



**T.C.
KILIS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SEPIYOLİT İÇEREN ÇİMENTO ESASLI BAĞLAYICILARLA
ÜRETİLEN HARÇLARIN İŞLENEBİLİRLİK, DAYANIM VE
DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

MAHMUT AYTEKİN

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ HADAAAN PEHLİVAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

TEMMUZ 2018

KILIS

TEZ ONAYI

Dr. Öğr. Üyesi Hadaan PEHLİVAN danışmalığında, Mahmut AYTEKİN tarafından hazırlanan “Sepiyolit İçeren Çimento Esaslı Bağlayıcılarla Üretilen Harçların İşlenebilirlik, Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Prof.Dr. Hüseyin TEMİZ (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi)	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Hadaan PEHLİVAN (Kilis 7 Aralık Üniversitesi)	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Eyyüb KARAKAN (Kilis 7 Aralık Üniversitesi)	

Bu tezin kabulü,Fen bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../201.. tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

Dr. Öğr. Üyesi Hülya DEDE
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SEPIYOLİT İÇEREN ÇİMENTO ESASLI BAĞLAYICILARLA ÜRETİLEN HARÇLARIN İŞLENEBİLİRLİK, DAYANIM VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mahmut AYTEKİN

KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Dr.Öğr. Üyesi Hadaan PEHLİVAN

YIL: 2018 SAYFA:120

Bu çalışmada kullanılacak olan Eskişehir ili sepiyolit kilinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sepiyolit kilinin fiziksel özelliklerini belirlemek için incelik, özgül ağırlık deneyleri, mineralojik özelliğini belirlemek için ise X-ışını kırınım (XRD) ve X-ışını floresans (XRF) analizleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan sepiyolit kili, CEM I 42.5 R çimentosuyla ağırlıkça %0, %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15 oranlarında yer değiştirilerek çimento hamurları ile donatılı ve donatısız harç numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler sırasıyla S0, S2.5, S5, S7.5, S10, S12.5 ve S15 olarak adlandırılmıştır. Hazırlanan çimento hamurları üzerinde kıvam, priz süreleri ve hacim genişmesi deneyleri yapılmıştır. Çimento harçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için 40×40×160mm prizmatik numuneler üretilmiştir. Çimento harç numunelerine su emme, birim ağırlık, bulk (yığmsal) yoğunluk, doymun kuru yüzey yoğunluk (dky), porozite, kompasite, kılcal su emme ve eğilme ve basınç dayanımı tayini deneyleri yapılmıştır. Ø10 betonarme çeliği kullanılarak hazırlanan Ø50 x100 mm'lik silindir çimento harç korozyon numuneleri %3.5 NaCl içeren çözelti içerisinde 145 gün bekletilmiştir. Bu süre içerisinde 1., 3., 10., 20., 30., 50., 90. günlerde elektrokimyasal korozyon ölçümleri üç elektrotlu ölçüm yöntemi kullanılarak alınmıştır. Donatılı çimento harç numunelerinin korozyon davranışını çevresel etki değişiminde inceleyebilmek için 130-145. günler arasında numuneler 3 gün açık havada sonrasında 3 gün tuzlu suda bırakılarak ıslanma-kuruma ortamı oluşturulmuştur. Bu

şekilde 130., 133., 136., 139., 142. ve 145. günlerde tekrar elektrokimyasal korozyon ölçümleri alınmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, tüm çimento hamurları içinde S5 çimento hamurlarının priz başlangıç ve bitiş süresinin en kısa olduğu görülmüştür. Çimento harç numunelerinde ise sepiyolit ikamesinin artmasıyla genel olarak numunelerin su emme miktarlarının arttığı, bulk ve dky yoğunluklarının azaldığı, porozitenin arttığı belirlenmiştir. Çimento harç numunelerinin mekanik özellikleri incelendiğinde, eğilme ve basınç dayanımlarında en yüksek değerleri S0 numunesi verirken, en düşük değerleri S15 numunesi vermiştir. S0 ve S2.5 numunelerinin mekanik özelliklerinin birbirine benzer olduğu görülmüştür. Donatılı harç numuneleri kulometrik yöntem ile açık devre potansiyelinde korozyon yükleri (Q_{ADP}) incelendiğinde, tüm numunelerde farklı büyüklüklerde katodik korozyon aktiviteleri olduğu ve bu aktivitenin S2.5 numunesinde kontrol numunesine benzer özellikte olmasına rağmen en küçük değerler aldığı tespit edilmiştir. Donatılı harç numunelerinin lineer polarizasyon direnci yöntemine göre elde edilen korozyon potansiyelleri (E_{COR}) ve yarı hücre potansiyel yöntemi ile ölçülen açık devre potansiyellerinin (E_{ADP}) birlikte verildiği grafikler incelendiğinde, S0 ve S2.5 numunelerinin benzer karakter gösterdiği, korozif ortamda bekleme süresi arttıkça potansiyellerin daha pozitif değerler aldığı, E_{ADP} ve E_{COR} grafiklerinin çakıştığı, diğer numunelerde bu durumun sağlanmadığı görülmüştür. Sonuç olarak çimentolu sistemde %2.5 sepiyolit katkısının donatı korozyonuna karşı en iyi koruma sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çimento, dayanım, donatı, harç, korozyon, sepiyolit

ABSTRACT

MSc. Thesis

RESEARCH OF THE WORKABILITY, STRENGTH AND DURABILITY PROPERTIES OF MORTARS PRODUCED BY CEMENT BASED BINDERS CONTAINING SEPIOLITE

Mahmut AYTEKİN

**KİLİS 7 ARALIK UNIVERSITY
THE INSTITUTE FOR STUDIES IN SCIENCES AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

SUPERVISOR: Assist. Prof. Dr. Hadaan PEHLİVAN

YEAR: 2018 PAGES:120

In this study, the sepiolite clay of Eskişehir will be used and the chemical, physical and mechanical properties of sepiolite were investigated. In order to determine the physical properties of sepiolite clay, fineness, specific gravity experiments were performed and X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) analyzes were performed to determine the mineralogical property. The sepiolite clay to be used in the operation, was replaced with Portland Cement (CEM I) in ratio of %0, %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5 and %15 by weight and were produce reinforced and unreinforced cement mortar and cement paste samples. The consistency, initial setting times and volume expansion experiments of the prepared cement paste were carried out. 40 × 40 × 160 mm prismatic samples were produced to determine the physical and mechanical properties of the cement mortars. Cement mortar samples were subjected to water absorption, unit weight, bulk density, saturated dry surface density, porosity, capacity and capillary water absorption and bending and compressive strength tests Ø50 x100 mm cylinder cement mortar corrosion specimens prepared using Ø10 reinforcement were stored in a solution containing 3.5% NaCl for 145 days. During this period, electrochemical corrosion measurements were taken using the three-electrode measurement method on days 1., 3., 10., 20., 30., 50., 90. To investigate the corrosion behavior of reinforced cement mortar samples in the context of environmental impacts 130-145. The samples were left in salty water for 3 days after open air for 3 days and wetting-drying environment was established.

As a result of the experiments, it was seen that the cement paste with 5% sepiolite supplementation shortened the start and finish times of the initial setting with respect to the other samples. In the mortar samples, the increase in the amount of water absorption of the samples increased the bulk and saturated dry surface density and the porosity increased. When the mechanical properties of the cement mortar samples were examined, the highest values of bending and compressive strength were S0 and the lowest values were S15. The mechanical properties of samples S0 and S2.5 were similar. When the corrosion loads (Q_{ADP}) of the open circuit potentials were examined by coulometric method, it was found that all samples had different sizes of cathodic corrosion activities and that this activity had the smallest values even though it is similar to the control sample at S2.5. When the graphs showing the corrosion potentials (E_{COR}) and the open circuit potentials (E_{ADP}) measured by the semi-cell potential method of the reinforced mortar samples according to the linear polarization resistance method are examined, it can be seen that S0 and S2.5 specimens show similar characteristics, positive values, E_{ADP} and E_{COR} charts overlap, and other samples did not provide this situation. As a result, %2.5 sepiolite contribution in the cementitious system has been found to provide the best protection against reinforcement corrosion.

Key words: Cement, corrosion, mortar, reinforcement, sepiolite, strength

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve bu tezin yürütülmesinde hiçbir desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hadaan PEHLİVAN' a,

Korozyon deneyleri sırasında bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Evrim BARAN'a,

Malzeme temini ve kimyasal analizler sırasında yardımlarını esirgemeyen KİPAŞ Çimento Kahramanmaraş Çimento Fabrikası kalite kontrol şefi Serhat Oğuz GÖRÜR, laboratuvar şefi Deniz ERBEY, laboratuvar teknisyeni Ömer KÜLEK ve diğer tüm laboratuvar çalışanlarına,

Korozyon deneyleri süresince emeği geçen öğrencim Osman ACAR'a,

Yine gerektiği zamanlarda benden yardımlarını esirgemeyen tüm mesai arkadaşlarıma,

Tez aşamasında sevgisini, emeğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, her adımda yanımda olan moral ve güç kaynağım, çok kıymetli eşim Melek AYTEKİN' e,

Beni en iyi şekilde yetiştiren ve her zaman yanımda olan sevgili annem, babam ve kardeşlerime,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

Mahmut AYTEKİN

Kilis, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	II
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
RESİMLER DİZİNİ	XIV
HARİTALAR DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	4
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Çimento.....	6
2.2. Puzolanlar	8
2.2.1. Doğal puzolanlar	9
2.2.2. Yapay puzolanlar	9
2.2.3. Puzolanik aktivite.....	10
2.3. Killer	10
2.3.1. Kilin yapısı ve genel özellikleri.	11
2.3.2. Killerin sınıflandırılması.....	11
2.3.3. Killerin Türkiye maden potansiyeli açısından önemi.	12
2.3.4. Killerin çimento üretiminde kullanımı.....	14
2.3.5. Killerin güncel teknoloji uygulamalarında kullanımı.....	15
2.4. Sepiyolit	20
2.4.1. Sepiyolit tanımı ve oluşumu	21
2.4.2. Sepiyolit kristal yapısı	21
2.4.3. Sepiyolit fiziksel özellikleri	23
2.4.4. Sepiyolit fiziko-kimyasal özellikleri.....	24
2.4.5. Sepiyolit termal özellikleri.....	25

2.4.6. Sepiyolitın termal iyileştirmesi	26
2.4.7. Sepiyolitın mühendislikte kullanım alanları	26
2.4.8. Dünya’da ve Türkiye’de sepiyolit.....	31
2.5. Korozyon.....	32
2.5.1. Korozyona etki eden faktörler.....	33
2.5.2. Korozyon eşitleri.	36
2.5.3. Betonarme yapıların korozyona karşı korunması.....	37
2.5.4. Korozyon lm yöntemleri.....	38
3. MATERYAL VE METOT	47
3.1. Materyal	47
3.1.1. Çimento	47
3.1.2. Sepiyolit	47
3.1.3. CEN standart kumu	49
3.1.4. Su.....	49
3.1.5. Çözeltiler	49
3.1.6. Donatı eliği (alışma elektrodu)	49
3.2. Metot.....	50
3.2.1. Sepiyolitın malzeme özelliklerinin belirlenmesi.....	51
3.2.2. Çimento standart kıvam, priz süresi ve hacim genleşmesi deneyi.....	52
3.2.3. Taze harç kıvamı deneyi	53
3.2.4. Kütlece su emme, birim ağırlık, yoğunluk, boşluk oranı (porozite) ve doluluk oranı (kompasite) deneyleri.....	55
3.2.5. Kılcal su emme (kapilarite) deneyi	60
3.2.6. Çimento harçlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi.....	61
3.2.7. Korozyon numunelerinin hazırlanması ve korozyon lmleri.....	65
4. BULGULAR VE TARTIşMA.....	73
4.1. Sepiyolitın XRF Analizi Sonuçları	73
4.2. Sepiyolitın XRD Analizi Sonuçları	75
4.3. Sepiyolitın Standart Kıvama Etkisi.....	76
4.4. Sepiyolit Miktarının Priz Süresi ve Hacim Genleşmesine Etkisi	77
4.5. Sepiyolit Miktarının Taze Harç Kıvamına Etkisi	78
4.6. Sepiyolitın Kütlece Su Emme Oranına Etkisi.....	79

4.7. Harç Numunelerinin Birim Ağırlık ve Yoğunluk Miktarları	80
4.8. Harç Numunelerinin Boşluk Oranı (Porozite) ve Doluluk Oranı (Kompasite) Miktarları	83
4.9. Harç Numunelerinin Kılcal Su Emme (Kapilarite) Katsayısı Sonuçları	84
4.10. Harç Numunelerinin Eğilme ve Basınç Dayanımı Sonuçları	85
4.11. Donatılı Çimento Harç Numunelerinin Elektrokimyasal Korozyon Ölçüm Sonuçları	90
4.11.1. Yarı hücre potansiyel yöntemi	91
4.11.2. Kulometrik yöntem ile açık devre potansiyelinde korozyon yüklerinin ölçümü	96
4.11.3. Lineer polarizasyon direnci yöntemi	97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Amper
AC	Alternatif akım
ACI	American Concrete Institute
ADP	Açık devre potansiyeli
ASTM	American Society for Testing Materials
BS	British standards
DC	Doğru akım
dk	Dakika
DKY	Doygun kuru yüzey
DPT	Devlet planlama teşkilatı
E _{ADP}	Açık devre potansiyeli (measure open circuit)
E _{COR}	Korozyon potansiyeli
EIS	Elektrokimyasal empedans spektroskopisi
EN	European norm
EPMA	Elektron prob mikro analizi
g	Gram
I _{COR}	Korozyon akım yoğunluğu
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
LP	Lineer polarizasyon
LRP	Lineer polarizasyon rezistans
MPa	Megapaskal
mA	Miliamper
MK	Metakaolin
mm	milimetre
mV	Milivolt
N	Newton
PÇ	Portland çimentosu
ppm	Milyonda bir (mikro)
R _p	Polarizasyon direnci
S	Sepiyolit
SCE	Doygun kalomel elektrot
SD	Silis dumanı
s	Saniye
t	Ton
TOC	Toplam organik karbon
TP	Tafel polarizasyon
TS	Türk standartları
V	Volt
°C	Sıcaklık, santigrad derece
Å	Angstrom
µA	Mikroamper
µ(µm)	Mikro

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Tipik bir normal çimento olan Portland çimentosunun ana bileşenleri	6
Çizelge 2.2. Eskişehir yöresindeki bazı bölgelerin sepiyolit rezervleri	13
Çizelge 2.3. Sepiyolitin sahip olduğu fiziksel özellikler	24
Çizelge 2.4. Ortamın bağıl nem seviyesine göre bozulma risk seviyeleri	34
Çizelge 2.5. ASTM C 876'ya göre potansiyel kriterleri	41
Çizelge 2.6. H.Arup' un Potansiyel Kriterleri	41
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan CEM I 42.5 R Portland çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	47
Çizelge 3.2. Kullanılan S420 nervürlü çeliğinin kimyasal bileşimi	50
Çizelge 3.3. Çimento hamurları ve çimento harçlarına ait deney planı.....	51
Çizelge 3.4. Çimento hamurlarının standart kıvam tayini deney planı	52
Çizelge 3.5. Taze çimento harç karışımlarına ait üretim planı	54
Çizelge 4.1. Sepiyolitin XRF analizi sonuçları	73
Çizelge 4.2. Sepiyolite ait yoğunluk, özgül yüzey ve nem oranı miktarları	73
Çizelge 4.3. Sepiyolitin mineralojik analiz sonuçları	75
Çizelge 4.4. Çimento hamurlarının standart kıvam için gerekli su ihtiyaçları	76
Çizelge 4.5. Çimento hamurlarının priz süreleri ve hacim genleşmesi miktarları.....	77
Çizelge 4.6. Taze harç kıvamı için gerekli su ihtiyacı miktarları	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin oluşumuna örnek.....	19
Şekil 2.2. Sepiyolitin kristal yapısı	22
Şekil 2.3. Dijital kumpas kullanılarak çubuk çapının ölçülmesi	40
Şekil 2.4. Tafel ekstrapolasyonu ile korozyon hızının bulunması	44
Şekil 2.5. Lineer polarizasyon yöntemi ile polarizasyon direnci (R_p) bulunması	45
Şekil 3.1. Korozyon numunelerinde kullanılan donatının boyutları	50
Şekil 3.2. Donatının çimento içindeki durumu	66
Şekil 3.3. Bir betonarme numunede çeliğin korozyon özelliklerini belirleyen bölgelerin şematik gösterimi	67
Şekil 4.1. XRD kırınım grafiği	75
Şekil 4.2. Çimento harç numunelerinin kütlece su emme oranları	79
Şekil 4.3. Harç numunelerinin birim ağırlıkları	80
Şekil 4.4. Harç numunelerinin bulk (yığın) yoğunlukları	81
Şekil 4.5. Harç numunelerinin doygun kuru yüzey yoğunlukları (d_{ky})	82
Şekil 4.6. Harç numunelerinin boşluk oranı (porozite) miktarları	83
Şekil 4.7. Harç numunelerinin doluluk oranı (kompasite) miktarları	83
Şekil 4.8. Harç numunelerinin kılcal su emme (kapilarite) katsayısı sonuçları	84
Şekil 4.9. Harç numunelerinin eğilme dayanımı sonuçları	85
Şekil 4.10. Harç numunelerinin basınç dayanımı sonuçları	86
Şekil 4.11. Donatılı çimento harç numunelerinin 145 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A-B koşullarında) açık devre (E_{ADP}) potansiyellerinin zamana göre değişim ve dağılımları	92
Şekil 4.12. Donatılı çimento harç numunelerinin 145 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A-B koşullarında) ölçülen (E_{ADP}) potansiyeli ortalama değerlerinin zamana göre değişimi.....	95
Şekil 4.13. Donatılı çimento harç numunelerinin tuzlu suda 90 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A2 koşulu) açık devre koşullarındaki korozyon yüklerinin (Q_{net}) günlere göre değişimleri	96

Şekil 4.14. Donatılı çimento harç numunelerinin tuzlu suda 90 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A2 koşulu) açık devre potansiyelleri (E_{ADP}) ve korozyon potansiyelleri (E_{COR}) 97



RESİMLER DİZİNİ

Sayfa No

Resim 2.1. Sepiyolite ait SEM mikroskobu görüntüsü	23
Resim 2.2. Donatının şematik çizimi.....	40
Resim 2.3. Korozyona uğrayıp aşınmış olan donatı örneği	40
Resim 2.4. Betonarme iskele kazığında çıkarılmış potansiyel haritasına örnek	42
Resim 2.5. 3D tarama methodu aparatları ve korozyona uğramış çubuk	43
Resim 3.1. Vicat Aleti ile çimento standart kıvam tayini deneyinin yapılması	53
Resim 3.2. Priz süresi ve hacim genişmesi deneylerinde kullanılan Otomatik vicat aleti ve Le Chatalier aleti	53
Resim 3.3. Taze harç kıvamının belirlenmesinde kullanılan yayılma tablası	55
Resim 3.4. Arşimet terazisi	56
Resim 3.5 Prizmatik çimento harç numuneleri	56
Resim 3.6. Kılcal su emme (kapilarite) deneyi	61
Resim 3.7. Çimento test presi	61
Resim 3.8. Kür havuzu ve etüvden çıkarılan numuneler	63
Resim 3.9. Çimento harç numunelerinde eğilme dayanımı deneyi	64
Resim 3.10. Çimento harç numunelerinde basınç dayanımı deneyi	65
Resim 3.11. Üretilen korozyon numuneleri	65
Resim 3.12. CH Instruments (600E) model potansiyostat cihazı ve üç elektrot sistemi	67
Resim 3.13. Elektrotların şeması	68
Resim 3.14. Cam beher içerisinde korozif ortam oluşturulan donatılı harç numuneleri	69

HARİTALAR DİZİNİ

Sayfa No

Harita 2.1. Türkiye kil yatakları haritası.....	10
Harita 3.1. Rezerv alanının yer bulduru haritası.....	48
Harita 3.2. Rezerv alanının jeolojik haritası	48



1.GİRİŞ

Beton, su, çimento, agrega ve katkı maddelerinin homojen karışımından oluşan, ilk başlarda şekil verilebilir kıvamda olup, sonradan katılaşp sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (Zongjiin, 2011).

Günümüzde beton oldukça yaygın kullanımı olan bir yapı malzemesidir. Bina, yol, köprü gibi üst yapıların yanında, baraj ve kanal gibi su yapıları ve diğer benzer yapılarının yapıların inşasında kullanılır. Hem taşıyıcı eleman ve hem de şekil verilebilen dekoratif bir yapı malzemesi olarak ortaya çıkar. Yüksek dayanımı, dayanıklılığı, ekonomikliği, enerji verimliliği, geçirimsizliği, yangın direnci, yerinde imalat gibi özellikleri betonun en önemli tercih sebeplerindedir. Beton ayrıca hazır beton ve betonarme ürünlerin yapımında da kullanılır. Nükleer radyasyona karşı modern yapılarda da kullanılır (Öncü ve ark., 2006).

Beton, aşırı yüklenme ve deprem kuvveti etkilerinden başka çevresel ve iklimsel koşullardan etkilenen ve zamanla hasara uğrayabilen bir yapı malzemesidir. Betonun bu tip özelliklerinden dolayı oluşabilecek iç ve dış etkenlerden kaynaklı bozulma ve hasarlardan korunması için mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi analiz edilerek bu analizlere göre tasarlanması gerekmektedir (Erdoğan, 2013).

Yapılarda kullanılan betonun karışım oranlarının ve bileşen malzemelerinin, dayanım, dayanıklılık, kıvam, yoğunluk ve donatının korozyondan korunmasına yönelik özellikleri sağlaması gerekmektedir (Zongjiin, 2011).

Beton, ahşap gibi yanmaz, çelik gibi paslanmaz kısacası olumsuz çevresel etkilere karşı büyük dayanıklılık gösterir. Bunun yanı sıra ekonomik ve az enerji ile üretilebilir olması inşaat sektöründe tercih edilen bir yapı malzeme olmasını sağlamaktadır. Sertleşmiş betonun bakım masrafları yok denebilecek kadar azdır ve çimento haricindeki birçok birleşeni kolayca temin edilebilir. Betonun bu özellikleri onu üretimi kolay ve ekonomik kılmaktadır (Nas, 2015).

Yapılardan beklenen en önemli özellikler dayanım, dayanıklılık, estetiklik ve ekonomik olmasıdır. Betonun uygulanan yükleri taşımasının yanı sıra dayanıklı olması zorunludur. Betonun dayanıklılığı, iç veya dış nedenler sonucunda oluşan bozulmalara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir (Kaya ve ark., 2015).

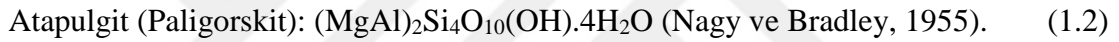
Doğal puzolanlar, yaygın olarak bilinen adıyla traslar, tek başlarına bağlayıcılık özelliği göstermeseler de çimentoya göre ince öğütüldüklerinde, normal sıcaklık koşullarında, kireçle su içeren ortamlarda birleşerek bağlayıcılık özelliğini kazanabilen, alümin ve silis oksitleri içeriğince zengin tuf türü malzemelerdir. Doğal puzolanlar ince öğütülebilmeleri sebebiyle çimento hamuru içerisinde bulunan mikro boşluklara kolayca yerleşebilmekte ve çimento hamurunun ana iskelet yapısını değiştirerek dayanım ve dayanıklılıklarını artırabilmektedirler. Ayrıca doğal puzolanlar, ince tane yapısına sahip olmaları nedeniyle çimento harçları ve beton üzerinde işlenebilirlik açısından da etkili olabilmektedirler. Bu etki taze betonun kıvamını iyileştirmekte ve dolayısıyla işlenebilirliğini artırmaktadır.. Ancak doğal puzolanlar, çimentodan daha ince öğütülerek katıldıkları çimento içerisinde çimentonun toplam özgül yüzeyini önemli ölçüde artırdıkları için karışımların su ihtiyacını da artırmaktadırlar (Sabır ve Bai, 2001; Shannag, 2000; Vu, Stroven ve Bui, 2001; Pan, Tseng ve Lee, 2003). Ayrıca, çimento ve puzolanın bir karışım halinde kullanıldığı harç ve betonlarda priz sürelerinin puzolanın ikame oranına, özgül yüzeyine ve puzolanik reaktivitesine bağlı olarak gelişme gösterdiği belirtilmektedir (Taşdemir, 2003; Öner ve ark., 2003).

Sepiyolit, yaygın kullanılan sanayi minerallerine göre dünya üzerindeki kaynakları son derece az olan ve yataklarının tamamına yakınının Türkiye ve İspanya’ da bulunduğu bir hammaddedir. Ülkemizde bir lületaşı türü olarak rastlanan sepiyolit, yüzyıllardır ihraç edilen geleneksel ürünlerimizden birinin hammaddesi olmasına karşılık, sedimanter oluşumlu, tabakalı tip sepiyolit yataklarını araştırmaya yönelik ilk bilimsel araştırmalar 1988 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmış ve Türkiye’de bulunan sepiyolit yataklarının önemli bir kısmının özellikleri belirlenmiştir. Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi ile Ankara ili Polatlı ilçesi hattının güney bölgesinde yer alan İç Anadolu Neojen Havzasının Yukarı Sakarya kesimine ait bu jeolojik, ekonomik ve teknolojik çalışmalar ve değerlendirmelere ilişkin ayrıntılı olarak raporlar

oluşturulmuştur. Türkiye' nin ekonomik olarak dikkate alınabilecek endüstriyel veya tabakalı tip sepiyolit yatakları, Eskişehir, Kütahya, Bursa, Isparta ve Çanakkale' de bulunmaktadır (İrkeç, 1996).

Sepiyolit ve atapulgit, fillosilikat grubuna ait kil mineralleridir. Bu mineral grubunun tanımına uygun olarak (T_2O_5 ($T=Si,Al,Be$)) bileşimli, iki yönlü sürekli bir tetrahedral tabaka, buna karşılık diğer tabaka silikatlarından farklı olarak süreksiz oktahedral tabakalardan oluşurlar (Brindley ve Pedro, 1972).

Basit olarak sepiyolit sulu magnezyum silikat, atapulgit ise sulu magnezyum-alüminyum silikat bileşimli kil mineralleridir. Kimyasal formülleri ise, süstitüsyonları olmaksızın ideal teorik bileşimleri, Nagy-Bradley'e göre şu şekildedir:



Beton donatısının korozyonu öncelikle elektrokimyasal mekanizmaya göre gerçekleşirken beton, kimyasal korozyona uğrar. Korozyona uğrayan betonun dayanımında oluşan azalmalar sonucunda, beton içinde gömülü çeliğin dayanımı da azalmaktadır. Betonarme yapılardaki korozyon, değişken doğal ortam nedeni ile korozif ortam, beton ve beton-donatı ara yüzeylerinde sürekli olarak meydana gelen elektrokimyasal ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur. Betonarmedeki çevre beton donatı sisteminde çevrede meydana gelen değişikliklerden dolayı oluşan kimyasal korozyon sonucunda beton mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde kalite kaybı yaşar. Ayrıca demire sağladığı pasifleştirici alkali ortam, korozif ortama dönüşürken donatı çeliğinin üzerindeki koruyucu pasif tabaka da etkisini kaybeder. Bunun sonucunda beton-donatı ara yüzeyinde oluşan hacimli korozyon ürünleri betonu çatlatacak seviyede içsel gerilmelerinin ortaya çıkmasına yol açarlar. Beton uygulamalarında katkılı çimentoların kullanılması özellikle çatlak oluşumu ve korozyona karşı dayanımını artırır (Taban Pehlivan, 2010).

1.1. Amaç ve Kapsam

Çimentolu sistemlerin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda; farklı özelliklerde ve sürdürülebilir çimento üretebilmek için genellikle silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, volkanik tüfler gibi puzolanlar kullanılmaktadır. Türkiye'nin sepiyolit rezervleri bakımından İspanya' dan sonra dünyanın en büyük ikinci ülkesi olduğu bilinmektedir. Doğal bir kil minerali olan sepiyolit içerdiği lif demetleri, kanallı yapısı ve yüzeyindeki silanol ve hidroksil grupları nedeniyle yüksek oranda su tutma kabiliyetine sahiptir. Sepiyolit yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi düşük konsantrasyonlarda yüksek vizkoziteli süspansiyonlar oluşturması gibi yararlı özelliklerinden dolayı çok yönlü kullanım alanına sahiptir. Sepiyolit kilinin çimento katkı malzemesi olarak kullanımı, harçların işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özellikleri ile ilgili çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada sepiyolit katkılı harçların mekanik ve teknolojik özelliklerinin yanında en önemli çevresel etkinin sodyum klorür olduğu deniz suyu ile etkileşim halindeki su yapılarında dayanıklılık sorunları çok yönlü elektrokimyasal korozyon ölçüm yöntemleriyle araştırılmıştır.

Portland kompoze çimentolar, puzolanların klinkerin bir kısmı ile standartta belirtilen oranlarda yer değiştirilmesi ile daha ekonomik ve verimli bir şekilde üretilmektedir. Bu şekilde üretilen çimentoların içerisindeki puzolanik malzemeler suyun varlığında kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girer. Hidratasyon reaksiyonları sırasında çimentolu sistemde ek olarak kalsiyum silikat hidrat/tobermorit (C-S-H), kalsiyum alumina silikat hidrat /etrenjit (C-A-S-H) ve kalsiyum alumina hidrat (CAH) bileşikleri oluşur. Bu bileşikler katkılı çimento harçlarının boşluklarının azalmasında ve iletken yolların tıkanmasında önemli bir yer tutmaktadır.

Killerin içeriğinde esasen filosilikatlar, kuvarz, karbonatlar vb. olduğu bilinmektedir. Puzolanik reaktivite esasen fillit minerallerine bağlı olduğu için özellikle dehidroksilasyon oranı dikkate alınmalıdır. Genellikle dehidroksilasyon, kilden kile değişen termal iyileştirme ile elde edilir (Mohammed, 2017). Bu çalışmada kullanılan sepiyolit kiline termal iyileştirme yapılmadan, çimento içerisine çok küçük miktarlarda

katılarak imento harçlarının çeşitli özellikleri ve donatı korozyonuna etkisi incelenmiştir.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Çimento

Çimento kelimesi Latince yontulmuş taş anlamında kullanılan “caementum” sözcüğünden türetilmiştir. Kelimenin Türkçe’ ye ise İtalyanca’ da ki bağ veya bağlama gelen “cemento” kelimesinden geldiği varsayılmaktadır. Çimento, içerisinde başlıca kalsiyum, silisyum, alüminyum ve demir oksit içeren hammaddelerin sinterleşme derecelerine kadar pişirilmesi ile elde oluşan klinkerin, bir ya da daha fazla katkı maddesi katılarak öğütülmesi ile üretilen, hidrolik bağlayıcılık özelliği gösteren maddelere denir. Genel anlamda ise suda ve havada sertleşen, bağlayıcı özellikte olan maddelerdir (Erdoğan ve Turhan, 2007).

Çizelge 2.1. Tipik bir normal çimento olan Portland çimentosunun ana bileşenleri (Erdoğan, 2013)

Bileşimin Adı	Kimyasal Formül	Notasyon	Ağırlık (%)
Trikalsiyum silikat	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	50
Dikalsiyum silikat	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	25
Trikalsiyum alüminat	3CaO. Al ₂ O ₃	C ₃ A	12
Tetrakalsiyum alümino ferrit	4CaO. Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	8
Kalsiyum sülfat dihidrat (alçı taşı)	CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂	3.5

C₃A ve C₃S, çimentonun en reaktif ana bileşenleridir. C₂S ise çok daha yavaş reaksiyona girer. Çimentoya katılan alçı taşı C₃A'nın hızlı reaksiyon yapmasını engeller. C₃S'in çimentoda yüksek oranda bulunması çimentoda erken dayanım sağlar. C₂S erken dayanım sağlamaz fakat ilerleyen aşamalarda dayanıma katkısı yüksektir (Young, 1998; Erdoğan, 2013).

Kalsiyum silikatlar (C₃S ve C₂S) ile su (H₂O) reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C₃S₂H₃) ile birlikte kristal yapıdaki CH' yı meydana getirirler. C₃S₂H₃ ya da yaygın kısaltmasıyla C-S-H jelinin adı tobermorittir. Kalsiyum silikat reaksiyonları,



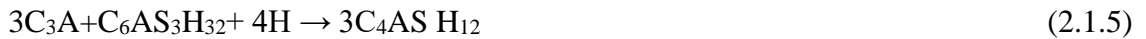
Bu iki silikat tepkimesinin farkı, C₃S'nin C₂S'ye göre daha büyük miktarda kireç içermesi ve dolayısıyla C₃S'nin tepkime hızının, C₂S'nin tepkime hızından daha yüksek olması şeklinde ifade edilebilir. Çimentonun bağlayıcılık özelliğine asıl etkileyen bileşenler ise yine kalsiyum silikat içeren bu iki bileşen olmaktadır. Her iki bileşen de çimentonun bağlayıcılık derecesini önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak C₂S bileşeninin çimentonun bağlayıcılık özelliğine etkisinin ilk günlerde az, fakat daha sonraları çok yüksek mertebelere çıktığı bilinmektedir. C₃S'nin ise hem ilk günlerde hem de uzun vadede çimentonun bağlayıcılık özelliğine etkisi yüksektir (Erdoğan, 1995). C₃A'nın suyla reaksiyonu,



kristalleşme özelliğinden dolayı çok hızlı gerçekleşmektedir.

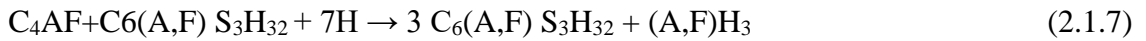
(Çimento kimyasıyla ilgili kısaltmalar: C=CaO, A=Al₂O₃, S=SO₃, H=H₂O, S=SiO₂)

Kalsiyum alimüno hidrat kararlı bir bileşik değildir ve erkenden kübik kristalli yapıya geçip kararlı hale (C₃AH₆) dönme eğilimindedir. Bu tepkime çok hızlıdır ve büyük miktarda ısı açığa çıkar. Bu yüzden de genellikle “yalancı priz” adıyla anılan ani katılaşma olayı gerçekleşmektedir. Bunu engellemek için pişirme sürecinden sonra, öğütme aşamasında klinkere bir miktar alçı (jips, CSH₂) katılır. Böylece C₃A ile alçı (jips) suyla ayrı ayrı tepkimeye girerek iğne yapısında, uzun (çubuksu) hegzagonal kristal yapıya sahip C₆AS₃H₃₀₋₃₂ bileşimini (etrenjit) oluştururlar. Ancak, etrenjit ortamda yeterli sülfat varsa oluşmaktadır, aksi takdirde C₃A, plaka şeklinde kristal yapıya sahip C₄ASH₁₂' a (monosülfo alüminat) dönüşmektedir (Erdoğan, 1995);



Bu ürünler, özellikle C₆AS 3H₃₂, sertleşmiş betonda genişlemeye sebep olabilmektedir; çok miktarda bulunmaları halinde ise son derece tehlikeli hacim değişikliklerine yol açarlar. Ancak, sınırlı bir oranda alçı taşı kullanılmasıyla iyi bulgulara ulaşılmakta ve C₃A sözü edilen tepkimeleri sürdürürken kalsiyum silikatların reaksiyonu ve C-S-H'nin oluşması da beklenen biçimde devam edebilmektedir. C₃A ana bileşeni, ilk zamanlarda

çimentonun bağlayıcılık değerine küçük bir miktar katkıda bulunmakla birlikte çimento için en tehlikeli bileşen olabilmektedir. C₄AF reaksiyonu, C₃A reaksiyonuna göre hem daha yavaş hem de daha az ısı açığa çıkarmaktadır. Ayrıca, C₄AF hızlı tepkime vermediğinden, C₃A gibi ani katılaşmaya (ani priz) da sebebiyet vermemektedir. Alçının, çabuk katılaşmayı geciktirmedeki etkisi, C₄AF üzerinde daha belirgindir. C₄AF ile alçı arasındaki tepkimeyi aşağıdaki şekilde yazmak mümkündür;



Kısaca C₃A ve C₄AF bileşenleri, düşük oranda alçı ile karıştırıldıklarında çimentonun bağlayıcılık özelliğini başlangıçta az da olsa olumsuz etkilemektedir. Ancak, çimentonun asıl bağlayıcılık değeri ise C₃S ve C₂S bileşenleri tarafından sağlanmaktadır (Erdoğan, 1995).

Çimentolar içeriğini oluşturan hammaddelerin bileşim, pişirilip öğütülme yöntemleri ve içerisine katılan katkı maddelerine göre belli özellikleri olan gruplara ayrılırlar (Erdoğan ve Turhan, 2007). TS-EN 197-1 çimentolar beş ana tipte olmak üzere gruplanmıştır. Bunlar CEM I Portland Çimentosu, CEM II Portland-Kompoze Çimento, CEM III Cürüflü Çimento, CEM IV Puzolanlı Çimento ve CEM V Kompoze Çimentodur (TSE EN 197-1, 2002).

2.2. Puzolanlar

Tek başlarına kullanıldıklarında bağlayıcılık özelliği göstermeyen fakat ince öğütülerek kireç veya çimento ile karıştırıldıkları takdirde su ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan maddelere puzolan denilmektedir. Puzolan içerisinde bol miktarda koloidal halde silis ve alumin bulundurmaktadır. Puzolan özelliklerine uyan birçok madde bulunduğu gibi, bazı sanayi atığı mineral maddelerde puzolanik özellikler gösterebilmektedir. Bu maddelere yapay puzolanlar denir ve bunların da yine doğal puzolanlar gibi kireçle yapmış olduğu reaksiyon sonunda bağlayıcılık özelliği

kazandıkları bilinmektedir (Postacıoğlu, 1986; ASTM C 618, 1991; Aruntaş ve Tokyay, 1996; Gani, 1997;).

Puzolanların portland çimentosuyla üretilen betonlarda kullanılması, betonlara dayanım ve dayanıklılık yönünden katkılar sağlayabilmektedir. Puzolanlar üretildikleri hammaddelere göre doğal puzolanlar ve yapay puzolanlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Mehta, 1987).

2.2.1. Doğal puzolanlar

Doğada temel halde rastlanan ve ince taneli hale getirildikten sonra kalsiyum hidroksit ve su ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanan, silis ve alüminli malzemelere doğal puzolan denilmektedir. Volkanik orijinli cam ve tüfler, traslar, diatomlu topraklar ve bazı pişirilmiş kil ve şeyler doğal puzolanlardır. Doğal puzolanların büyük bir kısmı, volkanik orijinli malzemelerdir. Volkanik püskürmeler esnasında silisli ve alüminli malzemelerden oluşan eriyik vaziyetteki magma, kara yüzeyine alev olarak çıkarak ani soğuma gösterdiği takdirde, camsı yapıya sahip olmaktadır. Volkanik püskürme sırasında ortamda gazların da bulunması, soğuyan malzemenin gözenekli ve boşluklu bir yapıya ve çok büyük yüzey alanı oluşumuna neden olmaktadır. Büyük yüzey alanı ve düzensiz yerleşimden dolayı, alüminli silisler, su içeren ortamlarda bulunan kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyon gösterebilmektedir (Mehta, 1987; Erdoğan, 2003).

2.2.2. Yapay puzolanlar

Çeşitli fabrikalar ve endüstriyel uygulamalardan sonra oluşan, diğer puzolanlar gibi tek başına bağlayıcı özelliği olmayıp kireç veya çimentoyla karıştırıldığında su ile reaksiyona girip bağlayıcı özellik gösteren silis veya silis-alümin içeren atık/yan ürünlere yapay puzolan denir. Beton üretiminde en sık kullanılan yapay puzolanlardan bazıları uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufudur (Duman, 2010). Ayrıca, çok yaygın kullanılmamakla birlikte pirinç kabuğu külü, buğday sapı külü, fındık kabuğu külü gibi tarımsal artıklar ile de puzolan malzemeler elde edilir (Biricik ve ark., 1996).

2.3.1. Kilin yapısı ve genel özellikleri

Doğada saf bir halde bulunmayan kil içerisinde alüminyum silikatla beraber, demir, magnezyum, potasyum, sodyum, kalsiyum ve kuvars gibi mineraller kil içerisindeki safsızlığı oluşturmaktadırlar. Ayrıca birçok kil minerali de suda çözünebilen tuzlan organik maddeleri içerebilmektedir. Killerin oluşumlarında ana kayalar etkili olduğu kadar yıkama, taşıma ve kimyasal reaksiyonlar da etkili olabilmektedir (Malayoğlu ve Akar, 1995).

2.3.2. Killerin sınıflandırılması

Killerin sınıflandırılmasında minerolojik ve jeolojik özellikleri önem kazanmaktadır. Bu sebeple killerin sahip olduğu özelliklere göre sınıflandırma yapılması gerekir. Kil minerallerinin büyük ve kompleks bir mineral dizilişine sahip olmaları, içerdikleri yabancı maddelerin varlığı, oluşum yeri ve özelliklerinin farklı olması gibi etmenlerden dolayı killerin sınıflandırılması bir çok şekilde yapılabilir. Killerin sınıflandırılmaları genel olarak aşağıda verildiği gibidir (Malayoğlu, 1992).

Minerolojik yapılarına göre sınıflandırılan killer:

- Kaolin grubu
- Montmorillonit grubu
- Mika grubu
- Klorit grubu
- İllit grubu
- Attapulgit grubu

Yapılarına göre sınıflandırılan killer:

- Camsı (Amorf) grup
- Kristal grup

Kimyasal içeriklerine göre sınıflandırma yapılan killer:

- Yüksek alümin içerikli
- Boksit içerikli
- Silikat içerikli
- Demir içerikli
- Kalsit içerikli
- Karbonat içerikli

Fiziksel sınıflandırma yapılan killer:

- Plastik özelliğine göre
- Tane boyutuna göre
- Refrakter özelliğine göre
- Renk özelliğine göre

Üretildikleri yatak veya bölgeye göre sınıflandırma yapılan killer

Kullanım alanlarına göre sınıflandırma

2.3.3. Killerin Türkiye maden potansiyeli açısından önemi

Türkiye yer altı kaynakları bakımından killer önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak bulunan killerin mevcut durumları şöyledir:

Kaolin

Türkiye kaolin yatakları andezit, dasit, tuf ve granitlere bağlı olarak oluşmuşlardır. Yurdumuzda Marmara, Doğu Karadeniz, İç batı ve Orta Anadolu bölgelerinde toplam 102 kaolin oluşum yatağı belirlenmiştir. İşletilen ocakların çoğunluğu Çanakkale, Bursa, Balıkesir, Bilecik, İstanbul, İstanbul, Eskişehir, Uşak illerindedir. Dünya'nın en büyük üreticileri ABD, İngiltere, Hindistan, Fransa, Almanya, İspanya ve Japonya'dır (Salam, 2004). Dünya, kaolin üretimi yaklaşık olarak 30 milyon ton civarındadır. Ülkemizin üretimi, ise büyük çoğunluğu volkanik kökenli olmak üzere yaklaşık olarak

kaolin için yılda 600 bin ton ve 1 milyon ton plastik kil olarak verilebilir. Ülkemiz %2' lik bir payla kaolin üretiminde dünyada ilk 15 sıra içerisinde yer almaktadır. Diğer yandan Türkiye az da olsa, dünyada halloysit üreten 3 ülke arasında yer almaktadır (Uygun, 2002).

Bentonit

Dünyanın en büyük bentonit rezervleri Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Yunanistan, Almanya, Japonya, İtalya, İspanya ve Birleşik Krallık' ta bulunmaktadır. Türkiye' nin bentonit yatakları Çanakkale ilçelerinde önemli bentonit yatakları, Ankara, Edirne, Eskişehir, Tokat, Kütahya, Balıkesir, Konya, Çorum ve Ordu yörelerinde bulunmaktadır. Sondaj çamurunda kullanılan bentonit yatakları Ankara ve Tokat, döküm bentoniti yatakları Çankırı, Çorum, Çanakkale, kağıt ve deterjan üretiminde kullanılabilen bentonit yatakları da Edirne, Ordu, Eskişehir, Balıkesir, Kütahya'da bulunmaktadır. ve Eskişehir. Türkiye' nin 2000 yılı itibari ile toplam 281 milyon tonluk bentonit potansiyeli rezervleri bulunmaktadır. Bu rezervlerin büyük çoğunluğu toplam 200 milyon ton ile Tokat Reşadiye-Akdoğan- Kaşpınar civarındadır. Burayı 50 milyon ton rezerv ile Edirne-Enez bölgesi takip eder. Çankırı bölgesinin rezervi ise 1.5 milyon ton' dur (Yürüdü, 2005).

Sepiyolit

Türkiye' nin ticari olarak değerlendirilebilecek endüstriyel veya tabakalı tip sepiyolit yatakları, Eskişehir, Çanakkale, Bursa, Kütahya ve Isparta' da bulunmaktadır. Eskişehir yöresinde, Neojen yaşlı göl fasiyesinde sedimanter olarak teşekkül eden sepiyolit zuhurlarına ait mümkün rezerv verileri Çizelge 2.2.' de gösterilmiştir (Can, 1992).

Çizelge 2.2. Eskişehir yöresindeki bazı bölgelerin sepiyolit rezervleri (Can, 1992)

Bölge	Rezerv (milyon Ton)
Kepeztepe	3.2
Yörükçayır	4.68
Sögütlük	16.8
Çerkezkireç	32
TOPLAM	56.68

Ticari sepiyolitlerin dışında sepiyolit içeriği % 50' nin altında olan ve yapısal özellikleri itibarıyla hayvan altlığı olarak kullanılabilirliği saptanmış oluşumlar belirlenmiştir. % 50' nin üzerinde sepiyolitli cevher rezervi, görünür rezerv bazında 1.5 milyon ton civarındadır. Hayvan altlığı olarak kullanılmaya elverişli rezervlerin ise birkaç milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir (DPT Madencilik Raporu, 1996).

2.3.4. Killerin çimento üretiminde kullanımı

Kil minerallerinin temel özelliği, kimyasal bileşimlerinde alüminyum oksit (Al_2O_3) bulundurmaları ve sulu alüminyum silikatlardan gelmeleridir. Killer, demir, alkali ve alkali topraklarda farklı miktarlarda bulunur (DPT Madencilik Raporu, 2001).

Birçok kil minerali hidrotermal kökenlidir. Bazı hidrotermal kökenli yataklar monomineralli olmasına rağmen çoğu kil minerallerinin karışımlarından oluşmaktadır. Farklı tipteki kayaçların çözünmesi de kil minerallerinin oluşmasında etkilidir. Killerin oluşum şekilleri; ana kayacın yapısı, çevresel etkiler ve yaş gibi etmenlerin etkisindedir. Çimento sektörünün ana hammaddesi olan killer alterasyon ürünü metal oksitlerin taşınıp, yığılma havzasında yığılmasından veya yerinde alterasyon örtüsü halinde Neojen, PliyoKuvaterner yaşlı alüvyonlarda, Neojen havzalarının üst düzeylerindeki karasal koşullarda oluşmuş çoğu killi ve kireçli topraklardır (Ergin, 1998).

Kil minerallerinin özellikleri en az 5 ana etken tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar, killerin ve kil minerali olmayan maddelerin bileşimi, organik maddeler, suda çözünen tuzlar ve değişebilen iyonlar ile yapı dokusudur. Bunların içerisinde en önemli olanı, kil minerallerinin bileşimidir. Bir kilin ekonomik olarak kullanımını kilin mineral bileşimi ile belirlenebilmektedir. Çimentonun hammaddesi olabilecek kilerde mineralojik ve kimyasal özelliklerin yanı sıra homojenlik de çok önemlidir. Killerin kimyasal analizinde Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , SO_3 ve kızdırma kaybı oranlarının tespit edilmesi gerekir. Mineralojik analizlerde ise kil minerallerinin dışında bulunan ve safsızlığı oluşturan maddeler ve bunların miktarları saptanır. Çimento üretiminde kullanılacak kil mineralinin kimyasal bileşiminde Al_2O_3 / Fe_2O_3 oranının 2/1

civarında olması, SiO₂ içeriğinin belli bir üst sınırdan bulunması ve alkali oksit miktarının %1' in altında olması istenir. Beyaz çimentonun yapımında hammadde olarak kullanılan kaolin, bir kil minerali olarak çimento endüstrisinde önem taşımaktadır (Schafer, 1989).

Kil mineralleri genel olarak mineralojik bakımdan plastik özelliği olan ve olmayan unsurları da içerirler. Kil minerallerinin plastiklik özellikleri, mineraller içerisindeki en önemli ayırt edici özelliklerden birisi olup, su ile şekil alabilme özelliğini tanımlamaktadır. Bu özellik killerin yapısında bulunan kolloid yüzdesine, kil minerallerinin özgül yüzeyleri ile doğrudan ilişkilidir. Çimento sektöründe kullanılan killerin plastisite sayıları %15-20 arasında olması ve killerin 900-1050 °C' de sinterleşmeye ulaşması istenir (Ergin, 1999).

2.3.5. Killerin güncel teknoloji uygulamalarında kullanımı

Endüstriyel alanda killer insanlığın ilk çağlarından bu yana önemli bir hammadde olmuş ve birçok alanda kullanılmıştır. Günümüzde killerin birçok yeni kullanım alanı oluşmakta, bu alanlar hızla gelişmektedir. Yüksek dayanımlı beton üretiminde killerin kullanılması, kağıt sanayiinde ki yeni kullanım alanları, çevrenin korunmasıyla ilgili yeni kullanımlar, nükleer atık izolasyonu projeleri, nano-teknolojik ve akıllı malzeme üretiminde killerin kullanılması yeni uygulama alanlarına örnek olarak gösterilebilir. Bu uygulama alanlarının yer bilimleri akademik çalışmaları içerisinde ilgi çekeceği düşünülmektedir (Ateş, 2007).

Kaliteli beton üretimi ve çimento katkısı olarak

Kaliteli (yüksek dayanımlı) beton üretmek ilgi gören bir alandır. Beton üretiminin ana maddelerinden birisi çimento olup, kil ise geleneksel uygulamalarda kalkerden sonra çimentonun ikinci önemli ham maddesini oluşturmaktadır. Ancak, bunun ötesinde beton yapımında çimento yerine metakaolin (MK) ikame edilerek kullanılması önemli bir gelişme olarak görülmektedir. MK, kaolinin 650-800 °C sıcaklıkta arası kalsine edilmesi sonucunda üretilmektedir. Oldukça reaktif bir puzolan olup yüksek miktardaki

özgül yüzey alanı metakaolinin beton üretiminde iyi bir bağlayıcı görevi üstlenmesini sağlar. Ayrıca, metakaolinin çimentodan yaklaşık 10 kat daha büyük yüzey alanına sahip olmasından dolayı yüksek yoğunlukta ve daha az geçirgen bir beton elde edilir. Metakaolinin çimento yerine betona ikame edilerek kullanılmasının beton maliyetini düşeceği ve bu şekilde betonun mukavemetini %20-30 oranında artıracacağı ve hidrasyon sonucu atmosfere salınan CO₂ miktarında %55 azalma olacağı belirtilmektedir (Johnston, 2006).

Qian ve Li (2001), deneysel çalışmalarında metakaolin (MK) içermeyen kontrol betonu ile birlikte çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında MK içeren karışımlar kullanmışlardır. Elde ettikleri yüksek performanslı betonların elastisite modülü, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarma çekme dayanımı değerleri üzerine çalışmışlardır. MK içeren betonların yarma çekme dayanımı ve maksimum deplasman değerleri artan MK içeriği ile birlikte artmıştır. Beton üretiminde MK kullanımının, basınç dayanımı değerlerini özellikle erken yaşlarda artırdığını ve ileri yaşlarda da basınç dayanımı değerlerini artırıcı etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Gleize ve ark. (2007), çimento yerine ağırlıkça % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında metakaolin (MK) içeren, su-bağlayıcı oranı 0.3 ve 0.5 olan çimento hamurlarının kendiliğinden oluşan (otojen) rötresi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, MK içeriğinin kendiliğinden oluşan rötreyi ileri yaşlarda belirgin bir şekilde azalttığı belirtilmiştir. MK içeriğinin özellikle düşük su-bağlayıcı oranına sahip çimento hamuruna göre, yüksek su-bağlayıcı oranına sahip çimento hamurunda otojen rötreyi azaltmada daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. MK katkısız kontrol numunesine göre, çimento yerine ağırlıkça % 20 MK katkılı çimento hamurunun otojen rötresinde su/bağlayıcı oranı 0.5 olan betonlarda % 56, 0.3 olan betonlarda ise %35 azalma görülmüştür. Ayrıca, çimento yerine ağırlıkça % 15 oranına kadar MK kullanılmasının, kontrol numunesine göre kuruma rötresini de azalttığı belirtilmiştir.

Kaya ve ark. (2015), çalışmasında kalsinasyon sıcaklığı uygulanmış bentonitin çimento harçları içerisinde puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu sebeple, Portland çimentosundan ağırlıkça % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25

oranlarında azaltılarak yerine kalsine bentonit ikame edilerek harç numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük kür sonrasında eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 28 gün sonunda numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, kütlece su emme, porozite (boşluk oranı) ve birim ağırlık miktarları incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilere göre bentonit katkısız tamamen çimento içeren referans numunesine göre en iyi mekanik dayanım performansının % 10 bentonit ikameli harç numunesinden elde edildiği belirtilmiştir.

Targan ve ark. (2002) çalışmasında Kula cürufu, bentonit ve bor minerali olan kolemanit konsantratör atığının birlikte değerlendirilmesi amaçlanmış ve çalışmada adı geçen doğal puzolanlar ve atıklar katkı maddesi olarak çimento üretiminde değerlendirilmiştir. Bu sayede çimento üretiminde ekolojik faydaların oluşması amaçlanmıştır. Kula cürufu - kolemanit konsantratör atığı ve bentonit - kolemanit konsantratör atığı varyasyonları çimento içerisinde katkı maddesi olarak denenmiştir. Katkıların, çimento priz süreleri, hacim genleşmesi, eğilme ve basınç dayanımı gibi özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Katkıların, çimento üretiminde uygun puzolanların ve uygun miktarlarının bilinçli olarak kullanılmasının hem çevresel hem de ekonomik yararlar kazandırmadığı sonucuna varılmıştır.

Kurugöl (2015) yaptığı çalışmada, 550 °C, 650 °C, 750 °C ve 850 °C' deki sıcaklıklarda kalsine edilmiş kil malzeme ile üretilmiş kireç bağlayıcılı harçların puzolanik özellikleri ve ultrases geçiş hızları arasındaki ilişkileri incelemiştir. Bu sebeple bahsedilen sıcaklıklar arasında kalsine edilen killer, pişirme işlemleri sonrasında uygun tanecik boyutlarına getirilerek XRD (x-ray diffraction) analizleri yapılmış, daha sonra bu malzemelerle ASTM C 593-95 standardına göre kireç bağlayıcılı harçlar hazırlanmıştır. Yapılan mekanik ve ultrases geçiş hızı deneyleri sonucunda, çeşitli sıcaklıklarda kalsine edilmiş killerle üretilmiş harçların ultrases geçiş hızları ile puzolanik aktivite ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkiler olduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, puzolanik aktivitenin değerlendirilmesinde söz konusu yönteminin yardımcı bir metot olarak uygulanabileceğini göstermiştir.

Subaşı (2009), hazırladığı çalışmada genişletilmiş kil agregası ile farklı çimento içeriğiyle hafif beton üretimi ve bunların beton üzerindeki mekanik ve fiziksel özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Araştırmada genişletilmiş kil agregası ve doğal kum kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Karışımlar için 0–2 mm, 2–4 mm ve 4–8 mm boyutlarında genişletilmiş kil agregası ve 0-2 mm boyutlarında doğal kum kullanılmıştır. Çimento dozajı 350-400-450 kg/m³ olan üç tip hafif beton oluşturulmuştur. Oluşturulan taze beton karışımlarında çökme (slump) ve ve-be deneyi, sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise beton yoğunluğu, porozite, basınç dayanımı yarma çekme dayanımı ve ultrases hızı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre genişletilmiş kil agregası ile hazırlanan numunelerin 1.7 kg/m³ gibi düşük bir yoğunluğa sahip olduğu ve bu numunelerin basınç dayanımı 41.27 MPa olduğu, dolayısıyla genişletilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton elde etmenin mümkün olduğu belirtmiştir. Hazırlanan numuneler içerisinde 450 kg/m³ çimento dozlu beton karışımlarının en yüksek basınç ve yarma çekme dayanımı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kağıt üretiminde gelişmeler

Kaolin grubu killer en çok kağıt endüstrisinde kullanılmakta ve projeler hazırlanmaktadır. Hazırlanan bu projelerin amacı kullanılan kalker oranını düşürmektir. Silika bazlı lifli dolgu malzemeleri kullanılarak kâğıttan 2020 yılına kadar ton başına yaklaşık olarak 50 Amerikan doları tasarruf yapılacağı belirtilmektedir (Thorp, 2005).

Jeosentetik kil döşemeler

Jeosentetik kil döşemeler içerisinde bentonit kili içeren ve ticari olarak üretilmekte olan bir üründür. Bentonit, jeotekstil içerisine sandviç panel uygulaması ya da membran gibi yapıştırılarak tutturulmuştur. Jeosentetik kil döşemeler 5-7 mm kalınlıkta ve panel şeklinde, yaklaşık 4-5 m en 30-60 m boylarda hazırlanıp rulo şeklinde piyasada bulunurlar. Jeosentetik kil döşemeler arazilerde dolgu uygulamasında üst taban ve alt taban olmak üzere, akaryakıt depolarının üst katmanı olarak ve diğer başka tesislerde (atık tesisleri gibi) kullanılabilirler. Hazır ürünlerin hidrolik geçirgenliği çok

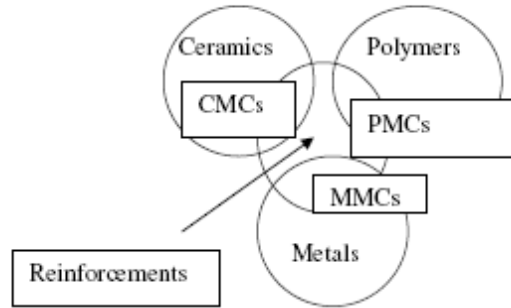
azdır. Uygulamalarda bunların 60 cm kalınlığında sıkıştırılmış kilin geçirgenliği olan 10^{-7} cm/s olduğu görülmüştür. Dolayısıyla sıkıştırılmış kil bariyer döşemelere karşı popüler bir ürün olmaktadır. Sıkıştırılmış kil bariyer döşemelerin özelliklerine sahiptirler ama daha az yer tutarlar. Az yer tutmasından dolayı atık deposu sahipleri tarafından tercih sebebidirler (McGrath ve Creamer, 1995).

Nükleer atık izolasyonu

Yapılan bazı araştırmalar faydalı tür killerin nükleer atıkların izolasyonu amacıyla depo yapılarında tercih edilmesinin gerekliliğini öne çıkarmıştır (Ateş, 2007). Killerin şişmesi ve bunun sonucunda oluşturdukları basınç oluşabilecek çatlakları giderebilme, su geçirimsizliği sağlamaları gibi yararları killerin uygulamada tercih edilme sebebi olmuştur. Depo yapılarında kilin ya yer altı tünellerinde yerinde sıkıştırılmış olarak ya da önceden hazırlanmış bloklar halinde tünellere yerleştirilmesi yöntemleriyle kullanılması tavsiye edilmektedir (Dixon ve ark., 2007; Karnland ve ark., 2007).

Nanoteknolojide kullanım

Malzemelerin görülen ve analiz edilerek saptanan davranış biçimleri o malzemenin iç yapısı ile direkt ilgilidir. İnsanların bu düşünceyi daha ileriye götürmek istemesi onları yeni malzemeler tasarlamaya yöneltti. Bu sebeple günümüzde temel malzeme çağı geride kalmış olup, tasarımı sonucu üretilen malzeme çağına geçilmiştir (Schwartz, 2006).



Şekil 2.1. Kompozit (yapay) malzemelerin oluşumuna bir örnek (Schwartz, 2006)

“Nano partikül büyüklüğündeki kil taneciklerini kontrol edip manipüle etmeyi başardığımız an, killerin bu yapısal desteği ile organik moleküllerin işlevsek özelliklerini birleştirerek akıllı malzeme yaratabilirsiniz” (Martin 2003).

Amerikalı ve Belçikalı araştırmacılar, kristal bir tane üzerindeki nano büyüklükteki kil taneciklerini kontrol edebilen bir yöntemle ultra-ince bir film tabakası oluşturdıklarını ve bu filmin sağlık, teknolojik ve mühendislik alanlarında yeni malzemelerin geliştirilmesine olanak sağlayabileceğini iddia etmişlerdir (Martin, 2003).

Nanokil

Nano boyutlu malzemeye olan ilgi, bu nano materyallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin nano olmayan hallerine göre oldukça farklı özellikler göstermelerinden doğmaktadır. Nano kompozitler bir boyutu en az 10 nanometreden küçük malzemeler içerir (Liu ve Erhan, 2005).

Nano kil ise nano boyuttaki kil olup Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Japonya’ da ticari kil olarak pazarlanmaktadır. Tabakalı yapıları, iç kimyalarının zengin olması ve ekonomik olmalarından dolayı kil mineralleri, polymerlerin nano parçacıklar kullanılarak güçlendirilmesiyle, ekonomik, hafif, ve yüksek performanslı nano kompozit üretimi konusunda umut vermektedirler (Zeng ve ark., 2005).

Bazı nanokil kullanma alanları

Otomobil yedek ve ana parçaları, ambalaj sanayinde, bariyer filmi olarak, uçak parçalarında, pet su şişelerinin içerisinde, kağıt kaplama sektöründe, yangın söndürücüler olarak kullanılmaktadırlar (Zeng ve ark., 2005).

2.4. Sepiyolit

Bu bölümde öncelikle sepiyolit fiziksel ve kimyasal özellikleri, Türkiye’ de ve Dünya’ da sepiyolit rezervleri, üretimi ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir.

2.4.1. Sepiyolitın tanımı ve oluşumu

Sepiyolit fillosilikat grubuna ait doğal bir kildir. Sepiyolit ismi 1847 yılında Glocker tarafından minerolojik anlamda ilk kez tanımlanmış olup, Yunanca da “mürekkep balığı” anlamına gelen kelimedenden türetilmiştir (Glocker, 1847).

Sepiyolit, sepiyolit-paligorskit grubuna ait, magnezyum hidrosilikatten oluşan doğal bir kil mineralidir. Tetrahedral ve oktahedral oksit tabakalarının istiflenmesi sonucu oluşan lifli bir yapısı ve lif boyunca devam eden kanal boşlukları vardır (Rodriguez ve ark., 1994).

Sepiyolit, Fersman (1913)' a göre tabiatta iki değişik poliformik yapıda çökelmektedir. Bunların birincisi; camsı, birleşik halde ve yumrular şeklinde olan ve dış görünüşü köpüğe benzediği için Almanca “Meerschaum”, Osmanlı Türkçesiyle “Derya köpüğü” ve günümüzde “lületaşı” adı ile bilinen α -sepiyolit, ikincisi ise; yassı küçük ve yuvarlak partiküller veya camsı agregalar halinde bulunan β -sepiyolittir. Günümüzde endüstriyel sepiyolit olarak bilinen ve hediyeelik süs eşyası yapımına uygun olmayan β -sepiyolit, tabakalı bir sepiyolit türü olarak, oluşumu, bileşimi, özellikleri ve kullanım alanları itibariyle γ -sepiyolitten ayrılır (Fersman, 1913; Saniz ve Nuhoglu, 1992).

Sepiyolitın oluşumu ile ilgili olarak bugüne kadar yapılan çalışmalarda farklı oluşum modelleri ile sürülmüştür. Diyajenetik yer değiştirme diye adlandırılan bir modele göre; serpantinlenmiş ultrabazik kayaların, muhtemelen volkanik faaliyetler sonucu açığa çıkan termal sulardan etkilenmesi veya tortullaşma havzasındaki çakıl ve bloklarla birlikte bulunan manyezit parçalarının, diyajenetik evrede yeraltı sularına bağlı gelişen silisçe zengin alkalin ortam şartlarındaki ornatımı sonucu oluştuğu görüşü kabul edilmektedir (Ece ve Çoban, 1994).

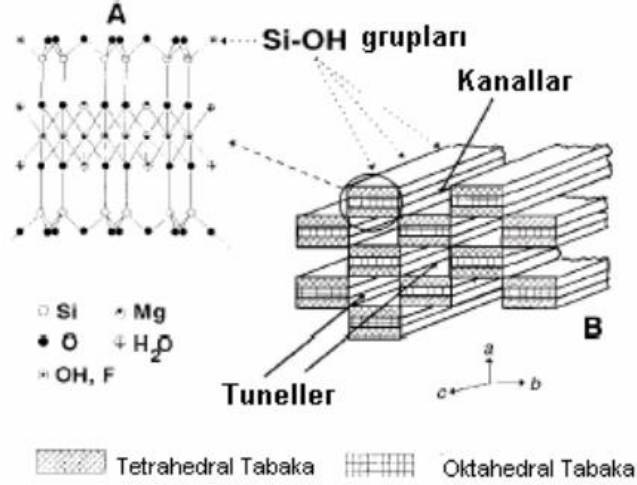
Bilhassa tabakalı yataklanma gösteren sepiyolitler için geçerli olan ve direk çökelme modeli olarak bilinen diğer bir oluşum modelinde ise; sığ denizel çökeller, ekonomil boyutlu yataklar için ise daha ziyade kapalı göl havzaları, silisçe zengin alkali ortam ve

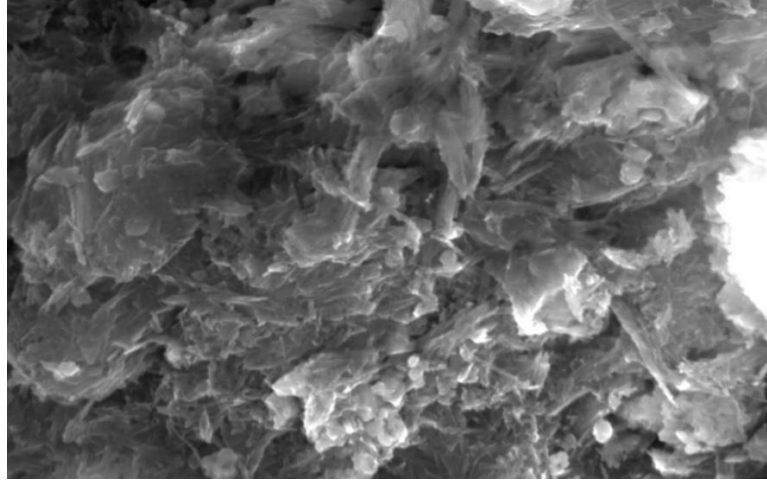
şartlar, yağışlı kurak veya yarı kurak iklim vs. gibi ortamlar, bir paleoiklim idikatörü olan sepiyolitın çökeldiği ortamlardır (Callen,1984).

2.4.2. Sepiyolitın kristal yapısı

Sepiyolit, kristalize olmuş killer arasında yaygın ve önemli bir konuma sahip olan fillosilikatler grubunda bulunan bir kildir, fakat amfibol tipli çift zincirli yapısının oluşturduğu zincir kafes tipi (lifsı yapı) nedeniyle, yine bu grup içinde yer alan, tabaka (düzlem) kafes tipi minerallerden ayrılmaktadır (Özdemir, 1999).

Sepiyolit, taban oksijen düzlemlerinden yukarı ve aşağı doğru yönelik şekilde düzenlenmiş SiO tetrahedronlarıyla, oktahedral tabakalardan oluşan kristal bir yapıya sahiptir. Değişik kimyasal konumlarda olmak üzere, sepiyolitın yapısında mevcut kaba nem, zeolitik su, kristal suyu ve bünye suyu olmak üzere 4 çeşit su molekülü tanımlanmıştır (Sabah ve Çelik, 1998). Sepiyolitın kristal yapısı Şekil 2.2.' de verilmiştir (Nagy ve Bradley, 1955; Blanca ve ark., 2001)





Resim 2.1. Sepiyolite ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü (Sabah ve Ouki, 2017)

Sepiyolitın kimyasal yapısını belirlemeye yönelik yapılan çalışmaların tarihsel kronolojisi, Wiegleb (1784)' in Türkiye' den gelen lületaşından yapılmış bir piponun kimyasal analizini yapmasıyla başlamış ve aynı yüzyılın sonlarında Klaproth (1794), Eskişehir bölgesi sepiyolitinin kimyasal analizini daha doğru bir şekilde yapmıştır. Bu analizlerin sonuçları günümüze kadar güncelliğini koruması sebebiyle yayınlanan birçok çalışmada halen dikkate alınarak kullanılmaktadır.

Sepiyolitın kimyasal formülü

- Nagy ve Bradley (1955) modelinde sepiyolite ait yarım hücre formülü:



- Brauner ve Preisinger (1956) modelinde formül:



2.4.3. Sepiyolitın fiziksel özellikleri

Kaygan bir görünüme, ince taneli, toprak yapısına sahip katmanlı sepiyolit, genellikle beyaz, kremi, gri veya pembe renkte olabilir; organik madde içeriğine bağlı olarak koyu kahverengi ve siyah renklere de olabilir.

Yoğunluğu 2-2.5 g/cm³ arasında olup, çok gözenekli olan türlerin yoğunluğu zaman zaman birim altına düşebilmektedir; kurudukça, yoğunluğu azaldığı için suda yüzebilmeye yeteneği gösterir.

Monoklinik veya psödorombusal sistemde kristallenen sepiyolit Mohs sertliği 2-2.5 civarında ve ortalama kırma indeksi 1.50 olup, negatif biaksiyal optik işaret verir. Nemli olduğunda tırnakla çizilebilir, dil ile dokunulduğunda kil gibi çeker.

Sepiyolit kuruma sıcaklığı 40 °C, erime sıcaklığı ise 1400-1500 °C arasında değişmektedir. Sepiyolit sahip olduğu fiziksel özellikler Çizelge 2.3.' de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Sepiyolit sahip olduğu fiziksel özellikler (Jones ve Galan 1988)

YAPI	Lifsi ve toprağımsı
GÖRÜNÜM	Kayganımsı
RENK	Beyaz, kahverengi, gri veya pembe, açık sarı, krem
LİF BOYUTLAR	
uzunluk	100 Å ⁻³ ile 4µm
genişlik	100-300 Å
kalınlık	50-100 Å
GÖZENEK BOYUTLARI	
Mikropor çapı	15 Å
Mezopor yarıçapı	15-45 Å
YOĞUNLUK	2-2.3 g/cm ³
SERTLİK (Mohs'a göre)	2-2.5
KIRILMA İNDEKSİ	1.50
KURUMA SICAKLIĞI	40 ° C
ERİME SICAKLIĞI	1400-1450 ° C

2.4.4. Sepiyolit fiziko-kimyasal özellikleri

Fiziko-kimyasal özellikler, kil minerallerinin mikroyapısına ve jeoteknik özelliklerine etki etmektedir. Bu özelliklerin bilinmesi çeşitli çevresel koşullar altında kil minerallerinin davranışı ve teknolojik alanlar konusunda önemlidir.

Sepiyolit absorban özellikleri

Kil minerallerinin içyapıları ve kimyasal bileşimleri temelinde yapılan sınıflandırmalara göre, sepiyolit kil zincirinin kristaller grubuna aittir. Zincir yapılı minerallerin kristal yapılarında üç tip aktif absorpsiyon merkezi vardır (Serratos, 1978). Bunlar;

- Tetrahedral silika tabakasındaki oksijen atomları zayıf elektron taşıyıcıları olup, bu minerallerin tetrahedral tabakalarındaki düşük izomorfik değişim oranları ve adsorbe edilen türlerle etkileşimleri zayıf olacaktır.
- Su molekülleri (Mg^{+2} iyon başına iki H_2O molekülü) yapıdaki zincirlerin kenarlarında magnezyum iyonları ile koordine edilmiştir. Bunlar sorplanan türleri ile hidrojen bağları oluşturabilir.
- Lif eksenini boyunca uzanan Si-OH gruplarıdır. Bunlar, Si-O-Si bağlarının, tetrahedral tabakanın dış yüzeylerinde parçalanmasıdır. Başka bir deyişle, kırılmadan dolayı oluşan artık yük, yükü nötralize etmek için bir proton veya bir hidroksil molekülü ile bağlanır. Bu gruplar, lif eksenini boyunca 5 Å aralıklı bir dizi gösterir ve bunların frekansı, kristalin doğal yapısı ve liflerin boyutları ile ilgilidir. Bu Si-OH grupları, sepiyolit dış yüzeyinde adsorbe edilen moleküller ile etkileşime girebilir ve bazı organik reaktifler ile kovalent bağlar oluşturabilir (Serratos, 1978).

2.4.5. Sepiyolit termal özellikleri

Doğal sepiyolit; fiziksel olarak adsorbe higroskopik su, kimyasal olarak adsorbe zeolitik su, kristal yapısında nispi su ve hidroksil su olmak üzere dört çeşit içyapı suyu içerir. Sepiyolit, söz konusu su molekülleri nedeniyle farklı ısı davranışları sergileyen ısı işlemlere tabi tutulduğunda yapısal ve morfolojik değişikliklere uğrar. Farklı sıcaklık değerlerine göre; termal analiz ile termo gravimetrik analiz metotları sonucunda oluşan bu yapısal ve morfolojik değişikliklerin kimyasal formülleri aşağıda verilmiştir (Ratureau ve Mifsod, 1977).

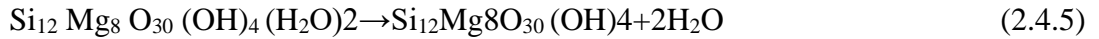
- 20-200 °C (higroskopik ve zeolitik su kaybı)



- 200-400 °C (zayıf bağlı kristal su kaybı)



- 400-550 °C (kuvvetli bağlı kristal su kaybı)



2.4.6. Sepiyolitın termal iyileştirilmesi

Changling ve ark. (1995) sepiyoliti 370 °C, 570 °C ve 830 °C’ de kalsine ederek hazırladıkları portland çimentosu, sepiyolit ve kalsiyum hidroksit Ca(OH)₂’ li çözelti numunelerini XRD, SEM ve elektron prob mikro analizi (EPMA) ile incelemişlerdir. Sonuçlar, sepiyolitın bir puzolanik malzeme olarak daha etkin olmadığını, düşük puzolanik aktiviteye sahip olduğunu ortaya koymuş ve sepiyolitın yüksek su ihtiyacına sahip olduğunu göstermiştir. Yüksek su/çimento oranı, mineralin yüksek su tutma kapasitesine bağlı olan sepiyolit-çimento harcı için tipik bir özelliktir. Sepiyolitın 370 °C ve 570 °C’ de dehidrasyonunun neden olduğu yapısal modifikasyon, anlamlı puzolanik aktivasyona neden olmamıştır. 830 °C’ de kalsinasyon önemli ölçüde iyileştirme sağlamasına rağmen, 28 gün 40 °C’ de kürlenmiş karışımın basınç dayanımı, referans Portland çimentosunun basınç dayanımının sadece % 84’ üne ulaşmıştır.

2.4.7. Sepiyolitın mühendislikte kullanım alanları

Demir (2016), Eskişehir civarına ait sepiyolitın portland çimentosu yerine ağırlıkça % 0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek hazırladığı sepiyolit ikameli prizmatik harç numunelerinin 7, 28 ve 56 günlük kür sonrasında ki fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda %10 sepiyolit ikamesiyle hazırlanan seride fiziksel ve mekanik özellikler bakımından %0 serisine göre çok fazla farklılık görülmemiştir. Sepiyolitın yoğunluğunun çimentodan düşük olması ve bu nedenle sepiyolit ikamesiyle hazırlanan harç numunelerinin birim ağırlıklarının referans numunesinden daha düşük olduğu ve bu nedenden ötürü sepiyolit katkılı çimentoların hafif beton üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir. Üretilecek sepiyolit katkılı

betonlar, ses yalıtımı gerektiren hafif ve boşluklu bölme duvarlarında, döşemelerde, teras ve duvarlarda, dolgu ve tesviye betonu olarak kullanılması bu çalışmanın bir sonucu olarak önerilmektedir.

Savaş ve ark. (2014), gazbeton üretiminde sepiyolit kuvarsit yerine kullanılmasının gazbeton üzerindeki ısı ve basınç dayanımına yönelik etkilerini araştırmışlardır. Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi civarında bulunan sepiyolit yataklarından temin edilen sepiyolit gazbeton üretiminde hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranlarında ikamesi ile gazbeton numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler 60 °C sıcaklıkta 4 saat süreyle kür edildikten sonra 180 °C’de 11 bar basınçta 6,5 saat otoklavda küre tabi tutulmuştur. Üretilen numunelerin ısı iletkenlik özellikleri ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Karışımın suyu miktarı sabit tutulurken, sepiyolit ikame miktarları artırılarak yapılan gazbeton numunelerinde; sepiyolit ikamesinin artmasının karışım suyu ihtiyacını artırdığı, kıvamı yoğunlaştırdığı, kabarmayı azalttığı, gözenek yapısını bozduğu ve basınç dayanımı azalttığı görülmüştür. İkame edilen sepiyolit artmasının bu gibi zararlarının yanında ısı iletimde iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Kavas ve ark. (2004), çimento yerine %5 alçı taşı ilavesi sabit tutularak kalan %95’ lik çimentodan azaltarak yerine sırasıyla %3-%5-%10-%15-%20 ve %30’ luk kahverengi sepiyolit ikamesiyle hazırladıkları çimento hamurlarının priz başlangıç ve bitiş sürelerini incelemişlerdir. Hazırlanan harçların su/bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit tutulmuştur. %95 çimento ve %5 alçı taşı katılarak elde edilen referans numunesinin priz başlangıç süresinin 156 dakika, bitiş süresinin ise 240 dakika olduğu belirlenmiştir. %3 sepiyolit, %92 çimento ve %5 alçı taşı ikamesinden oluşan hamurun priz başlangıç süresinin 132 dakika, bitiş süresinin ise 252 dakika olduğu saptanmıştır. En erken priz başlangıç ve bitiş başlangıç değerlerine %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikamesinin olduğu numunede sırasıyla 108 dakika ve 216 dakika olarak rastlanmıştır.

Kavas ve ark. (2004)’ nin sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerinin özelliklerini belirlemeye yönelik yaptıkları araştırmada; Eskişehir-Sivrihisar bölgesinden temin ettikleri kahverengi sepiyoliti kullanarak çimento yerine %5 alçı taşı ilavesi sabit

tutularak kalan %95' lik çimentodan azaltarak yerine sırasıyla %3-%5-%10-%15-%20 ve %30' luk kahverengi sepiyolit ikamesiyle ve sabit su/bağlayıcı oranı (0.5) ile hazırladıkları harç numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımlarını incelemişlerdir. 2 günlük kür sonrası yapılan eğilme dayanımı deneyi sonucunda en iyi dayanım değerine %5 sepiyolit, %90 çimento, %5 alçı taşı ikamesiyle oluşturulan numunede rastlanmıştır (4.8 MPa). En düşük dayanım değerine ise %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numunede rastlanmıştır (2.8 MPa). Sepiyolit kullanılmadan hazırlanan %95 çimento ve %5 alçı karışımından oluşan referans numunenin eğilme dayanımının ise 4.7 MPa olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrası alınan sonuçlarda, en iyi dayanım değerine %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikameli numunenin sahip olduğu (7.4 MPa), en düşük dayanımın ise yine %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numuneye ait olduğu (5.2 MPa), referans numunenin ise 7.0 MPa eğilme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. 28 günlük kür sonrasında alınan eğilme dayanımı sonuçlarında ise 7 günlük sonuçlarına paralel olarak en iyi dayanımın %10 sepiyolit ikameli numunede (8.7 MPa), en düşük dayanımın ise %30 sepiyolit ikameli numunede (6.6 MPa) olduğu görülmüştür. Çalışmada genel olarak %10 sepiyolit ikameli seri dışında sepiyolit ikamesinin artmasının doğrusal olmasada eğilme dayanımı azaltmakta olduğu söylenebilir.

Kavas ve ark. (2004)' nin aynı çalışmada eğilme dayanımını inceledikleri numunelerin basınç dayanımlarını da araştırmışlardır. Elde edilen basınç dayanımı değerleri büyük oranda eğilme dayanımlarıyla doğrusal orantılılık göstermiştir. 2 günlük kür sonrası yapılan basınç dayanımı deneyi sonucunda en iyi dayanım değerine %10 sepiyolit, %85 çimento, %5 alçı taşı ikamesiyle oluşturulan numunede rastlanmıştır (20.7 MPa). En düşük dayanım değerine ise %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numunede rastlanmıştır (11.2 MPa). Sepiyolit kullanılmadan hazırlanan %95 çimento ve %5 alçı karışımından oluşan referans numunenin basınç dayanımının ise 20.0 MPa olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrası alınan sonuçlarda, en iyi basınç dayanım değerine %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikameli numunenin sahip olduğu (34.5 MPa), en düşük dayanımın ise yine %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numuneye ait olduğu (23.2 MPa), referans numunenin

basınç dayanımının ise 32.5 MPa olduğu belirlenmiştir. 28 günlük kür sonrasında ki basınç dayanımında ise yine en iyi dayanımın %10 sepiyolit ikameli numunede (44.9 MPa), en düşük dayanımın ise %30 sepiyolit ikameli numunede (31.5 MPa) olduğu görülmüştür. Hazırlanan harçların basın dayanımlarına genel olarak bakıldığında 2, 7 ve 28 günlük kür sonrası yapılan deney sonuçlarında en iyi dayanımın her üç yaş grubunda da %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle üretilen harç numunesinde olduğu görülmüştür. Her ne kadar doğal puzolanik katkı maddelerinin genel olarak çimentonun erken basınç ve eğilme dayanımlarını azalttığı bilinse de,% 10 sepiyolit ilavesinin hem harç kuvvetinin hem sıkıştırıcı hem de eğilme mukavemetlerini arttırdığı bulunmuştur.

Kavas ve ark. (2004), basınç ve eğilme dayanım değerlerinin % 10' luk sepiyolit ilavesinin üzerindeki bozulma sebebinin ana matrisi oluşturan klinkerin seyreltme etkisi göstermesinden ve klinker ilavesinde bir azalmaya rağmen, sepiyolit in şekli ve puzolanik aktivitesi nedeniyle kuvvet değerlerinde sistematik bir düzelme göstermesine bağlı olabileceğini, puzolanik aktivitenin mukavemet değerleri üzerindeki etkisinin ise literatürdeki tartışmalara rağmen 28 günlük kür periyodundan önce ortaya çıkmayacağını belirtmişlerdir. Çalışmanın bir sonucu olarak doğal sepiyolit in lifli yapısı, yüksek hacim kararlılığı ve kuvvetli alkali ortamlarda gösterdiği önemli kimyasal ve yapısal stabilitesi ile çimentoda fiber materyallerin kullanımında yeni yollar açması beklenmektedir.

Ersever Angur (2016), çimento esaslı yapıştırıcı harçlarda sepiyolit katkılı malzeme geliştirilmesi amacıyla yaptığı çalışmada; Sepiyolit in seramik bazlı yapıştırıcılar üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu ve kuru bazda modifikasyon ile daha olumlu sonuçlar verdiği bulunmuştur. Nişasta eter yerine sepiyolit kullanılması durumunda, amaçlanan taze harç özellikleri elde edilmiştir, ancak selüloz eter % 50-65 yerine kullanıldığında, su tutma özelliği yeterli değildir. Sepiyolit çimento esaslı seramik yapıştırıcılarda nişasta eterinin yer değiştirmesi konusunda olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Abbaslou ve ark. (2016) tarafından yapılan bentonit ve sepiyolitın plastik kesme duvarı malzemesi olarak kullanımının uygunluğunu araştırmıştır. Sepiyolitın düşük geçirgenliği, hafif şişmesi ve normal dayanımının olması nedeniyle kesme duvarları için uygun olabileceği belirtilmiştir. Gerekli dayanımın yaklaşık %20 oranında sepiyolit ikamesiyle elde edilebileceği önerilmiştir. Kil içeriğinin arttıkça dayanımın düştüğü belirtilmiştir.

Abu-Hasan (2001), çalışmasında bir kil minerali olan sepiyolitın epoksi reçinesinde dolgu maddesi olarak kullanılabilir olup olmadığını araştırmıştır. Parça büyüklüğünün, parça büyüklüğü dağılımının ve sepiyolitın susuzlaştırılmasının, epoksi-sepiyolit kompozitlerinin mekanik, morfolojik ve ara yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini özellikle araştırılmıştır. Ağırlıkça %7.7, 14.3 ve 20 sepiyolit içeren epoksi sepiyolit kompozitlerini sulu ve susuzlaştırılmış olarak yaklaşık 17 µm ve 53 µm ortalama çapında değişik sepiyolit örnekleri ile hazırlanmıştır. Sepiyolit-epoksi kompozitlerinin mekanik, morfolojik özellikleri üzerine sepiyolit susuzlaştırılmasının, parça boyutunun ve parça boyut dağılımının etkilerini belirlemek için çekme, darbe ve 3-nokta eğme testleri uygulanmıştır. Sonuçlar sepiyolit içeriğinin artması ile kompozitin çekme ve eğme kuvvetlerinin arttığını, fakat çekme ve eğmedeki uzama değerlerinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Sepiyolitın susuzlaştırılmasının, epoksi ve sepiyolit yüzeyi arasındaki etkileşimi kuvvetlendirmesinden dolayı mekanik özelliklerde hafif iyileşmeler gözlenmiştir. Parça boyutunun ve boyut dağılımının kompozitin mekanik ve morfolojik, özellikleri üzerinde fazla etkilerinin olmadığı belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskopu mikrofotografileri sepiyolit susuzlaştırılmasının sepiyolit ve epoksi arayüzeylerinde boşlukların oluşumunu önlediğini ve daha iyi yapışmayı sağladığını göstermiştir.

Özdemir (2004) çalışmasında, sepiyolitın çöp yatağı alanlarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Sepiyolit ile birlikte kaolinit kili kullanmıştır. Sepiyolit materyalinin çöp yatağı alanında kullanılabilirliğini belirlemek için sepiyolit için indeks deneyleri, mekanik deneyler ve fizikokimyasal deneyler gerçekleştirilmiş ve karışımlar oluşturulmuştur. Bunun için sepiyolit, 0.75 sepiyolit + 0.25 kaolin, 0.50 sepiyolit + 0.50 kaolinit karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımların Atterberg kıvam limitleri ve dane

çapı dağılımları belirlenmiştir. İndirgenmiş, standart ve modifiye enerji uygulanarak, karışımların kompaksiyon parametreleri tayin edilmiştir. Daha sonra bu enerjilerde sıkıştırılmış karışımlar için, permeabilite, serbest basınç ve hacimsel büzülme şekil değiştirmesi deneyleri, standart enerji ile sıkıştırılmış karışımlarda ise konsolidasyon ve şişme deneyleri yapılmıştır. Çöp deponi alanlarında yüksek miktarda bulunan ağır metal ve tuz çözeltileri kullanılarak, sızıntı deneyleri yapılmıştır. Karışımlar ve bentonit için, bakır adsorpsiyon izotermi belirlenmiştir. Sızıntı deneyleri sonrası karışımlarda ve toplanan sızıntı sularında pH, elektriksel iletkenlik ve ağır metal ölçümleri yapılmıştır. Adsorpsiyon ölçümlerine göre, sepiyolitli karışımların adsorpsiyon kapasitelerinin bentonitin yaklaşık iki katı olduğu belirlenmiştir. Deneyler sonunda çöp deponi tabakaları için en önemli özelliklerden olan permeabilite, serbest basınç ve hacimsel büzülme değerleri açısından, en uygun karışımın 0.50 sepiyolit + 0.50 kaolinit karışımı olduğu görülmüştür. Buna göre sepiyolit malzemesinin çöp deponi alanları için alternatif bir kil tabakası malzemesi olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Sepiyolit kili ilaçların bozulmasına sebep olan demir mineralini denetleyebilmesi sebebiyle eczacılık sektöründe kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca elektrik sanayinde katalizör imalinde, nebati ve madeni yağlar ve şurupların arıtılmasında, petrol arama sondajlarında, askeri mühimmat imalatında, kağıt ve seramik sanayilerinde kullanılmaktadır. Sepiyolit kili; hafif yapı malzemesi olarak, iyon değiştirici olarak, yüksek porozitesi nedeniyle gaz ve sıvıların temizlenmesinde absorban olarak, leke çıkartma amacıyla, otomobil sanayinde yakıt temizleme ve korozyona dayanıklı oto boyası imalinde, füze ve diğer uzay araçlarının yalıtılmasında, ülsere karşı ilaç olarak, parafinlerin ayrılmasında, evcil hayvanların altına yaygı malzemesi olarak kullanılır (Can, 1992).

2.4.8. Dünyada ve Türkiye’ de sepiyolit

Dünyadaki sepiyolit üretiminin neredeyse tamamı İspanya tarafından karşılanmaktadır. Bu ülkenin sepiyolit rezervleri yaklaşık 15-20 milyon ton civarındadır. Çin Halk Cumhuriyeti’ nde bazı ticari sepiyolit yataklarının varlığı bilinmektedir. Bu sepiyolit oluşumları son derece uzun lifli olup asbesti andırmaktadır. Rezervleri konusunda bilgi

yoktur, ancak bir miktar üretim yapılarak İspanya' ya gönderildiği bilinmektedir. Endüstriyel sepiyolit olarak bilinen sedimanter sepiyolit ABD, Çin ve Türkiye' nin az miktarda ki üretimi dışında, İspanya dünya sepiyolit pazarını tek başına elinde bulundurmaktadır (Sabah ve Çelik, 1999).

Türkiye' nin ekonomik olarak değerlendirilebilecek endüstriyel veya tabakalı tip sepiyolit yatakları, Eskişehir, Çanakkale, Tokat, Bursa, Kütahya ve Isparta'da bulunmaktadır. Ülkemizde endüstriyel sepiyolit üretimi, Eskişehir-Sivrihisar güneyi Neojen havzasında, İlyaspaşa ve Yenidoğan köyleri civarındaki ocaklarda zaman zaman yürütülmektedir. Buna ilaveten, Günyüzü-Kayakent civarında da dolomitli sepiyolit üretimi yapılmaktadır (Sabah ve Çelik, 1999).

2.5. Korozyon

Korozyon İngilizce “corrosion” sözcüğünden Türkçeye geçirilmiş bir sözcük olup, “paslanma, aşınma, çürüme, bozukluk, çürüklük” olarak açıklanmaktadır. Korozyonun diğer bir tanımı ise “ortamın elektrokimyasal etkisinden kaynaklanan malzeme kayıplarıdır” (Onaran, 1986). Daha kapsamlı bir ifade, “Korozyon bir malzemenin yüzeyinin dıştan kimyasal etkiler veya elektrokimyasal yollarla değişime uğraması olayıdır” (Baradan, 1998).

Metallerin büyük bir kısmı suya ve atmosferik etkilere karşı dayanıklı değildir ve normal şartlarda bile korozyona uğrayabilirler. Doğada bulunan mineraller metalin en kararlı durumdur. Bununla birlikte, metallerin çoğu, elemanlar olarak termodinamik olarak stabil değildir. Uygun bir ortam bulunursa, taşıdıkları kimyasal enerjiyi geri vererek minimum enerji taşıyan stabil bileşiklere geri dönmek isterler. Bu nedenle, enerji olaylarını kendiliğinden ortadan kaldırarak korozyon devam eder. Bazı asil metaller dışında, teknolojik önlemlere sahip tüm metaller ve alaşımlar korozyona uğrayabilirler (Biçer ve ark., 1997).

2.5.1. Korozyona etki eden faktörler

Bir yüzey olayı olan korozyon, metal yüzeyinin hava veya su gibi etkilerle teması sonucunda, yüzeyde başlayan ve zamanla ilerleyerek malzemenin daha derin noktalarına doğru hasara neden olabilen, malzeme verimliliğinin düşmesine neden olan bir oluşumdur (Es ve Girgin, 2017). Korozyona etki eden bazı faktörler şunlardır:

Klorür etkisi

Klor iyonları korozyonun başlıca nedenlerinden biridir (Gel, 2011). Betonun geçirgenliği ve gözenekliliği ne kadar yüksekse, klorür iyonlarını çevreleyen betona yaymak o kadar kolay olur. Bazen bu olay, ıslak ve kuru betonda kendini daha yoğun olarak gösterir (Yalçın ve Koç, 1998). Gelgit etkisindeki deniz yapılarında, deniz suyu ile beton içine sızan klor iyonları, suyun buharlaşması sonucu beton içinde kalmakta, tekrar sayısı arttıkça klorür yoğunluğu da artmaktadır. Bu durumda deniz suyundaki klor iyonu konsantrasyonundan daha fazla miktarda klor iyonu beton içinde birikebilmektedir (Haberal, 2010).

Klorür iyonları, metal tarafından O_2 ve OH^- iyonlarına kıyasla daha çok ve daha kolay adsorbe edilir, anodik reaksiyonun oluşmasını kolaylaştırır, demirin iyonlaşmasını hızlandırır. Özetle klorür iyonları aşağıdaki bağıntılar ile gösterildiği gibi katalizör görevi yapar (Haberal, 2010).



Klorür iyonlarının tekrar ortaya çıkması yukarıdaki anodik reaksiyonun süreklilik kazanacağını da belirtmektedir. Demir-klor kompleksleri anottan uzaklaşırken, çelik yüzeyini koruyucu pastan arındırarak açığa çıkarır ve korozyona süreklilik kazandırır (Delikanlı, 2001).

Nem etkisi

Betonun bozulmasına yol açan tüm kimyasal reaksiyonların gelişimi suyun varlığına bağlıdır. Betonda nem bulunması, ortamdaki bağıl nemden çok daha önemlidir. Bağıl nem, betonun nem içeriğini aştığında, beton atmosferi hızla su emer. Beton ıslatma kurumadan daha hızlıdır. Beton, çoğunlukla deniz kıyısı iklim koşullarında suya doygundur. Ortamın bağıl nem seviyesine göre bozulma süreci (CEB) geliştirme riski Çizelge 2.4.'de gösterildiği gibi Avrupa Beton Komitesi tarafından değerlendirilmektedir (Baradan ve Yazıcı, 2002).

Çizelge 2.4. Ortamın bağıl nem seviyesine göre bozulma risk seviyeleri (Baradan ve Yazıcı, 2002).

Etkatif Bağıl Nem %	Bozulma İşlemi				
	Karbonatlaşma	Çeliğin Korozyonu		Don Etkisi	Kimyasal Etkiler
		Karbonatlaşmış Beton	Klor Etkisinde Kalmış Beton		
Çok düşük (<45)	1	0	0	0	0
Düşük (45-65)	3	1	1	0	0
Orta (65-85)	2	3	3	0	0
Yüksek (85-98)	1	2	3	2	1
Doygun (>98)	0	1	1	3	3

0 = Risk Yok 1= Düşük Risk 2 = Orta Risk 3 = Yüksek Risk

pH etkisi

Korozyon oluşumu oranı sıvının pH değeri ile ilgilidir. Özellikle yeraltı suları içeren sülfat ve klorür iyonları, deniz suyu, serbest CO₂ veya H⁺ iyonları içeren sular, endüstriyel atıklar, kanalizasyon suları, atmosfere karışan gazların nemle asit yağmuru şeklinde yerüstü ve yer altı yapı elemanlara zarar verirler. Sıvı içindeki pH 4.5-4.0 arasında ise zararlı reaksiyon saldırısı şiddetli, pH 4.5 ve üzerinde ise çok şiddetli oluşur. Düşük sertlik seviyesine sahip kar suları ve yağmur suyu gibi saf sular, çimentodaki kalsiyum bileşiklerinin çözünmesine neden olur. Hidratlanmış çimento

bileşenlerinde kalsiyum hidroksit, litre başına 1230 mg çözünürlükte saf suya sahip en hidrolize bileşendir. Çimento hamuru ile temas halinde olan su kirece doyduğunda hidroliz sona erer. Sürekli akma veya yenilenme durumunda, kalsiyum hidroksit tamamen çözünebilir ve hamurdan atılabilir. Bu kez, çözünen bağlayıcı CSH tutucusunda başlar, bu da kireç içeriğinin azalmasına neden olur. Azalma sonucu betonda dayanım kaybı başlar, kirecin boşaldığı gözenekler nedeniyle geçirimsizlik artar (Cilason ve Aksoy, 2000).

Beton kalitesi

Betonun kalitesinin iyileştirilmesiyle betondaki boşluklar azaltılmakta ve betonarme içerisindeki korozyonun oranı azaltılmaktadır. Her şeyden önce, betonun geçirgenliğini ve gözenekliliğini azaltmak için iyi bir agrega ve uygun bir granülometri seçilmelidir. Ayrıca, aşağıdaki önlemler alınmalıdır (Doğan, 2009).

Çimento dozajı

Çimentonun dozu arttığında, beton yoğunluğu artar ve gözeneklilik azalır. Kullanılan çimento tipi de önemlidir. Puzolanlı çimentolar, beton boşluklarındaki serbest kireç silikat bileşiklerini bağlayarak betondaki boşlukları doldurur. Böylece, beton geçirgenliğinde bir azalma meydana gelir. Bununla birlikte, puzolanların bu etkisi uzun bir zamanda meydana gelir. Diğer taraftan, puzolanlar, serbest kireci ekleyerek betonun pH değerini düşürür. Bu olaylar korozyon oranını artırma etkisine sahiptir (Doğan, 2009).

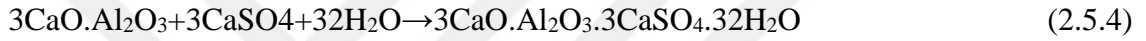
Su/çimento oranı

Beton karışımına bazı özel katkı maddeleri katılarak, düşük su / çimento oranlı beton üretilebilir. Böylece, betondaki boşluklar en aza indirgenir. Çimentonun hidratasyonu için kimyasal olarak gerekli olan su miktarı % 30' dan azdır. Uygulamada bu oran genellikle % 40-50 arasında alınır. Fazla su betonun boşluklu olmasına neden olur. Ek olarak, beton karışımına hava katkı maddesi ekleyerek, betondaki boşlukları kapalı

hücreler olarak oluşturmak mümkündür. Böylece beton boşluğunun zararlı etkileri azaltılmış olur. Su/çimento oranı 0,40 ve 0,70 olan betonların su ile doygunluk derecesi arttıkça dirençlerinin büyük ölçülerde azalmakta olduğu görülmektedir (Doğan, 2009).

Çimento cinsi

Portland çimentosu klinkerinde, trikalsiyum alüminat (C₃A), hammaddenin türüne bağlı olarak değişen oranlarda mevcuttur. Bu bileşenin hidrasyon reaksiyon hızı, diğer klinker bileşiklerine kıyasla çok yüksektir. Bu sebeple klinkere alçı taşı eklenmezse, çimento hamurunun priz süresi çok kısaldır. Aşağıdaki kimyasal reaksiyon klinkerdeki alçı taşı (jips) ve trikalsiyum alüminat arasında gerçekleşir (Koç ve Doğan, 2009).



2.5.2. Korozyon çeşitleri

Oluşumu, zamanı ve özellikleri açısından korozyonu aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Üniform korozyon (genel korozyon)

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızda çalışan bir tür korozyondur. Normalde, korozyon olayının bu şekilde gerçekleşmesi beklenir. Korozyona dayanıklı metalin kalınlığı, her noktada aynı derecelendirilir (Üneri, 1998).

Çukurcuk (oyuklanma) korozyonu

Metal yüzeyin bazı noktalarında bir delik oluşturan korozyon türüdür. Bu tür korozyonda, anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin olarak ayrılır. Anot, yüzeydeki herhangi bir noktada çukur açıklığında dar bir bölgedir ve katot çukur etrafında çok geniş bir alandır. Sonuçta ortaya çıkan korozyon çukuru, metalin bu noktadan kısa sürede delinmesine neden olarak, giderek daha büyük hale gelmektedir. Çukurcuk tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türüdür (Üneri, 1998).

Galvanik korozyon

Tasarım esnasında bazen birbirine benzemeyen iki metal veya alaşım kullanmak gerekebilir. Korozyon ya da iletken bir ortama birbirine benzemeyen iki metal daldırılırsa aralarında genellikle bir potansiyel farkı doğar. Böyle iki metal birbirlerine bir iletken ya da başka türlü bağlandığında bu potansiyel farkı altında elektronlar birinden diğerine doğru akar. Korozyona karşı direnci az olan metalin (anot) korozyonu, bağlanmamış duruma oranla genellikle artar ve daha dirençli olan (katot) korozyonu azalır. İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bu korozyon çeşidine galvanik (metal çifti) korozyon denir. Bu tip korozyonda katot ya hiç korozyona uğramaz ya da çok az korozyona uğrar (Üneri, 1998).

Çatlak korozyonu

Oksijen transferi, çözeltinin metal yüzeyde çatlak, boşluk veya cep gibi hala sabit bir durumda kaldığı bölgelerde zorlaşır. Sonuç olarak, bu bölgeler anottur, çatlağın etrafındaki metal yüzeyler katot haline gelir. Çatlak korozyonu sadece metal yüzey üzerinde bulunan bir çatlakta değil, aynı zamanda metalik olmayan malzeme ve metal yüzey arasında da meydana gelebilir (Ergun ve ark., 2003).

Kabuk altı korozyonu

Metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluşturduğu veya başka bir nedenle oluşan bir kabuk (birikinti) altında meydana gelen korozyona kabuk altı korozyonu denir (Ergun ve ark., 2003).

2.5.3. Betonarme yapıların korozyona karşı korunması

Aydın ve Çizmecioğlu (2013), yaptıkları çalışmada, beton yapılarda korozyon oluşumunda klorun rolü ve inhibitörlerin korozyonu önlemedeki etkinliğini incelemişlerdir. Araştırmada betonarme yapılardaki korozyon oluşumunda klorun etkisi, çelik donatılardaki korozyonunun engellenmesinde veya yavaşlatılmasında

inhibitörlerin rolü incelenmiştir. Ayrıca İstanbul' daki betonarme yapıların korozyon durumları baz alınarak ülke çapındaki mevcut yapıların korozyon durumları hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır. Sonuç olarak ülkemizin deprem kuşağında yer alması nedeniyle olası depremlerde yapılarımızın korozyon kaynaklı oluşabilecek hasarlarının önüne geçebilmek adına yeni yapılacak yapılarda korozyona karşı inhibitörlerin kullanılması ve inhibitörlerin saha performanslarının pratikte karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesi önerilmiştir.

Karaboğa (2012), klorür kirlenmesine maruz bırakılmış metakaolin ikameli ve ikamesiz beton içerisindeki donatının korozyon direncini araştırdıkları çalışmada; betona toplam bağlayıcı miktarının % 0, % 1.5, % 3 ve % 5 oranlarında NaCl katılması ile klorür kirlenmesi sağlanmıştır. Metakaolin ikamesinin korozyon direnci üzerindeki etkisini irdelemek amacıyla, bu malzeme toplam bağlayıcı miktarının % 5 ve % 15 oranında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Beton içerisindeki donatı çubuklarının korozyon direnci; hızlı korozyon deneyi, lineer polarizasyon yöntemiyle korozyon akımının ölçülmesi ve buna bağlı korozyon hızının belirlenmesiyle değerlendirilmiştir. Ayrıca, betonların elektriksel direnci de ölçülmüştür. Deney sonuçları metakaolinin ciddi klorür kirlenme seviyelerinde bile aktif korozyonunun önlemesi bakımından oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

2.5.4. Korozyon ölçüm yöntemleri

Sulu ve nemli ortamda metaller, genellikle kimyasal reaksiyonlarla korozyona uğrar. Metal ara yüzeyinde meydana gelen bu kimyasal reaksiyonlar oldukça karmaşıktır. Dolayısıyla korozyon sürecini belirlemek için birçok yöntem geliştirilmiştir.

Ağırlık kaybı yöntemi

Donatıda korozyonun oluşturduğu kesit kaybını araştırmak için ağırlık kaybından yararlanılarak penetrasyon derinliği belirlenebilir. Belirli bir süre sonra korozif ortamda tutulan metal numunenin yüzeyinde biriken malzemenin kaybı tespit edilerek hesaplanır. Malzemenin ortalama yıllık penetrasyon hızı (Eş. 2.5.5) bağıntısı ile

hesaplanır. Bu ifadede P, cm/yıl olarak penetrasyon hızını; W_K metalin korozyonla ağırlık kaybını (g); S, korozyona maruz kalan yüzeyi (cm^2); t, deney süresini (saat); Δ ise metalin yoğunluğunu göstermektedir (Saraylı, 1978).

$$P = \frac{W_K}{\Delta.S.t} \times 24 \times 365 \quad (2.5.5)$$

Korozyon nedeni ile birim sürede, metal yüzeyinden aşınan tabakanın kalınlığını ifade eden ve korozyon hızı olarak tanımlanan bu bağıntı, mpy (mil/yıl: 25.4 μ /yıl) cinsinden (Eş. 2.5.6) standartlarda da yer almaktadır (ASTM G1-90). Korozyon hızı, ağırlık kaybının oranı olarak (%) veya yüzeyden ağırlık kaybı olarak (mg/cm^2) (Kouloumbi ve Batis) ya da ortalama kesit kaybı (mikron) (Rasheeduzzafar ve ark. 1992) olarak ifade edilmektedir. Ancak literatürde hem zamanı hem de yüzeyi dikkate alan ve en sık kullanılan ifade 'mpy' dir.

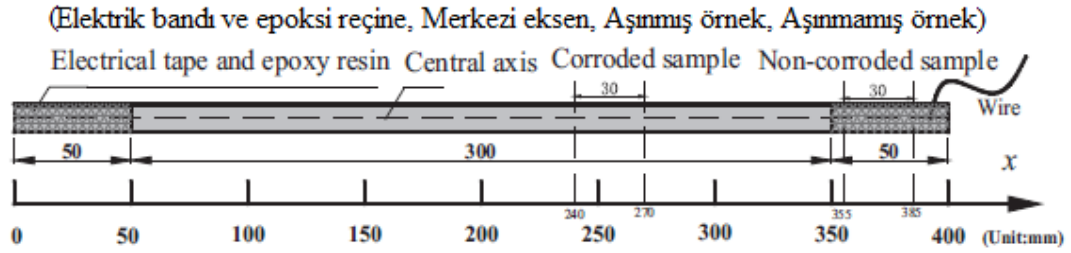
$$\text{Korozyon Hızı (mpy)} = \frac{3,45 \times 10^6 \times W_K}{\Delta.S.t} \quad (2.5.6)$$

Korozyon nedeni ile oluşan ağırlık kaybı, pas tabakasının Clarke Çözeltisi olarak bilinen kimyasal sıvı (1000 ml HCl, 24 g Sb_2O_3 ve 71.3 g $SnCl_2 \cdot 2H_2O$) ile temizlenmesinden sonra belirlenir (Parkins, 1994). Aköz ve ark. (1996), 300 gün süre ile farklı konsantrasyonlarda Cl içeren çözeltilerde bekletilen harç içindeki donatıların ağırlık kaybının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Ancak Andrade ve ark., (1993), donatı kesitindeki ihmal edilebilir kayıpların betonun rötresine neden olabileceğini göstermişlerdir. Al-Tayyib ve Khan (1988), kütle kaybı yönteminin uzun zaman ve/veya çok daha fazla korozif ortam gerektirdiğini, korozyon ölçümünde elektrokimyasal tekniklerin daha uygun olacağını ifade etmişlerdir.

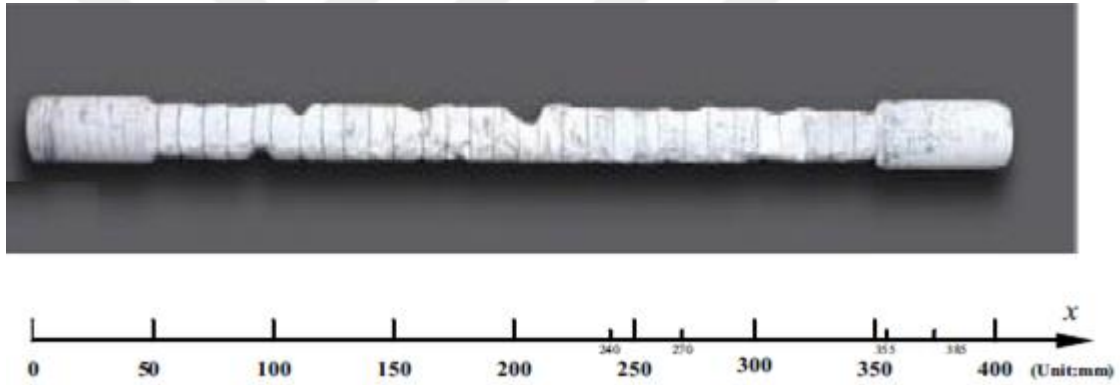
Dijital kumpas yöntemi

Orijinal çapın ölçülmesi için 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas kullanılır. 300 mm uzunluğundaki donatı çubuğunun çapı dijital kumpas ile korozyon öncesi ve sonrasında takip edilir. Çubuk 10 mm aralıklarla 31 kısımdan işaretlenerek 30 parçaya bölünür (Resim 2.2. ve Resim 2.3.) ve çapları dijital kumpas ile takip edilir. Çubuk örneğinin

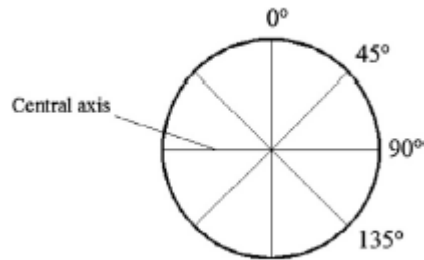
her bir kesitinde çevresel olarak Şekil 2.3.' de görüldüğü gibi 0° , 45° , 90° ve 135° lik 4 okuma yapılır. Dört okumanın maksimum ve minimum değerleri ile ortalamaları alınır ve diğer geometrik parametrelerin ve korozyonun hesaplanması için kullanılır (Li ve ark., 2017).



Resim 2.2. Donatının şematik çizimi (Li ve ark., 2017)



Resim 2.3. Korozyona uğrayıp aşınmış olan çubuk örneği (Li ve ark., 2017)



Şekil 2.3. Dijital kumpas kullanılarak çubuk çapının ölçülmesi (Li ve ark., 2017)

Potansiyel haritaları yöntemi

Korozyon hasarının tespitinde, korozyon olasılığının meydana geldiği aktif alanları gösteren potansiyel haritalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu test yönteminde, takviye

çeliğinin korozyon aktivitesini belirlemek için elektrik yarı-hücre potansiyeli yerinde ya da laboratuarda ölçülür (Khan, 1991; Liam ve ark. 1992).

Korozyon potansiyelinin ölçülmesine dayanan bu yöntemde, elektrokimyasal korozyon kolay ve hızlı bir şekilde gözlenmektedir. Yarı hücre potansiyeli yönteminde, referans elektrod beton yüzeye temas ettirilir, betondaki takviye ile referans elektrod arasındaki potansiyel fark, yüksek empedanslı bir voltmetre ile ölçülür. Betonun elektrik iletkenliği yüksek ise, iletkenliği sağlamak için referans elektrod ve beton arasına özel bir sıvı ile nemlendirilmiş bir sünger koyulur. Bu yöntem, betonun donatı üzerindeki kalınlığını dikkate almaz, beton elemanın herhangi bir servis döneminde uygulanabilir. Yarı-hücre potansiyeli değerine göre olası korozyon durumunu veren değerlendirmeler Çizelge 2.5. ve Çizelge 2.6.' da verilmiştir.

Çizelge 2.5. ASTM C 876' ya göre potansiyel kriterleri (ASTM C-876-91)

Yarı-hücre potansiyel değerleri, CSE (SCE)	Korozyon Olasılığı
$E < -350 \text{ mV} (-270 \text{ mV})$	% 90 güvenilirlikle donatının korozyona uğrama olasılığı vardır
$-350 \text{ mV} < E < -200 \text{ mV} (-120 \text{ mV})$	Belirsizlik vardır, kesin bir şey söylenemez
$-200 \text{ mV} < E$	% 90 güvenilirlikle korozyon yoktur

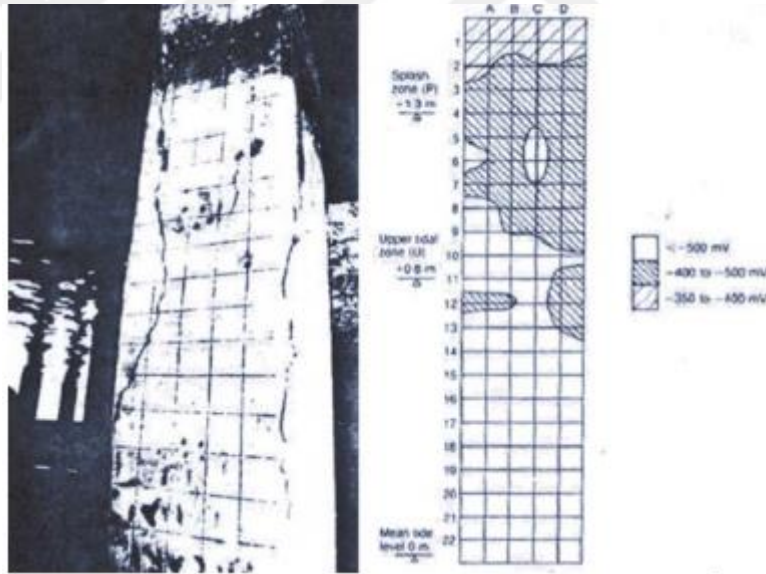
Çizelge 2.6. H.Arup' un Potansiyel Kriterleri (Khan, 1991)

Yarı-hücre potansiyel Korozyon değerleri, (SCE)	Ortam	Korozyon Durumu
$-600 \text{ mV} < E < +200 \text{ mV}$	Cl iyonu yok, pH=13	Pasif Durum
$-200 \text{ mV} < E < +100 \text{ mV}$	Normal koşullardaki betonarme	
$-500 \text{ mV} < E < -200 \text{ mV}$	Ortamda Cl iyonu var	Çukurcuk korozyonu
$-600 \text{ mV} < E < -450 \text{ mV}$	Karbonatlaşma ve Cl iyonu nedeni ile depasivasyon	Genel korozyon
-1000 mV	Oksijen girişinin sınırlandırıldığı ve pasif filmin korunamadığı ortam	Aktif Durum

Referans elektrotu olarak en çok bakır-bakır sülfat (CSE), gümüş-gümüş klorür veya kalomel elektrot kullanılır. Bunlardan KCl eriğine daldırılmış Hg/Hg₂Cl₂ Kalomel elektrotu, KCl çözeltisinin normalitesine bağlı olarak 0.1N; 1N veya doymuş kalomel

elektrot adlarını alır. Yapılması ve muhafazasının kolaylığı bakımından ve 1mV' luk hassasiyet yeterli olduğundan doymuş kalomel elektrot (SCE) daha yaygın olarak kullanılır ($E=0.2425$ volt).

Sharp ve ark. (1988), bu üç farklı referans elektrotu karşılaştırdıkları deneysel çalışmada; bakır-bakır sülfat elektrotunun beton boşluk suyuna benzeyen sodyumhidroksit çözeltisinde kararsız olduğunu, deniz suyunda ise elektrot potansiyelinin 150 mV' a varan salınımlar yaptığını, diğer iki elektrotun iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Singapur'un kuzeyindeki Woodlands'ta 24 yıllık bir betonarme rıhtımının (Resim 2.4.) korozyon incelemesini yapmak üzere potansiyel haritalarını çıkararak Liam ve ark. (1992), donatı korozyon düzeyini belirlemek ve izlemek için korozyon potansiyeli ölçümünün güvenilir ve uygun bir metot olduğunu belirtmişlerdir (Liam ve ark., 1992).

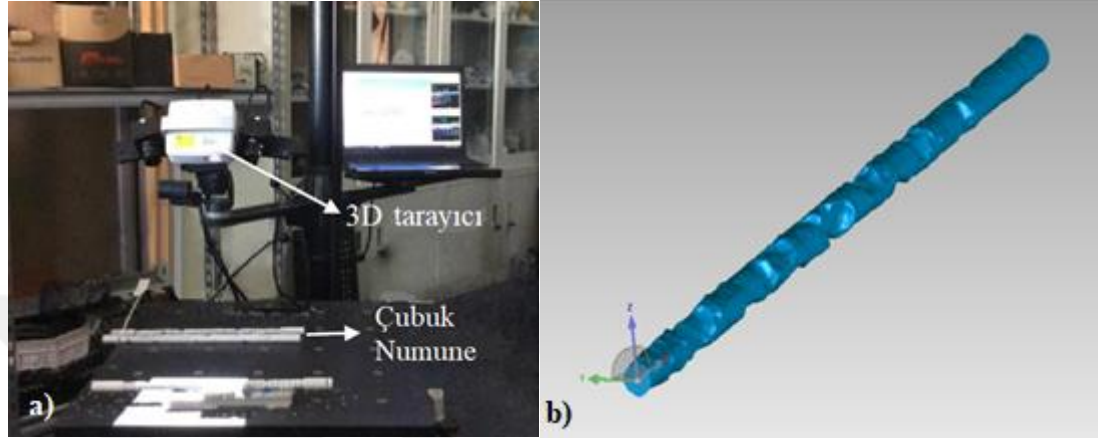


Resim 2.4. Betonarme iskele kazığında çıkarılmış potansiyel haritasına örnek (Liam ve ark., 1992)

3D tarama yöntemi

Resim 2.5.(a) geometrik parametrelerin ölçüm cihazını göstermektedir. Resim 2.5.(a)' da gösterildiği gibi, beyaz boyalı örnek çalışmaya alınmıştır. Platform çubuk numunesinin uzunluğu boyunca yavaşça tarama yapmaktadır. Tarama verileri Geomagic yazılımı ile elde edilip işlenmektedir (Resim 2.5.(b)). Son olarak, taranan

model dosyası, çubuk numunelerin kalıntı alanı, çapı, merkez, dış merkezlilik, eylemsizlik momenti ve korozyon penetrasyonu gibi geometrik parametrelerin üretilmesi amacıyla kendinden derlenmiş MATLAB paketi ile ele alınmıştır (Li ve ark., 2017).

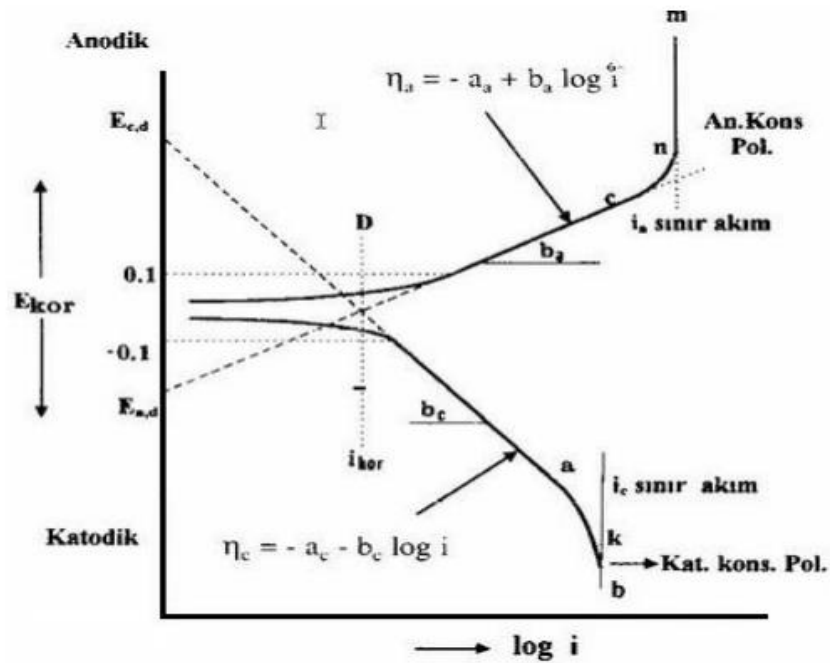


Resim 2.5. 3D tarama metodu (a) Kullanılan ekipmanlar (b) 3D korozyona uğramış çubuk (Li ve ark., 2017)

Tafel ekstrapolasyon yöntemi (TP)

Korozyon akımı veya korozyon hızı, anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline göre hesaplanmasıyla belirlenir. Anodik ve katodik Tafel bölgeleri birlikte elde edilemediğinde, sadece bir tanesi korozyon potansiyelinin ekstrapolasyonu ile korozyon hızına sahip olabilir. Korozyon olayları tek bir çözünme reaksiyonundan ibaret değildir. Elektrot yüzeyi boyunca birçok indirgeme ve oksidasyon reaksiyonları gerçekleşir. Bu reaksiyonlar özellikle alaşımlar için daha karmaşıktır. Bu nedenle, korozyon olayını elektrokimyasal yöntemlerle araştırırken, tüm sistemin davranışını toplu olarak gösteren karma potansiyel teorisi kullanılır. Tek bir elektrokimyasal olayda, iki veya daha fazla indirgeme ve oksidasyon reaksiyonlarının bir kombinasyonunda toplam indirgeme akımının toplam oksidasyon akımına eşit olması potansiyeli, oksidasyon akımının indirgenme akımına eşit olduğu potansiyel olarak denge potansiyelleri (E_d) ile korozyon potansiyeli (E_{COR}) olarak adlandırılır. Korozyon potansiyelinde net bir akım bulunur. Fakat toplam anodik akım toplam katodik akıma eşit olduğu için, bu akım okunmaz. Doğrudan ölçülmeyen bu akan korozyon akımı (I_{COR} ($\mu A/cm^2$)) olarak adlandırılır. Korozyon akımının elektrotun

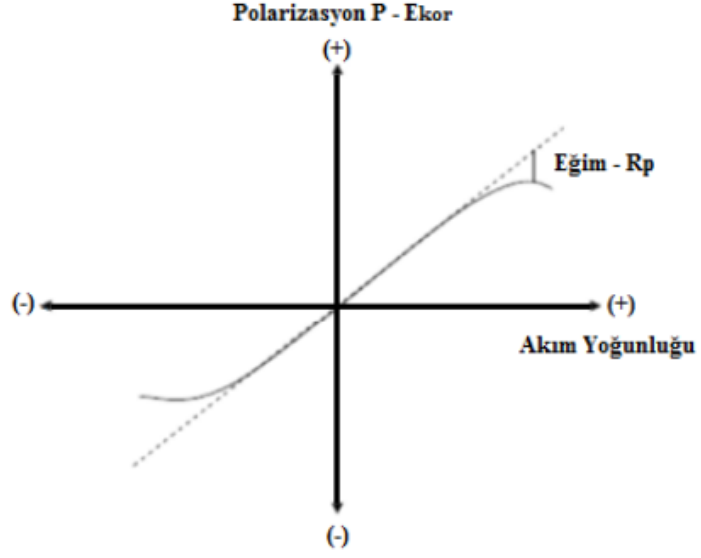
yüzey alanına bölünmesiyle de elde edilen akım yoğunluğu (I_{COR} ($\mu A/cm^2$)), metalin korozyon hızını verir. Akım-potansiyel eğrileri, akımlardan veya potansiyellerden birini kontrollü bir şekilde değiştirerek ve diğerinin değerlerini grafiğe geçirerek elde edilir. Korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik Tafel eğrileri deneysel olarak belirlenir. Test sonuçları çizildiğinde, doğrusal bölümler uzatılır ve bu sistem için aşınma oranı kesme noktalarında bulunur. Korozyon hızı (I_{COR}) ve korozyon potansiyeli (E_{COR}) Şekil 2.4.'de gösterilmiştir (Üneri, 1987; Yanardağ, 2011).



Şekil 2.4. Tafel ekstrapolasyonu ile korozyon hızının bulunması (Üneri, 1998)

Lineer polarizasyon direnci yöntemi (LRP)

Polarizasyon yöntemiyle akım potansiyel eğrisinin korozyon potansiyeli dolayındaki doğrusal kısmının eğiminden polarizasyon direnci bulunup (R_p), Stern-Geary eşitliği kullanılarak korozyon hızı bulunur (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Lineer polarizasyon yöntemi ile polarizasyon direnci (R_p) bulunması (Üneri, 1998; ASTM Handbook 1992).

Polarizasyon direnç yöntemiyle korozyon hızı belirlenmesinde akım potansiyel eğrisi I_{COR} , ile ağırlık azalması arası ilişki denklemi;

$$I_{COR} (\mu A/cm^2) = \Delta m \cdot F \cdot n / \Delta t \cdot M_k \quad (2.5.8)$$

Burada; Δm ağırlık azalması (gram), F Faraday sabiti; n alınan verilen elektron sayısı, M_k metalin atom gramının kütlesi (gram), Δt zaman aralığıdır (saat) (Üneri, 1998).

$$I_{COR} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c)} \times \frac{\Delta I}{\Delta E} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2.303(\beta_a \times \beta_c)} = \frac{B}{R_p} \quad (2.5.9)$$

I_{COR} korozyon akım yoğunluğunu, β_a ve β_c sırasıyla anodik ve katodik Tafel sabitlerini, R_p polarizasyon direncini gösterir (Üneri, 1998; ASTM Handbook, 1992).

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi (EIS)

Metodun prensibi, uygulanan alternatif akım ile metal-çözelti ara yüzünde oluşturulan çift tabakanın empedansının ölçülmesine dayanır. EIS ölçümleri elektrot kapasitansı ve yük transfer kinetiği hakkında bilgi verir. Bu yöntem ile korozyon, yarı iletkenler, piller,

elektrolizli kaplama ve elektro organik sentezlerle çalışılabilir. Yöntemin uygulanmasında, çift tabaka kapasitesi ile çözeltinin iç yüzeyi ve metal yüzey arasındaki dirençlerden oluşan bir "elektronik eşdeğer devre" polarizasyon direncini belirlemek için dizayn edilmiştir. Bulunan polarizasyon direnci (R_p) değeri Stern-Geary denkleminde ikame edilir ve korozyon oranı hesaplanır (Florian ve Marcus, 2005).

$$R_p = B / I_{COR} = \Delta E / \Delta I \quad (\Delta E \rightarrow 0) \quad (2.5.10)$$

Elektrokimyasal gürültü ölçüm tekniği (ENT)

Betonun çok yüksek elektrik direncinden ötürü, doğru akımla (DC) ya da düzeltilmiş alternatif akımla (AC) ölçülmesi yanlış olabilir. Daha güvenilir sonuçlar elde etmek için, betonarme elemanlar için farklı yöntemler geliştirilmiştir. En çok kullanılan yöntemlerden bazıları, Elektrokimyasal Gürültü Ölçüm, Elektrokimyasal Impedans Spektroskopisi, Coulostatik ve Koruma Çemberi' dir (Pehlivan, 2016).

Korozyona uğrayan bir metalin referans elektroda göre potansiyel ve galvanik akımında istatistiksel olarak gözlenen titreşimlere elektrokimyasal gürültü denir. Bu titreşimler elektrotların korozyonu sırasında anodik ve katodik reaksiyonların yüzeyde lokal olarak farklı yoğunluklarda oluşması sonucu yüzeyin farklı yerlerinin farklı elektrik yükü ile yüklenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu farklı yüklü yerler arasındaki yük geçişi elektrokimyasal ölçümlerdeki potansiyel veya akımda hızlı değişmelere yol açar titreşimlere neden olur. Potansiyel veya akımda gözlenen bu titreşimlerin genliği ve frekansı özellikle metaldeki bölgesel (lokal) korozyon için belirleyici özelliklerdir (Pehlivan, 2016).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu araştırmada sepiyolit (S), CEM I 42.5 R imontosu, CEN standard kumu, içme suyu, %3.5 NaCl özeltisi ve donatı çeliği kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan imento, Kahramanmaraş KİPAş imento Fabrikasından TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42.5 R tipi Portland imentosu temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri izelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan CEM I 42.5 R Portland imentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri (KS imento Fabrikası verilerine göre)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER			KİMYASAL ÖZELLİKLER		
Özellik	Değer	Birim	Özellik	Değer	Birim
Özgöl Ağırlık	3.15	g/cm ³	SO ₃	2.48	%
Özgöl Yüzey (Blaine)	3880	cm ² /g	MgO	0.85	%
Litre Ağırlığı	950	g/l	Kızdırma Kaybı	2.0	%
Hacim Genleşmesi	1.3	mm	çözünmeyen Kalıntı	0.4	%
Priz Başlangıcı	200	Dakika	Cl ⁻	0.0092	%
Priz Sonu	240	Dakika			
2 Günlük Dayanım	28.1	Mpa			
28 Günlük Dayanım	54.5	Mpa			

3.1.2. Sepiyolit

Bu çalışmada kullanılan sepiyolit numunesi beyaz-dolomitli sepiyolittir. Eskişehir Sivrihisar ilçesi Yenidoğan ve Karacaören köyleri civarında toplam 3750 Hektar, görünür rezervi 75 hektar için 10.750.000 ton olarak yüzeylenen kayaçlardan alınmıştır. Harita 3.1.' de rezerv alanın yer bulduru haritası verilmiştir. Harita 3.2.' de ise rezerv alanının jeoloji haritası MTA web sitesi kullanılarak belirtilen lokasyonlar için elde edilmiştir.

3.1.3. CEN standart kumu

Çimento harç numunelerinin üretiminde kullanılmak üzere CEN standard kumu (Rilem Kumu) TS EN 196-1' de belirtilen özelliklerine uygun olarak Kırklareli' nin Pınarhisar ilçesinde bulunan Limak Batı Çimento San. Ve Tic. A.Ş. Trakya Fabrikasından temin edildi. CEN kumları herhangi bir öğütme ve tartma işlemine gerek olmayacak şekilde, standart incelik ve ağırlıktadır. Kullanılan standart kumun yoğunluğu 2.63 g/cm^3 'tür.

3.1.4. Su

Bu çalışmada karışım suyu olarak Kilis 7 Aralık Üniversitesi Merkez Kampüsü Mühendislik Mimarlık Fakültesine gelen şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Çözeltiler

Deniz suyunun beton üzerindeki kimyasal etkisi çözünmüş tuzları içermesinden kaynaklanmaktadır ve tipik tuzluluk oranı % 3.5 civarındadır (Akman ve Özyurt, 2002). Bu nedenle deniz suyu veya klorür çevresel etkisine benzer ortamda korozyon ölçümlerini yapabilmek için donatılı harç numuneleri %3.5 NaCl korozif çözeltisi içinde bekletilmiştir.

3.1.6. Donatı çeliği (çalışma elektrodu)

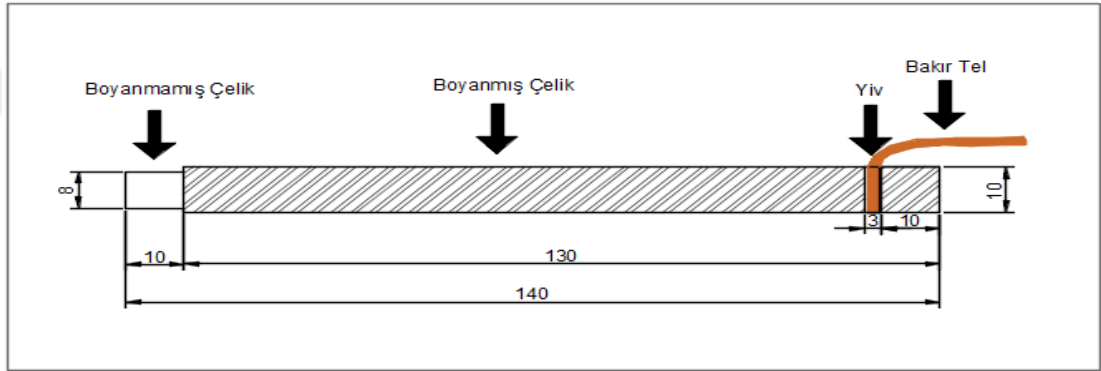
Korozyon deneyleri için Evyapan Demir Çelik İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.' den temin edilen Ø10 nervürlü donatı çeliği kullanılmıştır. Çeliğin ucunda 10 mm içeriden, 3 mm yiv açılarak bu kısma bakır tel bağlanmıştır. Daha sonra bakır telin üzeri parafilm ile kaplanarak boyanın girmesi engellenmiştir. Ölçüm yapılacak uçta ise çıplak kesit 8 mm çapında 10 mm uzunluğunda tornalanmıştır. Daha sonra çelikler, tornalanan kısım boyanmayacak şekilde önce antipas boya daha sonra epoksi boya ile boyanmıştır.

Boyama işi bittikten sonra açık olan kısmın alanı;

$$A = \pi r^2 + 2\pi r h \quad (3.1.5.1.)$$

$$A = 3.14(4.00)^2 + 2(3.14)(4.00)(10) = 301.59 \text{ mm}^2 = 3.02 \text{ cm}^2 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Deneysel çalışmada kullanılan betonarme çeliğinin boyutları Şekil 3.1.' de ve kimyasal bileşimi Çizelge 3.2.' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Korozyon numunelerinde kullanılan donatının boyutları (mm)

Çizelge 3.2. Kullanılan S420 nervürlü çeliğinin kimyasal bileşimi (Fabrika üretim verilerine göre)

Bileşen	Miktar (%)
C	0,22
S	0,05
P	0,05
N	0,01
Cu	0,80
Karbon Eş değeri (Ceq)	0,50
Fe	98,37

3.2. Metot

Bu çalışmada CEM I 42.5 R çimentosu ağırlıkça yüzde olarak 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 ve 15 oranlarında azaltılarak yerine sepiyolit (S) ikame edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Bütün deneysel bulgularda numuneler sırasıyla S0, S2.5, S5, S7.5, S10, S12.5 ve S15 olarak adlandırılmıştır. Deney numuneleri ilgili tasarım bilgileri Çizelge 3.3.' de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimento hamurları ve çimento harçlarına ait deney planı

Numune Kodları	S0	S2.5	S5.0	S7.5	S10	S12.5	S15
Sepiyolit katkı oranları (%)	0	2.5	5.0	7.5	10	12.5	15
Deneyleer	Numune sayıları						
<i>Çimento hamuru</i>							
Standart kıvam	3	3	3	3	3	3	3
Priz başlama ve sonu	3	3	3	3	3	3	3
Hacim genişmesi	3	3	3	3	3	3	3
<i>Taze harç kıvamı</i>	3	3	3	3	3	3	3
<i>40x40x160 mm harç prizmalar</i>							
Eğilme dayanımı	7 gün	3	3	3	3	3	3
	28 gün	3	3	3	3	3	3
	90 gün	3	3	3	3	3	3
Basınç dayanımı	7 gün	3	3	3	3	3	3
	28 gün	3	3	3	3	3	3
	90 gün	3	3	3	3	3	3
Kılcal su emme	7 gün	3	3	3	3	3	3
	28 gün	3	3	3	3	3	3
Diğer fiziksel deneyleer	7 gün	3	3	3	3	3	3
	28 gün	3	3	3	3	3	3
<i>Ø50 x 100 mm silindir harç numuneler</i>							
Elektrokimyasal korozyon ölçümleri	3	3	3	3	3	3	3

3.2.1. Sepiyolit in malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan Eskişehir ili Sivrihisar ilçesinde yüzeylenen kayalardan alınan sepiyolit numunesine kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemek için çeşitli deneyleer yapılmıştır.

Öğütme işlemi için Retsch marka diskli öğütücü değirmen kullanılmıştır ve 45µ elekten geçen % değerlerine göre öğütülerek sepiyolit numunesi hazırlanmıştır. Sepiyolit in mineralojik özelliğini belirlemek için X ışınları (XRD ve XRF) analizleri yapılmıştır. X-Işını Difraktometresi (XRD) kullanılarak sepiyolit in XRD kırınım grafiği 2-70° 2-teta açıları arasında elde edilmiştir. X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) kullanılarak sepiyolit in kantitatif analizi yapılmıştır.

3.2.2. Çimento standart kıvam, priz süresi ve hacim genişmesi deneyi

Çimento priz süresi ve hacim genişmesi tayini için CEM I 42,5 R çimentosu yerine %0, %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15 oranlarında sepiyolit ikame edilip; çimento hamuru hazırlanmıştır. Çimento hamurlarının standart kıvam, priz süreleri ve hacim genişmesi deneyleri TS EN 196-3 esas alınarak yapılmıştır (TS EN 196-3, 2002). Standart kıvam tayini deneyi için, karıştırma mikserine, önce su daha sonra çimento eklenerek mikser yavaş hızda çalıştırılmış 3 dakikalık yoğurma süresinin sonunda çimento hamuru hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan çimento hamuru vicat aletinin kabına sıkılarak yerleştirilmiştir. Hazırlanan pasta vicat aletinin sondasına merkezlenerek üzerinde 1 mm kalacak şekilde ayarlanmış ve daha sonra sonda kendi ağırlığıyla serbest düşüş yapacak şekilde bırakılmıştır. Serbest bırakılan sondanın çimento hamuru içerisine batması 30 s boyunca gözlemlenmiştir. Sonda ile cam levha arasındaki mesafe 5-7 mm olarak TS EN 196-3 standardında belirtilen mesafe sağlanıncaya kadar deney tekrarlanmış mesafenin 6 mm olduğu andaki suyun miktarı standart kıvam için gerekli olan su miktarı olarak alınmıştır. Çimento hamurlarına ait deney planı Çizelge 3.4.' de verilmiştir ve çimento standart kıvam, priz sürelerinin belirlenmesi deneyleri Resim 3.1.' de görülen Vicat Aleti ile yapılmıştır (TS EN 196, 2002).

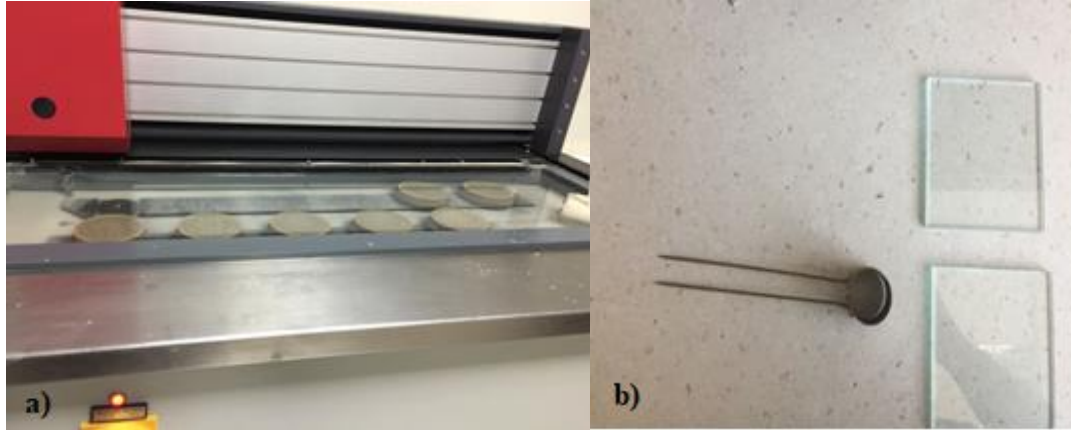
Çizelge 3.4. Çimento hamurlarının standart kıvam tayini deney planı

Numune Adı	Açıklama	Çimento (g)	Sepiyolit (g)
S 0	%100 Çimento, %0 Sepiyolit (Kontrol Numunesi)	500	0
S 2.5	%97.5 Çimento, %2.5 Sepiyolit	487.5	12.5
S 5	%95 Çimento, %5 Sepiyolit	475	25
S 7.5	%92.5 Çimento, %7.5 Sepiyolit	462.5	37.5
S 10	%90 Çimento, %10 Sepiyolit	450	50
S 12.5	%87.5 Çimento, %12.5 Sepiyolit	437.5	62.5
S 15	%85 Çimento, %15 Sepiyolit	425	75



Resim 3.1. Vicat Aleti ile imento standart kıvam tayini deneyinin yapılması

Priz süreleri ve hacim genişmesi deneyleri Resim 3.2.' de görölen (a) Otomatik Vicat aleti (b)Le Chatelier Aleti kullanılarak yapılmıştır (TS EN 196-3, 2002).



Resim 3.2. Priz süresi ve hacim genişmesi deneylerinde kullanılan cihaz ve aletler
(a) Otomatik vicat cihazı (b)Le Chatelier aleti

3.2.3. Taze harç kıvamı deneyi

Taze harç kıvamı tayini deneyinde TS EN 1015-3 standardına uygun yayılma tablası ve harç yayılmasını ölçmek için kumpas kullanılmıştır (TS EN 1015-3, 2000).

Bu deneyde, tüm taze harç karışımları için gereken su miktarları bulunarak; istenilen kıvamda ve işlenebilecek nitelikte harç karışımları elde edilmiştir. Tüm numuneler referans numunesinin standart kıvamına göre farklı su içerikleri kullanılarak hazırlanmıştır.

Taze çimento harç karışımları tasarımı, TS EN 196-1 standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Harcın bileşiminde 225 g su, 450 g Portland CEM I 42,5 R çimento ve 1350 g standart kum kullanılmıştır (TS EN 196-1, 2009). Taze çimento harç karışımlarına ait tasarımlar Çizelge 3.5.' de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Taze çimento harç karışımlarına ait üretim planı

Numune Kodu	Karışım Miktarları (g)			Su/Çimento Oranı	Harç Su İhtiyacı (g)
	Çimento (g)	Sepiyolit (g)	Standart Kum (g)		
S0	450.00	0.00	1350	0.50	225
S2.5	438.75	11.25	1350	0.51	230
S5.0	427.50	22.50	1350	0.52	234
S7.5	416.25	33.75	1350	0.54	243
S10.0	405.00	45.00	1350	0.56	250
S12.5	393.75	56.25	1350	0.57	256
S15.0	382.50	67.50	1350	0.59	264

Harç hazırlanmadan önce Resim 3.3.' de görülen yayılma tablasının üst yüzeyi ve kalıbı hafifçe yağlanmıştır. Kesik koni şekilli kalıbın alt yüzeyi yayılma tablasının levhasını tam ortalayacak şekilde yerleştirilmiş, daha sonra referans harç (S0) TS EN 196-1 standardına göre hazırlanarak kalıp iki aşamada doldurulmuştur. Her aşamada harç tabakası 10 defa tokmaklanarak harcın sıkıştırılması ve düzgünce dağılması sağlanmıştır. Daha sonra kalıp düşey doğrultuda hızlıca yukarı doğru kaldırılmış ve yayılma tablasının kolu sabit periyotla 15 tur çevrilmiştir. Yayılan harç iki dik doğrultudan kumpas yardımıyla ölçülerek yayılma değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır.

TS EN 196-1'e göre standardında tüm çimento tipleri ile üretilen çimento harçlarında su/çimento oranının 0,5 olarak sabit tutulmuştur. Fakat puzolanik katkıların çimentolu karışımların su ihtiyacını arttırdığı bilinmektedir. Bu nedenle çimento harç karışımlarının üretilmesinde sabit su/çimento oranı değil, ASTM C187-04' e göre

sarsma tablasında yayılma çapı 110 ± 5 olacak şekilde sabit tutulmuştur (ASTM C187-04, 2002; TS EN 196-1, 2009).

Harç kıvam tayini deneyi referans numune (S0) için tekrarlanmış ve yayılma değeri için ortalama değerden %10' dan fazla sapma göstermeyen numunelerin ortalaması alınıp hesaplanmış ve kıvam belirlenmiştir. Deney diğer ikame oranları S2.5, S5, S7.5, S10, S12.5 ve S15 için aynı yayılma değeri elde edilene kadar yapılmıştır.



Resim 3.3. Taze harç kıvamının belirlenmesinde kullanılan yayılma tablası

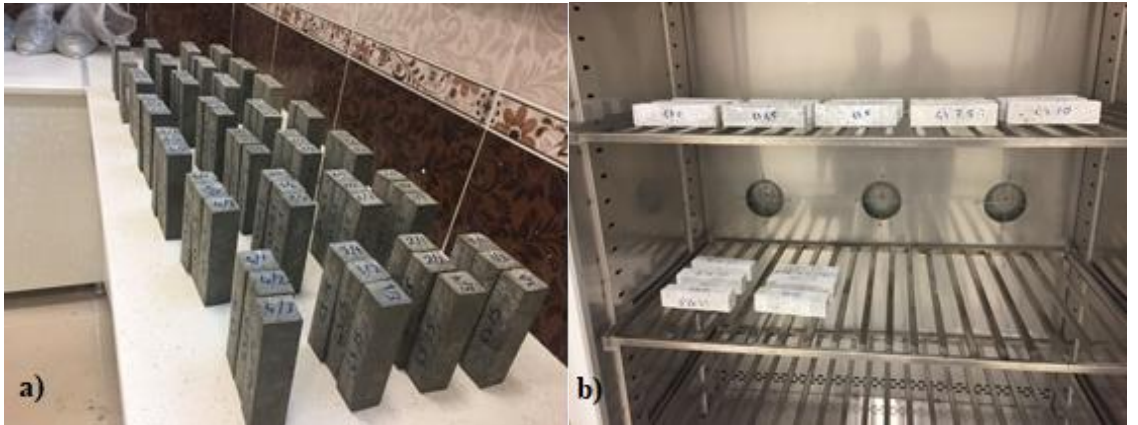
3.2.4. Kütlece su emme, birim ağırlık, yoğunluk, boşluk oranı (porozite) ve doluluk oranı (kompasite) deneyleri

Harç numunelerinin fiziksel özellikleri belirlenirken TS EN 12390-7 standardı esas alınmıştır. Deneyde, 30 kg tartım kapasiteli $\pm 0,1$ g hassasiyetle ağırlık ölçümü yapabilen terazi, 300 °C sıcaklığa kadar çıkabilen zaman ve derece ayarlı etüv ve Arşimet terazisi kullanılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numuneler bir müddet laboratuvar ortamında bekletilerek tartımları yapılmış ve tabii durumdaki kütleleri (m_r) bulunmuştur. Daha sonra kür havuzuna yerleştirilen numuneler 7 ve 28 günlük kür süreleri sonrasında havuzdan çıkarılarak suya doygun kütleleri (m_a) bulunmuştur. Daha sonra numuneler Resim 3.4.' de görüldüğü gibi Arşimet terazisine konularak su içerisindeki asılı kütleleri (m_w) bulunmuştur (TS EN 12390-7, 2002).



Resim 3.4. Arşimet terazisi ve su içinde asılı kefesini

Arşimet terazisi içerisinde bulunan kefenin suda asılı boş kütlesi (m_{st}) ölçülmüştür. Arşimet terazisinden çıkarılan numuneler yüzeyleri kurularak laboratuvar ortamında yüzeylerinin kurumaları beklendikten sonra tartılmış ve suya doymun kuru yüzey kütleleri (m_s) bulunmuştur. Daha sonra numuneler Resim 3.5. (b)' de görüldüğü gibi 105°C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek tam kuru hale getirilerek daha sonra etüvden çıkartılıp oda sıcaklığına gelene kadar bekletildikten sonra etüv kurusu kütleleri (m_o) alınmıştır (TS EN 12390-7, 2002).



Resim 3.5. Prizmatik çimento harç numuneleri
(a) Kür havuzundan çıkartılan numuneler (b) Etüv kurusu numuneler

Su ile hacim hesabı

Numunelerin Arşimet terazisi içindeki ve havadaki kütlelerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Bulunan hacim (V_w) yoğunluk hesaplarında kullanılmıştır.

$$V_w = [m_a - ((m_{st} + m_w) - m_{st})] / \rho_w \quad (3.2.1)$$

Burada:

V_w : Harç numunesinin su ile bulunan hacmi, cm^3 .

m_a : Harç numunesinin suya doymun durumdaki kütlesi, g.

m_{st} : Arşimet terazisi içerisindeki kefenin kendi asılı kütlesi, g.

m_w : Harç numunesinin Arşimet terazisi içerisindeki suda asılı kütlesi, g.

ρ_w : Suyun yoğunluğu, 0.9982071 g/cm^3 .

Numunenin boyutları ile hacminin hesaplanması

Hazırlanan harç numunelerinin kumpas yardımıyla net boyut ölçüleri alınarak hacmi hesaplanmıştır. Bulunan hacim, birim hacim ağırlık (Δ) hesaplarında kullanılmıştır.

$$V_e = a \times b \times h = V_b + V_d \quad (3.2.2)$$

V_e : Harç numunelerinin boyutları yardımıyla hesaplanan hacmi, cm^3 .

V_b : Harç numunesinin boşluk hacmi, cm^3 .

V_d : Harç numunesinin katı hacmi, cm^3 .

a, b ve h: Harç numunesinin sırasıyla en, boy ve yükseklik uzunlukları, cm.

Yoğunluk

Hazırlanan harç numunelerinin yoğunlukları su içeriği yardımıyla bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Bulk (yığın) yoğunluk

Bulk yoğunluğu aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır.

$$\rho_b = m_o / V_w \quad (3.2.3)$$

Burada;

ρ_b : Bulk (yığınsal) yoğunluk, cm^3 .

m_o : Harç numunesinin tam kuru kütlesi, g.

V_w : Harç numunesinin su ile bulunan hacmi, cm^3 .

Doygun kuru yüzey yoğunluğu

Kür havuzundan çıkarılan harç numuneleri yüzeyleri nemden arındırılarak laboratuvar ortamında kuru yüzey oluşana kadar bekletildikten sonra hacimleri hesaplanmıştır. Numuneler suya doygun, havadaki yüzeyi kuru şekildedir.

$$P_{dky} = m_s / V_w \quad (3.2.4)$$

Burada;

P_{dky} : Doygun kuru yüzey yoğunluk, cm^3 .

m_s : Harç numunesinin suya doygun, kuru yüzey kütlesi, g.

V_w : Harç numunesinin su ile bulunan hacmi, cm^3 .

Su emme oranı

Hazırlanan harç numunelerinin su emme oranları aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

Kütlece su emme oranı, S_k ;

$$S_k = 100 \times [(m_a - m_o) / m_o], \text{ (\%)} \text{ olarak,} \quad (3.2.5)$$

Hacimce su emme oranı, S_h ;

$$S_k = 100 \times [(m_a - m_o) / (m_a - m_w)], (\%) \text{ olarak,} \quad (3.2.6)$$

m_a : Harç numunesinin suya doymun durumdaki kütlesi, g.

m_o : Harç numunelerinin etüv kurusu kütleleri, g.

m_w : Harç numunesinin Arşimet terazisi içerisindeki suda asılı kütlesi, g.

Birim ağırlık

Numunelerin birim ağırlıkları aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta = m_s / V_e \quad (3.2.7)$$

Burada;

Δ : Birim ağırlık, g/cm^3 .

m_s : Harç numunesinin suya doymun, kuru yüzey kütlesi, g.

V_e : Harç numunelerinin boyutları yardımıyla hesaplanan hacmi, cm^3 .

Boşluk oranı (porozite) ve doluluk oranı (kompasite)

Hazırlanan harç numunelerinin boşluk oranı (porozite) ve doluluk oranı (kompasite) miktarları aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$P = 100 \times [(m_a - m_o) / (m_a - m_w)] \quad (3.2.8)$$

$$K = 100 - P \quad (3.2.9)$$

Burada;

P: Porozite (Harç numunesi içerisindeki boşluk oranı) (%)

K: Kompasite (Malzemenin birim hacmine isabet eden dolu hacim) (%)

m_a : Harç numunesinin suya doymun durumdaki kütlesi, g.

m_o : Harç numunelerinin etüv kurusu kütleleri, g.

m_w : Harç numunesinin Arşimet terazisi içerisindeki suda asılı kütlesi, g.

3.2.5. Kılcal su emme (kapilarite) deneyi

Hazırlanan harç numunelerinin kapilarite deneyleri, TS EN 772-11 Bölüm 11 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır. Deneyde, 30 kg tartım kapasiteli $\pm 0,1$ g hassasiyetle ağırlık ölçümü yapabilen terazi, 300°C sıcaklığa kadar çıkabilen zaman ve derece ayarlı etüv, kronometre, iç derinliği 8 cm olan tepsi, mesnet olarak ahşap çitalar, yanal yüzeylerin geçirimsizliğini sağlamak için parafilm bant ve eritilmiş parafin kullanılmıştır (TS EN 772-11, 2002).

Deney 7 ve 28 gün süresince kür havuzunda beklemiş numunelere uygulanmıştır. Kür havuzundan çıkarılan harç numuneleri etüv içerisinde 24 saat boyunca 105 °C sıcaklıkta değişmez kütleye gelinceye kadar bekletilmiştir. Kapilarite deneyi numunelerin 40x40 mm boyutlu alt kesitinde yapılacağı için yan yüzeyler 4 cm yüksekliğinde eritilmiş parafinle kaplanarak geçirimsizlikleri sağlanmıştır. Tepsi içerisinde mesnetler yerleştirilerek numunelerin yan yüzeyleri 2 cm suya gömülecek şekilde Resim 3.6.' da görüldüğü gibi tepsiye yerleştirilmiştir. 1, 5, 15, 30 ve 60 dakikalık sürelerde numunelerin kılcal yolla emdikleri su miktarları tespit edilmiş ve aşağıda verilen denklem yardımıyla kılcal su emme (kapilarite) katsayısı belirlenmiştir.

$$N = (m_{\text{son}} - m_{\text{ilk}}) / (Axt^{1/2}) \quad (3.2.10)$$

Burada;

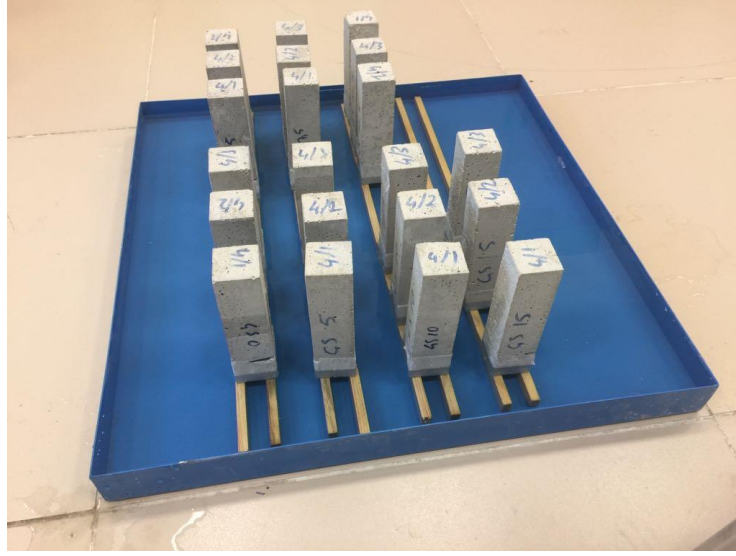
N: Kapilarite (kılcal su emme) katsayısı, $[g/(cm^2 \times dk^{1/2})]$

m_{ilk} : Harç numunesinin tam kuru ilk kütlesi, g.

m_{son} : Harç numunelerinin belirtilen süreler boyunca suda beklemiş kütlesi, g.

A: Harç numunesinin suya temas eden alt yüzeyinin alanı, cm^2 .

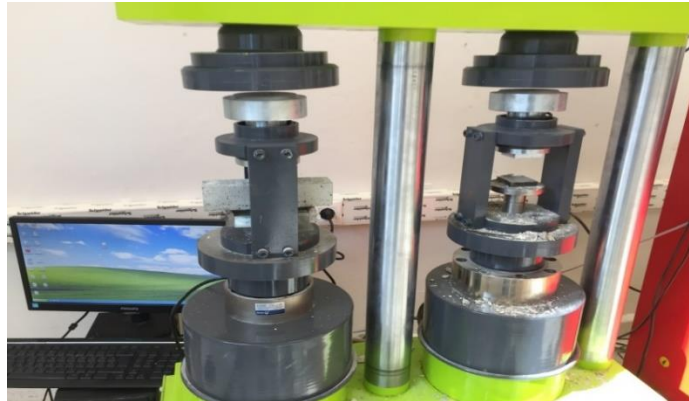
t: Harç numunesinin suya temas ettiği süre, dakika.



Resim 3.6. Kılcal su emme (kapilarite) deneyi

3.2.6. Çimento harçlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Çimento harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek için, TS EN 196-1 standardına uygun olarak dayanım deneyleri yapılmıştır. Deneyde hız ayar kademeli çimento ve harç karışım mikseri, 30 kg'a kadar tartım yapabilen ve ± 0.1 g hassaslıkta olan terazi, şebeke suyu sıcaklığını ölçmek için termometre, zaman ayarı için kronometre, net kalıp göz açıklık boyutları 40x40x160 mm boyutlarında ve 3 gözlü dökme harç kalıpları, vuruş sayısı ayarlamalı saniyede 1 vuruş yapabilen sarsma tablası, basınç deneyi yükleme kapasitesi 200 kN, eğilme deneyi kapasitesi 50 kN olan Resim 3.7.' de görülen bilgisayar kontrollü çimento harç eğilme ve basınç test presini kullanılmıştır (TS EN 196-1, 2009).



Resim 3.7. Çimento harç prizmalarının eğilme ve basınç dayanımı tayini deneylerinde kullanılan çimento test presisi

Çimento harçları hazırlanırken, TS EN 196-1' e göre hazırlanmıştır. Belirlenen taze harç kıvamındaki su içeriklerine göre karışım miktarları belirlenmiştir. İlk olarak karıştırma kabına su konuldu ve çimento eklendi. Karıştırıcı hemen düşük hızda çalıştırıldı ve 30 saniye süresince su ve çimento karıştırıldı, daha sonra kum 30 saniye içinde sürekli olarak ilave edildi. Karıştırıcı 1 dakika 30 saniye sonra durduruldu ve lastik sıyrıcı ile 15 saniye boyunca kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç sıyrılarak kabın ortasına toplandı, daha sonra karıştırıcı 60 saniye yüksek hızda çalıştırılarak harç hazırlandı. Karıştırıcı hız ayarları ± 1 saniye içerisinde yapılmıştır. Harcın hazırlanmasını müteakip harçlar hemen 40x40x160 mm' lik prizmatik kalıplara iki aşama şeklinde doldurulmuştur. İlk aşamada kalıp yarıya kadar doldurularak sarsma tablasında 60 sarsma ile sıkıştırılmıştır. İkinci aşamada harç kalıba tamamen doldurularak yayıcı ile yüzeyi düzeltilmiş ve ikinci 60 sarsma ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra kalıp düzgünce sarsma tablasından kaldırılmış ve harç fazlalıkları hemen hemen dik tutulan metal mastar yardımıyla sıyrılmış ve her yöne doğru bir kere enine testere hareketi ile çekmek suretiyle harçların yüzeyleri düzleştirilmiştir. Daha sonra kalıp dış yüzeyleri silinerek temizlenmiştir. Harçlar dökümden sonra örtü ile kapatılarak nem kaybının önlenmesi sağlanmıştır. Numuneler kalıba yerleştirildikten 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve suya dayanıklı mürekkepli kalemle uygun şekilde işaretlendirilmişlerdir. İşaretlenmiş prizmalar geciktirilmeden (20 ± 1) °C' de su bulunan, paslanmaz ızgaralı, suyun prizmanın bütün yüzeyiyle temas edebileceği su sıcaklık ayarlı Resim 3.8.' de gösterildiği şekilde kür havuzuna yerleştirilmiştir. 7,28 ve 90 günlük numuneler deneyden 15 dakika önce kür havuzundan çıkarılarak yüzeyleri tortu ve pislikten temizlenmiştir (TS EN 196-1, 2009).



Resim 3.8. Kür havuzunda bekletilen numuneler

Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı tayini deneyi kapasitesi 50 kN olan bilgisayar kontrollü çimento eğilme ve basınç test presinde yapılmıştır. Eğilme dayanımını belirlemek için Resim 3.9.' da görülen şekilde tek noktadan yükleme metodu kullanılır. Prizmalar deney cihazına pürüzsüz olan yan yüzeyleri üzerine ve uzunluğuna eksenini mesnet silindirlere dik olacak şekilde mesnet silindirleri üzerine yerleştirilmişlerdir. Yük, yükleyici silindir vasıtasıyla prizmanın karşı yan yüzünden dik olarak uygulanır ve düzgün olarak 50 N/s hızında prizma kırılıncaya kadar yüklenmiştir. Eğilme dayanımı (R_f), N/mm^2 olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (TS EN 196-1, 2009).

$$R_f = (1,5 \times F_f \times l) / (b^3) \quad (3.2.11)$$

Burada;

R_f : Eğilme Dayanımını, (N/mm^2)

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm)

F_f : Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (Newton)

l : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm) dir.



Resim 3.9. Çimento harç numunelerinin eğilme dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi

Eğilme dayanım tayini deneyi sonucunda elde edilen 40 mm x 40 mm' lik alana sahip yarım prizmaların yan yüzeylerine yükleme yapılmak suretiyle deney yapılmıştır. Yarım prizmalar, cihazın plakaları arasına $\pm 0,5$ mm' den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan veya yardımcı plakalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilir. Yük (2400 \pm 200) N/s hızda olmak üzere düzgün şekilde Resim 3.10.' da görüldüğü gibi prizma kırılana kadar artırılır. Basınç dayanımı R_c , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (TS EN 196-1, 2009).

$$R_c = F_c / 1600 \quad (3.2.12)$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm²)

F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N)

1600: Plakaların veya yardımcı plakaların (40mm x 40mm) alanı (mm²) dir.



Resim 3.10. Çimento harç numunelerinin basınç dayanımı deneyi

3.2.7. Korozyon numunelerinin hazırlanması ve korozyon ölçümleri

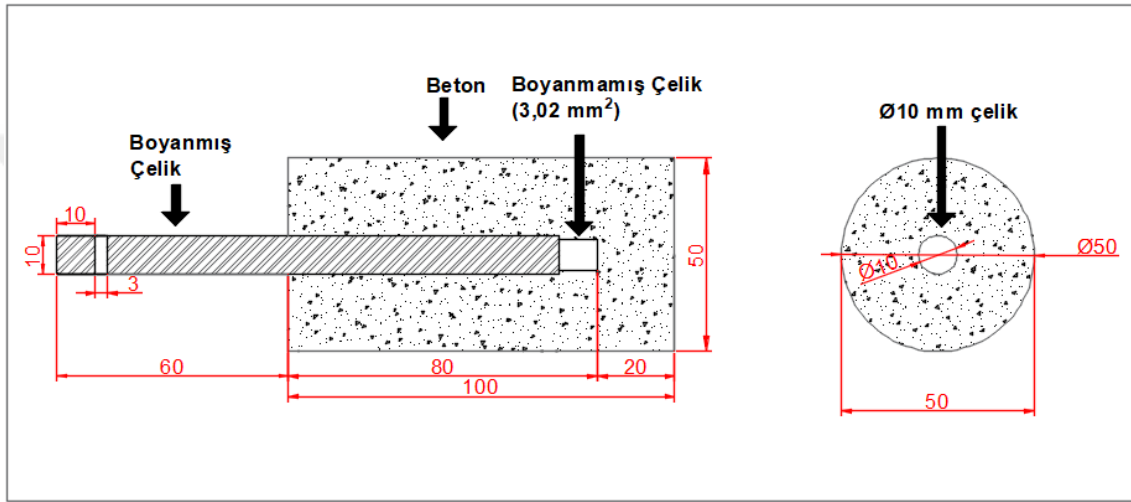
Elektrokimyasal korozyon ölçümleri için Resim 3.11.' de görüldüğü gibi Ø10 betonarme çeliği kullanılarak Ø50 x 100 mm' lik silindir sepiyolit katkılı çimento harç numuneleri S0,S2.5, S5, S7.5, S10, S12.5 ve S15 olarak üretilmiştir.



Resim 3.11. Üretilen korozyon numuneleri

Korozyon deneyleri TS EN 480-14 “Kimyasal katkılar - Beton, harç ve şerbet için - Deney metotları-Bölüm 14: Donatı çeliğinin korozyona karşı hassasiyeti üzerine katkının etkisinin tayini-Potansiyostatik elektrokimyasal deney” standardına uygun olarak yapılmıştır (TS EN 480-14, 2008).

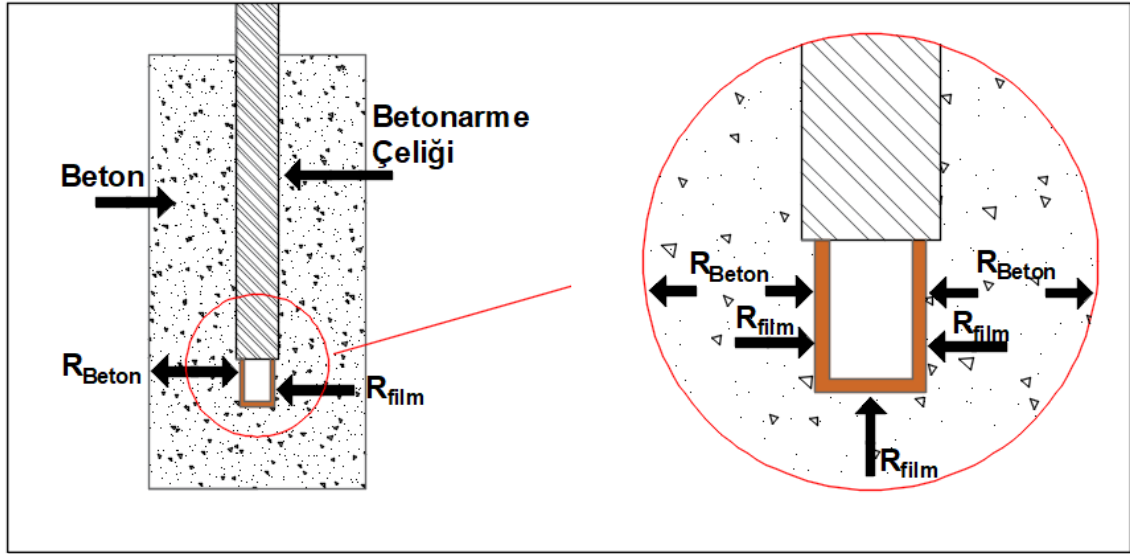
Donatı çeliğinin beton içindeki durumu Şekil 3.2.' de verilmiştir. Ölçüm yapılacak çelik elektrodun yüzey alanı büyüdükçe potansiyel saçılma aralığı artmakta ve korozyon hızında düzensiz bir değişim olmaktadır. Beton içindeki çeliğin çevreden aldığı korozyon etkilerini daha spesifik olarak belirleyebilmek ve tekrarlanabilir sonuçlara ulaşmak için donatı çeliği kısmen boyanmıştır. Ölçüm yapılan elektrot alanı sağlıklı elektrokimyasal ölçümlerin elde edilebileceği bir ölçüye kadar (3.02 cm^2) küçültülmüştür.



Şekil 3.2. Donatının çimento harcı içindeki durumu (mm olarak)

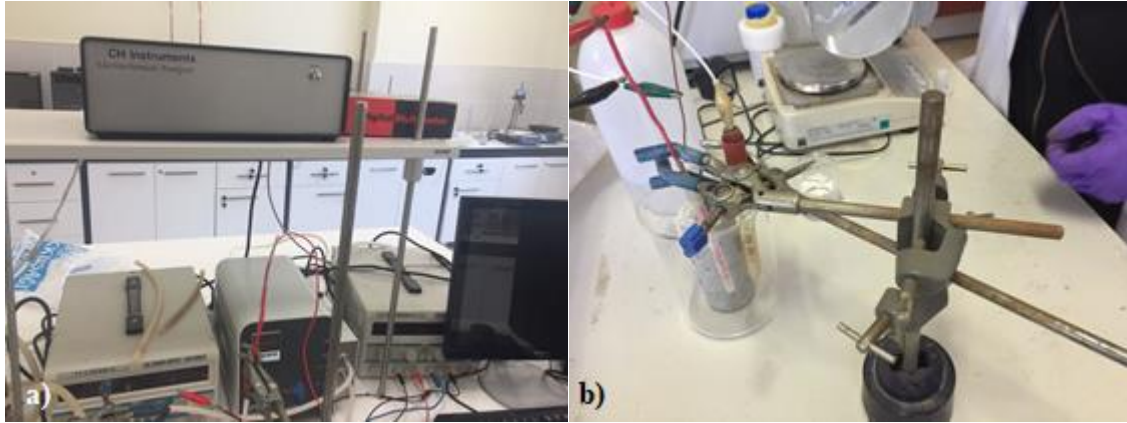
Çalışma elektrotu olarak hazırlanan donatı, oluşturulan askı sistemi yardımıyla pas paylarına uygun şekilde sabitlenerek, donatılı harç numunelerinin dökümü taze harç döküm işlemlerindeki gibi iki aşamada doldurularak her aşamada sarsma tablası yardımıyla 60 sarsma yapılarak sıkılanmıştır.

Donatı çeliği korozyonunu belirleyen parametreler ohm kanununa göre R (direnç), E (potansiyel) ve I (akım) değerleridir. Korozif iletken ve sulu ortamda bulunan bir donatının korozyon özelliklerini belirleyen R (direnç) değerinin; donatı yüzeyinde oluşan film direnci (R_{film}) ve betonun direncinden (R_{beton}) oluştuğu bilinmektedir.



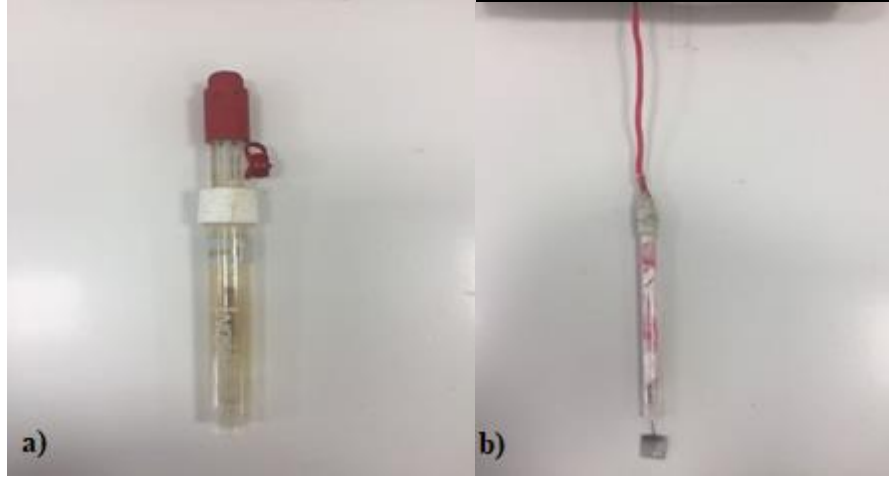
Şekil 3.3. Bir betonarme numune de çeliğin korozyon özelliklerini belirleyen bölgelerin şematik gösterimi

Harç numuneleri içine gömülü donatı çeliğinin elektrokimyasal korozyon parametrelerinin belirlenmesinde Resim 3.12.(b)' de görüldüğü gibi üç elektrotlu ölçüm yöntemi kullanılmıştır ve voltametrik ölçümler Resim 3.12.(a)' da görüldüğü gibi CHI604e programı ile bilgisayar kontrollü CH Instruments (600E) model potansiyostat cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Resim 3.12. Korozyon ölçüm sistemleri
(a) CH Instruments (600E) model potansiyostat cihazı (b) Üç elektrot sistemi

Bu yöntemde göre çalışma elektrotu olarak korozyonu ölçülecek betonarme çeliği, karşıt elektrot olarak platin ve karşılaştırma elektrotu olarak da Ag/AgCl kullanılmıştır (Resim 3.13).



Resim 3.13. Elektrotlar (a) Karşılaştırma (Ag-AgCl) elektrodu (b) Karşıt (platin) elektrot

Donatı gömülü harç numunelere korozif ortamdaki bekleme sürelerine bağlı olarak yarı hücre potansiyel yöntemi, kulometrik yöntem, lineer polarizasyon direnci (LRP) yöntemi gibi elektrokimyasal korozyon testler uygulanmıştır.

Bu deneyler sonucunda elde edilen bulgulara ait çeşitli elektrokimyasal parametreler grafik ve çizelgeler halinde düzenlenerek malzeme korozyon özellikleri karşılaştırılmış ve korozyon mekanizmaları belirlenmiştir.

Donatılı harç numuneler 24 saat plastik örtüler içerisinde bekletildikten sonra kalıplardan çıkartılarak Resim 3.14.' de görüldüğü gibi %3.5 NaCl çözeltisi bulunan beherler içerisine ayrı ayrı bırakılmıştır. Daha sonra 1., 3., 10., 20., 30., 50., 90., 130., 133., 136., 139., 142. ve 145. günlerde korozyon ölçümleri alınmıştır.



Resim 3.14. Cam beher içerisinde korozif ortam oluşturulan donatılı harç numuneleri

Bu elektrokimyasal ölçümler donatılı harç numuneleri üzerinde serbest korozyon koşullarında zamana bağlı olarak yapılmıştır. Çalışma elektroduna (donatıya) küçük gerilimlerin uygulanması ile yapılan deneylerde pratik olarak yüzeyin korozyon özelliklerinin değişmediği kabul edilir. Çalışma elektrodu donatı olan üç elektrotlu elektrokimyasal düzenek ile % 3,5 NaCl içeren korozif ortamda bilgisayar kontrollü olarak yapılan uygulamalar aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır:

- Yarı hücre potansiyel yöntemi ile açık devre potansiyel ölçümleri (E_{ADP})
- Kulometri uygulaması ile açık devre potansiyelinde korozyon yüklerinin (Q_{ADP}) ölçümü
- Lineer polarizasyon direnci yöntemi ile korozyon potansiyelinin (E_{COR}) bulunması

Yarı hücre potansiyel yöntemi

Üç elektrotlu elektrokimyasal hücrede açık devre potansiyelinin (E_{ADP}) ölçülmesine dayanan bu yöntem genel olarak elektrokimyasal korozyon eğilimi hakkında pratik bilgiler vermektedir. Donatının elektriksel yarı hücre potansiyeli ölçümü korozyon riskini belirlemede basit bir yöntemdir. Ancak elde edilen sonuçların hangi koşullar için güvenli yorumları yapılabileceği konusunda dikkatli davranmak gerekmektedir. Örneğin klasik uygulamada potansiyelde negatif değerlere kayma eğilimi, yüzey direnç filminin zayıf olduğu ve korozyonun aktifleştiği şeklinde yorumlanır. Ancak negatif

potansiyeye kayma eğilimi her zaman korozyonun hızlanması, pozitif potansiyeye kayma eğilimi de yavaşlaması anlamına gelmez. Özellikle genel korozyona izin vermeyen donatı çeliği gibi kompozit malzemelerde görülen lokalize (çukur) korozyon oldukça karmaşık bir mekanizma gösterir ve korozif ortamda bekleme süresi arttıkça korozyon seyri de değişim gösterir. Ayrıca iklim, gel-git etkisi gibi çevresel etkiler korozif ortamın özelliğini farklı duruma getirebilir ve bu değişimi hızlandırabilir. Bu yüzden donatılı çimento esaslı bağlayıcılarla üretilen harç ve betonların korozyon mekanizmasının belirlenmesi çok yönlü malzeme araştırma tekniklerini zorunlu kılmaktadır.

Yarı hücre potansiyel yöntemine göre donatılı çimento harç numunelerinin açık devre potansiyelleri (ADP) % 3.5 NaCl içeren korozif ortamda üç elektrotlu düzenek ile 145 gün boyunca belirli aralıklarla ölçülmüştür. Her bir ölçüm 0.1 saniye aralıklarla bilgisayar kontrollü olarak elde edilen 36000 potansiyel verisini içerir. Tüm numunelerin farklı zaman aralıklarında ölçülen ADP verileri, numune türüne, zamana ve ortam koşullarına bağlı potansiyel değişimleri ve dağılımları belirlenerek karşılaştırılmıştır. Değişken karakterdeki korozyon özelliklerinin daha ayrıntılı inceleyebilmek için veri dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafiklerdeki değerler ve veri saçılma genişliklerine göre özellikle donatı için en tehlikeli olan kararsız lokal (çukur) korozyona uğrama durumları karşılaştırılmıştır.

Kulometrik ölçüm yöntemi

Kulometrik ölçümler sabit gerilim altında geçen akımı ölçmeye dayalı olarak yapılır. Ölçüm sonunda elde edilen zamana karşı akım değerleri, elektrokimyasal reaksiyon hızının bir göstergesidir ve Faraday Kanunu ($Q=i \times t$) ile ifade edilmektedir.

Bu çalışmadaki kulometrik ölçümler farklı zaman aralıklarında ölçülen açık devre potansiyellerinde elde edilmiştir. Belirli günlerde 0.1 saniye aralıklarla bilgisayar kontrollü olarak elde edilen her ölçüm 1200 akım verisini içerir. Tüm numuneler için kulometrik ölçümlerden elde edilen açık devre potansiyelindeki net korozyon yükleri (Q_{net}) dağılım grafikleri düzenlenmiştir.

Lineer polarizasyon direnci (LRP) yöntemi

Lineer polarizasyon direnci yöntemi donatı korozyonu direncini belirlemek için kullanılan tahribatsız elektrokimyasal yöntemlerden biridir. Bu çalışmada numuneler üç elektrotlu deney düzeneği ile elektriksel bağlantılı CH Instruments (600E) model potansiyostat cihazı ile polarize edilmiştir. Polarizasyon, çalışma elektrotu ile karşıt elektrot arasında belirli potansiyeller uygulanarak bunlara karşılık gelen akım değerlerinin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır.

Lineer polarizasyon direnci yöntemine göre (Stearn-Geary yöntemi) çalışma elektroduna ait (korozyonu incelenecek malzeme) akım-potansiyel ilişkisi açık devre potansiyelinin (ADP) ± 10 mV civarındaki 20 mV'luk küçük bir potansiyel aralığında gerçekleştirilmiştir.

Lineer polarizasyon direnci yöntemine göre elde edilen akım-potansiyel eğrilerine ait grafiklerden yararlanılarak korozyon potansiyeli (E_{COR}) bulunmuştur.

Potansiyodinamik polarizasyon tekniğinde uygulanan potansiyele göre örneğin yüzeyinden geçen akımların izlenmesi esasına göre değerlendirilmektedir. Potansiyodinamik teknikte, uygulanan potansiyeller ile kontrol edilen ortamının korozyon etkisi derecesine karşı, ölçülen akım değerleri malzemenin korozyon büyüklüğü ile orantılı olur. Belirli bir potansiyel aralığında devreden geçen akımın azalması malzemede korozyon direncinin artışına işaret eder.

Genel korozyona uğrayan bir metalin korozyon hızı, akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen kinetik parametrelere göre düzenlenerek belirlenebilir. Bununla birlikte elektrotta korozyon sırasında yüzeyin farklı yerlerinde korozyon hızları lokal değişkenlikler göstermiyorsa bu gibi yöntemler korozyon hızını tespit edebilmek için kullanılabilir. Ancak korozyon bölgesel değişimler gösteriyorsa ve bu durum zaman içinde giderek artıyorsa metalde lokalize korozyon vardır. Böyle bir metalin korozyon hızını ve servis ömrünü bulmak, genel korozyon koşullarına göre daha karmaşıktır. Lokalize korozyonda metalin korozyon özelliklerinde zamana ve ortama

göre hızlı değişimler vardır. Bu değişimler deneysel verilerdeki saçılmalar ve veri dağılım aralığının genişlemesi ile ortaya çıkar. Bu oluşum genel anlamda lokalize (çukur) korozyondur.



4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sepiyolitın XRF Analizi Sonuçları

Deneşlerde kullanılan tamamı 45 µm elekten geçen sepiyolite uygulanan ve izelge 4.1.' de verilen XRF analizi sonucunda, kullanılan sepiyolitın kızıdırma kaybının %35.87, SiO₂ miktarının %20.30, CaO miktarının %16.81, MgO miktarının %25.44, Al₂O₃ miktarının %0.62 ve Fe₂O₃ miktarının ise %0.26 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Sepiyolitın XRF analiz sonuçları

Rapor Adı	Miktar (%)	Rapor Adı	Miktar (%)
Kızıdırma Kaybı	35.870	Na ₂ O	0.058
Al ₂ O ₃	0.622	NiO	0.001
BaO	0.007	P ₂ O ₅	0.003
CaO	16.810	PbO	0.002
Cr ₂ O ₃	0.003	SO ₃	0.016
CuO	0.002	SiO ₂	20.295
Fe ₂ O ₃	0.262	SrO	0.316
HfO ₂	0.002	TiO ₂	0.195
K ₂ O	0.115	V ₂ O ₅	0.010
MgO	25.437	ZnO	0.000
Mn ₃ O ₄	0.005	ZrO ₂	0.005
Na ₂ O	0.058		

Kullanılan sepiyolite ait yoğunluk, özgül yüzey ve nem oranı miktarları izelge 4.2.' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sepiyolite ait yoğunluk, özgül yüzey ve nem oranı miktarları

Fiziksel Özellikler	Değer	Birim
Yoğunluk	2.70	g/cm ³
Özgül yüzey (blaine)	7360	cm ² /g
Nem içeriği	1.12	%

Eskişehir-Sivrihisar yöresinden temin edilen sepiyolitın öğütme ve nemden arındırma işlemlerinden sonra yoğunluğunun 2.70 g/cm^3 , özgül yüzeyinin $7360 \text{ cm}^2/\text{g}$, nem içeriğinin ise %1.12 olduğu yapılan analizler sonrasında elde edildi.

Kavas ve ark. (2004)'nın, sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerinin özelliklerini belirlemeye yönelik yaptıkları araştırmada Eskişehir-Sivrihisar bölgesinden temin ettikleri kahverengi sepiyolite uyguladıkları XRF analizi sonucunda sepiyolitın kızdırma kaybının (LOI) %26.4 olduğunu ve içerisinde %35.55 SiO_2 , %18.59 MgO , %13.06 CaO , %2.85 Al_2O_3 , %1.42 Fe_2O_3 ve toplam %2 oranında diğer minerallerin (SO_3 , K_2O , Na_2O) olduğunu belirlemişlerdir.

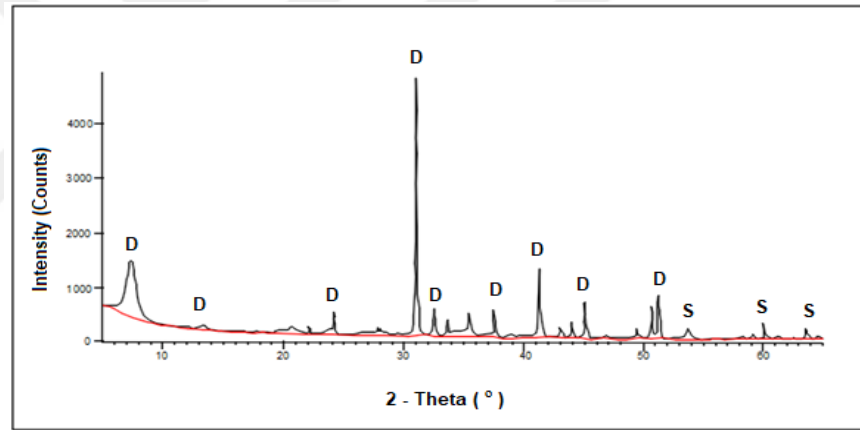
Demir (2016), sepiyolitli harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemeye yönelik yaptığı çalışmada Eskişehir yöresine ait beyaz sepiyolit kullanmış ve bu sepiyolitın yoğunluğunun $2-2.25 \text{ g/cm}^3$ olduğunu ve içerisinde %55.92 SiO_2 , %22.81 MgO , %0.57 CaO , %1.56 Al_2O_3 , %0.77 Fe_2O_3 , %0.77 K_2O ve %0.12 oranında Na_2O minerallerinin bulunduğunu belirtmiştir.

Ersever Angur (2016), çimento esaslı yapıştırıcı harçlarda sepiyolit katkı malzeme geliştirilmesi amacıyla yönelik yaptığı çalışmada, Eskişehir yöresinden elde edilen üç farklı sepiyolit (HS1, HS2 ve HS3 numune kodlu) örneği üzerinde yaptığı XRF analizi sonucunda, HS1 numunesi içerisinde ağırlıklı olarak %44.42 SiO_2 , %19.87 MgO , %2.05 CaO , %2.36 Al_2O_3 ve %0.95 oranında Fe_2O_3 bulunduğunu, HS2 numunesi içerisinde ağırlıklı olarak %38.58 SiO_2 , %21.51 MgO , %7.11 CaO , %1.61 Al_2O_3 ve %0.72 oranında Fe_2O_3 bulunduğunu ve HS3 numunesi içerisinde ise ağırlıklı olarak %49.06 SiO_2 , %21.44 MgO , %2.80 CaO , %1.99 Al_2O_3 ve %0.94 oranında Fe_2O_3 bulunduğunu belirtmiştir. Sepiyolitın saflık derecesinin ise HS1, HS2 ve HS3 numuneleri için sırasıyla %70-76, %66-76 ve %76-83 olduğunu, dolomit içeriğinin ise yine sırasıyla %7, %23 ve %9 miktarlarında bulunduğunu ve bu sebeple HS2 numunesinin yüksek dolomit içeriği nedeniyle düşük kaliteli sepiyolit olduğunu belirtmiştir.

Karataş (2011), sepiyolit kiline kuvaterner amin surfaktanlarının adsorbsiyonunun deneysel ve teorik olarak incelenmesi amacıyla Eskişehir-Sivrihisar yöresinden temin ettiği sepiyolite uyguladığı kimyasal analiz sonucunda sepiyolit içerisinde %44.79 SiO₂, %19.73 MgO, %8.78 CaO, %2.35 Al₂O₃ ve %1.38 oranında Fe₂O₃ bulunduğunu belirtmiştir.

4.2. Sepiyolitin XRD Analizi Sonuçları

Sepiyolit örneklerine uygulanan XRF analizi ile elde edilen bulguların içeriklerini ve miktarlarını netleştirmek amacıyla XRD analizi yapılmıştır. XRD cihazı ve nicel analizlerde kullanılan rietveld programı ile yapılan analizlerde öğütülmüş ham sepiyolit örnekleri içerisinde Çizelge 4.3.' de verilen mineraller tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Sepiyolit numunesinin XRD kırınım grafiği (D:Dolomit, S:Sepiyolit)

Çizelge 4.3. Sepiyolitin mineralojik analiz içeriği

Bileşen	Miktar (%)
Sepiyolit	18.40
Dolomit	69.30
Magnezit	9.10
Analbite	3.30

Sepiyolite uygulanan XRD analizi sonucunda safsızlığın fazla olduğu, sepiyolit içerisinde %69.30 dolomit, %18.40 sepiyolit, %9.10 magnezit, %3.30 analbit bulunduğu belirlenmiştir.

Kavas ve ark. (2004)' ının Eskişehir-Sivrihisar bölgesinden temin ettikleri kahverengi sepiyolite uyguladıkları XRD analizinde kahverengi sepiyolitın %90 saflıkla beraber, dolomit, kuvars, kalsit ve kil minerallerinin izleri ile ilişkili bir kirlilik taşıdığını belirtmişlerdir.

Ersever Angur (2016), çimento esaslı yapıştırıcı harçlarda sepiyolit katkı malzeme geliştirilmesi amacıyla yönelik yaptığı çalışmada, Eskişehir yöresinden elde edilen üç farklı sepiyolit (HS1, HS2 ve HS3 numune kodlu) örneği üzerine XRD analizi uygulamıştır. XRD analizi sonucunda elde edilen mineralojik özellikler HS1, HS2 ve HS3 sepiyolit numunleri için sırasıyla HS1 numunesinde, %72 sepiyolit, %8 dolomit, %7 kuvars, %2 kalsit, %2 albit ve %9 Na montmorillonit olarak, HS2 numunesinde, %58 sepiyolit, %18 dolomit, %5 kuvars, %10 montmorillonit, %6 amorf faz ve %3 kalsit+feldispat+diğ. Olarak, HS3 numunesinde ise %68 sepiyolit, %6 dolomit, %8 kuvars, %5 montmorillonit, %4 amorf faz ve %10 kalsit+feldispat+diğ. olarak elde edilmiştir.

4.3. Sepiyolitın Standart Kıvama Etkisi

Sepiyolitın değişen oranlarda ikame olarak kullanıldığı çimentoların standart kıvam tayini için gerekli olan su miktarları Çizelge 4.4.' de hem kütlece hem de yüzde olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çimento hamurlarının standart kıvamı için gerekli su ihtiyaçları

Numune Kodları	Su ihtiyacı	
	Kütlece (g)	%
S0	133.6	26.7
S2.5	136.4	27.5
S5	146.3	29.3
S7.5	148.7	29.7
S10	150.0	30.0
S12.5	153.1	30.6
S15	162.1	32.4

Çizelge 4.4.' de görüldüğü gibi çimento içerisine ikame edilen sepiyolit miktarı arttıkça standart kıvam için gerekli su miktarının arttığı görülmüştür. Sepiyolit ikameli çimentolar içerisinde su ihtiyacı en fazla olan S15, en az olan ise S2.5 numuneleridir. Sepiyolit içeriğinin artması ile su ihtiyacının artmasının nedeni olarak, sepiyolit içinde hidrojen bağlanmasıyla oluşan harici silanol (Si-OH) gruplarının önemli miktarda su tutmaya sebep olması gösterilebilir (Kavas ve ark., 2004).

4.4. Sepiyolit Miktarının Priz Süresi ve Hacim Genleşmesine Etkisi

Çizelge 4.4.' de verilen standart kıvam için gerekli olan su miktarlarına göre hazırlanan çimento hamurlarının priz süreleri saptanmış ve Çizelge 4.5.' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Çimento hamurlarının priz sürelerinin başlangıç-bitiş süreleri ve hacim genleşmesi miktarları

Numune Kodları	Priz Süreleri(Saat:Dakika)		Katılma Süresi(Saat:Dakika)	Hacim Genleşmesi (mm)
	Priz Başlangıç	Priz Bitiş		
S0	2:48	3:49	1:01	1
S2.5	2:42	3:27	0:45	1
S5	2:26	3:03	0:37	1
S7.5	2:45	3:24	0:39	1
S10	2:38	3:16	0:38	1
S12.5	2:31	3:21	0:50	1
S15	2:49	3:37	0:48	1
TS EN 197-1	Minimum 1:00	Maksimum 10:00	-	Maksimum 10.00 mm

Çizelge 4.5.' de görüldüğü üzere hazırlanan ikameli ve ikamesiz çimento hamurları içerisinde en erken priz başlangıcı ve en erken priz bitişi S5 numunesinde, en geç priz başlangıcı S15 numunesinde, en geç priz bitişi ise S0 (referans) numunesinde elde edilmiştir. S5 numunesi referans numunesine göre 22 dakika daha erken priz başlangıcı ve 46 dakika daha erken priz bitişi göstermiştir. Katılma süreleri incelendiğinde en kısa süre S5 numunesinde, en uzun süre ise S0 numunesinde görülmüştür. Numunelerin katılma süresinin ikame oranı artışına paralel olmadığı görülmüştür.

Hazırlanan numunelere ait hacim genişmesi değerleri Çizelge 4.5.' de verilmiştir. İkame oranlarının değişmesi hacim genişmesini değiştirmemiştir. Hacim genişmesi tüm ikame oranlarında 1 mm olarak elde edilmiştir.

Kavas ve ark. (2004), çimento yerine %5 alçı taşı ilavesi sabit tutularak kalan %95' lik çimentodan azaltarak yerine sırasıyla %3, %5, %10, %15, %20 ve %30' luk kahverengi sepiyolit ikamesiyle hazırladıkları çimento hamurlarının priz başlangıç ve bitiş sürelerini incelemiştir. Hazırlanan harçların su/bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit tutulmuştur. %95 çimento ve %5 alçı taşı katılarak elde edilen referans numunesinin priz başlangıç süresinin 156 dakika, bitiş süresinin ise 240 dakika olduğu belirlenmiştir. %3 sepiyolit, %92 çimento ve %5 alçı taşı ikamesinden oluşan hamurun priz başlangıç süresinin 132 dakika, bitiş süresinin ise 252 dakika olduğu saptanmıştır. En erken priz başlangıç ve bitiş başlangıç değerlerine %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikamesinin olduğu numunede sırasıyla 108 dakika ve 216 dakika olarak rastlanmıştır.

4.5. Sepiyolit Miktarının Taze Harç Kıvamına Etkisi

Çizelge 4.6. Taze harç kıvamı için gerekli su ihtiyacı değerleri

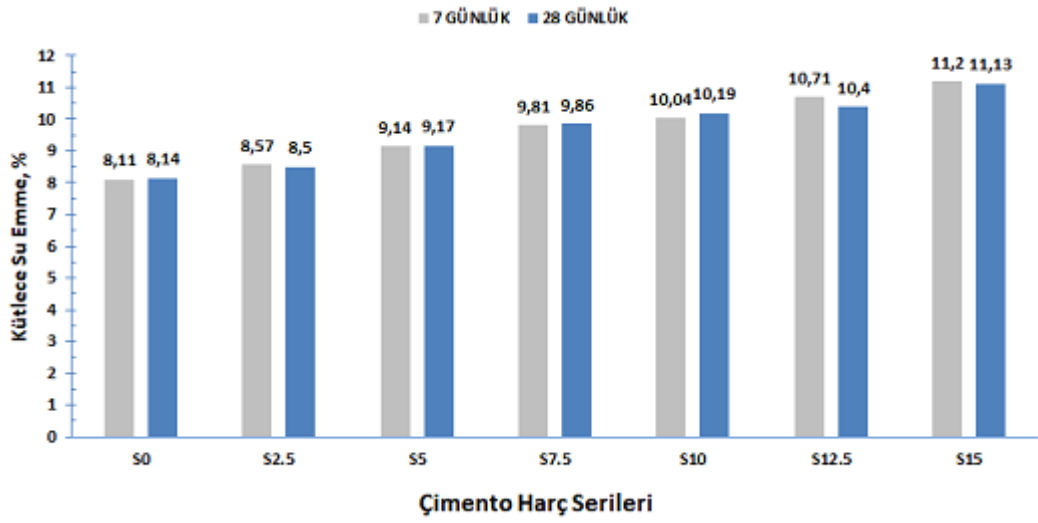
Numune Kodları	Bağlayıcı Miktarı (Çimento+Sepiyolit) (g)	Çimento Miktarı (g)	Sepiyolit Miktarı (g)	Standart Kum Miktarı (g)	Harcın Su İhtiyacı (g)	Su/Bağlayıcı Oranı
S0	450	450.00	0.00	1350	225	0.50
S2.5	450	438.75	11.25	1350	230	0.51
S5	450	427.50	22.50	1350	234	0.52
S7.5	450	416.25	33.75	1350	243	0.54
S10	450	405.00	45.00	1350	250	0.56
S12.5	450	393.75	56.25	1350	256	0.57
S15	450	382.50	67.50	1350	264	0.59

Çizelge 4.6.' da görüldüğü gibi sepiyolit ikame oranlarının artması ile harcın su ihtiyacı artmaktadır. Harçlar sabit kıvama göre hazırlandığı için su ihtiyacı numunelere göre değişkenlik göstermiştir. En fazla su ihtiyacı S15 numunesinde 264 gram olarak, en az su ihtiyacı ise S0 (referans) numunesinde 225 gram olarak elde edilmiştir. Belirlenen su

ihtiyaçlarına göre su/bağlayıcı oranının S0 numunesinde 0.50 olduğu, S15 numunesinde ise 0.59 olduğu belirlenmiştir. Sepiyolit ikame oranı arttıa su/bağlayıcı oranının arttığı görülmüştür.

4.6. Sepiyolitın Ktlice Su Emme Oranına Etkisi

Prizmatik numunelerin 7 ve 28 günlük kür süresi sonrası ölçülen ktlice su emme oranları şekil 4.2.' de verilmiştir.



şekil 4.2. Çimento harç numunelerinin ktlice su emme oranları

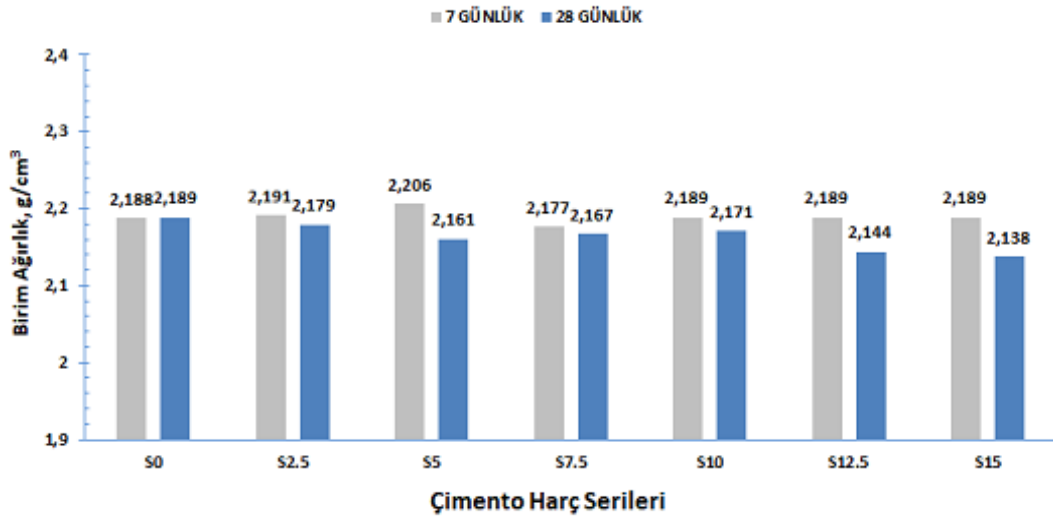
şekil 4.2.' de verilen ktlice su emme oranları incelendiğinde hem 7 günlük kür hem de 28 günlük kür uygulanmış numuneler içerisinde en düşük su emme miktarının S0 (referans) numunesinde olduğu, en yüksek su emme miktarının ise S15 numunesinde olduğu görülmüştür. Çimento yerine ikame edilen sepiyolitın ikame miktarının artmasıyla numunelerin su emme oranlarının arttığı belirlendi. Su emme oranı en düşük olan referans numuneye en yakın değerler S2.5 numunesinde görülmüştür.

Demir (2016), Eskişehir yöresine ait beyaz sepiyolitın CEM I 42.5 R Portland imentosu yerine %10, %20 ve %30 ikame edilmesiyle hazırladığı imento harçları üzerinde yaptığı bağlı ağırlıkça su emme deneyinde, ilerleyen yaşlarda tüm numunelerin su emme değerlerinde düşüşler olduğunu, genel olarak sepiyolit ikamesinin artmasının numunelerdeki su emme miktarını arttırdığını saptamıştır. Demir (2016), %10 sepiyolit

ikamesindeki su emme oranının %0 referans numunesine göre 7, 28 ve 56 günlük yaşlarda en az değişim gösteren numune olduğunu, %20 ve %30 sepiyolit ikameli harçların 56 günlük yaş dayanımı sonucunda %0 ve %10 ikameli numunelere göre yaklaşık olarak %200-250 civarında daha fazla su emme değeri gösterdiğini belirtmiştir. Demir (2016), bu durumun sepiyolit boşluklu yapısı ve buna bağlı su tutabilme özelliğinden kaynaklandığını ve dolayısıyla sepiyolit ikamesinin artmasının su emme değerlerinde artışa sebep olduğunu belirtmiştir.

4.7. Harç Numunelerinin Birim Ağırlık ve Yoğunluk Miktarları

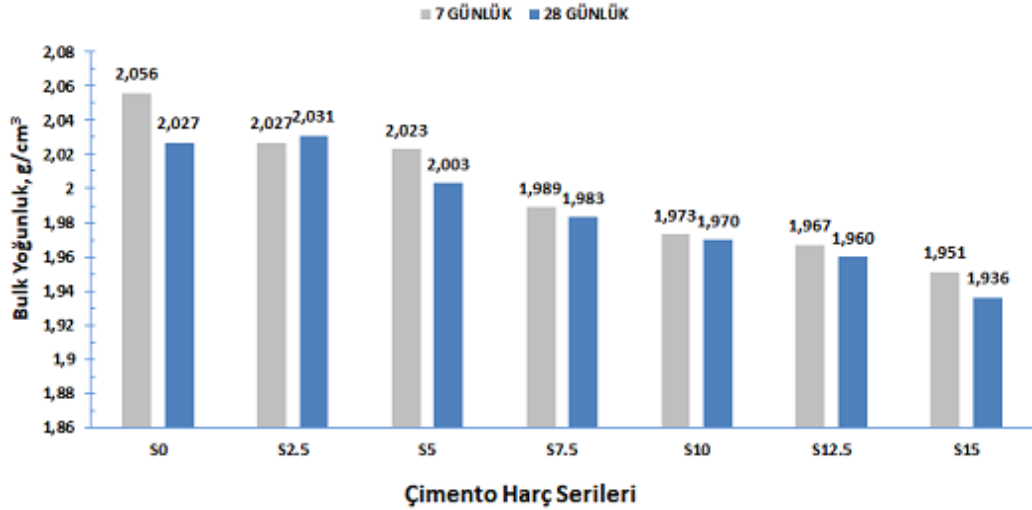
Numunelerin birim ağırlık, bulk yoğunluk ve dky yoğunluklarını belirlemeye yönelik yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler sırasıyla Şekil 4.3., Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.' de verilmiştir. Deneyler 7 ve 28 günlük kür sonrasında yapılmıştır.



Şekil 4.3. Harç numunelerinin birim ağırlıkları (g/cm³)

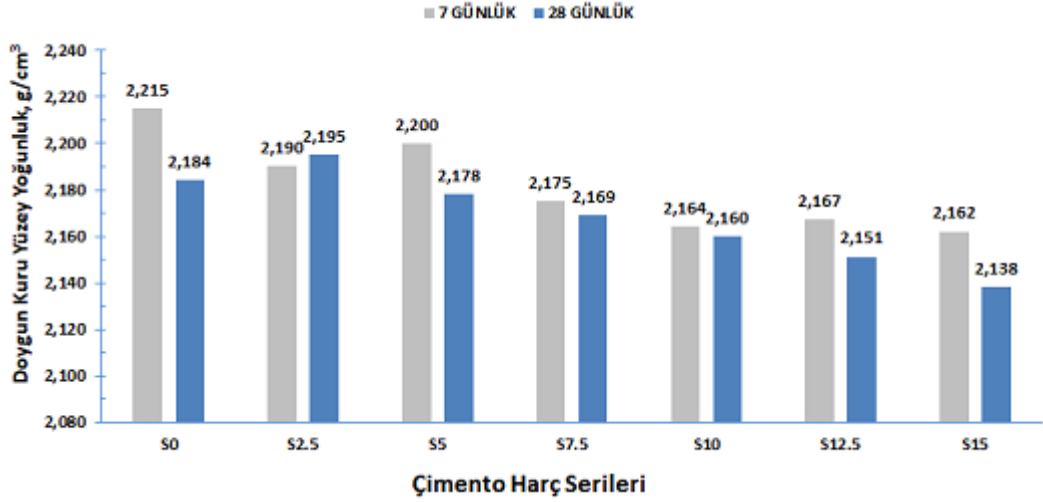
Şekil 4.3.' de prizmatik numunelere ait birim ağırlıklar verilmiştir. Numunelerin birim ağırlıklarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. 7 günlük kür sonrasında ölçülen birim ağırlık miktarları içerisinde en yüksek değere S5 numunesinin, en düşük değere ise S7.5 numunesinin sahip olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrasında S5 numunesinin birim ağırlığının 2.206 g/cm³ ve S7.5 numunesinin birim ağırlığının 2.177 g/cm³ olduğu belirlendi. 28 günlük kür sonrasında ölçülen birim ağırlık miktarları içerisinde ise en yüksek değer S0 (referans) numunesine, en düşük

değer ise S15 numunesine aittir. 28 günlük kür sonrasında S0 numunesinin birim ağırlığının 2.206 g/cm^3 ve S15 numunesinin birim ağırlığının 2.138 g/cm^3 olduğu belirlendi. 28 günlük kür sonrasında sepiyolit ikamesinin artmasıyla birim ağırlığın çok az miktarda azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Genel olarak numunelerin birim ağırlıkları arasında %1 civarında doğrusal olmayan farklılıklar görülmüştür.



Şekil 4.4. Harç numunelerinin bulk (yığın) yoğunlukları (g/cm^3)

7 ve 28 günlük kür sonrasında elde edilen bulk (yığın) yoğunluk miktarları Şekil 4.4.'de verilmiştir. 7 günlük kür sonrasında en yüksek bulk yoğunluk miktarının S0 (referans) numunesinde, en düşük bulk yoğunluk miktarının ise S15 numunesinde olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrasında bulk yoğunluğun çimento yerine ikame edilen sepiyolit miktarının artmasıyla azalan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. 28 günlük kür sonrasında ise en yüksek bulk yoğunluk miktarının S2.5 numunesinde, en düşük bulk yoğunluk miktarının ise S15 numunesinde olduğu görülmüştür. S2.5 numunesine en yakın bulk yoğunluk değerinin S0 numunesinde olduğu ve %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15 numunelerinde ise sepiyolit miktarının artmasıyla bulk yoğunluğun azaldığı görülmüştür.



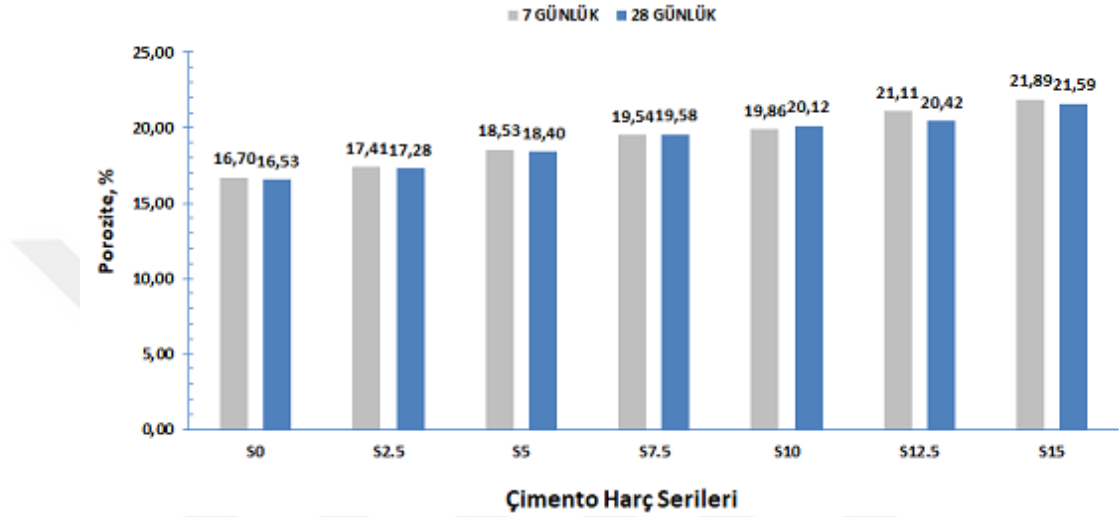
Şekil 4.5. Harç numunelerinin doymun kuru yüzey yoğunlukları (g/cm³)

Şekil 4.5.' de verilen dky yoğunlukları incelendiğinde 7 günlük kür sonrası en yüksek değer S0 (referans) numunesinde, en düşük değer S15 numunesinde olduğu görülmüştür. 28 günlük kür sonrasında ki değerler incelendiğinde ise dky yoğunluğun değerinin en yüksek S2.5 numunesinde, en düşük değer S15 numunesinde olduğu belirlenmiştir. Hem 7 günlük kür hem de 28 günlük kür sonrasında alınan ölçümlerde numunelerin dky yoğunlukları arasındaki farkın %5' i geçmediği, genel olarak ise harç numuneleri arasındaki artış azalış doğrusal olmasa da dky yoğunluğun sepiyolit ikamesinin artmasına bağlı olarak azalma eğilimi sergilediği görülmüştür.

Demir (2016), çimento yerine %10, %20 ve %30 sepiyolit ikamesi ve sabit su/bağlayıcı oranı (0.5) kullanarak hazırladığı harç numunelerinin birim ağırlıklarını incelemiştir. Üretilen sepiyolit ikameli prizmatik numunelerin birim ağırlıklarının 2.20-2.29 g/cm³ arasında olduğunu, %0 referans numunesinin birim hacim ağırlıklarının ise 2.19-2.26 g/cm³ arasında değiştiğini belirtmiştir. Üretilen harç serilerinin ileri yaşlarda kendi aralarında değerlendirildikleri zaman birim ağırlıklarının %2 arttığını, ancak referans numunesine göre %20 ve %30 sepiyolit ikameli harçların ileri yaşlarında birim ağırlıklarının %1 oranında düştüğü belirlenmiştir. Demir (2016) bu durumu, çimentonun hidrasyonunu büyük ölçüde tamamlaması ve buna bağlı olarak çimento yerine ikame edilen sepiyolitin özgül ağırlığının kullanılan çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olmasına bağlamıştır.

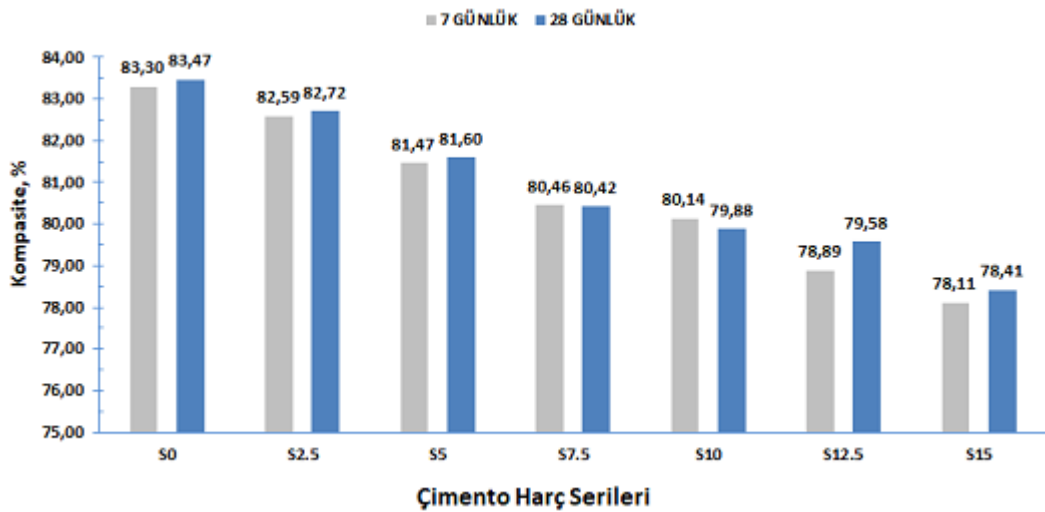
4.8. Harç Numunelerinin Boşluk Oranı (Porozite) ve Doluluk Oranı (Kompasite) Miktarları

Şekil 4.6. ve 4.7.' de prizmatik numunelerin sırasıyla boşluk oranı (porozite) ve doluluk oranı (kompasite) değerleri verilmiştir. Deneyler 7 ve 28 günlük kür sonrasında yapılmıştır.



Şekil 4.6. Harç numunelerinin boşluk oranı (porozite) değerleri (%)

Prizmatik numunelerin porozite oranları incelendiğinde 7 ve 28 günlük kür sonrası yapılan ölçümler sonucunda her iki yaşta da en düşük değer S0 (referans) numunesinde, en yüksek değer ise S15 numunesinde olduğu belirlenmiştir. Çimento yerine ikame edilen sepiyolit miktarının artmasıyla porozitenin arttığı ve ilerleyen yaşta numunelerin porozite değerlerinin azaldığı görülmüştür.



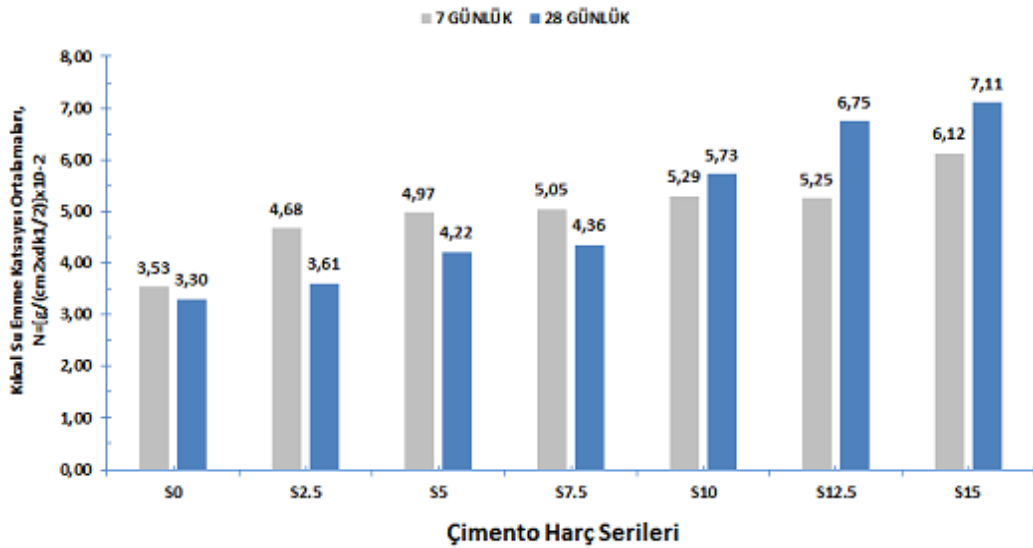
Şekil 4.7. Harç numunelerinin doluluk oranları (kompasite) değerleri (%)

Prizmatik numunelerin kompasite değerleri porozite değerleriyle ters orantılı olarak imento yerine ikame edilen sepiyolit ikamesinin artmasıyla azalma eğilimi göstermektedir.

Porozite ve kompasite değerleri bakımından referans serisine en yakın değerlere sahip numunenin S2.5 olduğu görülmüstür.

4.9. Harç Numunelerinin Kılcal Su Emme (Kapilarite) Katsayısı Sonuçları

Harç numuneleri üzerinde yapılan kılcal su emme deneyine ilişkin bulgular Şekil 4.8. üzerinde verilmiştir. 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde 5, 10, 15, 30 ve 60 dakikalık süreler boyunca alınan ölümlerin ortalamaları alınmıştır.



Şekil 4.8. Harç numunelerinin kılcal su emme (kapilarite) katsayısı değerleri

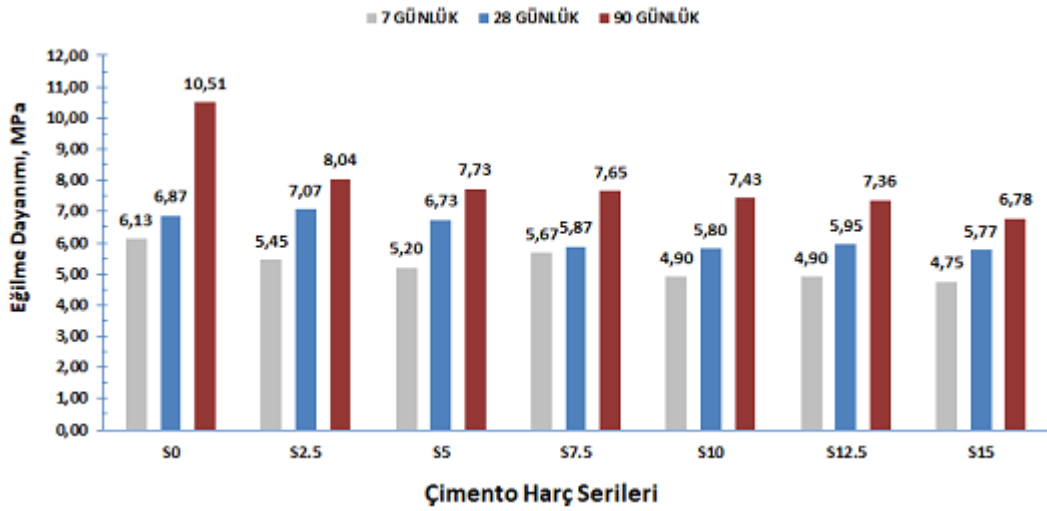
7 günlük imento harç prizmaları üzerinde yapılan deney sonucu elde edilen kılcal su emme katsayılarını kendi içerisinde değerlendirdiğimizde, en düşük değerin S0 (referans) numunesinin (%3.53), en yüksek değerin ise S15 numunesine (%6.12) ait olduğu görülmüstür. 28 günlük imento harç prizmalarında kılcal su emme katsayısının en düşük değerinin S0 (referans) numunesine (%3.30), en yüksek değerin ise yine S15 numunesine (%7.11) ait olduğu görülmüstür. Genel olarak imento yerine ikame edilen sepiyolit in ikame miktarının artmasıyla numunelerin su emme oranlarının doğrusal

artma eğiliminde olduğu ve numunelerin yaşlarının artmasıyla kılcal su emme oranının düştüğü görülmüştür.

Demir (2016), çimento yerine sırasıyla %10, %20 ve %30 sepiyolit ikamesiyle hazırladığı harç numuneleri üzerinde yaptığı kılcal su emme deneyi sonucunda, sepiyolit katkılı numunelerin kılcal su emme miktarlarının %0 referans serisinden daha fazla olduğunu ve özellikle %20 ile %30 sepiyolit ikameli numunelerde bu oranın daha belirgin bir şekilde fazla ortaya çıktığını belirtmiştir.

4.10. Harç Numunelerinin Eğilme ve Basınç Dayanımı Sonuçları

Harç numunelerinin eğilme ve basınç dayanımları 7,28 ve 90 günlük kür süreleri sonucunda her ikame serisi için her yaş grubundan eğilme dayanımı için 3, basınç dayanımı için ise 6 adet deneyin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir. Prizmatik numunelere ait eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.9.' da verilmiştir.



Şekil 4.9. Harç numunelerinin eğilme dayanımı sonuçları (MPa)

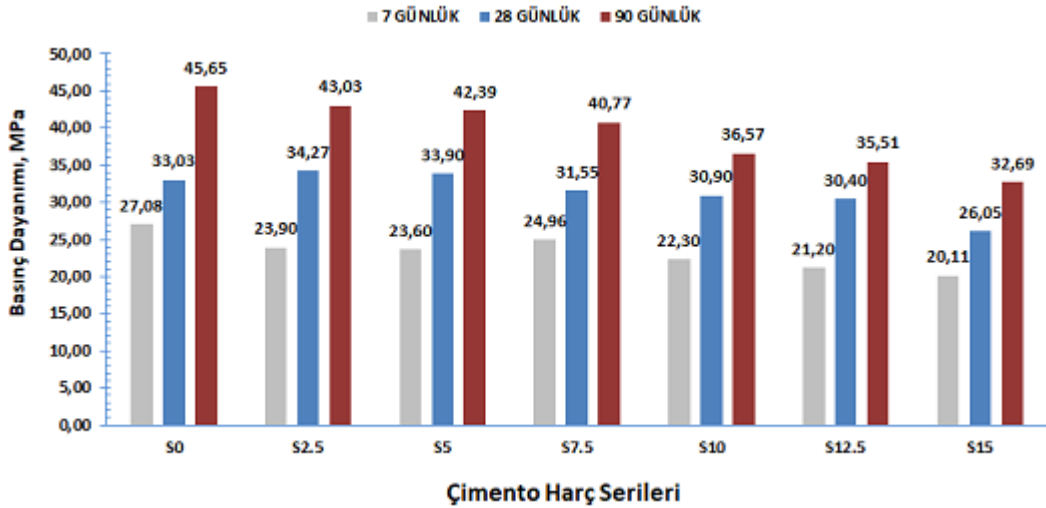
7 günlük kür sonrası eğilme dayanımı deneyi yapılan numuneler arasındaki ilişki incelendiğinde, en yüksek dayanım değerinin S0 (referans) numunesinde (6.13 MPa) olduğu, en düşük dayanım değerinin S15 numunesinde (4.75 MPa) olduğu belirlenmiştir. Referans numunesine en yakın dayanım değerine S7.5 numunesinde (5.67 Mpa) rastlanmıştır. 7 günlük eğilme dayanımı sonuçlarının doğrusal olmasa da

sepiyolit miktarının artmasına bağı olarak azalma yönünde eğilim gösterdiği görülmüştür.

Prizmatik numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına bakıldığında, en yüksek dayanım değerinin S2.5 numunesinde (7.07 MPa), en düşük dayanım değerinin ise S15 numunesinde (5.15 MPa) olduğu görülmüştür. 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarının, 7 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına benzer şekilde doğrusal olmasa da sepiyolit miktarı artışına bağı olarak azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür.

90 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanıma sahip numunenin S0 (10.51 MPa), en düşük dayanıma sahip numunenin ise yine 7 ve 28 günlük dayanımlarda olduğu gibi S15 (6.78 MPa) olduğu görülmüştür. Referans numunesinin eğilme dayanımı değerine en yakın eğilme dayanımı gösteren numunenin S2.5 olduğu (8.04 MPa) belirlenmiştir. Numunelerin eğilme dayanımlarının sepiyolit ikame miktarı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

Her numune grubunun yaşlarının arttıkça eğilme dayanımlarının da arttığı görülmüştür. Harç numunelerine ait basınç dayanımı değerleri Şekil 4.10.' da verilmiştir.



Şekil 4.10. Harç numunelerinin basınç dayanımı sonuçları (MPa)

7 günlük kür uygulanan prizmatik numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımının eğilme dayanımına paralel olarak S0 (referans) numunesine

(27.08 MPa) ait olduğu, en düşük basınç dayanımının da yine eğilme dayanımında olduğu gibi S15 numunesine (20.11 MPa) ait olduğu görülmüştür. Sepiyolit ikameli numuneler arasında en yüksek 7 günlük basınç dayanım değerinin S7.5 numunesinde (24.96 MPa) olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımının genel olarak doğrusal bir azalma göstermemekle beraber sepiyolit miktarı arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Harç numunelerinin 28 günlük kür sonrası basınç dayanımlarına bakıldığında, en yüksek değerin 28 günlük eğilme dayanımında olduğu gibi S2.5 numunesinde (34.27 MPa) olduğu, en düşük değerin ise yine S15 numunesinde (26.05 MPa) olduğu görülmüştür. S2.5 numunesine en yakın dayanım değerinin S5 numunesinde (33.90 MPa) olduğu belirlenmiştir. Sepiyolit ikameli numuneler içerisinde en iyi dayanım özelliği gösteren S2.5 numunesinden sonra ki ikameli numunelerde, sepiyolit miktarı arttıkça numunelerin basınç dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.

Numunelerin 90 günlük basınç dayanımları değerlendirildiğinde, en yüksek basınç dayanım değerinin S0 numunesinde (45.65 MPa), en düşük basınç dayanım değerinin ise S15 numunesinde (32.69 MPa) olduğu görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımlarının sepiyolit ikamesinin artmasıyla doğrusal bir şekilde azaldığı görülmüştür. En iyi dayanım sonucuna sahip S0 numunesine en yakın basınç dayanımı değeri S2.5 numunesinde (43.03 MPa) elde edilmiştir. Numunelerin 90 günlük kür süresi sonrasında ki basınç dayanımlarının çimento yerine ikame edilen sepiyolit ikame oranının artmasıyla azaldığı görülmüştür.

Eğilme ve basınç dayanımlarının 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri değerlendirildiğinde, numunelerin eğilme ve basınç değerlerinin birbirlerine paralellik gösterdiği ve genel olarak sepiyolit ikame miktarının artmasının hem eğilme hem de basınç dayanımı değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Kavas ve ark. (2004)' nın sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerinin özelliklerini belirlemeye yönelik yaptıkları araştırmada; Eskişehir-Sivrihisar bölgesinden temin ettikleri kahverengi sepiyoliti kullanarak çimento yerine %5 alçı taşı ilavesi sabit

tutularak kalan %95' lik çimentodan azaltarak yerine sırasıyla %3, %5, %10, %15, %20 ve %30' luk kahverengi sepiyolit ikamesiyle ve sabit su/bağlayıcı oranı (0.5) ile hazırladıkları harç numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımlarını incelemişlerdir. 2 günlük kür sonrası yapılan eğilme dayanımı deneyi sonucunda en iyi dayanım değerine %5 sepiyolit, %90 çimento, %5 alçı taşı ikamesiyle oluşturulan numunede rastlanmıştır (4.8 MPa). En düşük dayanım değerine ise %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numunede rastlanmıştır (2.8 MPa). Sepiyolit kullanılmadan hazırlanan %95 çimento ve %5 alçı karışımından oluşan referans numunenin eğilme dayanımının ise 4.7 MPa olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrası alınan sonuçlarda, en iyi dayanım değerine %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikameli numunenin sahip olduğu (7.4 MPa), en düşük dayanımın ise yine %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numuneye ait olduğu (5.2 MPa), referans numunenin ise 7.0 MPa eğilme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. 28 günlük kür sonrasında alınan eğilme dayanımı sonuçlarında ise 7 günlük sonuçlarına paralel olarak en iyi dayanımın %10 sepiyolit ikameli numunede (8.7 MPa), en düşük dayanımın ise %30 sepiyolit ikameli numunede (6.6 MPa) olduğu görülmüştür. Çalışmada genel olarak %10 sepiyolit ikameli seri dışında sepiyolit ikamesinin artmasının doğrusal olmasada eğilme dayanımı azaltmakta olduğu söylenebilir.

Kavas ve ark. (2004)' nin aynı çalışmada eğilme dayanımını inceledikleri numunelerin basınç dayanımlarını da araştırmışlardır. Elde edilen basınç dayanımı değerleri büyük oranda eğilme dayanımlarıyla doğrusal orantılılık göstermiştir. 2 günlük kür sonrası yapılan basınç dayanımı deneyi sonucunda en iyi dayanım değerine %10 sepiyolit, %85 çimento, %5 alçı taşı ikamesiyle oluşturulan numunede rastlanmıştır (20.7 MPa). En düşük dayanım değerine ise %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numunede rastlanmıştır (11.2 MPa). Sepiyolit kullanılmadan hazırlanan %95 çimento ve %5 alçı karışımından oluşan referans numunenin basınç dayanımının ise 20.0 MPa olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrası alınan sonuçlarda, en iyi basınç dayanım değerine %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikameli numunenin sahip olduğu (34.5 MPa), en düşük dayanımın ise yine %30 sepiyolit, %65 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle hazırlanan numuneye ait olduğu (23.2 MPa), referans numunenin

basınç dayanımının ise 32.5 MPa olduğu belirlenmiştir. 28 günlük kür sonrasında ki basınç dayanımında ise yine en iyi dayanımın %10 sepiyolit ikameli numunede (44.9 MPa), en düşük dayanımın ise %30 sepiyolit ikameli numunede (31.5 MPa) olduğu görülmüştür. Hazırlanan harçların basın dayanımlarına genel olarak bakıldığında 2, 7 ve 28 günlük kür sonrası yapılan deney sonuçlarında en iyi dayanımın her üç yaş grubunda da %10 sepiyolit, %85 çimento ve %5 alçı taşı ikamesiyle üretilen harç numunesinde olduğu görülmüştür. Her ne kadar doğal puzolanik katkı maddelerinin genel olarak çimentonun erken basınç ve eğilme dayanımlarını azalttığı bilinse de,% 10 sepiyolit ilavesinin hem harç kuvvetinin hem sıkıştırıcı hem de eğilme mukavemetlerini arttırdığı bulunmuştur.

Kavas ve ark. (2004), basınç ve eğilme dayanım değerlerinin %10' luk sepiyolit ilavesinin üzerindeki bozulma sebebinin ana matrisi oluşturan klinkerin seyreltme etkisi göstermesinden ve klinker ilavesinde bir azalmaya rağmen, sepiyolitın şekli ve puzolanik aktivitesi nedeniyle kuvvet değerlerinde sistematik bir düzelme göstermesine bağlı olabileceğini, puzolanik aktivitenin mukavemet değerleri üzerindeki etkisinin ise literatürdeki tartışmalara rağmen 28 günlük kür periyodundan önce ortaya çıkmayacağını belirtmişlerdir. Çalışmanın bir sonucu olarak doğal sepiyolitın lifli yapısı, yüksek hacim kararlılığı ve kuvvetli alkali ortamlarda gösterdiği önemli kimyasal ve yapısal stabilitesi ile çimentoda fiber materyallerin kullanımında yeni yollar açması beklenmektedir.

Demir (2016), Eskişehir yöresine ait beyaz sepiyoliti CEM I 42.5 R Portland Çimentosu yerine %10, %20 ve %30 ikame ederek ve su/bağlayıcı oranını sabit (0.5) tutarak hazırladığı çimento harçları üzerinde 7, 28 ve 56 günlük kür sonrası sepiyolitın harç numuneleri üzerindeki mekanik değişim etkisini incelemiştir. Çalışmada %0 serisinin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı değerleri sırasıyla 40.2 MPa, 47.02 MPa ve 47.83 MPa olarak elde edilmiştir. Sepiyolit ikameli harçların basınç dayanımlarının %0 referans numunesine göre düşük olduğu, sadece %10 sepiyolit ikameli numunelerin 28 günlük kür sonrası basınç dayanımlarının referans numunesinden yüksek olduğu görülmüştür. Sepiyolit ikameli harç numunelerinin 28 ve 56 günlük basınç dayanımlarının 7 günlük basınç dayanıma göre artış miktarının %0 serisinde göre daha

çok artış gösterdiği belirlenmiştir. 56 günlük kür sonrasında sepiyolit ikameli harçlardaki basınç dayanımı artışının 7 günlük kür sonrasındaki basınç dayanımlarına göre %15-20 oranında artış gösterdiği, buna karşılık bu oranın referans %0 numunesinde %2 olduğu görülmüştür.

4.11. Donatılı Çimento Harç Numunelerinin Elektrokimyasal Korozyon Ölçüm Sonuçları

Çalışmanın bu aşamasında donatılı sepiyolit katkılı çimento harç numunelerinin mekanik ve teknolojik özelliklerinin yanında en önemli çevresel etkinin sodyum klorür olduğu deniz suyu ile etkileşim halindeki su yapılarında dayanıklılık sorunları araştırılmıştır. Bu nedenle deniz suyu çevresel etkisine benzer ortamda korozyon ölçümlerini yapabilmek için üretilen 21 adet Ø50x100 mm silindir harç numuneler %3,5 NaCl korozif çözeltisi içinde bekletilmiştir. Çimento esaslı bağlayıcı malzemeler içinde belirli oranda sepiyolit kullanımının donatılı çimento harç numunelerinin korozyon özelliklerine etkisi ayrıntılı elektrokimyasal ölçümlerle araştırılmıştır.

Çevresel etkilerin değişimine bağlı olarak gelişen donatı çeliği korozyonu, yarı hücre potansiyel yöntemi, kulometri ve lineer polarizasyon direnci yöntemleri kullanılarak ard arda iki aşamalı olarak (A-B aşamaları) incelenmiştir.

A: % 3,5 NaCl içeren sulu ortamdaki donatılı çimento harç numuneleri 130 gün boyunca korozif ortamda bekletilmiş ve bu sürede çimento harcı içindeki donatı elektrokimyasal denge değerlerine ulaşırken korozyon eğilimleri serbest korozyon koşullarında belirlenmiştir. A koşulunda elde edilen veriler başlangıç (1.gün “A₁”) ve dengeye gelme (3-90. günler “A₂”) durumunda değerlendirilmiştir.

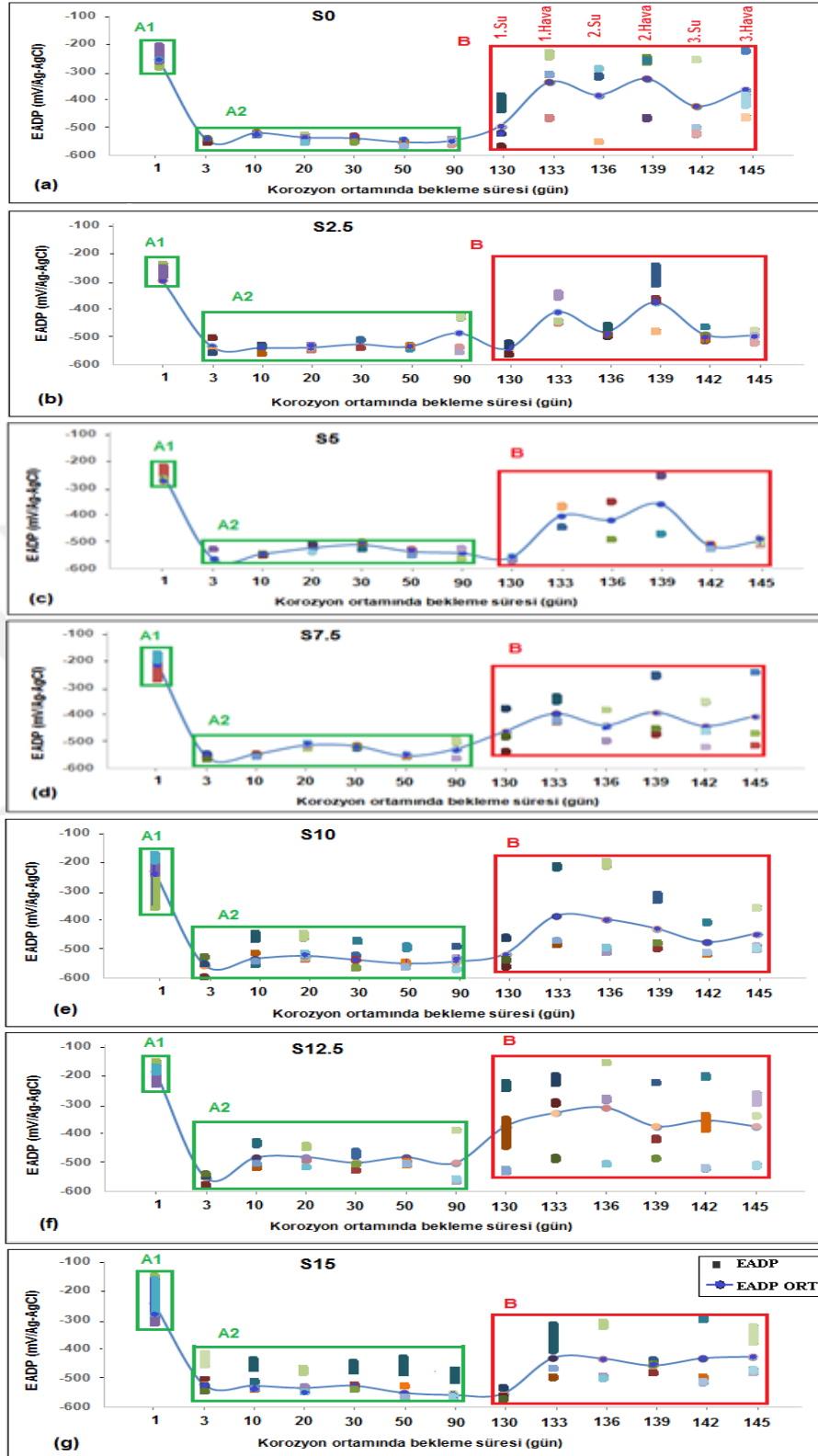
B: Donatılı çimento harç numuneleri 130. günün sonunda % 3,5 NaCl içeren sulu ortamdan çıkarılarak 3 gün boyunca açık havada oksijeni daha bol bir ortamda bırakılarak oksidasyon şekli değiştirilmiştir. Numuneler daha sonra tekrar % 3,5 NaCl içeren sulu ortama daldırılarak tekrar 3 gün bekletilmiştir. Bu şekilde donatının

korozyon davranışını çevresel etki değişiminde (suyun gel-git etkisinde) inceleyebilmek için bu işlem 130-145.günler arasında 3 çevrim olarak yapılmıştır.

4.11.1. Yarı hücre potansiyel yöntemi

Bu yöntemde farklı oranlarda sepiyolit katkısı içeren donatılı çimento harç numuneleri %3,5 NaCl ortamında 145 günlük süre içinde belirli günlerde ölçülen farklı koşullardaki (A-B) açık devre potansiyellerinin zamana göre değişimleri veri saçılma grafikleri Şekil 4.11.' de oluşturulmuştur.

Şekil 4.11.' de "A1" koşulu numunelerin tuzlu su çevresel etkisinde başlangıç potansiyelini, "A2" koşulu tuzlu su ortamındaki bekleme süresi içinde çimento harcı-donatı ara yüzeyinde potansiyel farkının dengeye gelmesinden sonraki potansiyel dağılımlarını, "B" koşulu korozyona suyun gel-git çevresel etkisinin incelenmesi amacı ile elde edilen potansiyel dağılımlarıdır.



Şekil 4.11. Donatılı çimento harç numunelerinin 145 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A-B koşullarında) açık devre (E_{ADP}) potansiyellerinin zamana göre değişim ve dağılımları (a) S0 (b) S2.5 (c) S5 (d) S7.5 (e) S10 (f) S12.5 (g) S15

Donatı çeliği korozyonunun başlangıcında (“A1” 1. gün) tüm numuneler için geniş bir aralığa yayılan potansiyel değişimleri dengeye gelmeden önceki reaksiyon kinetiği ile ilgilidir (Şekil 4.11.). Korozyon kinetiğine göre ara yüzey potansiyel farklarının başlangıç koşullarına göre artması, yüzeyde korozyon ürünlerinin yol açtığı film oluşumuna bağlı oksit oluşumu hızının artmasına yani korozyon hızının artmasına yol açmaktadır. Potansiyel farklarının azalması ise oksit oluşum hızının azalıp korozyon hızının artmasına işaret etmektedir. Bu nedenle yarı hücre potansiyel yöntemine göre gözlenen yüksek ADP değerler korozyon açısından yüzeyde direnç filmi oluşturduğuna işaret ettiği için duruma göre elverişli kabul edilebilir.

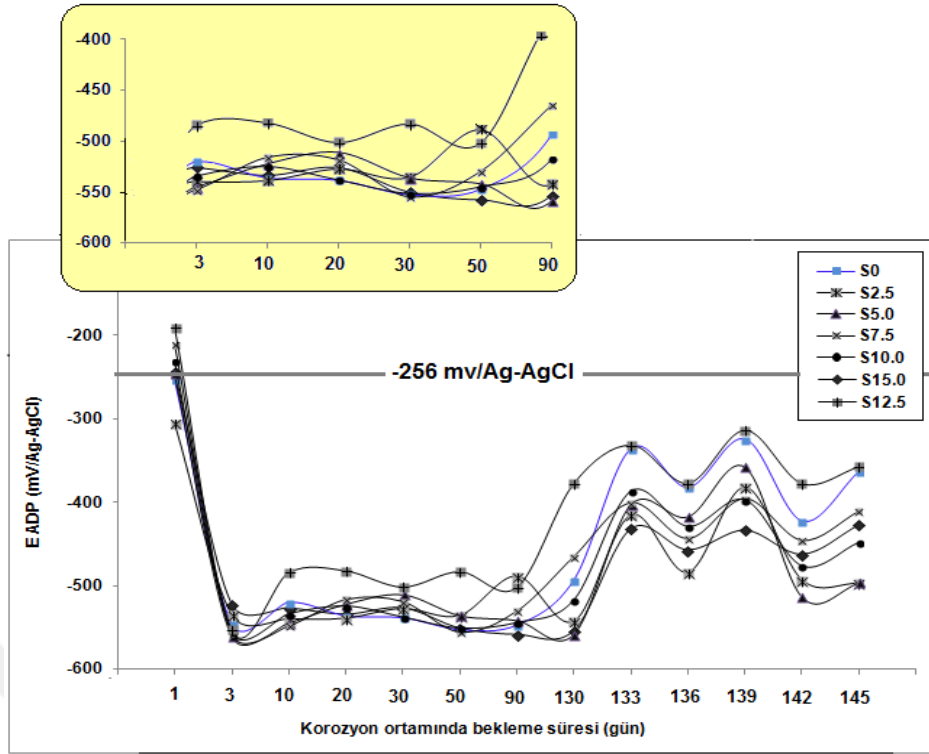
Bununla birlikte potansiyelin sadece pozitif kayması donatı yüzeyinde çöken dirençli filmlerin her durumda kesiksiz koruma yaptığı anlamına gelmez. Elektrokimyasal bulgulardaki titreşimler, filmler yüzeyde lokalize korozyona eğilimi olan zayıf bölgeler olduğunu gösterir. Bu titreşimlere ait frekans ve genliklerin artışı ise, genellikle bu zayıf bölgelerde korozyon aktivitesinin lokal olarak arttığını, yüzey filminin ise buna bağlı olarak daha kesikli hale geldiğini gösterir. Bu yüzden pasifleşmeye bağlı olarak artan lokalize korozyon tehlikesi kimyasal çevresi doğal olarak değişken olan donatı çeliği için her zaman mevcuttur. Metal yüzeyinde ara yüzeylerde yürüyen böyle bir korozyon aktivitesini, polarizasyon eğrilerinden Tafel ekstropolasyon yöntemine göre elde edilen parametrelerle (I_{COR} , R_p), açıklamak yeterli değildir; hatta bazen çok yanıltıcı sonuçlar verebilir (Vedalakshmi ve ark., 2009). Çünkü bu yöntemlerin yüzeyin genel korozyona uğraması durumunda doğru kullanılabilirlikleri vardır. Deneyler sonucunda elde edilen elektrokimyasal verilerin lokalize korozyon bakımından ayrıca değerlendirilmesine yönelik yöntemlerle desteklenmesi gerekmektedir.

Bir numunede başlangıçta korozyonun hızının yüksek olması aynı hızla devam edeceği anlamına gelmez. Hızlı başlayan korozyon ile eş zamanlı olarak yüzeyde düzgün, dirençli ve koruyucu bir oksit filmi oluşabilir. Sonrasında ara yüzeyden geçen akım, elektriksel yüklerin azalması ve direncin artması şeklinde bir durum ortaya çıkabilir. Bu yapılanmayla yüzey filmi başlangıca göre ince olsa da korozyon bir şekilde engellenmiştir. Korozyonun engellenmesi; filmin direnç kazanması (direnç polarizasyonu/ R_{film}), korozif maddelerin ara yüzeye difüzyonunun engellenmesi

(difüzyon kontrollü korozyon) ve ara yüzeydeki korozif maddelerin aktifliğinin azalması (aktivasyon polarizasyonu) şeklinde gerçekleşebilir. Ara yüzeyde çeşitli oksit, hidroksit, klorürlerin oluşumu ve bozunması söz konusudur.

Bu çalışmanın 1.gününde (A1 koşulu) ölçülen potansiyel verileri; yüzeydeki suyun çimentolu sisteme işleme süresi ile kısıtlanmış olan korozyon dengesi, ara yüzeydeki oksit, hidroksit ve klorürlerin oluşma ve bozunma hızları gibi çeşitli değişkenlere de bağlıdır. Bu nedenle tüm numunelerdeki su işleme süreleri birbirine eşit bile olsa ölçülen ADP değerleri donatı korozyon özelliklerini doğru olarak yansıtmaz.

Şekil 4.11.' de tüm numunelerin E_{ADP} potansiyelleri 3-90. günlerde (A2 koşulu) denge durumunda değerlendirildiğinde S0, S2.5, S5, S7.5, S10, S12.5 ve S15 numunelerin potansiyel farklarının 42-80 mV arasında değiştiği bulunmuştur. Numunelerde çevresel etkinin değişiminin korozyon davranışına yansımaları araştırmak için ıslanma-kuruma durumu ardışık olarak üç kez değiştirilmiştir. 130-145. günlerde ölçülen suda ve havada (B koşulu) potansiyel farklarının ise suda beklediği duruma göre (A2 koşulu) daha geniş bir aralıkta olduğu (64-206 mV) görülmüştür. Bu farklar numunelerde çevresel etkinin değişimine bağlı olarak korozyon davranışının değişmesinden kaynaklanmıştır. Çimentolu sistemlerde 10 güne kadar korozyon ortamında bekletilen donatıların açık devre potansiyellerinin -250 ile -150 mV arasında pasif durumda bulunduğu görülmektedir. 30 günden daha fazla korozyon ortamında bekletilen numunelerde ise açık devre potansiyelleri -400 ile 600 mV gibi daha geniş bir değişim aralığına sahiptir. Yaklaşık 90 gün kadar korozyon ortamında bekletilen donatıların açık devre potansiyelleri -450 ile -550 mV gibi daha kararlı bir değişim aralığı göstermektedir (Pourbaix, 1974; Yoon-Seok ve ark., 2006).



Şekil 4.12. Donatılı çimento harç numunelerinin 145 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A-B koşullarında) ölçülen (E_{ADP}) potansiyeli ortalama değerlerinin zamana göre değişimi

ASTM C 876'ya göre betonarme demirleri potansiyel kriterleri incelendiğinde -256 mV/Ag-AgCl'den daha negatif potansiyelerde donatının %90 korozyona uğrama olasılığı vardır (ASTM C-876, 2001).

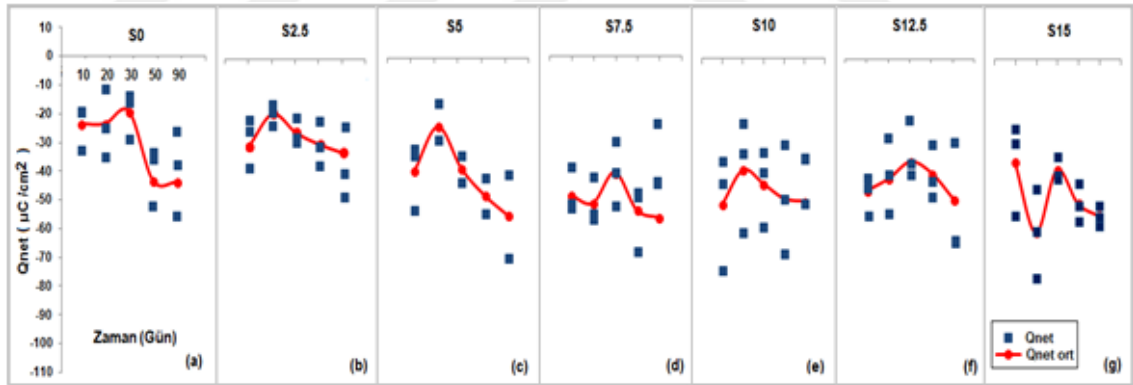
Şekil 4.12.' ye göre tüm numunelerin 3.günden itibaren potansiyellerinin -256 mV/Ag-AgCl'den daha negatif olduğu görülmüştür. Bu nedenle sepiyolit katkısının donatı korozyonu üzerindeki etkisini belirlemek için sadece açık devre potansiyel ölçümleri yeterli değildir. Açık devre potansiyelinin yükselmesi oksit filminin kalınlaşması, azalması da oksit filminin inceliği ile açıklanabilir. Ancak oksit filmi ince ve dirençli olduğu zaman da korozyon yavaşladığı halde potansiyelin yine düşük değerlerde (daha negatif) olduğu görülmektedir.

Yarı hücre potansiyel yönteminin korozyon çalışmalarında önemli bir yeri vardır. Bununla birlikte özellikle kimyasal çevresi değişkenlik gösteren çimentolu sistemlerde, ara yüzeylerde (çimento harcı-donatı) oksit filminin büyümesi ortaya çıkmaktadır.

Korozyon ortamında bulunan malzemede zaman içerisinde çok tehlikeli bir korozyon türü olan lokal (çukur) korozyon oluşmaktadır. Lokal korozyon oluşumunda korozyon akımında ve korozyon direncinde belirgin değişim görülmediği için sinsi bir şekilde gelişmektedir. Bu nedenle korozyon davranışının zaman içerisinde çok yönlü olarak farklı elektrokimyasal ölçüm yöntemleriyle de araştırılması gerekmektedir.

4.11.2. Kulometrik yöntem ile açık devre potansiyelinde korozyon yüklerinin (Q_{ADP}) ölçümü

Korozyon ortamında bekletilen tüm numunelerin 10-90. günlerine ait A2 koşulunda verilen açık devre potansiyellerindeki yüzey korozyon yükleri, Şekil 4.13.' de verilmiştir. Şekil 4.13. incelendiğinde, tüm numunelerde bu süre içerisinde farklı büyüklüklerde katodik korozyon aktiviteleri olduğu, bu katodik aktivitenin S2.5 numunesinde kontrol numunesine benzer özellikte olmasına rağmen en küçük değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 4.13. Donatılı çimento harç numunelerinin tuzlu suda 90 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A2 koşulu) açık devre koşullarındaki korozyon yüklerinin (Q_{net}) günlere göre değişimleri (a) S0 (b) S2.5 (c) S5 (d) S7.5 (e) S10 (f) S12.5 (g) S15

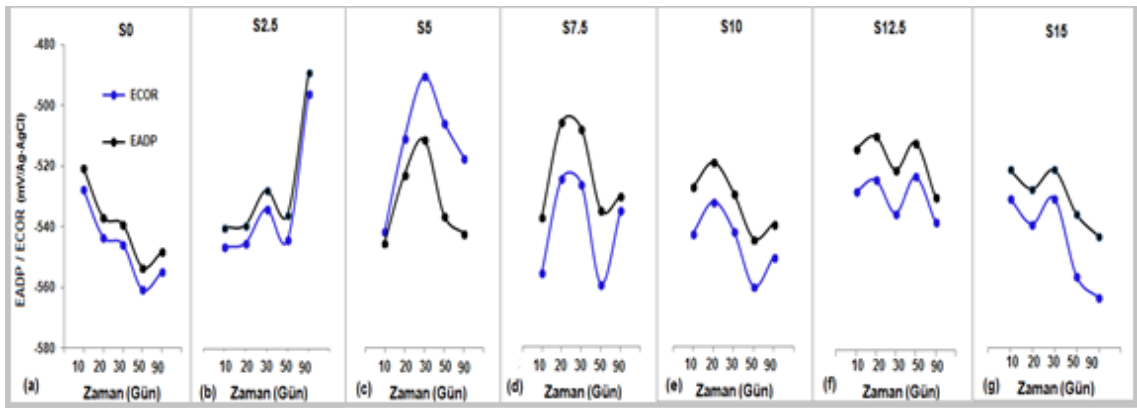
Tüm numunelerde Şekil 4.13.' de görülen katodik yük değerleri, çimento harcı/donatı ara yüzeyinde oksijen indirgenmesini hızlandıran, çimento harcı içerisinde iletken yolların yani boşluk oranının artmasının bir göstergesidir. Ara yüzeydeki oksijen indirgenmesi çimento harcının boşluklu heterojen yapısına bağlıdır ve donatı yüzeyindeki oksit oluşumunun da kesikli-heterojen yapılanmasını sağlar. Bu durum lokalize korozyonu başlatan ve hızlandıran en önemli etkidir.

Şekil 4.13.' de S7.5, S10, S12.5 ve S15 numunelerine ait katodik yüklerin zaman içinde büyük değerler göstermesi, çimento harcı boşluk oranının da en yüksek oranda olduğuna işaret etmektedir. Bu sonuçlar zaman içerisinde donatı yüzeyinin lokalize korozyon oluşumu için elverişli olabileceğini göstermektedir.

4.11.3. Lineer polarizasyon direnci (LRP) yöntemi

Farklı oranlarda sepiyolit içeren donatılı çimento harç numunelerinin Şekil 4.14' de A2 koşulunda lineer polarizasyon direnci yöntemine (Stern-Geary) göre belirlenen korozyon potansiyelleri (E_{COR}) ve yarı hücre potansiyel yöntemi ile ölçülen açık devre potansiyelleri (E_{ADP}) aynı grafik üzerinde verilmiştir.

Açık devre potansiyellerinin (E_{ADP}), korozyon potansiyellerine (E_{COR}) yakın değer almaya başlaması sistemin dengede olduğunu ve kıyaslanabilir sağlıklı ölçümler alınabildiğini göstermektedir. Bu çalışmanın 10. gününden sonra elde edilen korozyon ölçümlerinde, açık devre potansiyellerinin (E_{ADP}) korozyon potansiyellerine (E_{COR}) yakın değer almaya başladığı görülmüştür. Reaksiyon süresinin denge koşullarının sağlanması için yeterli olmasına rağmen korozyonun dengeye gelmemesi (E_{ADP} ile E_{COR} değerinin çakışmaması durumu) ölçüm yapıldığı sırada lokal korozyon reaksiyonlarının aktifleşme olasılığının arttığını düşündürmektedir.



Şekil 4.14. Donatılı çimento harç numunelerinin tuzlu suda 90 gün süre ile belli aralıklarda ölçülen (A2 koşulu) açık devre potansiyelleri (E_{ADP}) ve korozyon potansiyelleri (E_{COR}) (a) S0 (b) S2.5 (c) S5 (d) S7.5 (e) S10 (f) S12.5 (g) S15

Donatılı çimento harç numunelerinin açık devre potansiyelleri (E_{ADP}) ve korozyon potansiyellerinin (E_{COR}) birlikte verildiği grafiklerde; S0 ve S2.5 numunelerinin benzer karakter gösterdiği, tuzlu suda bekleme süresi arttıkça potansiyellerin daha pozitif değerler aldığı, E_{ADP} ve E_{COR} değerlerinin çakıştığı, diğer katkılı numunelerde çakışma durumunun sağlanmadığı görülmektedir. Bu durum yukarıda açıklandığı gibi sistemin dengede olmadığı yani lokal korozyon aktifliğinin artabileceğinin bir göstergesidir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sepiyolit içeren çimento esaslı bağlayıcılarla üretilen harçların işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada, hazırlanan numuneler üzerinde kıvam, priz süreleri, hacim genleşmesi, kütlece su emme, bulk yoğunluk, doymun kuru yüzey yoğunluk, porozite, kompasite, kılcal su emme, eğilme ve basınç dayanımı ile donatı çeliği korozyonuna karşı direnci belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Deneylerde kullanılan sepiyolite uygulanan XRF analizi sonucunda, kullanılan sepiyolitın kızdırma kaybının %35.87, SiO₂ miktarının %20.30, CaO miktarının %16.81, MgO miktarının %25.44, Al₂O₃ miktarının %0.62 ve Fe₂O₃ miktarının ise %0.26 olduğu belirlendi.

Kullanılan sepiyolitın öğütme ve nemden arındırma işlemlerinden sonra yoğunluğunun 2.70 g/cm³, özgül yüzeyinin 7360 cm²/g, nem içeriğinin ise %1.12 olduğu yapılan analizler sonrasında elde edildi.

Sepiyolite uygulanan XRD analizi sonucunda safsızlığın fazla olduğu, sepiyolit içerisinde %69.30 dolomit, %18.40 sepiyolit, %9.10 magnezit, %3.30 analbit bulundu belirlendi. Dolomit miktarının fazla olmasından ve sepiyolit miktarının %50 nin altında bulunmasından dolayı kullanılan sepiyolitın düşük kaliteli sepiyolit olduğu görülmüştür.

Çimento hamurlarında standart kıvam için en az su ihtiyacının S0 referans numunesinde olduğu, sepiyolit ikamesinin artmasıyla standart kıvam için gerekli olan su ihtiyacının arttığı görülmüştür. En düşük sepiyolit ikameli numune S2.5' un standart kıvam için su ihtiyacı % 27.5 olurken, en yüksek sepiyolit ikameli numune olan S15' in standart kıvam için gerekli su ihtiyacı %32.4 olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan ikameli ve ikamesiz çimento hamurları içerisinde en erken priz başlangıcı ve en erken priz bitişi S5 numunesinde (02:26), en geç priz başlangıcı S15 numunesinde (02:49), en geç priz bitişi ise S0 (referans) numunesinde (03:49) elde edilmiştir. S5

numunesi referans numunesine göre 22 dakika daha erken priz başlangıcı ve 46 dakika daha erken priz bitişi göstermiştir. Katılma süreleri incelendiğinde en kısa süre S5 numunesinde (00:37), en uzun süre ise S0 numunesinde (01:01) görülmüştür. Numunelerin katılma süresinin ikame oranı artışına paralel olmadığı görülmüştür.

Taze harçlar üzerinde yapılan kıvam tayini deneyi sonrasında en fazla su ihtiyacı S15 numunesinde 264 gram olarak, en az su ihtiyacı ise S0 (referans) numunesinde 225 gram olarak elde edilmiştir. Belirlenen su ihtiyaçlarına göre su/bağlayıcı oranının S0 numunesinde 0.50 olduğu, S15 numunesinde ise 0.59 olduğu belirlenmiştir. Sepiyolit ikame oranı arttıkça su/bağlayıcı oranının arttığı görülmüştür.

Prizmatik harçlar üzerinde kütlece su emme oranları incelendiğinde hem 7 günlük kür hem de 28 günlük kür uygulanmış numuneler içerisinde en düşük su emme miktarının S0 (referans) numunesinde (%8.11-%8.14) olduğu, en yüksek su emme miktarının ise S15 numunesinde (olduğu görülmüştür. Çimento yerine ikame edilen sepiyolit ikame miktarının artmasıyla numunelerin su emme oranlarının arttığı belirlendi. Su emme oranı en düşük olan referans numuneye en yakın değerler S2.5 numunesinde görülmüştür.

Numunelerin birim ağırlıklarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. 7 günlük kür sonrasında ölçülen birim ağırlık miktarları içerisinde en yüksek değere S5 numunesinin, en düşük değere ise S7.5 numunesinin sahip olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrasında S5 numunesinin birim ağırlığının 2.206 g/cm^3 ve S7.5 numunesinin birim ağırlığının 2.177 g/cm^3 olduğu belirlendi. 28 günlük kür sonrasında ölçülen birim ağırlık miktarları içerisinde ise en yüksek değer S0 (referans) numunesine, en düşük değer ise S15 numunesine aittir. 28 günlük kür sonrasında S0 numunesinin birim ağırlığının 2.206 g/cm^3 ve S15 numunesinin birim ağırlığının 2.138 g/cm^3 olduğu belirlendi. 28 günlük kür sonrasında sepiyolit ikamesinin artmasıyla birim ağırlığın çok az miktarda azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Genel olarak numunelerin birim ağırlıkları arasında %1 civarında doğrusal olmayan farklılıklar görülmüştür.

Harç numunelerinin 7 günlük kür sonrasında en yüksek bulk yoğunluk miktarının S0 (referans) numunesinde (2.056 g/cm^3), en düşük bulk yoğunluk miktarının ise S15 numunesinde (1.951 g/cm^3) olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonrasında bulk yoğunluğun çimento yerine ikame edilen sepiyolit miktarının artmasıyla azalan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. 28 günlük kür sonrasında ise en yüksek bulk yoğunluk miktarının S2.5 numunesinde (2.031 g/cm^3), en düşük bulk yoğunluk miktarının ise S15 numunesinde (1.936 g/cm^3) olduğu görülmüştür. S2.5 numunesine en yakın bulk yoğunluk değerinin S0 numunesinde olduğu ve %5-%7.5-%10-%12.5 ve %15 numunelerinde ise sepiyolit miktarının artmasıyla bulk yoğunluğun azaldığı görülmüştür.

Numunelerin doymuş kuru yüzey yoğunlukları incelendiğinde 7 günlük kür sonrası en yüksek değer S0 (referans) numunesinde (2.215 g/cm^3), en düşük değer S15 numunesinde (2.162 g/cm^3) olduğu görülmüştür. 28 günlük kür sonrasında ki değerler incelendiğinde ise DKY yoğunluğun değerinin en yüksek S2.5 numunesinde (2.195 g/cm^3), en düşük değer S15 numunesinde (2.138 g/cm^3) olduğu belirlenmiştir. Hem 7 günlük kür hem de 28 günlük kür sonrasında alınan ölçümlerde numunelerin DKY yoğunlukları arasındaki farkın %5' i geçmediği, genel olarak ise harç numuneleri arasındaki artış azalış doğrusal olmasa da DKY yoğunluğun sepiyolit ikamesinin artmasına bağlı olarak azalma eğilimi sergilediği görülmüştür.

Prizmatik numunelerin porozite oranları incelendiğinde 7 ve 28 günlük kür sonrası yapılan ölçümler sonucunda her iki yaşta da en düşük değer S0 (referans) numunesinde (%16.70 ve %16.53), en yüksek değer ise S15 numunesinde (%21.89 ve %21.59) olduğu belirlenmiştir. Çimento yerine ikame edilen sepiyolit miktarının artmasıyla porozitenin arttığı ve ilerleyen yaşta numunelerin porozite değerlerinin azaldığı görülmüştür. Numunelerin kompozite değerleri porozite değerleriyle ters orantılı olarak çimento yerine ikame edilen sepiyolit ikamesinin artmasıyla azalma eğilimi göstermektedir. Porozite ve kompozite değerleri bakımından referans serisine en yakın değerlere sahip numunenin S2.5 olduğu görülmüştür.

Harç numuneleri üzerinde yapılan kılcal su emme deneyi sonucunda 7 günlük çimento harç prizmalarının kılcal su emme katsayılarını kendi içerisinde değerlendirdiğimizde, en düşük değer S0 (referans) numunesinin (%3.53), en yüksek değer ise S15 numunesine (%6.12) ait olduğu görülmüştür. 28 günlük çimento harç prizmalarında kılcal su emme katsayısının en düşük değerinin S0 (referans) numunesine (%3.30), en yüksek değer ise yine S15 numunesine (%7.11) ait olduğu görülmüştür. Genel olarak çimento yerine ikame edilen sepiyolit miktarının artmasıyla numunelerin su emme oranlarının doğrusal artma eğiliminde olduğu ve numunelerin yaşlarının artmasıyla kılcal su emme oranının düştüğü görülmüştür.

Harç prizmaları üzerinde 7 günlük kür sonrasında yapılan eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde, en yüksek dayanım değerinin S0 (referans) numunesinde (6.13 MPa) olduğu, en düşük dayanım değerinin S15 numunesinde (4.75 MPa) olduğu belirlenmiştir. Referans numunesine en yakın dayanım değerine S7.5 numunesinde (5.67 Mpa) rastlanmıştır. 7 günlük eğilme dayanımı sonuçlarının doğrusal olmasa da sepiyolit miktarının artmasına bağlı olarak azalma yönünde eğilim gösterdiği görülmüştür.

Prizmatik harç numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına bakıldığında, en yüksek dayanım değerinin S2.5 numunesinde (7.07 MPa), en düşük dayanım değerinin ise S15 numunesinde (5.15 Mpa) olduğu görülmüştür. 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarının, 7 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına benzer şekilde doğrusal olmasa da sepiyolit miktarı artışına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür.

Harç numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanıma sahip numunenin S0 (10.51 MPa), en düşük dayanıma sahip numunenin ise yine 7 ve 28 günlük dayanımlarda olduğu gibi S15 (6.78 MPa) olduğu görülmüştür. Referans numunesinin eğilme dayanımı değerine en yakın eğilme dayanımı gösteren numunenin S2.5 olduğu (8.04 MPa) belirlenmiştir. Numunelerin eğilme dayanımlarının sepiyolit ikame miktarı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Her numune grubunun ilerleyen yaşlarında eğilme dayanımlarının arttığı görülmüştür.

7 günlük kür uygulanan prizmatik numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımının eğilme dayanımına paralel olarak S0 (referans) numunesine (27.08 MPa) ait olduğu, en düşük basınç dayanımının da yine eğilme dayanımında olduğu gibi S15 numunesine (20.11 MPa) ait olduğu görülmüştür. Sepiyolit ikameli numuneler arasında en yüksek 7 günlük basınç dayanım değerinin S7.5 numunesinde (24.96 MPa) olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımının genel olarak doğrusal bir azalma göstermemekle beraber sepiyolit miktarı arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Harç numunelerinin 28 günlük kür sonrası basınç dayanımlarına bakıldığında, en yüksek değer 28 günlük eğilme dayanımında olduğu gibi S2.5 numunesinde (34.27 MPa) olduğu, en düşük değer ise yine S15 numunesinde (26.05 MPa) olduğu görülmüştür. S2.5 numunesine en yakın dayanım değerinin S5 numunesinde (33.90 MPa) olduğu belirlenmiştir. Sepiyolit ikameli numuneler içerisinde en iyi dayanım özelliği gösteren S2.5 numunesinden sonra ki ikameli numunelerde, sepiyolit miktarı arttıkça numunelerin basınç dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.

Numunelerin 90 günlük basınç dayanımları değerlendirildiğinde, en yüksek basınç dayanım değerinin S0 numunesinde (45.65 MPa), en düşük basınç dayanım değerinin ise S15 numunesinde (32.69 MPa) olduğu görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımlarının sepiyolit ikamesinin artmasıyla doğrusal bir şekilde azaldığı görülmüştür. En iyi dayanım sonucuna sahip S0 numunesine en yakın basınç dayanımı değeri S2.5 numunesinde (43.03 MPa) elde edilmiştir. Numunelerin 90 günlük kür süresi sonrasında ki basınç dayanımlarının çimento yerine ikame edilen sepiyolit ikame oranının artmasıyla azaldığı görülmüştür.

Eğilme ve basınç dayanımlarının 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri değerlendirildiğinde, numunelerin eğilme ve basınç değerlerinin birbirlerine paralellik gösterdiği ve genel olarak sepiyolit ikame miktarının artmasının hem eğilme hem de basınç dayanımı değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Tüm numunelerin E_{ADP} potansiyelleri 3-90. günlerde (A2 koşulu) denge durumunda değerlendirildiğinde S0, S2.5, S5, S7.5, S10, S12.5 ve S15 numunelerin potansiyel farklarının 42-80 mV arasında değiştiği bulunmuştur. Numunelerde çevresel etkinin değişiminin korozyon davranışına yansımaları araştırmak için ıslanma-kuruma durumu ardışık olarak üç kez değiştirilmiştir. 130-145. günlerde ölçülen suda ve havada (B koşulu) potansiyel farklarının ise suda beklediği duruma göre (A2 koşulu) daha geniş bir aralıkta olduğu (64-206 mV) görülmüştür. Bu farklar numunelerde çevresel etkinin değişimine bağlı olarak korozyon davranışının değişmesinden kaynaklanmıştır.

Korozyon ortamında beklenen tüm numunelerin 10-90. günlerine ait A2 koşulunda verilen açık devre potansiyellerindeki yüzey korozyon yükleri incelendiğinde, tüm numunelerde bu süre içerisinde farklı büyüklüklerde katodik korozyon aktiviteleri olduğu, bu katodik aktivitenin S2.5 numunesinde kontrol numunesine benzer özellikte olmasına rağmen en küçük değerler aldığı görülmektedir.

Çalışmanın 10. gününden sonra elde edilen korozyon ölçümlerinde, açık devre potansiyellerinin (E_{ADP}) korozyon potansiyellerine (E_{COR}) yakın değer almaya başladığı görülmüştür.

Donatılı çimento harç numunelerinin açık devre potansiyelleri (E_{ADP}) ve korozyon potansiyellerinin (E_{COR}) birlikte verildiği grafiklerde; S0 ve S2.5 numunelerinin benzer karakter gösterdiği, tuzlu suda bekleme süresi arttıkça potansiyellerin daha pozitif değerler aldığı, E_{ADP} ve E_{COR} değerlerinin çakıştığı, diğer katkılı numunelerde çakışma durumunun sağlanmadığı görülmektedir.

Sepiyolitin su emme oranının ve boşluklu yapısının fazla olmasından dolayı çimento yerine ikame edilecek oranın %5' i geçmemesi önerilmektedir. Daha yüksek oranlarda kullanımının sepiyolitin yoğunluğunun çimentonun yoğunluğuna göre düşük olmasından dolayı hafif beton üretimlerinde kullanımı önerilmektedir.

Korozyona maruz kalan yapılarda çimento yerine edilecek sepiyolit ikamesinin % 5' i geçmemesi önerilmektedir.

Deneylerde kullanılan sepiyolit ham olarak elde edilmiş ve ısıl işlem yapılmadan öğütülerek kullanılmıştır. Sepiyolite yüksek sıcaklık uygulayıp öğüterek benzer çalışmalar yapılmasında yarar vardır.

Bu çalışmadaki deneylerin tamamı dolomitli beyaz sepiyolit kullanılarak yapılmıştır, beyaz sepiyolit ve kahverengi sepiyolitinde benzer çalışmalarla araştırılması yerinde olacaktır.



KAYNAKLAR

Abu-Hasan, F., “Sepiyolit dolgulu epoksinin üretimi ve özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.

Aköz, F., Yüzer, N. ve Koral, S., “Silis dumanı katkılı ve katkısız harç içindeki çeliğe farklı konsantrasyonlardaki magnezyum klörürün etkisi”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31. 10 - 1. 1996.

Al-Tayyib, A. J., Khan, M. S., 1988. Corrosion rate measurements of reinforcing steel in concrete by electrochemical techniques. ACI Materials Journal, May-June:172-177.

Florian, B., Marcus, P., 2005. Analytical methods in corrosion science and engineering. Mansfeld July 27, 2005 by CRC Press Reference - 776 Pages - 495 B/W Illustrations ISBN 9780824759520 - CAT# DK2956 Series: Corrosion Technology

Andrade, C., Alonso, C., Molina, F.J., 1993. Cover cracking as a function of bar rebar corrosion : part 1-experimental Test. Materials and Structures, 26:453-464.

Aruntaş, H.Y., Tokyay, M., 1996. Katkılı çimento üretiminde diatomitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği. Çimento ve Beton Dünyası, Ankara.

ASM Handbook, 1992. Corrosion. ASM International, 13:baskı, pp49-67.

ASTM C 618, 1991. Fly ash and raw or calcined natural pozzolan for uses as a mineral admixture in portland cement concrete. American Society for Testing and Materials. USA.

ASTM C-876-91, 1991. Standard Test Method for HalfCell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. American Society for Testing and Materials. USA.

ASTM C-876, 2001. Standard Test Method for HalfCell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. American Society for Testing and Materials. USA.

ASTM G1- 90, 1990. Standard Praticce for Preparing, Cleaning and Evalvating Corrosion Test Specimens. American Society for Testing and Materials. USA.

Ateş, Y., “Endüstriyel atıkların çevreden izolasyonunda kil kullanımı-nükleer atık örneği”, 13. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 12-14 Eylül 2007, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta., pp. 705-722, 2007.

Ateş, Y., 2011. Güncel bazı teknoloji uygulamalarında kil kullanımı. SDÜ, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi.

Aydın, Ö., Çizmecioğlu, Z., 2013. Beton yapılarda inhibitör kullanımının korozyon önlemedeki etkinliğinin değerlendirilmesi. Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi Journal Of Engineering And Natural Sciences, Sigma 5; 129-137.

Baradan, B., 1998. Yapı Malzemesi II. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fakültesi, İzmir, 222 s.

Baradan, B., Yazıcı, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fakültesi, İzmir, 80-220.

Biçer, A., Koç, T., Alıcılar, A., Arslan, A., 1997. Ceyhan Bölge, Dört Yol İşletme Müdürlüğü Tesislerindeki Beton Korozyonu Raporu, Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. Genel Müdürlüğü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi.

Biricik, H., Berktaş, İ., Aköz, F., Tulgar, A., N., “Buğday sapı külünün puzolanik özelliklerinin araştırılması”, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 1996.

Blanca, C., Jesus, M., Jose-Maria, S., Eduardo, R. H., 2001. Sepiolite based materials for the photo and thermal stabilization of pesticides. Applied Clay Science, 18, 245.

Bor E., “İğdecik Yöresi (Isparta) eosen yaşlı kil yataklarının endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2008.

Brauner, K., and Preisinger, A., 1956. Struktur und entstehung des sepioliths, *Tschermaks Miner. Petrog. Mitt.*, 6, 120-140.

Brindley, G.W., Pedro, G., 1972. Report of the AIPEA Nomenclature Committee. *AIPEA Newsletter No.7*, 8-1.

Callen R. A., 1984. Clays of Palygorskite-Sepiolite group; Depositional Environments, Age and Distribution: Singer A and Galan E ed., *Palygorskite-Sepiolite Occurrences, Genesis and Uses da, Developments in Sedimentology*, 37, 1-37.

Can, G., 1992. Dünya'da ve Türkiye'de Sepiyolitik Kil. *MTA Fizibilite Etüdları Dairesi, Ankara*, 1-8 .

Cilason, N., Aksoy, N., 2000. Beton Yapı Hasarları Onarım ve Korunması. Yalkın yayınevi 91.

Dalkılıç, S., “Tuğla tozu katkılı harçlarda donatı korozyonunun araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2014.

Delikanlı, F., “Donatılı betonda korozyon hasarı ve giderilme yolları”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.

Demir A., 2016. Sepiyolitik harçların mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. *Electronic Journal of Vocational Colleges-December/Aralık 2016*.

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). 1996. Lületaş Tabakalı Sepiyolitik. Ankara: VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu.

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri, IV, (Çimento Hammaddeleri) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.

Dixon, D.A., Martino, J.B., Vignal, B., Masumoto, K., Fujita, T., 2007. Overview of the evolution, performance and state of a bentonite-based tunnel seal after 5 years of operation. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, (8-14).

Doğan, M., 2009. Betonarme yapılardaki deprem hasarlarına korozyonun etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt:xxi, sayı:1.

Durgun, M, Y., 2012. Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı. İMO Teknik Dergi, 2012 6141-6162, Yazı 388

Ece Ö. İ., ve Çoban F., 1994. Geology, Occurrence and Genesis of Eskişehir Sepiolites, Turkey, *Clays and Clay Minerals*, Vol. 42, No. 1, 81-92.

Erdoğan, T.Y., 1995. Çimentolar. THBB Yayınları, Ankara, 30 s.

Erdoğan, T.Y., 2013. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.

Ergin, H., 1998. Hammadde kimyasal kompozisyonunun çimento üretimine ve özelliklerine etkileri. *Çimento ve Beton Dünyası*. Sayı 14, s:11-16.

Ergin, H., 1999. Optimisation of cement raw material production by computer aided design. *Cement and Concrete World*. Vol:2, No: 16, p:33-44.

Ergün, M., Tamirci M., Tosun A., 2003. Metal Alaşımlarının Mikrobiyolojik Korozyonu. (06/2003-32, G. Ü. Araştırma Fonu tarafından desteklenmiş ve tamamlanmıştır).

Es, K. C., Girgin, Z. C., 2017. Cephe Malzemesi Olarak Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelikler ve Dayanıklılığa Etki Eden Faktörler, Factors Affecting Weathering Steel Durability As Facade Material. AURUM-Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi Cilt 1, Sayı 2

Fersman, A.E., 1913. Research on magnesium silicates. Zap. Imp. Akad. Nauk 32,321-430.

Gani, M. S. J., 1997. Cement and Concrete. Faculty of Engineering Monash University Clayton, Victoria, Australia.

Gel, M. K., 2003. “Betonarme Yapılarda Donatıların Korozyonu ve Su Yalıtımı”, TMH Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427-5.

Geosynthetics, 2006. Project Showcase: GCLs used for airport runways in France, containment at gold mine in Saudi Arabia. *Geosynthetics*, **24** (3):18-19.

Gleize, P.J.P., Cyr, M. and Escadeillas, G., 2007. Effects of metakaolin on autogenous shrinkage of cement pastes. Cement and Concrete Composites 29, 80–87, 2007.

Glocker E. F., 1847. Generum et Specierum Mineralium Secundum Ordines Naturales Digestorium Synopsis. Halle (1847) 195.

Haberal, Y., 2010. Uçucu küllü betonlarda klor iyonu geçirgenliğinin ve donatı korozyonunun incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

He, C., Makovicky, E., Osb, B., 1996. Thermal treatment and pozzolanic activity of sepiolite. Applied Clay Science v.10. p.337-349.

Herlin, B., Von Maubeuge, K., 2002. Geosynthetic Clay Liners (GCLs). *Proceedings of the International Pipeline Conference, IPC*, Sep 30-Oct 3 2002, Calgary, Alta., Canada. p211-216.

İrkeç, T., 1996. Lületaş, tabakalı sepiyolit, atapulgit (paligorskit), DPT VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu, Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu, Cilt 1, Yayın No: DPT 2421-ÖİK: 480, Ankara, s. 5-35.

Johnston, B., 2006. \$50M Kaolin Project Set. *Leader Post* (Saskatchewan, Canada), Monday, October 2, 2006.

Karaboğa, F., 2012. Klorür kirlenmesine maruz bırakılmış metakaolin içeren ve içermeyen beton içerisindeki donatının korozyon direnci. Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD.

Karnland, O.; Olsson, S.; Nilsson, U., Sellin, P., 2007. Experimentally determined swelling pressures and geochemical interactions of compacted Wyoming bentonite with highly alkaline solutions. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, (1-7):275-280.

Kaya, T., Karakurt, C., Bayazit, Y., 2015. Kalsine edilmiş bentonitin çimento harçlarında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği, 2nd International Sustainable Building Symposium, Ankara.

Kaya, T., Karakurt, C., Bayazit, Y., 2015. Kalsine edilmiş bentonitin çimento harçlarında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği. 2nd International Sustainable Building Symposium, Ankara.

Khan, M. S., 1991. Corrosion State of Reinforcing Steel in Concrete at Early Ages”, *ACI Materials Journal*. 88(1):37-40.

Koç, T., 2009. Deprem Bir Başka Boyutu. Gazi Üni.Mühendislik Mimarlık Fakültesi.

Kouloumbi, N., Batis, G., 1992. Chloride corrosion of steel rebars in mortars with fly ash admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 14:199-207.

Kurugöl, S., 2015. Farklı sıcaklıklarda kalsine edilen killerin mekanik özellikleri ve ultrases hızlarının erken yaşlarda incelenmesi. *AKÜ FEMÜBİD* 15 (2015) 025501 (1-11), DOI: 10.5578/fmbd.9515

Liam, K. C., Ray, S. K., Nortwood, D. O., 1992. Chloride Ingress Measurement and Corrosion of Potential Mapping Study of a 24-year-old Reinforced Concrete Jetty Structure in a Tropical Marine Environment. *Magazine of Concrete Research*, 44(160):205-215.

Liu, Z., Erhan, S. Z., 2005. Preparation, characterization and mechanical properties of epoxidized soybean oil/clay nanocomposites. *Polymer*, 46: 10119-10127.

Malayoğlu, U., 1992. Float and sink characteristics of clay in mineral processing. Yüksek lisans tezi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Martin, M., 2003. Nano-clay may shape micro devices. <http://www.crm-daily.com/perl/story/21549.html>

Mehta, P.K., 1987. Natural pozzolans. Department of Civil Engineering University of California, Berkeley, California, USA.

Mohammed, S., 2017, ‘‘Processing, effect and reactivity assessment of artificial pozzolans obtained from clays and clay wastes: A review’’*Construction and Building Materials* Volume 140, 1 June 2017, Pages 10-19.

Nagy, B., Bradlet, W.F., 1955. The structural scheme of sepiolite, *American Mineralogist*, 40, 855-892.

O'Driscoll, M., 1992, *European Cat Litter*, Industrial Minerals, August, 46-65.

Nas, M., 2015, “Zeolit ve Metakaolin İçeren Betonların Bazı Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Onaran, K., 1986. Malzeme Bilimi. Çağlayan Basımevi, İstanbul, 302 s.

Öncü, M.E., Karakaş, A.S., Kavak, M.T., 2006. Katkı maddesi kullanılarak yüksek performanslı beton üretim., Journal of Engineering and Natural Sciences, 2006/2

Öner, M., Erdoğan, K., Günlü, A., 2003. Effect of components fineness on strength of blast furnace slag cement, Cem. and Conc. Res., 33, 463-469.

Özdemir, A., 2004. Sepiyolitin çöp deponi tabakalarında kullanılabilirliğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnsaat Müh. A.B.D.

Pan, S., Tseng, D., Lee, C. C., 2003. Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties. Cem. Concr. Res., 33, 1749-1754.

Parkins, R. N., 1994. Intergranular Corrosion and Stress Corrosion and Stress Corrosion Cracking of Mild Steel in Clarke’s Solution. Corrosion Science, 36(12):2097-2110

Pehlivan, H., “Zeolitik Tüf Katkili Betonarme Örneklerin Korozyon Özelliklerinin Elektrokimyasal Gürültü Ölçüm Tekniğine (ENT) Göre Değerlendirilmesi”, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16) Kilis, 2016.

Postacıoğlu, B., 1986. Beton Bağlayıcı Maddeler. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.

Pourbaix, M. Atlas of Electrochemical Equilibria, NACE, Houston, TX, 1974, p.307.

Qian, X. and Li, Z., 2001. The relationships between stress and strain for high-performance concrete with metakaolin. Cement and Concrete Research 31, 1607–1611.

Rasheeduzzafar, Dakhil, F. H., Bader, M. A. ve Khan, M. M., 1992. Performance of Corrosion Resisting Steel in Chloride-Bearing Concrete. *ACI Materials Journal*, 89(5):439-448.

Sabah, E., Çelik, M. S., 1988. Sepiyolit oluşumu, özellikleri, kullanım alanları. İnci Ofset, Afyon.

Sabah, E., Ouki S., 2017. Sepiolite and sepiolite-bound humic acid interactions in alkaline media and the mechanism of the formation of sepiolite-humic acid complexes. *International Journal of Mineral Processing* v.162 p.69–80.

Sabır, S., Bai, J., 2001. Metacaolin and calcined clays as pozzolan for concrete: A review. *Cem. & Concr. Comp.*, 23, 441-454.

Salam Ç., 2004. Fiziksel ve kimyasal işlemlerin kaolinin yapısına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir.

Saraylı, M. A., 1978. *Yapı Malzemeleri Bilimi*, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.

Sarıiz, K., ve Nuhoglu, L., 1992. Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No. 636, Eskişehir, 338- 343.

Savaş, M., Demir, İ., Güzelküçük, S., Şengül Ç. G., Yaprak, H., 2014. Sepiyolit ikame edilmiş gazbetonun ısı ve basınç dayanım özellikleri. *Politeknik Dergisi*Cilt:17, Sayı : 1 (Özel Sayı), p.43-47.

Savaş, M., Demir, İ., Güzelküçük, S., Şengül, Ç.G., Yaprak, H., 2014. Sepiyolit ikame edilmiş gazbetonun ısı ve basınç dayanım özellikleri. *Politeknik Dergisi*, Cilt:17, Sayı : 1 (Özel Sayı), s.43-47.

SchafeR, H. U., 1989. Çimento Endüstrisinde Hammaddelerin Seçimi. *TÇMB Bülteni*, Sayı 263, Sayfa 14-33.

Schwartz, M., 2006. Emerging Engineering Materials: Design, Processes, Applications. Technomic Publishing Co., USA ISBN No. 1-56676-314-2.

Shannag, M., 2000. High strenght concrete containing natural pozzolan and silica fume. Cem. & Conc. Comp., 22, 399-406.

Sharp, J. W., Figg, J. W., Leeming, M.B., 1988. The Assessment of Corrosion of the Reinforcement in Marine Concrete by Electrochemical and Other Methods. II. International Conference on Performance of Concrete in Marine Environment, 21-26. 8.1988, New Brunswick, Canada, 105-125.

Subaşı, S., 2009. Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton üretimi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 3, 559-567.

Taban (Pehlivan), H., “Farklı Oranlarda Zeolitik Tüf Katkısının Beton Özellikleri Ve Betonarme Çeliği Korozyonuna Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Esntitüsü, 2010.

Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B., Sevinç, V., 2002, Kula cürufu, bentonit ve kolemanit atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi. Proceedings of The 1st International Boron Symposium, s. 259-266, 3–4 Ekim 2002, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye.

Taşdemir, C., 2003. Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete, Cem. and Conc. Res., 33, 1637-1642.

Tekin, G., 2004. Perlit ve sepiyolit'in amonyumheptamolibat ile modifikasyonu ve elektrokinetik özellikleri. BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi v.6. n.2.

Thorp, B., 2005. Engineered fillers: An agenda 2020 goal. Solutions, vol. 88, n 5, ISSN: 07341415 CODEN: SPPPCJ. Publisher: Technology Park – Atlanta. p45-48

TS 25, 2011. Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereker ve Uygunluk Kriterleri. TSE, Ankara.

TS 3526, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 1015-3, 2000. Kagir Harcı-Deney Metotları Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayıma Tablası İle), TSE, Ankara.

TS EN 12390-7, 2010. Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğu Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 196-1, 2009. Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 196-3, 2002. “Çimento – Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Genleşme Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-7.

TS EN 197 – 1, 2005. “Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar– Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-7.

TS EN 197-1, 2002. Çimento Bölüm 1:Genel Çimentolar-Bileşim, Özellik ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.

TS EN 450, 1998. Betonda Kullanılan Uçucu Kül, Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü”, TSE, Ankara.

TS EN 772-11, 2002. Kagir Birimler – Deney Metotları – Bölüm 1: Agrega ve Doğal Taş Kullanarak İmal Edilmiş Kagir Birimler – Kılcal Su Emmeye Bağlı Olarak Su Emme Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 990, 1995. Gaz ve Köpük Beton ve Hafif Agregalı Gözenekli Beton- Teçhizatın Korozyondan Korunmasını Değerlendirme Deney Metotları. TSE, Ankara.

Turhan Erdoğan, Y. 2007. Beton. ODTÜ Yayıncılık, 2. Baskı, Ankara.

Uygun, A., 2002. Türkiye'nin Endüstri Mineralleri Potansiyeline Toplu Bir Bakış, Jmo,

Üneri, S., 1998. Korozyon ve önlenmesi. Korozyon derneği yayını, Ankara,75-96.

Vedalakshmi, R., Manoharan, SP., Ha-Won Song , Palaniswamy, N., “Application of Harmonic Analysis in Measuring The Corrosion Rate of Rebar in Concrete”, *Corrosion Science*, 51:2777-2789, (2009).

Vicente Rodriguez, M. A, Lopez Gonzalez, J.D. and Banares Munoz, M.A., 1994. Acid activation of a spanish sepiolite, physicochemical karakterizatio, free silica content and surface area of the solids obtained. *Clay Minerals* 29, 361-367.

Vu, D., Stroeven, P., Bui, V., 2001. Strenght and durability aspects of calnsined caolin – blended portland cement mortar and concrete. *Cem. & Conc. Comp.*, 23, 471-478.

Yalçın, H, Koç, T., 1998. Mühendisler için Korozyon. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara.

Yeniyol, M., 1992, Yenidoğan (Sivrihisar) sepiyolit yatağının jeolojisi, mineralojisi ve oluşumu, *MTA Dergisi*, 114, 71-84.

Yıldırım, K., Sümer, M., 2013. Effects of sodium chloride and magnesium sulfate concentration on the durability of cement mortar with and without fly ash- COMPOSITES PART B-ENGINEERING - Vol.52pp.56 - ISSN : 1359-8368 - DOI :10.1016/j.compositesb.2013.03.040 - Eylül 2013

Yıldız, S., Keleştemur, O., 2004. Farklı bölgelerde üretilen PKÇ/B 32,5 R çimentosunun betonarme yapılarıdaki donatı korozyon potansiyeline etkisi. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.

Yoon-Seok, C., Jung-Gu K., Kwang-Myong L., 2006. Corrosion Behavior of Steel Bar Embedded in Fly Ash Concrete”, *Corrosion Science*, 48:1733-1745.

Young, J.F., 1998. A review of the pore structure of cement paste and concrete and its influence on permeability. S.P.108, Permeability of Concrete, ACI.

Yürüdü, C., 2005. Hdtabr/Nammt kompozitlerinin sentezi ve karakterizasyonu. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı.

Zeng, Q. H., Yu, A. B., (Max) Lu G. Q., Paul, D. R., 2005. Clay-Based Polymer Nanocomposites: Research and Commercial Development. Journal of. Nanosc. Nanotech, 5 vol. n.10.

Zongjun, Li., 2011, Advanced concrete technology. ISBN: 978-0-470-43743-8

<https://corrosion-doctors.org/Electrochem/LPR.htm> (Erişim tarihi: 25.04.2018)

<http://www.scribd.com/doc/7577419/cimento/> (Erişim tarihi: 16.03.2018).

<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> (Erişim tarihi: 25.06.2018)

http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8d7421593caf098_ek.pdf?dergi=168.
(Erişim tarihi: 27.03.2018).

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Mahmut AYTEKİN

Doğum Yeri: Kilis

Doğum Tarihi: 12.01.1988

E-posta: mahmutaytekin@kilis.edu.tr

Yabancı Dili: 56.25 (Yökdil-2017)

Eğitim Durumu

Lisans: Karadeniz Teknik Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği Bölümü Örgün Öğretim %30 İngilizce Prg. (2008-2013)

Yüksek Lisans: Kilis 7 Aralık Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü- İnşaat Mühendisliği ABD (2016-2018)

Çalışma Durumu

2013-2016: ZNR İnşaat ve Taahhüt A.Ş. (İnşaat Mühendisi)

2016- ... : Kilis 7 Aralık Üniversitesi (Öğretim Görevlisi)

Yayınlar/Bildiriler

PEHLİVAN Hadaan, AYTEKİN Mahmut (2017). Geri Kazanılmış Agrega Kullanımının Sürdürülebilir Kalkınma Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Beton 2017 İstanbul, THBB, 595-602. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3815947)

PEHLİVAN Hadaan, AYTEKİN Mahmut (2017). Gaziantep, Kilis, Kahramanmaraş Yöresinde Üretilen Çimentoların Mekanik, Fiziksel, Kimyasal Ekolojik Özelliklerinin Araştırılması. 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017) Çukurova Üniversitesi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3816041)

PEHLİVAN Hadaan, AYTEKİN Mahmut (2017). The Effects of Natural Pozzolanes on Sustainable Cement Production. UEMK 2017 2nd International Energy and Engineering Conference, Gaziantep Üniversitesi, 49-56. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3816246)

PEHLİVAN Hadaan, AYTEKİN Mahmut (2017). Investigation on the of Natural Stones Used as The Building Materials and The Sector Problems in the Mardin Region. UEMK 2017 2nd International Energy and Engineering Conference, Gaziantep Üniversitesi, 28-36. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3816268)

AYTEKİN Mahmut, PEHLİVAN Hadaan (2017). The Sustainability of Recycled Aggregate. UEMK 2017 2nd International Energy and Engineering Conference, Gaziantep Üniversitesi, 25-25 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

PEHLİVAN Hadaan, AYTEKİN Mahmut (2017). Research on the Determination and Protection of Material Properties Of Historical Structures in Kayseri. UEMK 2017 2nd International Energy and Engineering Conference, Gaziantep Üniversitesi, 37-48. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3816298)

AYTEKİN Mahmut, PEHLİVAN Hadaan (2017). Akıllı Binalarda Bulunan Alt Sistemlerin Değerlendirilmesi: Kilis 7 Aralık Üniversitesi Merkez Yerleşkesi Binaları. UEMK 2017 2nd International Energy and Engineering Conference, Gaziantep Üniversitesi, 26-27. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

AYTEKİN Mahmut, YEŞİLTEPE Ömer (2018). Beton Bariyer Yüksekliğinin Hesaplanması ve Yeni Prototip Tasarımı. III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4291264)

AYTEKİN Mahmut, YEŞİLTEPE Ömer (2018). Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yeşil Beton Kullanımının Önemi. III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4291267)

YEŞİLTEPE Ömer, AYTEKİN Mahmut (2018). Yapı Kat Deplasmanları İle Yatak Katsayısı İlişkisi Üzerine Bir Çalışma. III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4291270)

YEŞİLTEPE Ömer, AYTEKİN Mahmut (2018). Zemin Yatak Katsayısı Değişiminin Radye Temel Kalınlığı Ve Donatısı Üzerine Etkileri. III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4291269)

Projeler

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi, 2018, İslahiye-Hassa Trası Katkılı Çimento Harçlarının Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması (Araştırmacı)

Lisans Düzeyinde Verilen Dersler

Ulaştırma, Ulaştırma Projeleri Tasarımı, Statik, Arazi Ölçmeleri, Topoğrafya, Bilgisayar Destekli Tasarım, Seçmeli Proje (Ulaştırma Proje), Yapıda Taşıyıcı Sistemler, Beton Katkı Malzemeleri, Malzeme Bilimi, Yapı Malzemeleri, Bitirme Projesi.

Önlisans Düzeyinde Verilen Dersler

Ahşap Yapılar, Mekanik ve Statik, Mukavemet, Metraj ve Proje Kontrolü (Yapı Metrajı ve Maliyeti), Arazi Ölçmeleri (Topoğrafya), Teknik Resim, Meslek Etiği, Kalite Güvence ve Sistemleri, Mesleki Uygulamalar.