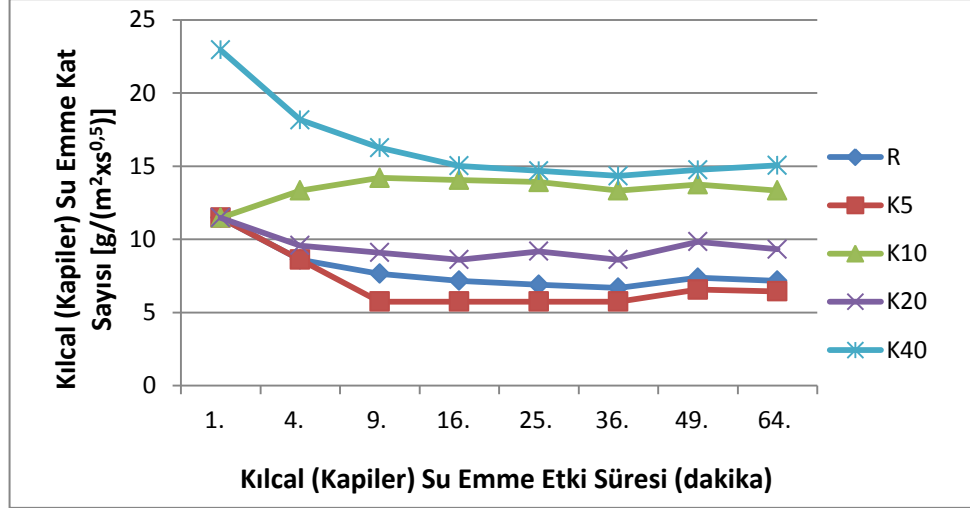


Şekil 4.8. OA'lı betonların yüzey sertliği değerleri

Şekil 4.8'de OA içeren beton numunelerin yüzey sertliği değerlerinin katkı kullanım oranının artışına paralel olarak referans numunelere (%0) göre azaldığı görülmektedir. OA'lı numunelerin referans numunelere (%0) göre 7 günlük yüzey sertliği değerlerinin %5, %10, %20, %40 katkı oranları için referans numunelere (%0) sırası ile %11.02, %12.66, %16.62, %29.05 azaldığı görülmüştür. 28 günlük OA içeren numunelerde %5, %10, %20, %40 katkı oranı için sırası ile %12.74, %16.45, %20.57, %30.18 oranında azalma meydana gelmiştir.

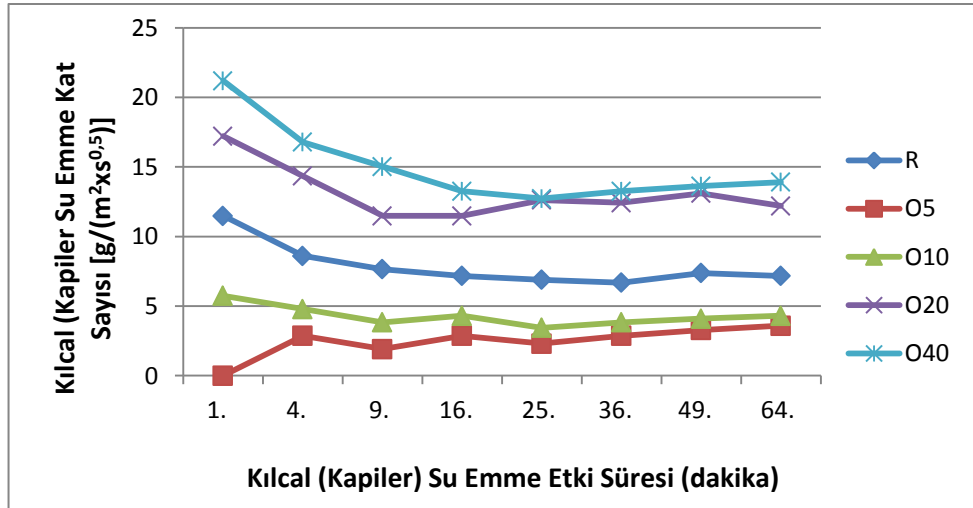
4.5. Kılcal Su Emme (Kapilerite) Deneyi Bulguları

28 günlük krom ve olivin atıklı sertleşmiş beton numuneleri TS EN 772-11'ye kılcal su emme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen değerler sırasıyla Şekil 4.9'da ve Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin kılcal (kapiler) su emme katsayıları

Şekil 4.9 incelendiğinde %5 KA içeren beton numuneler, referans (R) numunelere göre kılcal (kapiler) su emme oranı açısından daha düşük değerler sergilemiştir. %10, %20 ve %40 KA içeren numuneler ise referans (R) numunelere göre bir miktar fazla kılcallığa sahiptir. Beton numuneler kılcal (kapiler) etki açısından iyiden kötüye doğru %5, R, %20, %10, %40 şeklinde sıralanmaktadır.



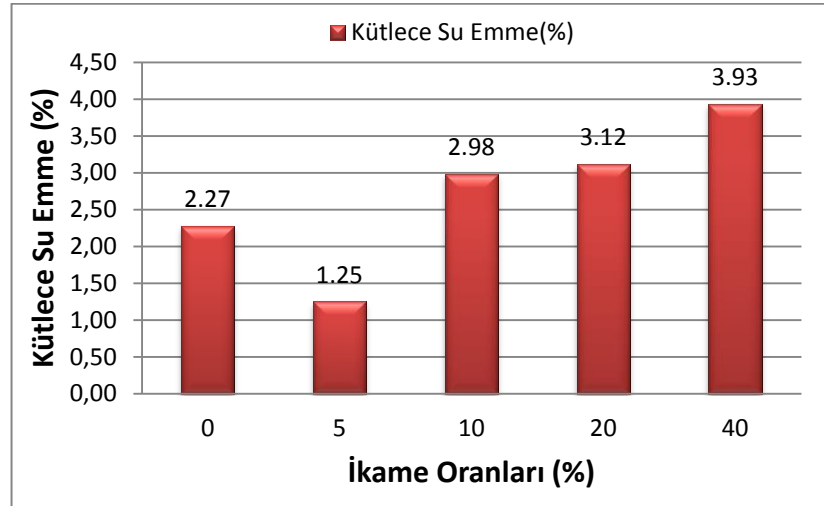
Şekil 4.10. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin kılcal (kapiler) su emme katsayıları

Şekil 4.10 incelendiğinde %5 ve %10 OA içeren beton numuneler referans (R) numunelere göre kılcallık (kapilerite) katsayı bakımından daha iyi davranış göstermiştir. %20 ve %40 OA içeren numuneler ise referans (R) numunelere göre bir miktar düşüş göstermişlerdir. Beton numuneler kılcallık (kapilerite) katsayı

bakımından iyiden kötüye doğru %5, %10, R, % 20, % 40 sonucu şeklinde sıralanmaktadır.

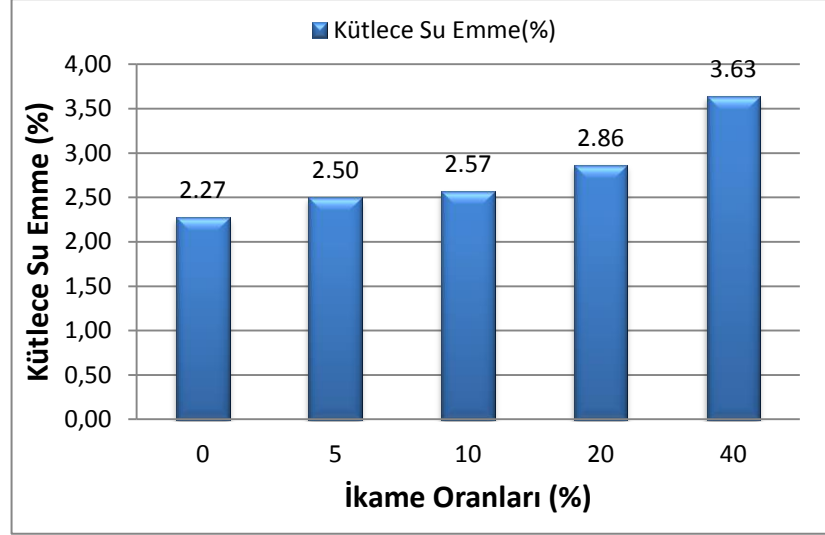
4.6. Kütlece Su Emme, Porozite ve Komposite Deneyi Bulguları

28 gün kür ortamında bekletilip suya doymun ağırlıklarının belirlenen KA'lı ve OA'lı sertleşmiş beton numuneler sabit kütleğe gelinceye kadar kurutularak etüv sonrası kuru ağırlıklarının belirlenmesi sonucu elde edilen kütlece su emme oranı değerleri, boşluk miktarının belirlendiği porozite ve doluluk oranı ile komposite değerleri sırasıyla Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.11. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin kütlece su emme yüzdeleri

Şekil 4.11 incelendiğinde %5 KA içeren örneğin su emme yüzdesinde %44.93 düşüş görülürken, %10, %20, %40, KA ikamelilerde sırasıyla %31.28, %37.44, %73.13 oranlarında artış meydana gelmiştir. Buna göre %5 KA miktarının betonun kütlece su emme durumunu iyileştirdiği söylenebilir. Burada meydana gelen artışlar irdelendiğinde 0 (Referans) kodlu numunelerden elde edilen su emme değeri %2.27 iken en yüksek katkı oranına sahip olan %3.93 ile 40 (%40 KA'lı) kodlu numunelerde su emme oranında bir miktar artış meydana geldiği görülmektedir. Referans ve en yüksek katkı oranında üretilen ikameli numunelerin su emme değerleri arasında %1.66 oranında bir fark meydana gelmiştir. Bu fark ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

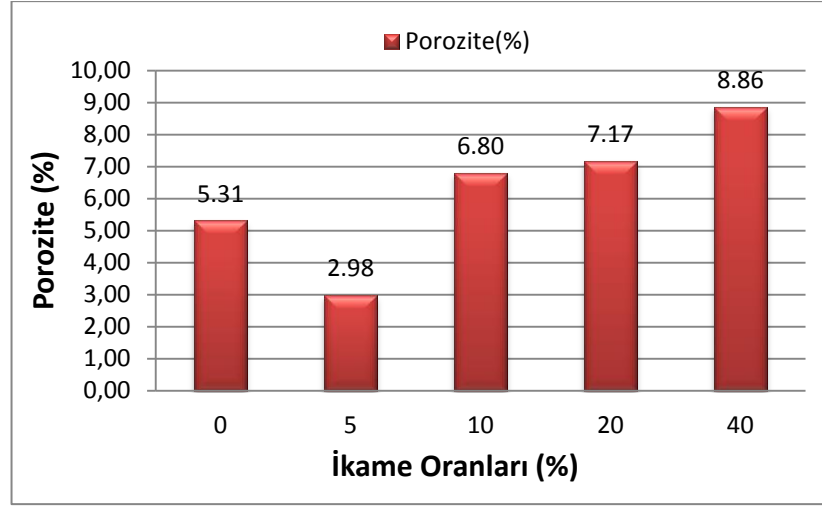


Şekil 4.12. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin kütlege su emme yüzdeleri

Şekil 4.12. incelendiğinde 28 günlük OA içeren betonlar ile referans numuneler (%) karşılaştırıldığında %5, %10, %20, %40 OA içeren numunelerde sırası ile %10.13, %13.22, %25.99, %59.91 oranlarında artış meydana geldiği görülmektedir. Buna göre OA miktarı arttıkça betonun kütlege su emme oranında bir miktar artış meydana geldiği söylenebilir. Burada meydana gelen artışlar irdelendiğinde referans numunelerde elde edilen su emme değeri %2.27 iken en yüksek su emme oranı değerinin %3.63 değeri ile en fazla katkı içeren %40 OA'lı numunelerde olduğu görülmüştür. Referans ve en yüksek katkı içeren %40 OA'lı numunelerin su emme değerleri arasında %1.36 oranlarında bir fark meydana gelmiştir.

Benzer olarak Emiroğlu vd., (2011), çalışmalarında yüksek fırın cürufunun %10, %20 ve %30 oranlarında çimentoya ikamesinin referans betona göre sertleşmiş betonun su emme yüzdelerini genel olarak arttırdığını bildirmiştir.

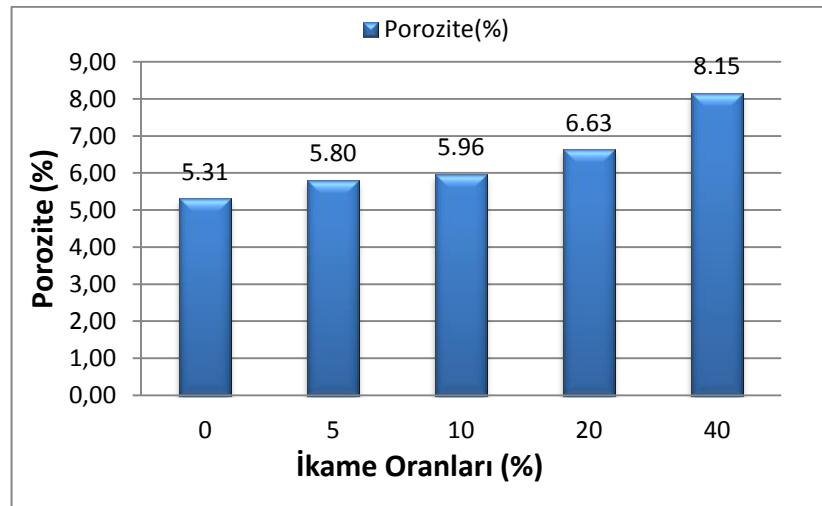
Şekil 4.13'de 28 günlük KA'lı beton numunelerin porozite yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 4.13. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin porozite yüzdeleri

Şekil 4.13 incelendiğinde 28 günlük KA'lı beton numunelerin porozite yüzdeleri referans numunelerle (%0) karşılaştırıldığında kütlece su emme yüzdesine paralel olarak %5 KA içeren örneğin porozite yüzdesinde 43.88'lik bir düşüş görülmüştür. %10, %20, %40 KA içeren beton numunelerin porozitelerinde sırası ile %28.06, %30.03, %66.85 oranında artış meydana gelmiştir. Bu değerlere göre %5 KA miktarının betonun porozite durumunu iyileştirdiği söylenebilir.

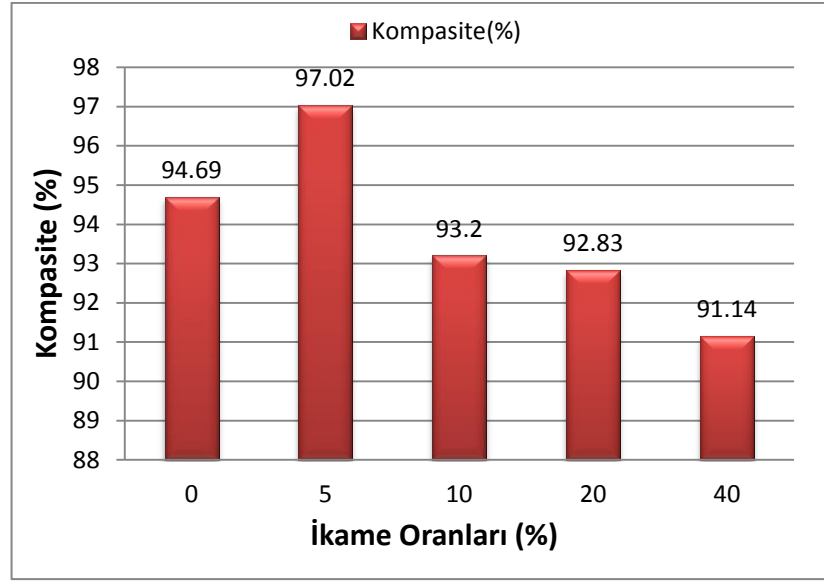
Şekil 4.14'de 28 günlük OA'lı beton numunelerin porozite yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 4.14. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin porozite yüzdeleri

Şekil 4.14 incelendiğinde 28 günlük OA içeren betonlar ile referans numuneler (%0) karşılaştırıldığında; porozite yüzdelерinde %5, %10, %20, %40 OA içeren beton numunelerde sırasıyla %9.23, %12.24, %24.86, %53.48’lik bir artış görülmüştür. Buna göre OA miktarı arttıkça betonun porozite oranında artış eğilimi olduğu söylenebilir.

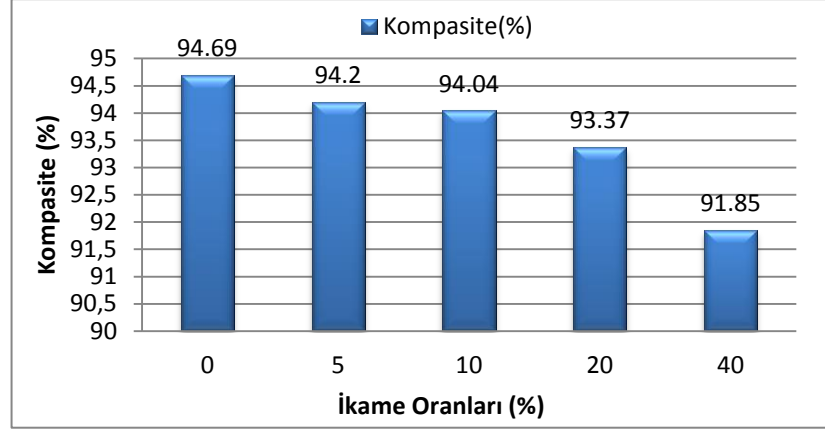
Şekil 4.15’de 28 günlük KA’lı beton numunelerin kompasite yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 4.15. KA’lı sertleşmiş beton numunelerin kompasite yüzdeleri

Şekil 4.15’de verilen 28 günlük KA’lı beton numunelerin kompasite yüzdeleri matematiksel olarak porozite denkleminin tersidir. Buna göre referans (%0) numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 4.13’den de anlaşılacağı gibi %5 KA içeren numune en yüksek kompasite yüzdesine sahiptir.

Şekil 4.16’da 28 günlük OA’lı beton numunelerin kompasite yüzdeleri verilmiştir.

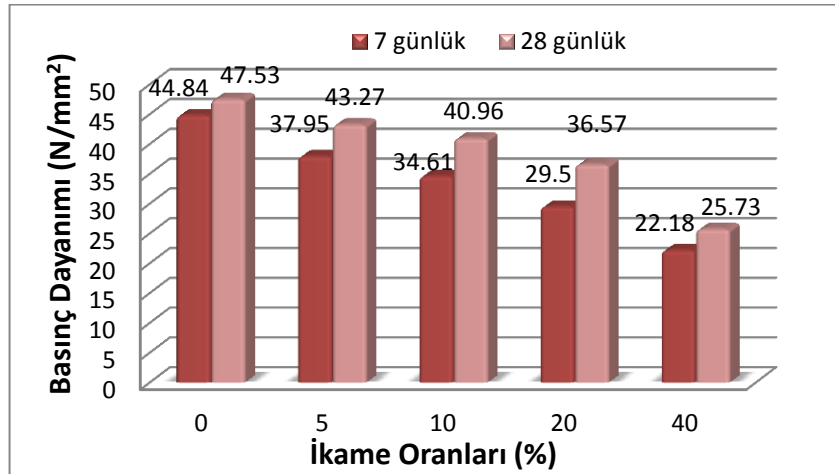


Şekil 4.16. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin kompasite yüzdeleri

Şekil 4.16 incelendiğinde 28 günlük OA içeren betonlar ile referans numuneler (%0) karşılaştırıldığında kompasite yüzdelerinin atık kullanım oranının artışına bağlı olarak azalma gözlemlenmiştir.

4.7. Basınç Dayanımı Deneyi Bulguları

7 ve 28 günlük krom ve olivin atıklı sertleşmiş beton numuneleri TS EN 12390- 3'e uygun olarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen değerler sırasıyla Şekil 4.17'de ve Şekil 4.18'de verilmiştir.

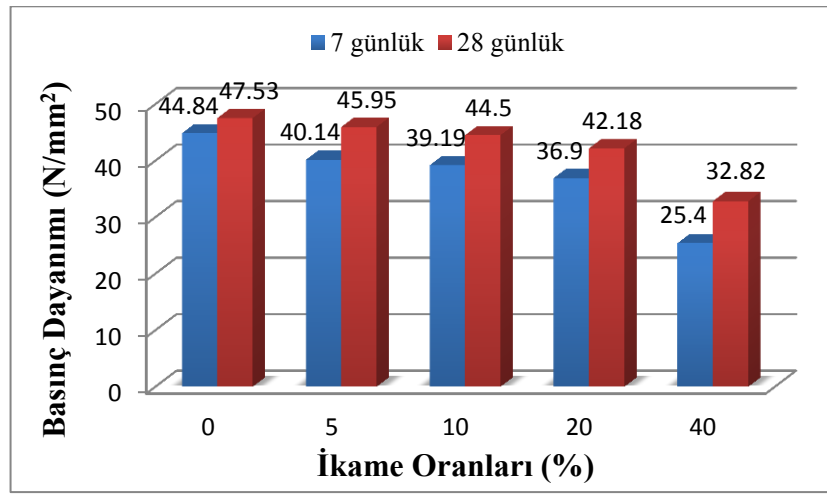


Şekil 4.17. KA'lı sertleşmiş beton numunelerin basınç dayanımı değerleri (N/mm²)

Şekil 4.17 incelendiğinde verilen değerler arasında referans numunelere göre KA'lı betonların atık oranı arttıkça basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir.

Referans betona (%0) göre meydana gelen dayanım kaybı beton yaşı 7 gün olan numunelerde %5, %10, %20, %40 KA içeren numuneler için sırasıyla %15.37, %22.81, %34.21, %50.54 olmuştur. 28 günlük betonlarda meydana gelen kayıp oranları ise %5, %10, %20, %40 KA için sırasıyla %8.96, %13.82, %23.06, %48.87 düzeyindedir. Bu düşüş oranlarına rağmen %40 KA'lı beton numuneler haricindeki diğer katkı oranları ile üretilen numunelerde (%5, %10, %20) hedeflenen basınç dayanımı C30'a ulaşılabilmiştir.

Şekil 4.18.'de OA'lı betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları verilmiştir.



Şekil 4.18. OA'lı sertleşmiş beton numunelerin basınç dayanımı değerleri (N/mm²)

Verilen değerler arasında karşılaştırma yapıldığında, referans numunelere (%0) göre OA'lı betonların atık oranı arttıkça basınç dayanımlarında düşüş eğilimi görülmüştür. Elde edilen 7 günlük veriler değerlendirildiğinde 7 günlük referans numunelere göre %5 OA içeren betonlarda %10.48, %10 OA içerenlerde %12.60, %20 OA içerenlerde %17.71, %40 OA içeren betonlarda %43.35 oranında azalma kaydedilmiştir. OA katkı oranları %5, %10, %20, %40 olan 28 günlük numunelerde referans numunelere göre sırasıyla %3.32, %6.37, %11.26, %30.95 dayanım kaybı olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte %40 OA içeren beton numuneler haricindeki diğer katkı oranları (%5, %10, %20) için hedeflenen basınç dayanımı C30 elde edilmiştir.

Benzer olarak Yiğiter, (2008), çalışmasında uçucu kül ve yüksek fırın cürufunu çimentoya %15-30-45-60 oranlarında ikamesinin referans betona göre atık oranı arttıkça basınç dayanımı değerlerini azalttığını bildirmiştir.

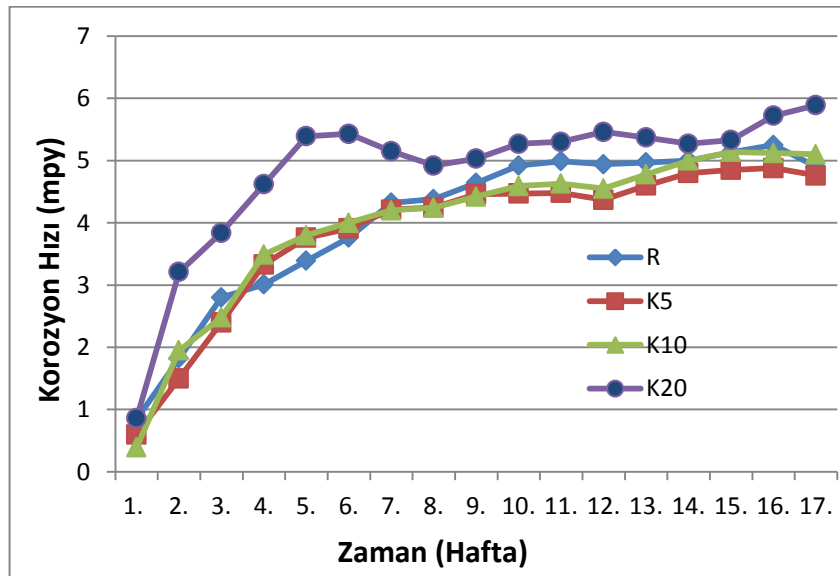
4.8. Lineer Polarizasyon Ölçümleri Bulguları

%40 OA'lı ve KA'lı numunelerin hedeflenen C30 dayanımının altında kalmaları nedeni ile betonarme çeliği içeren silindirik numuneler K5, K10, K20, O5, O10, O20 karışımları ile üretilmiştir. Üretilen numunelerden elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

4.8.1. Korozyon hızı (corosion rate) bulguları

17 hafta boyunca Bölüm 3.1.9'da açıklanan %5 NaCl içeren ortamda korozyona maruz bırakılan krom ve olivin atıklı numunelerin korozyon hızları ölçülmüş ve ölçümlerle elde edilen deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22'de grafik olarak verilmiştir.

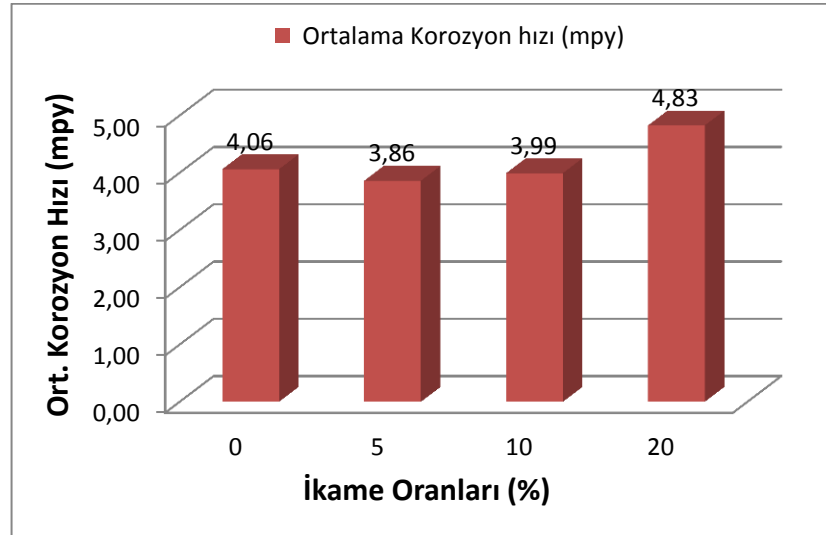
Şekil 4.19'da KA'lı korozyon numunelerinin korozyon hızı ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.19. KA'lı numunelerin korozyon hızı değerleri

Şekil 4.19 incelendiğinde KA içeren numunelerin referans numunelere göre korozyon hızı açısından benzer davranış sergilediği, %20 KA içeren numunelerin ise en olumsuz davranışı sergilediği görülmektedir. Buna göre %5 ve %10 KA içeren beton numunelerin korozyon hızını referans numuneler seviyesinde tutarak betonun durabilitesine (kalıcılık) olumsuz etkimeydiğinden çevre kirliliğine neden olan KA'larının beton içerisinde kullanımı nedeni ile beton üretim maliyeti azalabilecek ve çevre korumaya olumlu etkiler sağlayacaktır.

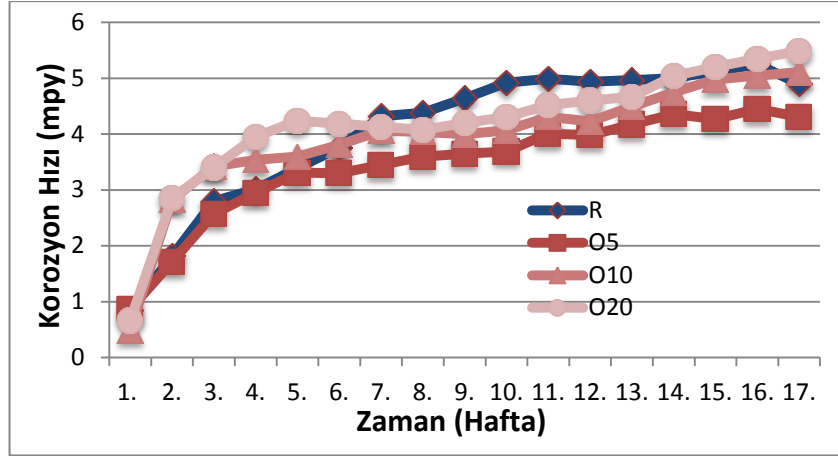
Şekil 4.20' de KA içeren korozyon numunelerinin, yapılan potansiyometrik korozyon deneyleri sonucunda elde edilen ortalama korozyon hızı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.20. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon hızı değerleri

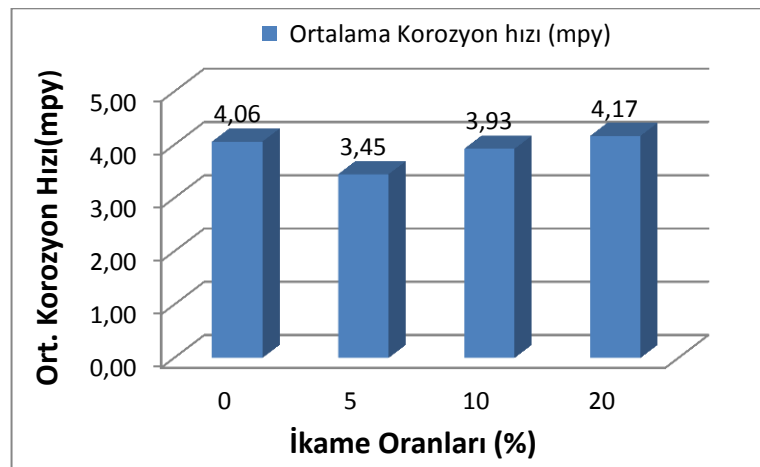
Referans numunelerin korozyon hızı ortalamasının %100 kabul edilmesi halinde atık katkı içeren örneklerden elde edilen değerlerin %5 ve %10 atık kullanımı için sırasıyla %4.93, ve %1.72 azalma sergilediği, %20 atık kullanımı için ise korozyonun hızında %18.97 düzeyinde artma olduğu tespit edilmiştir.

%5, %10 ve %20 OA içeren örnekler için elde edilen grafik Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. OA'lı numunelerin korozyon hızı değerleri

Şekil 4.21 incelendiğinde OA içeren numunelerin referans numunelere göre korozyon hızı bakımından benzer eğilim sergilediği söylenebilir. %5 OA içeren numuneler korozyon hızı açısından referans numunelere göre en iyi performansı göstermiş olup %10 OA içeren numuneler ise %5'liklere göre korozyon hızını arttırmış olmalarına karşın referans numunelere kıyasla iyi bir performans göstermiştir. %20 OA içeren numuneler ise 6. haftadan 13. haftaya kadar referans numunelerden daha iyi performans göstermiş 14. haftadan itibaren korozyon hızında artış meydana gelerek referans numunelere göre korozyon hızı artmıştır. OA'lı betonarme korozyon numunelerinin 17 haftalık korozyon uygulama süreci boyunca elde edilen değerlerin ortalama korozyon hızı ölçüm değerleri Şekil 4.22'de sunulmuştur.



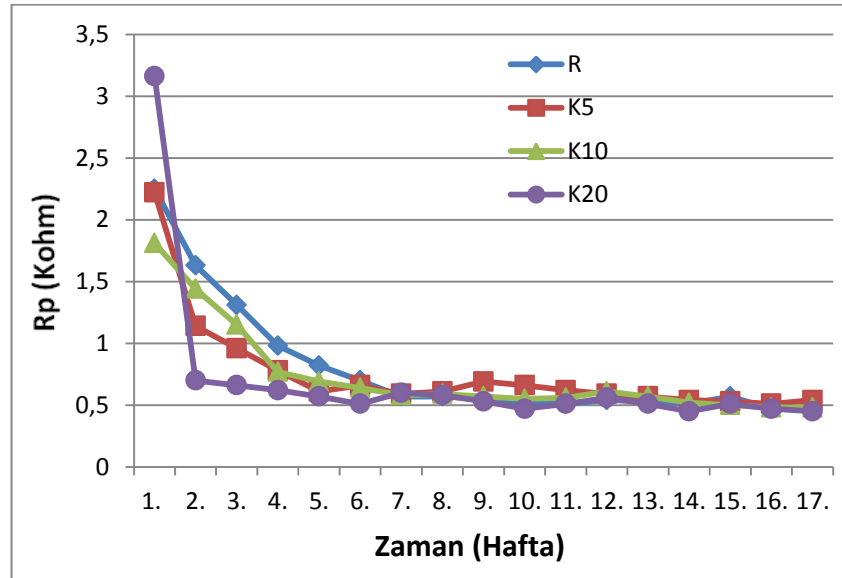
Şekil 4.22. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon hızı değerleri

Şekil 4.22’de referans numunelere (%) göre OA’nın %5 ve %10 oranlarında kullanımı ile korozyon hızında sırasıyla %15.05 ve %3.20 oranında azalma meydana gelmiştir. %20 OA’nın kullanım oranı için referans numunelere göre korozyon hızında %2.71 oranında artış gözlemlenmiştir. Korozyon hızı açısından %5 ve %10 OA kullanımının korozyon hızını düşürerek betonun durabilitesine olumlu katkı sağlayacağı söylenebilir.

4.8.2. Polarizasyon direnci (Rp) bulguları

17 hafta boyunca korozyona maruz bırakılan krom ve olivin atıklı numunelerin polarizasyon dirençleri (Rp) ölçülmüş elde edilen deneysel bulgular Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26’da grafik olarak verilmiştir.

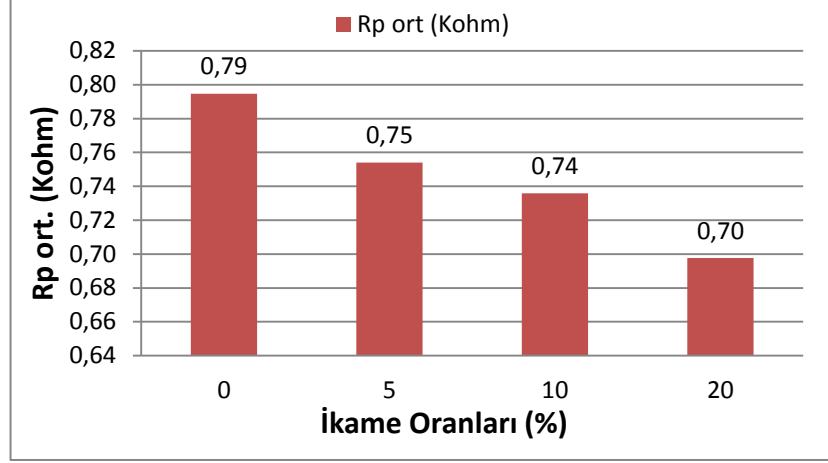
Şekil 4.23’de KA’lı korozyon numunelerinin polarizasyon direnç ölçüm değerlerinin zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.23. KA’lı numunelerin polarizasyon direnci (Rp) değerleri

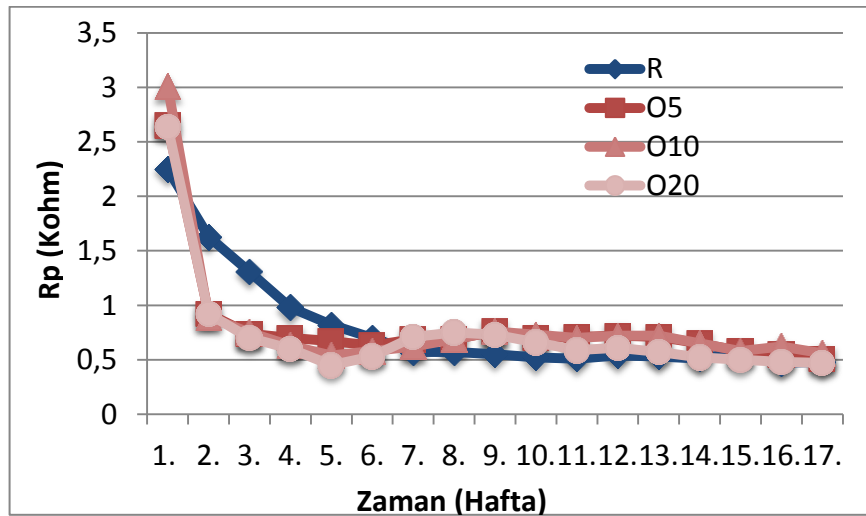
Şekil 4.23 incelendiğinde genel olarak tüm numunelerin polarizasyon dirençlerinin zaman bağlı olarak düştüğü ve birbirine yakın bir düşüş eğilimi sergilediği görülmektedir.

Şekil 4.24’de KA’lı betonarme korozyon numunelerinin 17 haftalık korozyon uygulama süreci boyunca elde edilen değerlerin ortalama polarizasyon direnç ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.24. KA’lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama polarizasyon direnci (Rp) değerleri

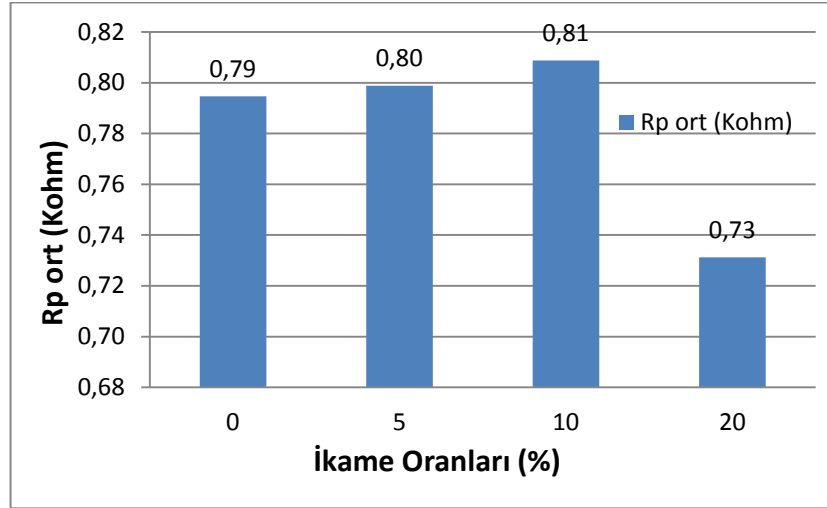
Şekil 4.24 incelendiğinde KA’lı numunelerin referans numunelere göre atık kullanım oranının artışına paralel olarak polarizasyon direncinin azalma eğilimine sahip olduğu görülmektedir. KA’lı numunelerdeki direnç değerleri referans numunelere göre %5, %10 ve %20 atık kullanım oranları için sırası ile %5, %6.33 ve %11.39 oranında azalmıştır. Şekil 4.25’de OA’lı korozyon numunelerinin zamana bağlı polarizasyon direnç ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.25. OA’lı numunelerin polarizasyon direnci (Rp) değerleri

Şekil 4.25 incelendiğinde genel olarak tüm numunelerin polarizasyon dirençlerinin zamana bağlı olarak düştüğü ve birbirine benzer bir eğilim sergilediği görülmektedir.

Şekil 4.26'da OA'lı numunelerin korozyon süresi boyunca elde edilen değerlerin ortalama polarizasyon direnç değerleri verilmiştir.



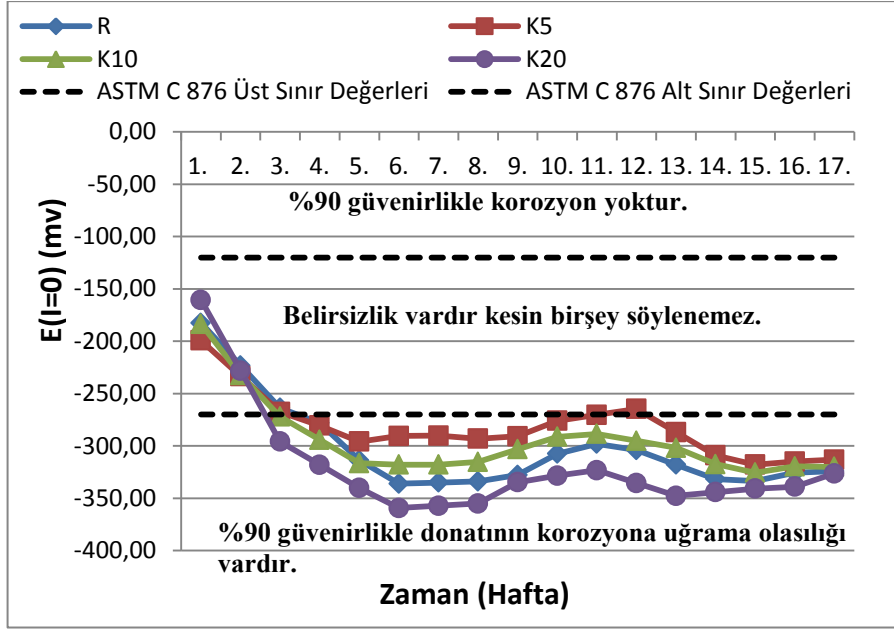
Şekil 4.26. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama polarizasyon direnci (R_p) değerleri

Şekil 4.26 incelendiğinde OA'lı numunelerin referans numunelere göre polarizasyon direncinin büyük bir değişim sergilemediği görülmektedir. OA kullanımı ile polarizasyon direnci değerleri referans numunelere göre %5 OA için %1.27, %10 OA için %2.53 oranında; %20 OA için ise %7.59 oranında azalmıştır.

4.8.3. Korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) bulguları

17 hafta boyunca %5 NaCl içeren korozif ortama maruz bırakılan krom ve olivin atıklı orta noktasından donatılı numunelerin korozyon potansiyelleri ($E_{(I=0)}$) potansiyostat cihazı ile ölçülmüştür ve bulgular bu bölümde verilmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen deney sonuçlarına ilişkin grafikler, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30'da verilmiştir.

Şekil 4.27'de KA'lı numunelerin korozyon potansiyeli ölçüm değerleri verilmiştir.

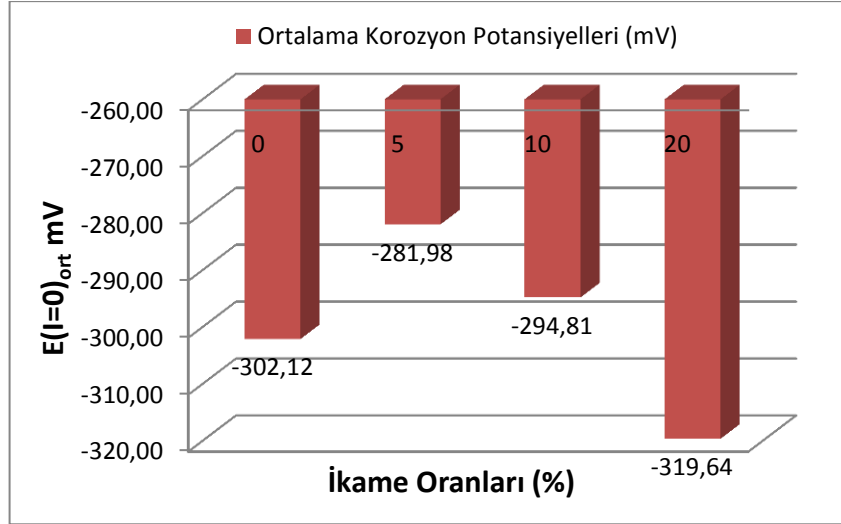


Şekil 4.27. KA'lı numunelerin korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri

Şekil 4.27 incelendiğinde bütün değerler %90 olasılıkla korozyon bölgesinde kalmakla birlikte KA kullanımı referans numunelere göre korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerlerini %5 ve %10 KA içeren numunelerde azaltırken, %20 KA kullanımı ise arttırmıştır. Ayrıca grafikteki eğrilerin birbirleriyle ilişkisi incelendiğinde 3. haftadan itibaren korozyon potansiyel değerlerinin belirsiz bölgeden, %90 güvenirlikle donatının korozyona uğrama olasılığının olduğu bölgeye geçtiğini söylemek mümkündür.

Şekil 4.27 ile Şekil 4.23 arasındaki ilişkiyi ele alacak olursak R_p 'nin azalmasıyla ($E_{(I=0)}$) değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu da polarizasyon direncinin düşmesinin korozyon hızı (Şekil 4.19) ve korozyon potansiyelini arttırdığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

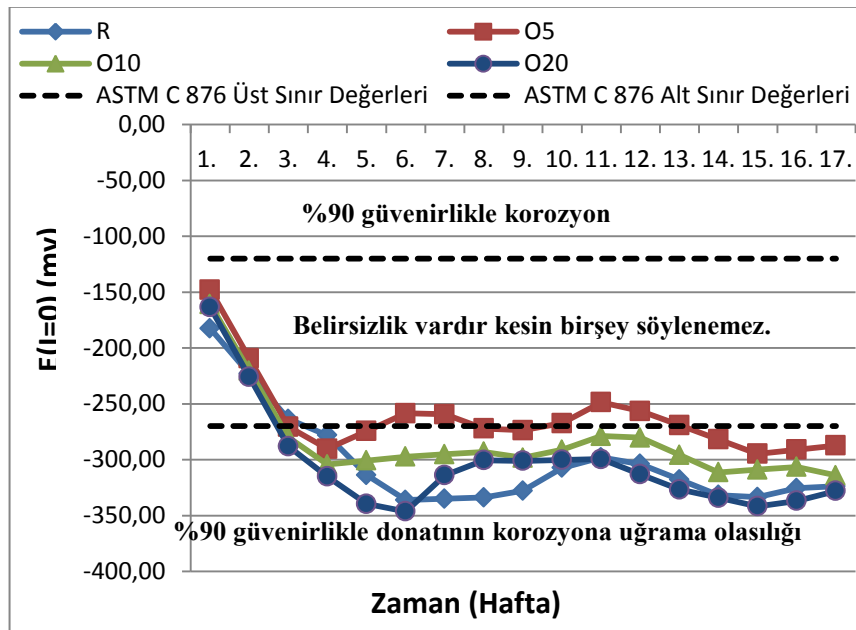
Şekil 4.28'de KA'lı korozyon numunelerinin ortalama korozyon potansiyeli ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.28. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri

Şekil 4.28 incelendiğinde KA kullanımının referans numunelere göre korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerlerini %5 KA için %6.67, %10 KA için %2.42 oranında azalttığı, % 20 KA için ise % 5.80 oranında arttırdığı görülmektedir.

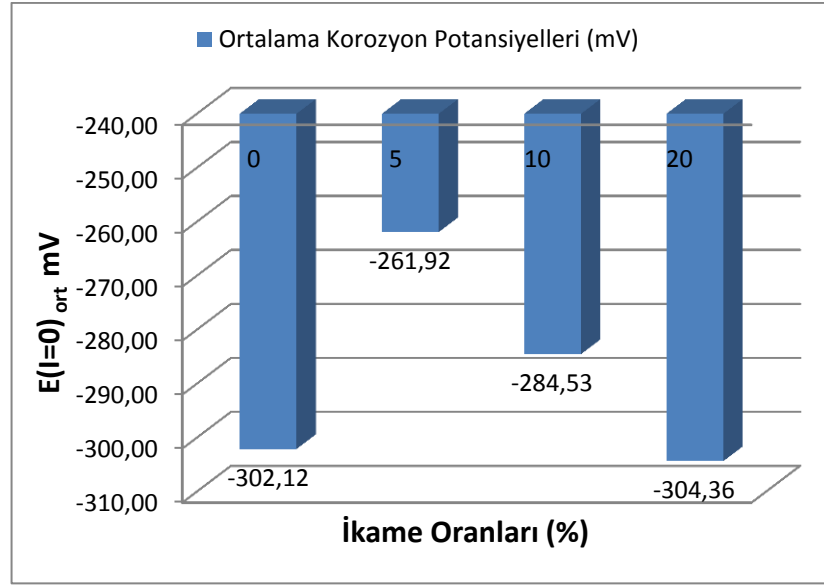
Şekil 4.29'da OA'lı korozyon numunelerinin korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.29. OA'lı numunelerin korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri

Şekil 4.29 incelendiğinde bütün değerler %90 olasılıkla korozyon bölgesinde kalmakla birlikte OA kullanımının referans numunelere göre korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerlerini, %5 ve %10 oranlarında OA kullanımı durumunda azaltırken, %20 oranında kullanım durumunda ise arttırdığı belirlenmiştir.

Şekil 4.30'da OA'lı numunelerin tüm korozyon süreci boyunca elde edilen değerlerden tespit edilen ortalama korozyon potansiyeli değerleri grafikte verilmiştir.



Şekil 4.30. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri

Şekil 4.30 incelendiğinde olivin atığı kullanımı ile referans numunelere (%0) göre korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerleri %5 OA için % 13.51 oranında, % 10 OA için %5.82 oranında azaldığı, % 20 OA için ise % 0.74 oranında arttığı belirlenmiştir.

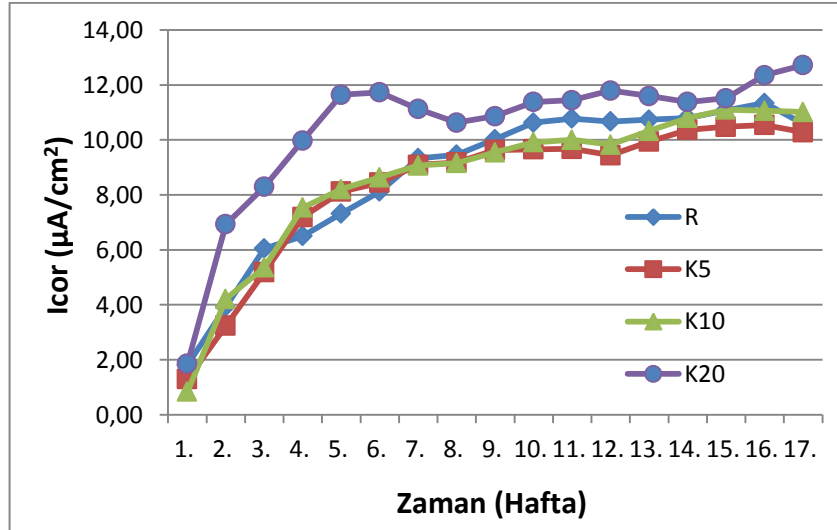
Benzer olarak Sancak ve Şimşek, (2008), çalışmalarında ürettikleri hafif pomza agregalı bims beton ve normal agregalı betonlarda, %0, %5 ve %10 oranlarında çimentoyla ağırlıkça yer değiştirmek üzere kullanılan silis dumanı ve %2 oranında süper akışkanlaştırıcı örneklerin %7 NaCl oranında 17 ıslanma-kuruma çevrime tabi tutulmasıyla meydana gelen korozyon potansiyelini azaltmaya yönelik olumlu davranış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Yine benzer olarak, Keleştemur ve Demirel, (2010), çalışmalarında ince öğütülmüş pomzayı betonda çimento ile %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle üretilen beton numunelerin %3 'lük NaCl çözeltisinde 160 gün boyunca korozyona maruz kalması sonucunda korozyon potansiyelini arttırdığını, yine çimentoyla yer değiştirdikleri aynı oranlardaki (%5, %10, %15 ve %20) ince öğütülmüş pomzalı numunelerin her birine çimento oranının %10' u oranındaki silis dumanı takviyesinin ise korozyon potansiyelini azalttığını bildirmişlerdir.

4.8.4. Korozyon akımı (I_{cor}) bulguları

17 hafta boyunca korozyona maruz bırakılan krom ve olivin atıklı numunelerin korozyon akım yoğunlukları (I_{cor}) ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda elde edilen deneysel bulgular Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34'de grafik olarak verilmiştir.

Şekil 4.31'de KA'lı numunelerin korozyon akımı değerleri verilmiştir.

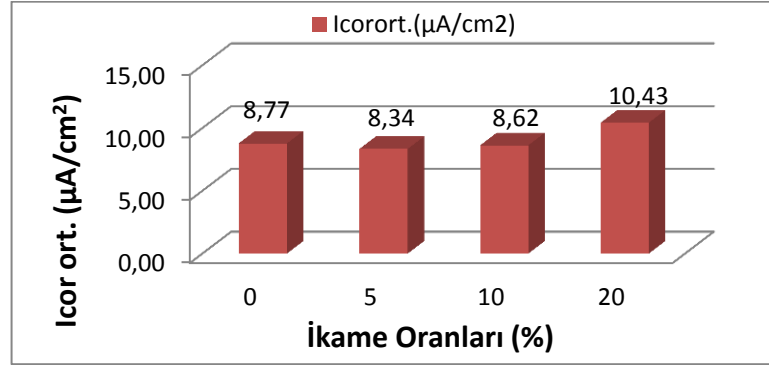


Şekil 4.31. KA'lı numunelerin korozyon akımı (I_{cor}) değerleri

Şekil 4.31 incelendiğinde referans numunelere göre %5 ve %10 KA kullanılan numunelerde korozyon akımı (I_{cor}) değerlerinde olumsuz bir etki gözlenmezken, %20 KA içeren numunelerde ise artmıştır. Korozyon akımının (I_{cor}) artmasıyla korozyon hızı arttığından %5 ve % 10 oranlarda KA kullanımının korozyon akımını (I_{cor}) en

azından referans numuneler seviyesinde tutabildiğinden beton üretiminde kullanımı ile çevre kirliliğine neden olan bu atıklara yeni kullanım alanları bulunması mümkün olabilecektir.

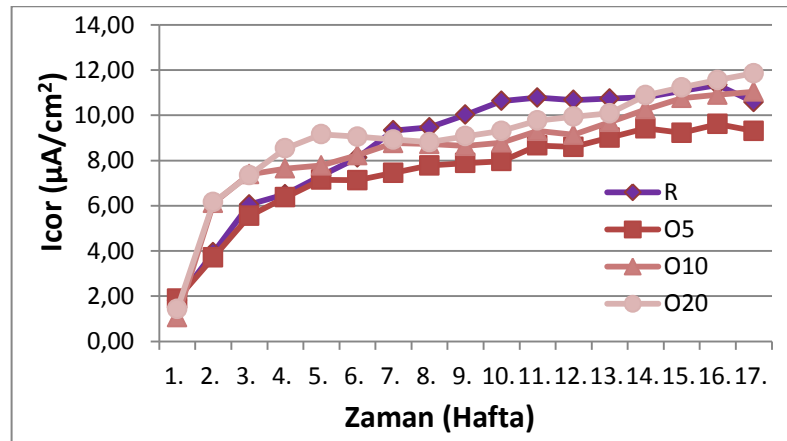
Şekil 4.32’de KA’lı numunelerin korozyon süresi boyunca ölçülen korozyon akım yoğunluk değerlerinin ortalamaları verilmiştir.



Şekil 4.32. KA’lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon akımı (I_{cor}) değerleri

Şekil 4.32 incelendiğinde KA’nın %5 ve %10 oranlarında kullanımı ile korozyon akım hızının referans numunelere göre sırası ile %4.90 ve %1.71 oranlarında azalırken %20 KA içeren numunelerde korozyon akım yoğunluklarında %18.93 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

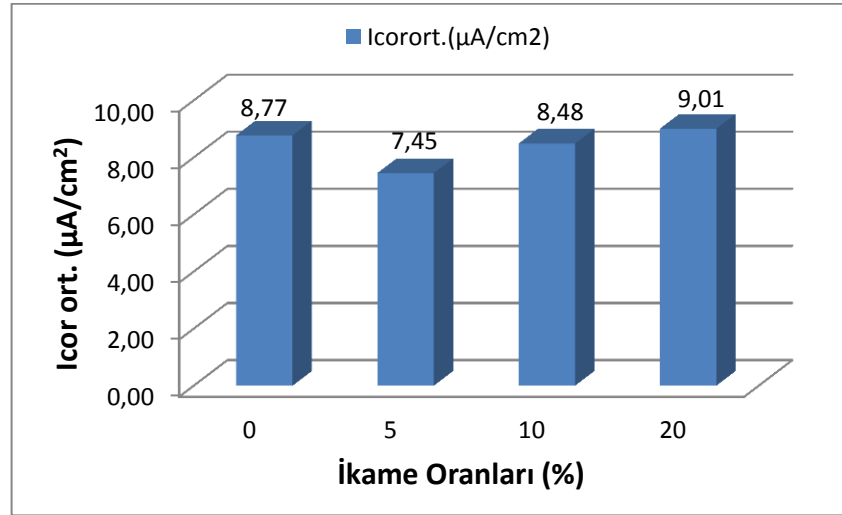
Şekil 4.33’de OA’lı numunelerin korozyon akımı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.33. OA’lı numunelerin korozyon akımı (I_{cor}) değerleri

Şekil 4.33 incelendiğinde korozyon süresinin ilk 5 hafta boyunca %5 OA kullanılan numunelerin korozyon akım yoğunluğu değerleri referans numunelerden elde edilen değerlerle paralel değişirken, 7. haftadan sonra %5, %10 ve %20 oranlarında OA kullanımının korozyon akım yoğunluğunu referans numunelere göre azalttığı görülmüştür. Korozyon sürecinin 14. haftasından sonra en düşük korozyon akımları sırası ile %5 ve %10 OA kullanılan numunelerde ölçülürken referans numuneler ve %20 OA kullanılan numuneler daha yüksek korozyon akımı değerleri sergilemişlerdir.

Şekil 4. 34’de OA’lı numunelerinin 17 haftalık korozyon ölçümleri sonundaki ortalama korozyon akımı (I_{cor}) değerleri verilmiştir.



Şekil 4.34. OA’lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama korozyon akımı (I_{cor}) değerleri

Şekil 4.34 incelendiğinde OA’nın %5 ve %10 oranlarında kullanımı ile referans numunelere (%0) göre korozyon akımı (I_{cor}) değerlerinin sırasıyla %15.05 ve %3.31 oranlarında azaldığı gözlenmiştir. % 20 OA kullanımının ise korozyon akımını %2.74 oranında arttırdığı görülmüştür.

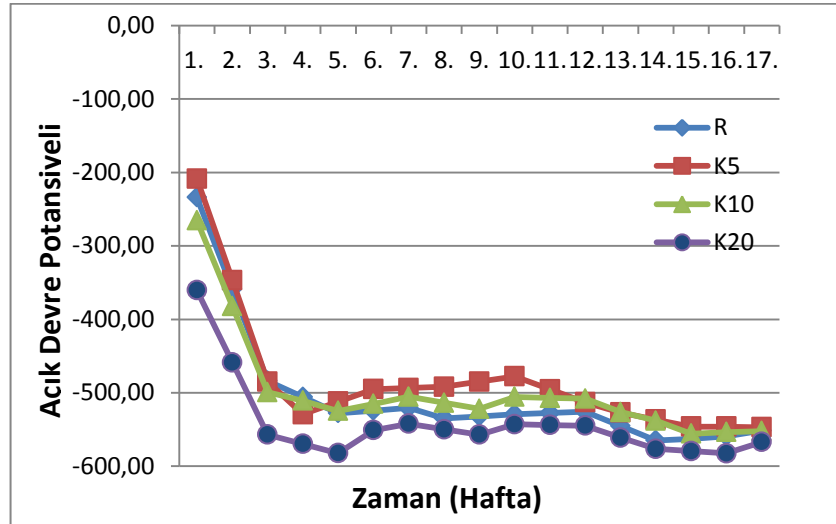
Benzer olarak Baradan ve Yiğiter, (2008), çalışmalarında çimento yerine kullanılan %40 uçucu kül ve %10 silis dumanlı normal beton ile yüksek performanslı betonu %3.5 NaCl çözeltisinde 200 çevrime kadar ıslanma-kuruma çevrimine tabi

tutulmasının %40 uçucu külün, %10 silis dumanından daha iyi performans göstererek katkısız betonlara göre korozyon akımını azalttığını bildirmişlerdir.

4.8.5. Açık devre potansiyeli (OCP) bulguları

17 hafta boyunca korozyona maruz bırakılan krom ve olivin atıklı numunelerin korozyon potansiyelleri (OCP) ölçümlerine ait bulgular bu bölümde verilmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen deneysel bulgular Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38’de grafik olarak gösterilmiştir.

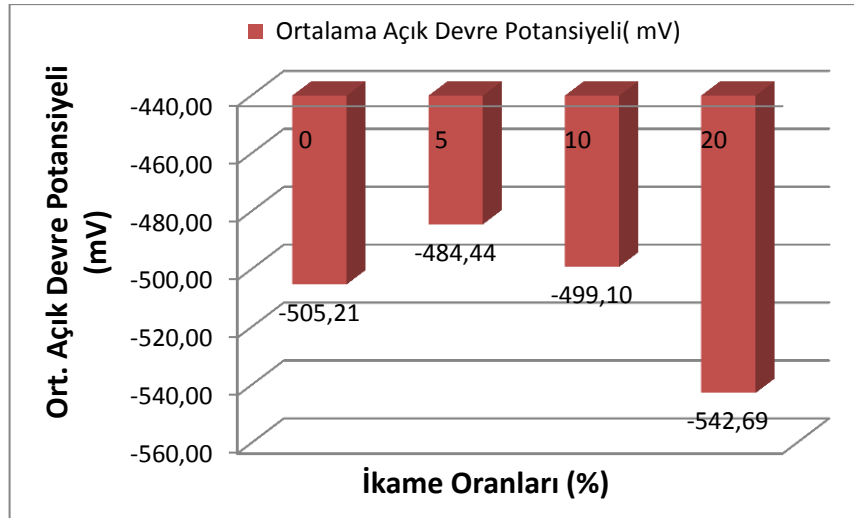
Şekil 4.35’de KA’lı numunelerinin açık devre potansiyeli ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.35. KA’lı numunelerin açık devre potansiyeli değerleri

Şekil 4.35 incelendiğinde OCP değerlerinin %5 ve %10 KA içeren numunelerin referans ve %20 KA içeren numunelere nazaran daha olumlu olduğu görülmektedir.

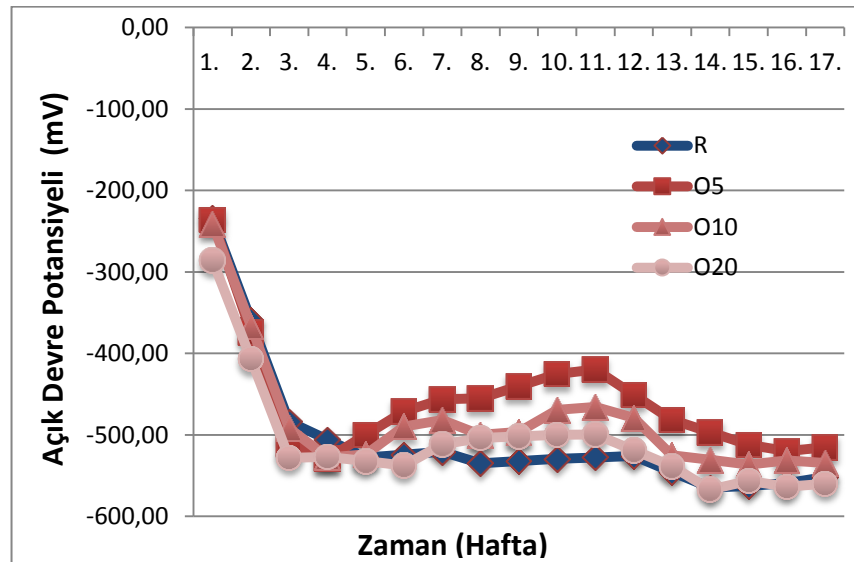
Şekil 4. 36’da KA’lı numunelerin ortalama OCP ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.36. KA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama açık devre potansiyeli değerleri

Bütün OCP değerlerinin %5 ve %10 KA kullanımı, referans numunelere (%0) göre sırası ile %4.11 ve %1.21 oranlarında daha düşük kalırken, %20 KA için %7.42 daha fazla olmuştur.

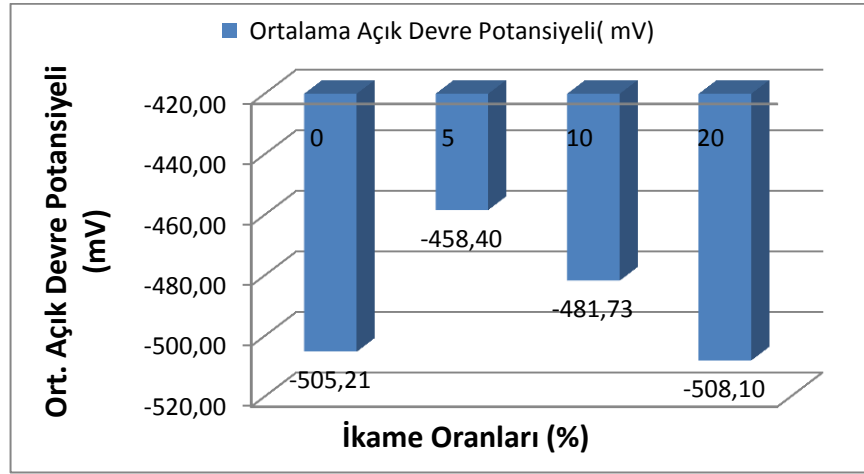
Şekil 4.37'de OA'lı numunelerinin açık devre potansiyeli değerleri verilmiştir.



Şekil 4.37. OA'lı numunelerin açık devre potansiyeli değerleri

Şekil 4.37'den görüleceği gibi en olumlu OCP değerini %5 OA içeren numuneler sergilemişlerdir. En küçükten büyüğe doğru OA içerikleri %10 ve %20 olarak

sıralanmış en olumsuz korozyon potansiyel değerlerini referans ve %20 OA içeren numuneler göstermiştir.



Şekil 4.38. OA'lı numunelerin 17 haftalık korozyon süreci sonunda elde edilen ortalama açık devre potansiyeli değerleri

Korozyon potansiyelinin daha detaylı incelenebilmesi amacı ile oluşturulan Şekil 4.38'de OA'lı numunelerin tüm korozyon sürecinden elde edilen ölçüm değerlerinden hesaplanan ortalamaları verilmiştir. Elde edilen ortalama değerler, %5 ve %10 oranlarında OA kullanımının, referans numunelere (%0) göre daha olumlu değerler vermiş; sırası ile %9.27 ve %4.65 oranlarında daha düşük OCP değerleri sergilemişlerdir. %20 oranında OA içeren numunelerde referans numunelerden %0.57 daha büyük OCP değeri ölçülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, krom ve olivin atıklarının betonda, çimento ağırlığının belirli oranlarında ikame edilerek kullanılmasının durabilite özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Araştırma kapsamında krom ve olivin atıklı beton numuneler referans numunelerle karşılaştırılmak amacı ile bazı mekanik deneylere ve korozyon deneylerine tabi tutulmuştur. Krom ve olivin atıklarının kullanımı ile üretilen çelik donatılı numuneler, 17 hafta boyunca (120 gün) korozyon ortamında bekletilmiş ve haftalık olarak yapılan Lineer polarizasyon ölçümleri sonucunda, korozyon hızı, R_p (polarizasyon direnci), $E_{(t=0)}$ korozyon potansiyeli, I_{cor} (korozyon akımı) ve açık devre potansiyeli (OCP) değerleri elde edilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- ❖ Atıklı numuneler, işlenebilirlik açısından referans numunelerle karşılaştırıldığında; KA'lı numunelerde atık oranının artışıyla çökme miktarının arttığı görülmüştür. OA'lı numunelerde atık miktarının artmasıyla çökme miktarında doğrusal bir değişim gözlenmemiştir.
- ❖ KA ve OA oranının artışıyla sertleşmiş betonun yoğunluğunda referans betonun yoğunluğuna oranla KA'lı numunelerde yaklaşık % 2, OA'lı numunelerde yaklaşık %1 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Bu azalma atık yoğunluklarının (KA: 2.51 g/cm³, OA: 3.00 g/cm³) çimento yoğunluklarına (3.16 g/cm³) göre daha az bir değere sahip olmasıyla ilgili olabilir.
- ❖ Referans numunelere göre KA ve OA oranı arttıkça ultrases geçiş hızı değerlerinde azalma meydana gelmesine rağmen Çizelge 4.1'deki değerlere göre özellikle 28 günlük betonlar, beton kalitesi açısından mükemmel olarak ifade edilen 4.5 km/s değeri üzerinde yer almışlardır. Sadece 7 günlük C30-K20 ile C30-K40 ve C30-O40 kodlu numunelerin ultrases geçiş hızları 4.5 km/s altında kalmasına rağmen, iyi kalite düzeyini ifade eden 3.5-4.5 km/s aralığındadırlar.

- ❖ Referans numuneler ile karşılaştırıldığında genel olarak KA'lı ve OA'lı numunelerin yüzey sertliği değerlerinde katkı kullanım oranının artışına paralel olarak azalma meydana gelmiştir. KA'nın kullanımı ile yüzey sertliği değerleri 28 günlük numuneler için %5-10-20 ve 40 oranları aralığında katkı kullanımına bağlı olarak referans numunelere göre %8'den %33'e kadar değişen oranlarda azalmaktadır. Aynı yaştaki OA'lı numunelerde yüzey sertliği değerleri; %5 OA kullanımı için, referans numuneye göre yaklaşık %13 oranında bir azalmaya neden olurken, %40 katkı kullanım oranı için %30 azalma gözlemlenmiştir.
- ❖ Kılcal (kapiler) su emme oranı değişimi KA kullanımı ile referans numunelerle atıklı numuneler karşılaştırıldığında, kapiler etki iyiden kötüye doğru; %5, R (%0), %20, %10, %40 şeklinde sıralanmaktadır. OA'lı beton numuneler ise referans numunelere, kapiler etki iyiden kötüye doğru; %5-%10- R (%0)- %20- %40 şeklinde sıralanmaktadır. Beton karışımlarında %5 oranında KA ve %5 - %10 oranlarında OA kullanımı ile betonun kılcal (kapiler) geçirimsizlik oranında iyileşme olduğu belirlenmiştir.
- ❖ Kütlece su emme oranı değerleri, %0 (referans), %5-10-20-40 KA'lı numuneler için sırası ile %2.27-1.25-2.98-3.12-3.93 olarak sıralanmıştır. Referans numunelerin kütlece su emme oranı değerleri %100 kabul edildiğinde, %5 KA içeren numuneler %45 daha az su emme oranı değerlerine sahip iken, %10,%20,%40 KA içeren numunelerde sırasıyla %31-%37-%73 oranlarında daha fazladır. OA'lı numuneler arasında Referans, %5-10-20-40 ikame oranları için sırası ile %2.27-2.50-2.57-2.86-3.63 olarak sıralanmaktadır. Buna göre referans numuneler %100 kabul edildiğinde sırası ile kütlece su emme oranı değerleri %10.13, %13.22, %25.99, %59.91 oranlarında artış göstermişlerdir. Porozite değerleri, referans numunelere göre %5 KA miktarının poroziteyi diğer numunelere oranla olumlu etkilediği söylenebilir. Genel olarak, KA'lı numunelerde, %5 dışındaki ikame oranlarında, atık kullanım oranının artışına bağlı olarak porozite değerlerinde artış eğilimi gözlenmiştir. Beton numunelerde çimento yerine, OA ikame oranı artışına bağlı olarak, porozite değerlerinde referans numunelere göre artış eğilimi vardır.

- ❖ KA'lı ve OA'lı beton numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri referans numunelere göre genel olarak katkı oranı arttıkça basınç dayanımlarında azalma eğilimi sergilemişlerdir. Bu azalma eğilimine rağmen %40 KA'lı ve OA'lı numunelerin haricindeki (%5,%10 ve %20) numuneler bu çalışmada hedef basınç dayanımı olan C30'un üzerinde kalmışlardır.
- ❖ 17 haftalık korozyon ölçüm süreci boyunca ölçülen korozyon hızı değerlerinin ortalamalarına göre hem OA hem de KA birbirlerine benzer davranış sergilemişlerdir. %5-%10 OA'lı ve %5-%10 KA'lı numunelerin Korozyon hızı değerleri, Referans numunelere göre nispeten düşük kalmıştır. Hem OA hem de KA'lı numunelerden %20 atık içeren numuneler en yüksek korozyon hızı değerlerine sahiptirler. KA ve OA'nın betonda kullanımı, betonun durabilitesine (kalıcılık) olumsuz etkilemediğinden çevre kirliliğini azaltarak, beton üretim maliyetini azalabilecek ve çevre korumaya olumlu etkiler sağlayacaktır.
- ❖ KA'lı, OA'lı ve referans numunelerinin, %5 NaCl çözeltisine 17 hafta süresince maruz bırakılmalarına bağlı olarak ölçülen polarizasyon dirençlerinin (R_p) zamanın artışına bağlı olarak düşüş eğilimi sergilemiştir. KA'lı numunelerde, 17 hafta boyunca yapılan korozyon ölçümlerinin sonunda elde edilen ortalama polarizasyon direnç değerlerine göre numuneler iyiden kötüye doğru R, %5, %10 ve %20 olarak sıralanmış ve bu numunelerden elde edilen değerler sırası ile 0.79-0.75-0.74-0.70 Kohm olarak ölçülmüştür. Krom atıklarının çimentonun yerine %5-20 oranları arasında kullanımı ile R_p değerleri çok olumsuz etkilenmemektedir. Bu nedenle donatı korozyonu direnci açısından KA'nın betonda kullanımı çevre kirliliği oluşturan KA'nın bertarafı için bir alternatif olarak değerlendirilebilecektir.
- ❖ OA'lı numuneler ise ortalama R_p değerleri açısından iyiden kötüye doğru atık içerik oranına göre %10, %5, R, %20 sıralanmıştır(sırası ile 0.81-0.80-0.79-0.73Kohm). OA'nın çimento yerine %5 ve %10 oranlarında kullanımının betonun R_p değerini artırması nedeni ile korozyona karşı OA'lı betonun içerisindeki donatı çeliğini en az, referans beton kadar koruyabilir.

- ❖ KA'lı, OA'lı ve referans numunelerden elde edilen korozyon potansiyel değerleri ($E_{(I=0)}$) korozyon sürecinin ilk 3 haftasında belirsiz bölgede yer alırken, sonraki haftalarda %90 ihtimalle korozyon olan bölgeye geçmiştir. KA kullanımı referans numunelere göre korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerlerini %5 ve %10 KA içeren numunelerde azaltırken, %20 KA içeren numunelerde ise arttırmıştır. OA kullanımı referans numunelere göre korozyon potansiyeli ($E_{(I=0)}$) değerlerini, %5 ve %10 oranlarında azaltırken, %20 oranında OA kullanım durumunda ise referans numuneye benzer değerler sergilemiştir. Korozyon potansiyelinin artışıyla korozyon hızı arttığından %5 ve %10 oranında KA ve OA kullanımı, korozyon potansiyelini azalttığı için betonun durabilitesine olumlu katkı sağlayacağı sonucuna varılabilir.
- ❖ KA ve OA'lı beton numunelerinin referans numunelere göre korozyon akımı (I_{cor}) değerleri kıyaslandığında %5 ve % 10 KA kullanılan numunelerde korozyon akımı (I_{cor}) değerlerinde olumsuz bir etki gözlenmemiş, %20 KA içeren numunelerde ise %18.93 oranında artmıştır. OA'lı numunelerde ise %5 ikame oranı için korozyon süresinin ilk 5 hafta boyunca korozyon akım yoğunluğu değerleri referans numunelerden elde edilen değerlerle çok yakın iken, 7. haftadan sonra %5, %10 ve %20 oranlarında OA kullanımının korozyon akım yoğunluğunu referans numunelere göre azalttığı görülmüştür. Korozyon sürecinin 14. haftasından sonra en düşük korozyon akımları sırası ile %5 ve %10 OA kullanılan numunelerde ölçülürken, referans numuneler ve %20 OA kullanılan numuneler daha yüksek korozyon akımı değerleri sergilemişlerdir. Korozyon akımının (I_{cor}) artışıyla korozyon hızı da arttığından, betonda %5 ve % 10 oranlarda KA ve OA kullanımı durabilite bakımından herhangi bir olumsuzluğa neden olmayacaktır.
- ❖ KA'lı ve OA'lı numuneler referans numunelerle genel olarak ve 17 haftalık ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin ortalamaları açısından karşılaştırıldığında OCP (açık devre potansiyeli) değerlerini, KA'lı numunelerden %5 ve %10 KA içeren numunelerin referans ve %20 KA içeren numunelere nazaran daha olumlu olduğu görülmektedir. OA'lı numunelerden en olumlu OCP değerini %5 OA içeren numuneler sergilemişlerdir. En olumsuz korozyon potansiyel değerlerini referans ve %20

OA içeren numuneler göstermiştir. Buradan da KA ve OA'nın betonda kullanımının açık devre potansiyelini (OCP) azaltmada betonun durabilitesine olumlu katkı sağlayacağı söylenebilir.

Genel bir değerlendirilme yapıldığında, krom ve olivin atıklarının betonda %5 oranında çimento ile yer değiştirilerek kullanımının durabilite özelliklerini genel anlamda olumlu etkilemesi nedeni ile atıkların bertarafı için yeni bir alan ve azaltılacak olan çimento üretiminden enerji tasarrufu, ülke yer altı kaynaklarının verimli kullanımına katkı sağlayacağı beklenebilir. Yapı malzemelerinde durabilite problemlerinin çözülmesine yardımcı olarak yapı sektöründe sürdürülebilirlik temin edilecektir.

Olivin ve krom atıklarının betonda çimento yerine mineral katkı olarak kullanımının yapılacak analizler ile enerji tasarrufu ve ekonomiklik açısından değerlendirilmesi, ileri çalışmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Acar, B., 2003. Olivinin Sanayiye Yönelik Kullanım Özelliklerinin Tespiti: Çayırbağı (Konya) ve Kızıldağ (Akseki) Olivinleri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63 s., Konya.
- ACI 201 2R-92, 1992. Guide to Durable Concrete. Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Detroit.
- ACI 222 R-01, 2001. Protection of Metals in Concrete Against Corrosion. American Concrete Institute.
- Akgün, Y., Durmuş, A. G., Durmuş, A., 2007. Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri. 7. Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler kitabı, s. 465-474.
- Akın, M., 2009. Kalsit Katkılı Betonların Geçirimlilik ve Durabilite Deneyleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 122 s., İstanbul.
- Akman, M.S. ve Taşdemir, M.A., 1977. Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu. Ulusal Perlit Kongresi, s: 40-48, Ankara.
- Akman, M. S., 1987. Yapı Malzemeleri. İTÜ Yayınları, no: 1396, 162 s., İstanbul.
- Akman, S.M., 1992. Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi. İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, yayın no: 1481, İstanbul.
- Akman, M.S., 2003. Gecikmiş Etrenjit Oluşumu (DEF). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 5.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s. 9-16.
- Aköz, F., Çakır, Ö., 2013. Betonarme Korozyonu. Beton 2013 Kongresi, s. 162-186, 21-23 Şubat, İstanbul.
- Aksüt, A., A., 1982. İnhibitörler ve Bunların Korozyonu Önleme Mekanizması. Standart Ekonomik ve Teknik Dergi, s. 18-31.
- Ağaçayak, T., 2004. Topraktepe (Yeşildağ-Beyşehir-Konya) Kromitlerinin Zenginleştirme Yöntemlerinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 111 s., Konya.
- Anonymous, 2013. Web sitesi. www.webelements.com, Erişim Tarihi: 12.03.2013.
- Anonim, 2013. Web sitesi. <http://www.iksa.com.tr>, Erişim Tarihi: 30.12.2013.
- Arslan M., Çullu M., 2006. Ankara Yöresindeki Bazı Agreg Ocaklarının Alkali Silika Reaktivitesi Açısından İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt: 21, No: 4, s. 613-620.

- Asthana, K.K., Aggarwal L.K., Lakhani R., 1999. A Novel Interpenetrating Polymer Network Coating for the Protection of Steel Reinforcement in Concrete. Cement and Concrete Research, pp. 1541-1548.
- ASTM C 597, 1998. Standart test method for pulse velocity through concrete. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C 876, 1991. Standart test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. American Society for Testing and Materials.
- Atış, C. D., 2001. Uçucu Kül İçeren, Silindirle Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri. Turk J Engin Environ, Sci 25, s. 503-515, TÜBİTAK.
- Atkinson, J., T., N., Vandroffelaar, H., 1985. Corosion and Its Control. Nace, March.
- Aydınlı, N., 2008. Plazma Sprey Kaplamada Olivinin Değerlendirilmesi ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Met. Mal. Müh. A.B.D., 93 s., Sakarya.
- Badogiannis, E., Tsivilis, S., 2009. Exploitation of Poor Greek Kaolins: Durability of Metakaolin Concrete. Cement & Concrete Composites, v: 31, pp. 128–133.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., 2001. Beton Teknolojisi. Yapı Denetimi El Kitabı, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Dokuz Eylül Üni. Müh. Fakültesi Yayınları, birinci basım, Yayın No: 298, ISBN: 975-441-189-1, 282 s.
- Baradan, B., Yazıcı, H., 2003. Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 4/ 426, s. 62-69.
- Baradan, B., Yiğiter, H., 2008. Mineral Katkıların Donatı Korozyonuna Etkisinin Elektrokimyasal Yöntemlerle İncelenmesi. Beton Prefabrikasyon Dergisi, sayı 86, s. 5-15.
- Baradan B., Aydın S., 2013. Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). Beton 2013 Kongresi, s. 264-288, 21-23 Şubat, İstanbul.
- Bayhan, B., 2006. Deprem Hasarlarının Bir Bileşeni Olarak Alkali-Silika Reaksiyonları. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık A. B. D., Yüksek Lisans Tezi, 119 s., İstanbul.
- Berke, N., S., Hicks M., C., 2004. Predicting Long-Term Durability of Steel Reinforced Concrete with Calcium Nitrite Corrosion Inhibitor. Cement & Concrete Composites, v: 26, pp. 191–198.

- Beycioğlu, A., Doğan, D., Çullu, M., Şamandar, A., 2010. Alkali Silika Reaksiyonu ve Beton Durabilitesine Etkileri. Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, 21-22 Ekim 2010, Düzce.
- Binici, H., Kaplan, H., Yaşarer, F., 2009. Pomza Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonların Durabilitesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13-1, s. 40-47.
- Binici, H., Aksoğan, O., 2011. The use of Ground Blast Furnace Slag, Chrome Slag and Corn Stem Ash Mixtures as a Coating Against Corrosion. Construction and Building Materials, v: 25, pp. 4197–4201.
- Biricik, H., 1999. Su Geçirimsizliğinin Puzolan Malzeme İle Azaltılması. Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı, MMO Yayın no 213, 91-104.
- Bockris, J. O. M., Reddy, A. K. N., 1977. Modern Electrochemistry. vol: 2, Plenum Press, New York.
- Boğa, A., R., 2005. Uçucu Küllü Betonarme Elemanlarda Donatı Korozyonunun Hızlandırılmış Yöntemlerle Araştırılması. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 97 s., Eskişehir.
- Collepardi, M., 1997. A Holistic Approach to Concrete Damage Induced by Delayed Ettringite Formation. Mario Collepardi Symposium on Advances in Concrete Science and Technology, Edit by P.K. Metha, A part of 5th CANMET/ACI Inter, Conf., on Superplasticiser and Other Chemical Admixtures in Concrete, Rome, pp. 373- 396.
- Commission of the European Communities, 2003. Proposal for a Directive of the European Parliament and of The Council on the Management of Waste from the Extractive Industries. COM, 319 final.
- Çakır, Ö., 2006. Yüksek fırın Cürufunun Betonun ve Betonarmenin Kalıcılığına (Durabilitesine) Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Doktora Tezi, 153 s., İstanbul.
- Çetiner, G. E., Ünver, B., Hindistan, M. A., 2006. Maden Atıkları ile İlgili Mevzuat : Avrupa Birliği ve Türkiye, Madencilik. Cilt 45, Sayı 1, s. 23 - 34
- Çevik, E., 2006. Topuk Köyü ve Civarındaki (Orhaneli, Bursa) Dünitleri Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri ve Olivin Açısından Endüstriyel Kullanımının Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113 s., İstanbul.
- Çilingir, Y., 1990. Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri. Cilt 1, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, s. 3.1-3.19, İzmir.

- Çoban, Ö, Sancak, E., 2013. Krom Atığı Katkılı Harçların Puzolanik Aktivite ve Kılcallıklarına Farklı Kür Sularının Etkisi. BETON 2013 Kongresi, s. 313-323, 21-23 Şubat, İstanbul.
- Çolak, A., 2007. Effects of Chrome Oxide and Limestone Filler on the Wear Characteristics of Paste and Concretes Made with White Portland Cement. Construction and Building Materials, v: 22, pp. 2276–2280.
- Değirmenci, A., 2006. Silis Dumanı Katkısının Betonarme Çeliği Korozyonuna Etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 89 s., Ankara.
- Diamond, S., Barneyback, R. S. Jr., Stuble, L.J., 1981. On the Physics and Chemistry of Alkali-Silica Reactions, Proceedings of the Fifth Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Pretoria, South Africa, National Building Research Institute, pp. 1-11.
- Dinakar, P., Babu, K.G., Santhanam, M., 2008. Durability Properties of High Volume Fly Ash Self Compacting Concretes. Cement & Concrete Composites, v: 30, pp. 880–886.
- Dinçer, A., 2013. Pomza, Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 100 s., Kahramanmaraş.
- Doğan, Ü., A., 2008. Beton Bileşim Parametrelerinin Geçirimsizlik Özellikleri ve Gömülü Çelik Donatı Korozyonuna Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D., Yapı Müh. Programı, Doktora Tezi, 135 s., İstanbul.
- Doruk, M., 1982. Korozyon ve Önlenmesi. ODTÜ Mühendislik Fakültesi Baskı İşliği, 248s.
- DPT, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeleri II (Refrakter Killer ve Şiferton- Manyezit- Dolomit- Olivin- Zirkondisten, Silimanit, Andaluzit) Çalışma grubu Raporu. DPT: 2612, ÖİK: 623, s. 69-84, Ankara.
- D.P.T., 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, DPT:2626-ÖİK:637, Ankara.
- Durmuş, A. ve Gürsoy, Y., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Başlıca Özellikleri. Hazır Beton Yayın Organı, Hazır Beton Dergisi, sayı:38-39-40.
- Elsener, B., Büchler, F., Stalder, F., Böhni, H., 1999. Migrating Corrosion Inhibitor Blend for Reinforced Concrete: Part 1 – Prevention of Corrosion. Corrosion, 55[12], pp. 1155-1163.

- Elyiğit, A., 2011. Bor Kaplamalı Betonarme Çeliğinin Korozyona Etkisinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri, Yapı Eğitimi A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 78 s., Isparta.
- Emiroğlu, M., Koçak, Y., Subaşı S., 2011. Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- Er, B., 2011. Multi Gravite Cihazlarının Krom Cevheri Zenginleştirmesindeki Etkilerinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 91 s., İzmir.
- Erbil, M., 1980. Korozyon İnhibitörleri ve Etkinliklerinin Saptanması. Çukurova Üniversitesi Matbaası, 148s, Adana.
- Erdoğan, T. Y., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler, Karışım ve Bakım Suları, Agregalar, Çimentolar. ODTÜ, Ankara.
- Erdoğan, T. Y., 2003. Beton". ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş. Yayını, 1. Basım, Sayfa No: 1-741, Semih Ofset Matbaacılık Yayıncılık ve Ambalaj Dağıtım A. Ş., Ankara.
- Erdoğan, Ş., Kubetçi, Ş., 2003. Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, Cilt 4, Sayı 426, s. 155-120.
- Erten, E., 2009. Deniz Suyunun Çimento Tipi Farklı Harçların Mekanik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 259 s., İzmir.
- Escalante, E., Ito, S., 1990. Measuring the Rate of Corrosion of Steel in Concrete, in Corrosion Rates of Steel in Concrete. ASTM STP 1065, N.S.Berke, V.Chalker and D. Whitting, Eds., pp.86-102, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Goho, A., 2005. Concrete Nation. Science News, Society for Science and the Public, pp: 7-8,11.
- Görür, B., E., 2007. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 83 s., Kahramanmaraş.
- Gülderen, M., 2011. Çelik Endüstrisi Atıklarının Beton Özelliklerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A. B. D., Yüksek Lisans Tezi, 85 s., İzmir.

- Gümüş, M., 2007. Alüminyum Yüzeyler İçin Antikoroziyon Boya ve Kaplama Şekillerinin Geliştirilmesi ve Kaplama Altı Korozyon Davranışlarının Elektrokimyasal Yoldan İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 109 s., Ankara.
- Gürsoy, Y., 1997. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 136 s., Trabzon.
- Haberal, Y., 2010. Uçucu Küllü Betonlarda Klor İyonu Geçirgenliğinin ve Donatı Korozyonunun İncelenmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 90 s., Eskişehir.
- Hassan, A.A.A., Lachemi, M., Hossain, K. M.A., 2012. Effect of Metakaolin and Silica Fume on the Durability of Self-Consolidating Concrete. Cement & Concrete Composites, v: 34, pp. 801–807.
- Hearn, N., Hooton, R. D., Mills, R. H., 1994. Pore Structure and Permeability. Concrete and Concrete-Making Materials, Edited by: Klieger, P. and Lamond, J., ASTM STP 169C, pp. 240-262.
- Heinz, D., Ludwing, V., Nasr, R., 1982. Modellbesuch zur Klarung von Schadensursachen an Wärmebehandlung von Mörteln und Späte Ettringitbildung". TIZ 106, No., pp. 118-183.
- Hime, W., G., 1996. Clinker Sulfate: A Cause for Distress and a Need for Specification. In Concrete for Environment Enhancement and Protection, Edited by R.K. Dhir and T. D. Dyer, E & FN Spon Publ. London.
- Kalla, P., Misra, A., Gupta, R., C., Csetenyi, L., Gahlot, V., Arora, A., 2013. Mechanical and Durability Studies on Concrete Containing Wollastonite–Fly Ash Combination. Construction and Building Materials, v: 40, pp. 1142–1150.
- Kadiroğlu, İ., 2012. Kendiliğinden Yerleşen Normal Dayanımlı Hafif Beton Üzerine DeneySEL Bir Çalışma. Erişim tarihi: 06.12.2012, www.as-beton.com/.../kendiliginden_yerlesen_hafif_beton.pdf
- Kanarya, A., 2010. Olivin Kalıp Kumlarının Özelliklerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi A.B.D., 120 s., Ankara.
- Karaboğa, F., 2012. Klorür Kirlenmesine Maruz Bırakılmış Metakaolin İçeren ve İçermeyen Beton İçerisindeki Donatının Korozyon Direnci. Gazi Antep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 52 s., Gaziantep.
- Karagüler, M. E., 2003. Onarım Harçlarında Performans Kriterleri ve Durabilite Sorunu. Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı: 426, cilt: 4, syf. 151-155.

- Karakule, F., Akakın, T., Uçar, S., 2005. Türkiye’de ve Dünya’da Hazır Beton Sektörü. Türkiye Hazır Beton Birliği, Erişim tarihi: 14.12.2012, <http://www.thbb.org/Files/File/%5B1-12%5D.pdf>
- Kayali, O., Zhu, B., 2005. Corrosion Performance of Medium-Strength and Silica Fume High-Strength Reinforced Concrete in a Chloride Solution. *Cement & Concrete Composites*, 27 (2005), pp. 117–124.
- Keleştemur, O., 2002. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde Üretimi Yapılan PKÇ/B 32,5 R Çimentosunun Betonarme Yapılardaki Donatı Korozyonuna Etkisinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 102 s., Elazığ.
- Keleştemur, O., Demirel, B., 2010. Corrosion Behavior of Reinforcing Steel Embedded in Concrete Produced with Finely Ground Pumice and Silica Fume. *Construction and Building Materials*, v: 24, pp. 1898–1905.
- Kıdıman, F., B., 2009. Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 90 s., Adana.
- Kılınçkale, F., 2003. Betonda Dayanıklılık. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, sayı 427, s. 32-33.
- Koluçolak, M., 2012. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Beton Boruların Tepe Yüğü Dayanımları ve Durabililite Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., 107 s., Kahramanmaraş.
- Kurt, E. B., 2007. Silis Dumanının Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 115 s., İstanbul.
- Kurtis K.E., Meyer-Ilse, W., Monteiro, P.J.M., 2001. Soft X-ray Spectromicroscopy for in situ Study of Corrosion. *Corrosion Science*, 42: 1327- 1336.
- Küçük, B., 2000. Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt: 6, sayı: 1, s. 79-85.
- Lemoine, L., Wenger, F., Galland, J., 1990. Study of the Corrosion Concrete Reinforcement by Electrochemical Impedance Measurement. in *Corrosion Rates of Steel in Concrete*, ASTM STP 1065, N.S.Berke, V.Chalker and D. Whitting, Eds., pp.118-133, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Lowinska-Kluge, A., Blaszczyński, T., 2012. The Influence of Internal Corrosion on the Durability of Concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, v: 12, pp. 219 –227.

- Mamaş, S., 2003. Alüminyumun Polipirol Filmlerle Kaplanması ve Korozyona Karşı Etkinliğinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81 s., Ankara.
- Mather, B., 2004. Cement and Concrete Composites, Concrete Durability. Elsevier, v. 26, pp: 3-4.
- Menekşe, C., 2008. Klorürlü Ortamdaki Betonarme Çeliğinin Korozyonuna Asetat ve Yapı Kimyasalının Etkisinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 79 s., Adana.
- Mermerdaş, K., 2006. Metakaolinin Havada ve Suda Kür Edilmiş Betonların Dayanım ve Durabilite Özellikleri Üzerine Etkisi. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94 s., Gaziantep.
- Millitrath, K., 2003. Modifying Concrete Matrices with Beneficiated Dredged Material or Other Clayey Constituents. Columbia University, School of Art and Science, Doctoral Thesis, 124 pp., Columbia.
- Mirdalı, N., 2007. Krom Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Seramik Malzemelerde Kullanım olanakları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Müh. A.B.D., Doktora Tezi, 135 s., Adana.
- Moore, W. J., 1999. Physical Chemistry. Prentice Hall, 5th Edn., 977 pp., New Jersey.
- M.T.A, 2013, “Krom Cevheri 1”, Dökümantasyon, M.T.A. web kütüphane, M.T.A dergisi,8s,ErişimTarihi:12.03.2013,www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/bdt/kutuphane/.../14_7.pdf .
- Neville, A. M., 1981. Properties of Concrete . Longman Scientific & Technical, England,pp. 155-166.
- Neville, A. M., 1983. Properties of Concrete. Longman Scien and Tech., Avon, 779 p.
- Neville, A. M., 1990. Properties of Concrete. Third Edition, Longman Scientific and Technical, New York.
- Neville, A.M., 2011. Properties of Concrete. 5th Final Edition, 884 p., London.
- Önal, G.,Özpeker, I., Doğan, Z.,Altıntığ, A. Ve Renda, D., 1995. Türkiye Krom Envanteri. İMMİB, Mart, İstanbul.
- Özger, O., B., 2011. Farklı Türde Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Geçirimlilik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 155 s., İstanbul.
- Özışık, G., 2000. Beton. Birsen Yayınevi, No:0029, 360 s.,İstanbul.

- Özkarakaşoğlu, N., 2006. Amino Modifiye Sililleştirilmiş Olivinin Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 78 s., İstanbul.
- Philipp, J., Clifton, J.R., 1992. Concrete as an Engineered Alternative to Shallow Disposal of Low Level Nuclear Waste. Overview Fourth CANMET/ACI International Conference On Fly Ash, Silica Fume, slag and Natural Pozzolans in Concrete, Volume:1, P:713-730, Istanbul.
- Postacıoğlu, B., 1989. Beton : Cilt 2 Agregalar ve Beton. İstanbul Teknik Üniversitesi, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 404 s., İstanbul.
- Rojas, M.F., Sánchez de Rojas, M.I., 2004. Chemical assessment of the electric arc furnace slag as construction material: Expansive compounds. Cement and Concrete Research, 34(10), pp.1881-1888.
- Roper, H., Baweja D., 1992. Concrete Durability-Recent Solutions to Enduring Problems. Advances in Concrete Technology, Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- Sabet, F., A., Libre, N., A., Shekarchi, M., 2013. Mechanical and Durability Properties of Self Consolidating High Performance Concrete Incorporating Natural Zeolite, Silica Fume and Fly Ash. Construction and Building Materials, v: 44, pp. 175–184.
- Sağlık, A., Kocabeyler, M., Orkun, Y., Halıcı, M., Tunç, E., 2013. Deriner Barajı ve Hes İnşaatı Kütle Betonunda Kullanılması Planlanan Agregalarda Alkali-Silis Reaksiyonu Riski ve Önlenmesine Yönelik Yürütülen Çalışmalar. Erişim tarihi: 04.02.2013, www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/10602.pdf.
- Samanlı, S., 1998. Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 63 s., İzmir.
- Sancak, E., 2005. Silis Dumanı Katkılı Bimsblokların Özellikleri. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A.B.D.,Doktora Tezi, 187 s., Ankara.
- Sancak, E., Şimşek, O., 2008. Influence of Silica Fume Addition on Pumice Concrete on Corrosion Behaviour of Reinforcement Bars. 7th International Congress Concrete: Construction's Sustainable Option: Concrete Durability, Achievement and Enhancement Section, pp. 237-248, June 2008, Dundee, Scotland.
- Saran, G., A., 2007. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 156 s., İstanbul.
- Sayın, Ş. A., 1989. Bursa-Orhaneli Kuzeyindeki Ultrabazik Kayaçlarındaki Olivinlerin Etüdü. Dergi No:., M.T.A.

- Sayın, Ş., A., 1995. Refrakter Sanayi Hammaddeleri (Olivin), VI. Beş Yıllık Kalkınma ÖİK Raporu, s. 170-191.
- Sha'at, A., Long, A., E., Montgomery, F.,R., Basheer, P.,A.,M., 1993. The Influence of Controlled Permeability Formwork Liner on the Quality of the Cover Concrete. Durable Concrete in Hot Climates, ACI, sp:139-6, pp: 91-105.
- Skalny, J., Marchand, J., Odler I., 2002. Sulfate Attack on Concrete. Spon Press, ISBN: 0-419-24550-2, 215 p., London and New York.
- Song, H., W., Saraswathy, V., 2007. Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures - A Review. International Journal of Electrochemical Science, 2(2007), pp. 1-28.
- Swamy, R.N., 1992. Alkali-Aggregate Reaction in Concrete; Material and Structural Implications. Sciences in Concrete Technology, Energy, Mines and Resources, Ottawa Canada, pp. 533-581.
- Subaşı, S., 2005. Farklı Yüzey Astarları ile Kaplanmış Drenaj Özelliği Bulunan Kalıpların Betonun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkileri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A. B.D., 201 s., Ankara.
- Subaşı, S., Arslan, M., 2008. Kalıp Yüzey Özelliklerinin Betonun Karbonatlaşması Üzerine Etkileri. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt: 23, No: 4, s. 913-921.
- Şahin F., M., 2002. Betonarmede Çelik Korozyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 76 s., İstanbul.
- Şengül, Ö., 2011. Klor İyonu Etkisindeki Betonarme Yapı elemanlarının Dayanıklılığı İçin Olasılığa Dayalı Tasarım. İMO Teknik Dergi, yazı 349, s. 5409-5423.
- Şimşek, O., 2012. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, 4. baskı, 285 s., Ankara.
- Şimşek, O., 2011. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri. Seçkin Yayıncılık, 4. baskı, 383 s., Ankara.
- Taşdemir, M.,A., 2002. Betonun Dayanım ve Durabilitesine Göre Tasarımı ve Üretimi. İMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, İstanbul. s. 1-7.
- Taşdemir, C., 2003. Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri. TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, Cilt 5, Sayı 427, s. 57-61.
- Taştan B., E., 2008. Atık sulardan Bakır (II), Bikel (II), Krom (VI) ve Reaktif Boyar Madde Gideriminde Aspergillus sp. Kullanımı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 78s., Ankara.

- Trezza, M.,A., Scian, A.,N., 2007. Waste with Chrome in the Portland Cement Clinker Production. Journal of Hazardous Materials, v: 147, pp. 188–196.
- Tevrizci, M., M., 2010. Metakaolin Katkılı Harçların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 202 s., İzmir.
- Topçu, İ.,B., 2006. Agregaların mekanik özellikleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Beton, Yayın No:2, Syf: 26, Eskişehir.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M., Karakurt, C., 2006. Beton Üretiminde Kimyasal Katkı Kullanımı. Gazi Üniversitesi. Politeknik Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, s. 59-63.
- TS 802, 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- TS 3260, 1978. Beton Yüzey sertliği Yolu ile Yaklaşık Beton Basınç Dayanımının Tayini Kuralı. TSE, Ankara.
- TS 3440, 1982. Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gaz Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları. TSE, Ankara.
- TS 3526, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık Ve Su Emme Oranı Tayini. TSE, Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. TSE, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu. TSE, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. TSE, Ankara.
- TS EN 206-1, 2002. Beton - Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. TSE, Ankara.
- TS EN 772-11, 2012. Kâgir Birimler - Deney Yöntemleri - Bölüm 11: Betondan, Gaz betondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kıl Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 1744-1, 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Kimyasal Analiz. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2010. Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini. TSE, Ankara.

- Uğurlu, A., 2003. Sulama Kanallarında Sülfat Problemi ve Çözüm Önerileri. 5. Ulusal Beton Kongresi, s. 567-574, İstanbul.
- U-Test Malzeme ve Test Cihazları, 2012. Erişim Tarihi: 29.07.2012. [www.utest.com.tr.http://www.utest.com.tr/tr/dokumanlar2.asp?SYF=kategori&ankid=65](http://www.utest.com.tr/http://www.utest.com.tr/tr/dokumanlar2.asp?SYF=kategori&ankid=65).
- Uygunoğlu, T., Yücel K., T., Yurtçu, Ş., 2006. Betonun Zararlı Ortamlardaki Durumu: Yer altı Suyu Etkisi. Teknolojik Araştırmalar, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, cilt:1, s. 29-35.
- Uygunoğlu, T., 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Doktora Tezi, 155 s., İsparta.
- Ünal, O, Yurtçu, Ş, 2007. Betonarme Yapılarda Hazır Beton Kullanımı. Teknolojik Araştırmalar, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, cilt:1, s. 51-64.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2007. Diotomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması. İMO Teknik Dergi, s. 4025 -4034, Yazı 266.
- Üncü, S., E., 2006. Kolofonun Betonarme Çeliği Korozyonuna Etkilerinin Tahribatsız Elektrokimyasal Yöntemlerle İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 96 s., Ankara.
- Vedalakshmi, R., Rajagopal, K., Palaniswamy, N., 2008. Longterm Corrosion Performance Of Rebar Embedded in Blended Cement Concrete Under Macro Cell Corrosion Condition. Construction and Building Materials 22 (2008), pp. 186–199.
- Yalçın, H., Koç, T., 2004. Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi. CMS Kongre Yönetim Sistemleri Uluslararası Organizasyon Yayıncılık Bilişim Hizmetleri Lmt. Şti., ISBN: 975-92264-1-3, 270 s., Ankara.
- Yılmaz, F., Mertol, H. C., 2011. Türkiye’ de Yüksek Dayanımlı Beton Kullanımı- Standartlar, Tasarım ve Yapım. Osmangazi Üniversitesi, 2. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, 1-11s.
- Yiğiter, H., 2008. Betonarme Donatısında Klorid Korozyonu Gelişiminin Elektrokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Doktora Tezi, 304 s., İzmir.
- Yücegök, F., 2008. Buğday ve Mısır Sapı ile Çınar Yaprağı Külü Katkılı Çimento ve Betonların Durabilite Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, 76 s., Kahramanmaraş.
- Yüzer, N., 1999. Su Geçirirliğinin Donatı Korozyonuna Etkisi. Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı, MMO Yayın no: 213, s. 105-120.

Zhang, P., Li, Q., 2012. Effect of Polypropylene Fiber on Durability of Concrete Composite Containing Fly Ash and Silica Fume. *Composites: Part B*, v: 45, pp. 1587–1594.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ömer ÇOBAN
Doğum Yeri ve Yılı : Orhaneli / BURSA, 1987
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : omer_coban_87@mynet.com



Eğitim Durumu

Lise : Nuri Erbak (YDA) Lisesi, 2001- 2005
Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği, 2006-2010
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi, 2010-....(halen)

Mesleki Deneyim

Ücretli Öğretim Görevlisi S.D.Ü. Teknik Bilimler M.Y.O 2013-.... (halen)

Yayımları

Uluslararası makale

Çoban Ö., Sancak E., Tatlıdil H.,” Developing a Model Through Fuzzy Logic for Freeze-Thaw Resistance to Abrasion Loss in Some Artificial Stonemasonry Units" International Symposium on Advances in Applied Mechanics and Modern Information Technology, 22-23 September 2011, Baku, Azerbaijan, 121-125.

Sancak E., Çoban Ö., Dalkılıç S., “Developing a Model through Fuzzy Logic for Determining Freeze-Thaw Effect on Capillarity in Some Stone Masonry Units" International Symposium on Advances in Applied Mechanics and Modern Information Technology 22-23 September 2011, Baku, Azerbaijan, 295-299.

Taş H.,H., Çoban Ö., Topbaşlı B., 2013. Endüstriyel Demir Talaşı Atığının Betonun Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, S.D.U. International Teknologic Science, v:5, number:1, p. 1-11.

Çoban Ö., Dalkılıç S., Sancak E., Taş H.,H., 2013. Bazı Yapay Taş Kâgir Birimlerde Donma-Çözülmenin Aşınma Kaybına Direncine ve Kapileriteye Etkisinin Araştırılması. S.D.U. International Teknologic Science, v:5, number:2, p. 1-10.

Ulusal sempozyum

Çoban, Ö, SANCAK, E., 2013. Krom Atığı Katkılı Harçların Puzolanik Aktivite ve Kılcallıklarına Farklı Kür Sularının Etkisi. BETON 2013 Kongresi, 21-23 Şubat 2013, s. 313-323.