



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ BETONLARDA SEPİYOLİT
KULLANIMININ MEKANİK, FİZİKSEL VE DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

RASİM CEM SAKA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. SERKAN SUBAŞI**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM ELYAF TAKVİYELİ BETONLARDA SEPİYOLİT
KULLANIMININ MEKANİK, FİZİKSEL VE DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Rasim Cem SAKA tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. İlhami DEMİR

Kırıkkale Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 05/01/2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

5 Ocak 2018



Rasim Cem SAKA

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Serkan SUBAŞI'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Deney sonuçlarının yorumlanmasında değerli katkılarını esirgemeyen Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca GRC deney numunelerinin üretilmesinde desteklerini esirgemeyen Fibrobeton A.Ő. Yönetim Kurulu Üyesi Sayın Muhammed MARAŐLI ve Ar-Ge Şefi Sayın Volkan ÖZDAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, çalışma arkadaşlarıma, Bölümümüz değerli öğretim üyelerine ve Bölüm Başkanımız Sayın Yrd.Doç.Dr. Latif Onur UŐUR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi 2016.07.05.466 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

5 Ocak 2018

Rasim Cem SAKA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	XI
KISALTMALAR.....	XII
SİMGELER	XIII
ÖZET	XIV
ABSTRACT	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GRC).....	3
2.1.1. Fiziksel Özellikleri	4
2.1.1.1. <i>Su Geçirgenliği</i>	4
2.1.1.2. <i>Hafiflik</i>	5
2.1.1.3. <i>Donma-Çözülme Dayanımı</i>	5
2.1.1.4. <i>Yangın Dayanımı</i>	5
2.1.1.5. <i>Ultraviyole Işınlara Dayanımı</i>	6
2.1.1.6. <i>Kimyasallara Karşı Direnç</i>	6
2.2. GRC ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER.....	6
2.2.1. Çimento.....	6
2.2.2. Cam Lifi.....	7
2.2.2.1. <i>Fiziksel Özellikler</i>	8
2.2.2.2. <i>Kimyasal, Elektriksel Ve Termal Özellikler</i>	8
2.2.2.3. <i>Kullanım Alanları</i>	9
2.2.3. Silis Kumu	9
2.2.4. Kimyasal Katkılar.....	11
2.2.4.1. <i>Akışkanlaştırıcılar</i>	11
2.2.4.2. <i>Polimer Katkı Malzemeleri</i>	12
2.3. SEPİYOLİT	12

2.3.1.1. <i>Absorpsiyon Özelliği</i>	14
2.3.1.2. <i>Katalitik Özelliği</i>	15
2.3.1.3. <i>Reolojik Özellikleri</i>	15
2.3.1.4. <i>Dünyada Ve Türkiye’de Sepiyolit</i>	16
2.3.1.5. <i>Sepiyolitle Yapılan Çalışmalar</i>	17
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. MATERYAL	20
3.1.1. Çimento	20
3.1.2. Cam Lifi	21
3.1.3. Sepiyolit	21
3.1.4. CEN Standart Kumu	22
3.1.5. Silis Kumu	23
3.1.6. Polimer Katkı Malzemesi	24
3.1.7. Akışkanlaştırıcı	25
3.1.8. Su	26
3.2. METOT	26
3.2.1. Toz Örnekler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar	26
3.2.1.1. <i>Yoğunluk Deneyi</i>	26
3.2.1.2. <i>Lazer Tane Boyut Analizi</i>	26
3.2.1.3. <i>Termal Analiz</i>	27
3.2.1.4. <i>Kimyasal Analiz</i>	27
3.2.1.5. <i>FT-IR Analizi</i>	28
3.2.1.6. <i>Kızdırma Kaybı Deneyi</i>	28
3.2.1.7. <i>Kalsinasyon</i>	29
3.2.1.8. <i>SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu)Analizleri</i>	29
3.2.2. Hamur Fazında Yapılan Deneysel Çalışmalar	30
3.2.2.1. <i>Kıvam Deneyi</i>	30
3.2.2.2. <i>Priz Başlangıç ve Bitiş Deneyi</i>	30
3.2.2.3. <i>Hacim Genleşmesi Deneyi</i>	30
3.2.2.4. <i>SEM ve EDS Analizleri</i>	31
3.2.2.5. <i>F-TIR Analizi</i>	32
3.2.2.6. <i>Termal Analiz</i>	32
3.2.3. Harç Fazında Yapılan Deneysel Çalışmalar	32

3.2.3.1. Yayılma Çapı Deneyi	32
3.2.3.2. Hızlandırılmış Deney Metodu İle Alkali-Silika Reaktivitesi	33
3.2.3.3. Basınç Dayanımı Deneyi	34
3.2.3.4. Puzolanik Aktivite Deneyi.....	35
3.2.3.5. Termal İletkenlik Deneyi.....	36
3.2.4. GRC Örnekler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	36
3.2.4.1. Karışım Dizaynı	36
3.2.4.2. Basınç Dayanımı Deneyi	37
3.2.4.3. Eğilme Dayanımı Deneyi	38
3.2.4.4. Darbe Dayanımı Deneyi	39
3.2.4.5. Aşınma Dayanımı Deneyi	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. TOZ ÖRNEKLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.	41
4.1.1. Yoğunluk	41
4.1.2. Lazer Tane Boyut Analizi Sonuçları.....	41
4.1.3. Termal Analiz Sonuçları	42
4.1.4. Kimyasal Analiz Sonuçları.....	43
4.1.5. F-TIR Analiz Sonuçları.....	44
4.1.6. Kızdırma Kaybı Sonuçları	44
4.1.7. SEM ve EDS Analizleri Sonuçları.....	44
4.2. HAMUR FAZINDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45
4.2.1. Kıvam Deneyi Sonuçları.....	45
4.2.2. Priz Başlangıç ve Bitiş Deneyi Sonuçları	47
4.2.3. Hacim Genleşmesi Deneyi Sonuçları.....	48
4.2.4. SEM ve EDS Analiz Sonuçları.....	50
4.2.5. F-TIR Analiz Sonuçları.....	57
4.2.6. Termal Analiz Sonuçları	59
4.3. HARÇ FAZINDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	62
4.3.1. Yayılma Çapı Sonuçları	62
4.3.2. Hızlandırılmış Deney Metodu İle Alkali-Silika Reaktivitesi Sonuçları.	63
4.3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	65
4.3.4. Puzolanik Aktivite Deneyi Sonuçları	71
4.3.5. Termal İletkenlik Sonuçları.....	71

4.4. GRC ÖRNEKLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	76
4.4.1. Basınç Dayanımı Sonuçları.....	76
4.4.2. Eğilme Dayanımı Sonuçları	79
4.4.3. Darbe Dayanımı Sonuçları.....	84
4.4.4. Aşınma Dayanımı Sonuçları	87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
6. KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	98



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Farklı renklerde silis kumu.	9
Şekil 2.2. Sepiyolit taramalı elektron mikroskobunda görülen lifsi yapısı.....	13
Şekil 3.1. CEMI 42.5 R çimento.....	20
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan kırılmış cam lifi.....	21
Şekil 3.3. Ham Sepiyolit.....	21
Şekil 3.4. CEN standart kumu.....	23
Şekil 3.5. Cam lif takviyeli numunelerde kullanılan silis kumu.....	23
Şekil 3.6. Kopolimer dispersiyon esaslı polimer katkı malzemesi.....	24
Şekil 3.7. Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı.....	25
Şekil 3.8. Tam otomatik gaz piknometre sistemi.....	26
Şekil 3.9. Lazer tane boyutu analiz cihazı.....	27
Şekil 3.10. F-TIR cihazı.....	28
Şekil 3.11. Yüksek sıcaklık fırınında sepiyolit kızdırılması.....	29
Şekil 3.12. Vicat aleti.....	30
Şekil 3.13. Le Chatelier kalıpları.....	31
Şekil 3.14. Taramalı elektron mikroskobu.....	32
Şekil 3.15. Çimento yayılma tablası.....	33
Şekil 3.16. Harç çubuğu çelik numune kalıpları.....	33
Şekil 3.17. Harç çubuklarının 80°C'deki NaOH çözeltisinde bekletilmesi.....	34
Şekil 3.18. 300 kN kapasiteli çimento basınç test cihazı.....	35
Şekil 3.19. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.....	36
Şekil 3.20. Deney parçalarının yerleri ve işaretlenmesi.....	38
Şekil 3.21. Eğilme test cihazı.....	39
Şekil 3.22. Charpy darbe deney aleti.....	40
Şekil 4.1. Lazer tane boyut analizi elekten geçen % miktar değerleri.....	42
Şekil 4.2. Ham Sepiyolit Termal Analiz Sonuçları.....	42
Şekil 4.3. Ham sepiyolit F-TIR analizi.....	44
Şekil 4.4. SEM görüntüleri a) Ham sepiyolit b) 900°C'de kalsine sepiyolit.....	45
Şekil 4.5. EDS analizleri a) Ham sepiyolit b) 900°C'de kalsine sepiyolit.....	45
Şekil 4.6. Ortalama S/B oranı değerlerine ait bar grafiği.....	46
Şekil 4.7. Sepiyolit ikame miktarı ile S/B değerleri arasındaki ilişki grafiği.....	47
Şekil 4.8. Sepiyolit miktarlarına bağlı Le Chatelier genişleme değerlerine ait bar grafiği.....	49
Şekil 4.9. Sepiyolit ikame miktarı ile Le Chatelier genişleme değerleri arasındaki ilişki grafiği.....	50
Şekil 4.10. % 0 referans numunesi SEM ve EDS analizleri.....	51
Şekil 4.11. % 5 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	51
Şekil 4.12. % 10 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	52
Şekil 4.13. % 15 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	53
Şekil 4.14. % 20 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	53
Şekil 4.15. % 5 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	54
Şekil 4.16. % 10 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	55

Şekil 4.17. % 15 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	55
Şekil 4.18. % 20 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.....	56
Şekil 4.19. % 0 Sepiyolit içeren numunenin F-TIR spektrum analizi.	57
Şekil 4.20. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin F-TIR spektrum analizi.	58
Şekil 4.21. Ham sepiyolit ikameli numunelerin F-TIR spektrum analizi.	59
Şekil 4.22. %0 Sepiyolit içeren numunenin DTA-TG analizleri.	60
Şekil 4.23. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin DTA-TG analizleri.	60
Şekil 4.24. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin DTA-TG analizleri.	61
Şekil 4.25. Sepiyolit miktarına bağlı S/B oranları.	63
Şekil 4.26. Sepiyolit miktarına bağlı genleşme miktarları.....	64
Şekil 4.27. Harç numunelerine ait basınç dayanımı deney sonuçları.	66
Şekil 4.28. Numune yaşına bağlı %0, %5, %10, %15 ve %20 ham sepiyolit ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçları.....	69
Şekil 4.29. Numune yaşına bağlı %0, %5, %10, %15 ve %20 ham sepiyolit ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçları.....	69
Şekil 4.30. Sepiyolit ikame miktarları ile basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki grafığı.	70
Şekil 4.31. Numune yaşı ile basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki grafığı.....	71
Şekil 4.32. Ham sepiyolit ikameli harç numunelerinin ortalama termal iletkenlik değerleri.....	72
Şekil 4.33. Sepiyolit ikame miktarları ile termal iletkenlik değerleri arasındaki ilişki grafığı.	75
Şekil 4.34. GRC numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	77
Şekil 4.35. Sepiyolit ikame miktarları ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki grafığı.	79
Şekil 4.36. GRC numunelerinin eğilme dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	81
Şekil 4.37. Sepiyolit ikameli numunelerin ortalama darbe dayanımı değerleri.....	85
Şekil 4.38. Sepiyolit ikame miktarları ile darbe dayanımı değerleri arasındaki ilişki grafığı.	87
Şekil 4.39. Sepiyolit ikameli GRC numunelerinin aşınma dayanımı sonuçları	88

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Bazı tipik lületaşı, sedimanter sepiyolit ve atapulgit (paligorskit) cevherlerinin kimyasal bileşimleri.	14
Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel analizi.	20
Çizelge 3.2. Ham sepiyolit kimyasal analiz sonuçları.	22
Çizelge 3.3. CEN Referans kumunun tane büyüklüğü dağılımı.	22
Çizelge 3.4. 30-35 AFS Silis kumu tane dağılımı.	24
Çizelge 3.5. Polimer katkı malzemesinin teknik özellikleri.	25
Çizelge 3.6. Akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri.	25
Çizelge 3.7. Referans harç numunesi karışım dizaynı.	37
Çizelge 3.8. Ham ve kalsine sepiyolit ikameli numunelerin karışım dizaynı.	37
Çizelge 4.1. Farklı sıcaklıklarda kalsine edilen sepiyolit örneklerinin yoğunlukları.	41
Çizelge 4.2. Farklı sıcaklıklarda kalsine sepiyolitlere ait kimyasal analiz sonuçları.	43
Çizelge 4.3. Hamur karışımlarına ait kıvam deneyi sonuçları.	46
Çizelge 4.4. İkameli ve ikamesiz numunelerin priz başlangıç ve bitiş süreleri.	48
Çizelge 4.5. Hacim genişmesi deney sonuçları.	48
Çizelge 4.6. TG analizlerinin sonuçları.	62
Çizelge 4.7. Harç numunelerinin yayılma çapı değerleri.	63
Çizelge 4.8. Harç çubuğu ile genişleme tayini sonuçları.	64
Çizelge 4.9. Harç numune basınç dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.	65
Çizelge 4.10. Ham sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.	67
Çizelge 4.11. Kalsine sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.	68
Çizelge 4.12. Puzolanik aktivite indeksi sonuçları.	71
Çizelge 4.13. Harç numunelerinin termal iletkenlik verilerine ait açıklayıcı istatistikler.	72
Çizelge 4.14. Ham sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.	73
Çizelge 4.15. Ham sepiyolit numunelerine ait Duncan testi sonuçları.	73
Çizelge 4.16. Kalsine sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.	74
Çizelge 4.17. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerde Duncan testi sonuçları.	74
Çizelge 4.18. Sepiyolit türüne göre gerçekleştirilen varyans analizi sonucu.	75
Çizelge 4.19. GRC basınç dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.	76
Çizelge 4.20. GRC numunelerine ait varyans analizi sonucu.	78
Çizelge 4.21. GRC numunelerine ait Duncan testi sonuçları.	78
Çizelge 4.22. Eğilme dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.	80
Çizelge 4.23. Numunelere ait varyans analizi sonucu.	82
Çizelge 4.24. Numunelere ait Duncan testi sonuçları.	83
Çizelge 4.25. Numunelerin darbe direnci verilerine ait açıklayıcı istatistikler.	84
Çizelge 4.26. Numunelere ait varyans analizi sonucu.	86
Çizelge 4.27. Numunelere ait Duncan testi sonuçları.	86
Çizelge 4.28. Aşınma dayanımı sonuçları.	88

KISALTMALAR

A-PAM	Anyonik poliakrilamidlerin
CH	Kalsiyum hidroksit
C-S-H	Kalsiyum silikat hidrat
EDS	Enerji dağılımı spektrometresi
FBRM	Odaklı ışın gerilimi ölçümü
GRC	Cam elyaf takviyeli beton
Lim	Sınır değeri
MK	Metakaolin
PU	Poliüretan
PVA	Polivinil alkol
SFA	Silisli uçucu kül
TG	Termogravimetri
UV	Ultraviyole
XRF	X ışını florans analizi

SİMGELER

A_c	Numune en kesit alanı
f_c	Basınç dayanımı (MPa)
N	Newton
P_{max}	En yüksek kırılma yükü (N)
Å	Ångström (10^{-10} m)
σ	Eğilme dayanımı (MPa)
°C	Santigrat derece
μ	Mikronmetre



ÖZET

CAM ELYAF TAKVİYELİ BETONLARDA SEPIYOLİT KULLANIMININ MEKANİK, FİZİKSEL VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Rasim Cem SAKA
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Serkan SUBAŞI
Ocak 2018, 97 sayfa

Bu çalışmada sepiyolit in çimentoda puzolan olarak kullanılabilirliği ve cam elyaf takviyeli betonlarda mekanik, fiziksel ve durabilite özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Öncelikle zengin bir rezerve sahip Eskişehir yöresi sepiyolitinin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Ham ve 900°C’de kalsine edilen öğütülmüş sepiyolitler CEM I 42,5 R sınıfı çimentoya %5, %10, %15, %20 oranlarında ikame edilmiştir. Üretilen sepiyolit ikameli çimentoların ASTM C-311’e göre puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. Ayrıca ham ve kalsine sepiyolitler kullanılarak ikame edilen karışımlara hacimce %3 oranında cam elyaf eklenerek Cam Elyaf Takviyeli Beton (GRC) numuneleri üretilmiştir. Üretilen GRC numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile aşınma dayanıklılıkları tayin edilmiştir. Sepiyolit ikameli sertleşmiş çimento hamurunda ve harçlarında mikro yapısal incelemeler ve hidrasyon gelişiminin gözlenmesi için ise SEM, FT-IR, ve TGA analizleri yapılarak elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, sepiyolit ikameli çimentoların fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri belirlenerek öğütülmüş ham ve kalsine edilmiş sepiyolit in çimento ve GRC üretiminde puzolan olarak kullanılabilirliği ile ilgili önemli bulgular ortaya konulmuştur.

Anahtar sözcükler: Cam lifi, Çimento, GRC, Sepiyolit.

ABSTRACT

INVESTIGATION ON EFFECTS OF SEPIOLITE USAGE ON MECHANICAL, PHYSICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE

Rasim Cem SAKA

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

January 2018, 97 pages

In this study, usability of sepiolite as a pozzolan in cement and effects on mechanical, physical and durability properties of glass fiber reinforced concrete have been investigated. Firstly, physical and chemical properties of Eskişehir regional sepiolite, which has a rich reservoir, have been investigated. Crude and calcined at 900 °C grinded sepiolites were substituted for CEM I 42,5 R class cement in 5%, 10%, 15%, 20% ratios. Produced cements added grinded sepiolite have been measured in pozzolanic activity according to ASTM C-311. In addition, glass fiber reinforced concrete (GRC) samples were produced by adding 3% glass fiber by volume of mixture which was substituted by crude and calcined sepiolites. The physical and mechanical properties of the GRC samples produced and their abrasion resistance were determined. The microstructural investigations on sepiolite-substituted hardened cement paste and mortars and the findings obtained by SEM, FT-IR and TGA analyzes have been evaluated to observe hydration development. As a result, physical, mechanical and durability properties of sepiolite-substituted cements have been determined and important findings about the usability of grinded crude and calcined sepiolite as pozzolan in the production of GRC.

Keywords: Cement, Glassfibre, GRC, Sepiolite.

1. GİRİŞ

Çimento, su ile bir araya geldiğinde gerçekleşen reaksiyonları nedeniyle priz alan ve katılaştıran bir hamur oluşturup suyun altında bile dayanımını muhafaza eden inorganik bir bağlayıcıdır [1]. Çimento üretiminin ilk aşaması kireçtaşı ve kil türevi malzemelerin yaklaşık 1400°C sıcaklıkta ısıtma işlemine tabi tutularak klinkerin üretilmesidir. Elde edilen klinker bir miktar (yaklaşık %3-4) alçı ile öğütülerek Portland çimentosu haline almaktadır [2]. Beton, bir yapı malzemesi olarak günümüzde en çok inşaat sektöründe kullanılmaktadır [3] ve beton üretiminin en önemli bileşeni de kuşkusuz çimentodur. Betonun inşaat sektöründe çok fazla talep edilmesinin sonucu olarak dünyada çimento endüstrisi en yoğun üretimi gerçekleştiren endüstrilerdendir. Bu denli yoğun üretim nedeniyle çimento, çevreye zarar veren endüstriyel üretimler arasında yer almaktadır. Geçtiğimiz yıllarda enerji verimliliği gereksinimi bu konuda araştırma yapanları çimento sektörü içerisinde sürdürülebilir çözümler üretmeye sevk etmiştir [4]. Çimento endüstrisi üretilen malzemenin mekanik özelliklerinden ödün vermeden daha az enerji kullanarak daha dayanıklı ve sürdürülebilir üretim yapmakla yüz yüze kalmaktadır. Bu nedenle normal çimento üretimi yerine katkı çimento üretimi en yaygın gelişmelerden bir tanesi haline gelmiştir [5].

Yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve doğal puzolanlar gibi katkı malzemeleri ekonomik ve teknik avantajlara sahip olmalarından katkı çimento üretiminde kullanılmaktadırlar [6], [7].

Puzolanlar, klinkerin çimentoya katılım oranını azaltarak çimentoda ekonomiklik ve ihtiyaca göre bazı özelliklerinde iyileşme sağlar. Örneğin düşük hidrasyon ısıtı hedeflendiğinde çimentoda puzolanik malzeme bulunması çok önem arz etmektedir. Ayrıca puzolan kullanımı ile çimento fabrikalarında klinker üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksit gazı da dolaylı olarak azalmaktadır. Bunun sonucunda puzolan katkı çimentolar ekonomik ve ihtiyaca göre farklı özellikler kazandırmanın yanı sıra çimentonun daha çevreci bir malzeme olmasını da sağlamaktadırlar [8]-[10].

Sepiyolit, Sepiyolit-Paligorskit grubunda yer alan ve magnezyum hidrosilikattan oluşan doğal bir kil mineralidir. Lifsi bir yapıya sahip olmakla beraber bu yapı tetrahedral ve

oktahedral oksit tabakalarının sıralanması sonucu oluşur. Ayrıca lif boyunca kanal boşluklarına sahiptir [11].

GRC teknik terimi prekast sektöründe çok yer almaktadır. Glassfibre Reinforced Concrete yani Cam Elyaf Takviyeli Beton olarak Türkçe'ye çevrilebilmektedir. Çimento, cam lifleri ve bir takım kimyasalların karıştırılmasıyla elde edilen bu beton tipi oldukça dayanıklıdır. Bilinen geleneksel betonlara nazaran basınç, eğilme ve darbe dayanımlarının yüksek oluşu günümüzde bina cephe kaplamalarında tercih edilen bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde bazı sepiyolitlerin gerek puzolanik gerekse filler malzemesi olarak çimentolu kompozit üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada Eskişehir yöresi öğütülmüş sepiyolitinin ikameli çimento üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda sepiyolit puzolanik aktivitesi belirlenmiş ve sepiyolit ikame edilerek üretilen çimentoların hidrasyon özellikleri ortaya konulmuştur. Sepiyolit ikameli çimentoların hamur ve harç fazındaki özelliklerine ek olarak GRC özelliklerine etkisi araştırılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GRC)

İstenen formun her türlü kalıpla kolayca üretilmesine olanak sağlayan prekast, cam elyafı özel bir beton olarak sektörde GRC olarak da bilinir. 1940'lı yıllarda Rusya'da geliştirilen bu beton 1970'li yıllarda yaygın bir kullanıma kavuşabilmiştir. Özel bir püskürme tekniği ile kalıplara uygulan sistemler sayesinde üretilen bu yapı elemanı dış cephe kaplamalarında sınırsız şekil çeşitliliğinden faydalanılmasını sağlar. Çimento karışımının hazırlanması özenle yapılması gereken bir iş olsa da püskürtmeli kalıplama yapabilen sistemlerin olmaması durumunda GRC'nin kullanılmayacağı da unutulmamalıdır. Hazırlanan kalıplar kolaylıkla istenen yere taşınabilir, hızlı bir şekilde montajı tamamlanabilir. GRC, çimentonun vaat ettiği dayanıklılığa çok daha hafif bir yapıda olmasına rağmen sahiptir.

Yüksek dayanıma sahip olan prekast malzemeler içeriğinden uygulamasına kadar bilinen klasik çimentodan çok daha farklıdır. Yüksek darbe dayanımına sahip olmasına ek olarak iklimsel şartlara karşı da yıllarca dayanabilmektedir.

Su ve nem geçirimsizliğinin az olması yapının daha uzun kullanım ömrüne sahip olmasını sağlar. Isı ve ses yalıtımında beklentileri karşıladığı için iç mekan tasarımlarında dahi pek çok iç mimar tarafından kullanılmaktadır.

İnşaat malzemeleri konusunda en önemli buluşlardan biri olarak GRC kabul edilmektedir. Dünyada yarım asra yakın bir süredir kullanılan GRC, düşük geçirgenliği ve çimento oranının yüksekliğiyle dış etkilere karşı maksimum dayanıklılık sağlar. İnşaat sektörüne getirdiği teknik ve estetik kolaylıkları nedeniyle muadillerine karşı büyük bir üstünlük sağlamıştır.

- Sınırsız şekil olanağı vardır,
- İstenilen renge boyanabilmektedir,
- İstenilen renklerde üretilebilir,
- Üstün yangın dayanımına sahiptir (A1 sınıfı),

- Akustik değerleri yüksektir,
- Yüksek sıcaklık, don ve neme karşı maksimum dirence sahiptir,
- Doğa ile tam uyumludur,
- Demir donatılı betonlara kıyasla daha üstün fiziksel değerlere sahiptir.

Araştırmacılar imento matrisinin yüksek alkali olması nedeniyle cam elyaf liflerinde aşınmalar meydana geldiğini ortaya koymuştur [12]. Bu sorunu ozmek için alkali dayanımı yüksek cam lifleri üretmişlerdir. GRC'nin sünekliliği az ve kırılğan bir malzemeye dönüşmesiyle son çalışmalarda GRC kırılğanlığı statik yorulma süreci olarak adlandırılmıştır. GRC'nin üzerinde zamana bağlı etkileri azaltmak için üretiminde çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır [13], [14].

0,32 su/imento oranına sahip olan GRC harcı, alkalilere karşı dayanımı yüksek özel cam elyafı ile bir araya gelerek basınç, eğilme ve darbe dirençleri açısından normal betona göre oldukça yüksek olan beton karışımını oluşturur. Karışımın içerisindeki alkaliye dayanıklı lifler donatı görevi üstlendiğinden malzemenin içerisine demir ya da elik donatı konulmamaktadır. Tüm bu özelliklerini nedeniyle GRC betonlar, 1-1,5 cm kalınlıkta ve her türlü formda prekast retimiyile tasarımcılara sonsuz yaratıcılık imkânı sunmakta, hafif bir yapıya sahip olması nedeniyle hızlı üretim, montaj ve nakliye imkânı sağlamaktadır [15], [16].

2.1.1. Fiziksel zellikleri

2.1.1.1. Su Geçirgenliği

Malzemenin geçirgenliği yapı malzemelerindeki dayanıklılık sorunları incelenirken dikkate edilmesi gereken en önemli etmendirdir. Özellikle su yapılarında betonun dayanıklılığını etkileyen betonun geçirgenliği, beton içerisindeki boşlukların imento hamuru ve agrega ara yüzeyindeki mikro çatlakların sonucudur. Betonların geçirgenlikleri ile porozitesi arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Burada önemli olan bu boşlukların çapı, miktarı ve süreklilik gibi özellikleridir.

Betonda dayanıklılıkla ilgili problemler betonun geçirimliliği ile başlar. Betonun geçirimsiz bir yapıda olması durumunda dayanıklılık problemlerine yol açan su ve zararlı sıvı bileşenler beton içerisine işleyemez. Yani geçirimsiz betonlarda don olayı veya betona kimyasal olarak zarar veren reaksiyonlar görülmez. Özellikle betonda tahribata yol açan zararlı sıvıların beton içerisine ilerlemesi sonucu meydana geldiği

düşünülürse beton dayanımında geçirgenliğin önemi anlaşılmış olur.

Betonda geçirimsizliği düşürebilmek için bazı önlemlerin alınması gerekmektedir;

- Düşük su/çimento oranına sahip betonlar üretmek,
- Agrega maksimum tane çapını düşük seçmek ve granülometrisi düzgün agrega kullanmak,
- Suyu miktarını optimum oranda kullanmak,
- Betonun iyi yerleştirmek,
- Optimum çimento dozajının altında çimento kullanmamak,
- Betonun en iyi şekilde kürlenmesini sağlamak,
- Geçirimsizlik sağlayan beton katkı malzemeleri kullanmak.

GRC betonlar, % 0,32 – 0,36 oranında su/çimento oranına sahip olmakla beraber bu özellik betonun porozitesinin çok düşük olmasını sağlayarak su geçirimsizliğinin azalmasını sağlar. GRC bu özelliği sayesinde üretilen diğer birçok prekast elemanlardan daha üstün bir üründür [17].

2.1.1.2. Hafiflik

Hafif agrega veya hava sürüklenmesi ile üretilen birçok hafif beton türü vardır [18]. Bunlardan biri olan GRC Prekast elemanların dekoratif elemanlar 1,4 – 1,5 cm kalınlıklarda, panel türündekileri ise 1–1,2 cm kalınlıklarında üretilmektedir. Dolayısıyla GRC prekast elemanları konvansiyonel prekast elemanlara göre daha hafif olmaktadır. Genellikle 1,2 cm kalınlığa sahip olan 1 m² GRC yaklaşık olarak 22 kg ağırlığındadır. Binaya uygulanan GRC Prekast elemanlar bina üzerine gereksiz aşırı yükler yüklememiş olur. Aynı zamanda montaj ve nakliye açısından da kolaylık sağlanmış olur [17].

2.1.1.3. Donma-Çözülme Dayanımı

Donma ve çözülme döngüsünün çok olduğu soğuk iklimlerde bile GRC Prekast elemanları başarıyla uygulanabilmektedir [17].

2.1.1.4. Yangın Dayanımı

Betonların yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında mekanik özelliklerindeki değişim birçok araştırmacı tarafından çalışma konusu olmuş ve yüksek sıcaklığa maruz kalan

betonların nasıl bir kimyasal, fiziksel ve mekanik etkilere neden olacağı önceden bilinmektedir [19], [20].

Prekast elemanlar yanmaz özellikte olmasının yanı sıra yüksek sıcaklıklarda bile betonun yapısı bozulmadan kalabilmektedir. DIN 4102 normuna göre GRC Prekast elemanları A-1 sınıfı yanmaz malzemelerdir.

2.1.1.5. *Ultraviyole Işınlara Dayanımı*

GRC Prekast elemanlarında beyaz çimentonun doğal rengi nedeniyle UV ışınlarına maruz kalma sonucunda herhangi bir bozulma yaşanmamaktadır. Renklendirilen betonlarda ise, kullanılan renklerin çok koyu olmadığı sürece, renk kaybı uzun yıllar oluşmamaktadır [17].

2.1.1.6. *Kimyasallara Karşı Direnç*

GRC Prekast elemanların asitlere karşı dayanımı konvansiyonel betonlara göre daha yüksektir. Prekast ya da uluslararası literatürde GRC olarak bilinen cam lif takviyeli beton özel üretim bir yapı malzemesidir [17].

2.2. GRC ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

2.2.1. Çimento

Çimento, harç ve beton gibi ürünlerde geçmişten bu yana en çok kullanılan ve özellikleri en az bilinen yapı malzemesidir. İstenilen özelliklerde bir beton elde etmek teknik bilgi ve deneyim isteyen çeşitli işlemleri içeren bir süreçtir.

1824 yılında İngiltere’de bir duvarcı ustası olan Joseph Aspdin tarafından portland çimentosunun keşfedildiği kabul edilir [21]. Aspdin doğal killi kalkerleri kullanmak yerine 3/4 kalker ve 1/4 oranında kili karıştırıp yüksek sıcaklıkta pişirerek dayanım ve dayanıklılığa özellikleri yüksek yeşilimsi gri renkte bir çimento elde etti. Ancak daha gelişmiş çimentolar 19. yüzyılda üretilmeye başlandı. Portland çimentosu bugün dünyada kullanılan hidrolik çimentoların büyük çoğunluğunu oluşturur [22].

Portland çimentosu genellikle gri renkte ve toz halinde bir maddedir. Klinkerin kalsiyum sülfat ve ağırlıkça % 0-5 arasında mineral katkıyla öğütülerek elde edilir. Çimento üretiminde kalker, kil ve gerekli olduğunda bir miktar demir ve alüminyum oksitler istenilen orantılı bir şekilde karıştırılarak öğütme işlemine tabi tutulur. Farin olarak isimlendirilen hammadde karışımı döner fırında 1400°C sıcaklığa kadar pişirilir.

Fırının çıkış kısmına doğru farin taneleri erir ve çeşitli reaksiyonlardan sonra granüle halinde klinker meydana getirirler. Soğutucudan çıkan klinker çimento üretim sürecinde bir ara ürün sayılır. Çimento, klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile öğütülmesiyle elde edilir.

Çimentonun kimyasal reaksiyon gerçekleştirebilmesi için klinker tanelerinin çimento tane inceliğine kadar öğütülmesi gerekmektedir. Çimento tane boyutları ortalama 15-20µ olduğundan, bu aşama sonucunda klinker tanelerinin yaklaşık 1000 kat küçültülmüş olması gerekmektedir. Ayrıca çimentonun su ile karıştırıldığında kimyasal reaksiyonların kontrolünün sağlanması için öğütme sırasında klinkere ağırlıkça %3-5 arasında kalsiyum sülfat (alçı) katılır [22], [23].

2.2.2. Cam Lifi

Kireçtaşı, silis kumu, asitborik, magnezyum ve alüminyumun karıştırılmasıyla elde edilen cam lifinin yapım işleminin eski çağlardan beri kullanıldığı Roma ve Mısır uygarlıklarından günümüze ulaşan gemi gövdelerindeki halat biçiminde camdan süslerden anlaşılmaktadır. 18. yüzyıldan bu yana yeni bir gelişme sürecine giren cam elyaf yapımı 20. yüzyıl başlarında Almanya'daki Hager kardeşler ve F. Rosenganth, ABD'deki Stafford ve Harford tarafından geliştirildi ve seri üretime geçerek kısa sürede yaygınlaştı. 1931'de bu alandaki araştırmalarını hızlandıran Owens-Illinois adındaki cam firması, 1938'de Corning Glass firmasıyla bir araya gelerek Owens-Corning Fiberglass firmasını kurmuş ve üç farklı yöntemle cam lifi üretimine başlamıştır [24].

Büyük ısıtma tankında üretilen cam bir elekten geçirilerek yukarıdan aşağı püskürtülen basınçlı hava ya da buhar jeti arasında yaklaşık 1 mm kalınlığında iplikler haline dönüştürülür. Isı ile yapışkan bir yapıya dönüşen reçine yardımıyla dönen kayış üzerine yapışan 20-25 cm uzunluğundaki bu cam iplikler uygun bir yoğunluğa kadar sıkıştırıldıktan sonra reçinenin katı hale geçmesi için fırınlanarak pamuk haline dönüştürülür. Cam pamuğu daha çok ses ve ısıya karşı yalıtım amaçlı inşaat malzemesi olarak kullanılır. Cam elyafı, bükümlü halat ve sürekli iplik olmak üzere iki ayrı biçimde ve yöntemle üretilir. İplik çapı önemli olduğundan üretilecek cam ısıtma tankına küçük pelletler halinde ve eriyen camın elekten geçiş hızına göre ayarlanabilen sabit bir hızla doldurulur. Erimiş cam, dönmekte olan bir silindir yüzeyine püskürtülerek 25-30 cm uzunluğunda esnek iplikler elde edilir. Bu iplikler istenilen inceliğe getirilerek bir makaraya sarılır, böylece bükümlü halat biçimi elde edilir. Daha

sonra reçineye yapıştırılıp tabakalar halinde sıkıştırma işlemi yapılarak yalıtkan malzeme haline dönüştürülür. Sürekli yapıdaki tek tel cam ipliği üretmek içinse birçok küçük deliği bulunan elekten geçirilen ve koyu tabaka halinde toplanan cam eriyiği dönen bir makara üzerine sarılır [24].

2.2.2.1. Fiziksel Özellikler

- Kesit görünüşleri yuvarlak olmakla birlikte saydam ve düzgün yüzeylidirler,
- İncelikleri 2-13 mikron arasında değişmekle birlikte 6µ inceliğindeki 1 kg cam lifi yüzeyi 280 m²'dir [25],
- Cam liflerinin kopma mukavemetleri 6-7,3 MPa arasında değişmektedir. İnce liflerin mukavemeti kalın liflerden daha yüksektir,
- Yoğunlukları 2,5-2,7 g/cm³ arasında değişmektedir. Bu bakımdan alüminyuma benzemektedirler [26],
- Cam liflerinin içeriğindeki nem miktarı %0,13-0,8 arasındadır. Kompozitlerde kullanılan cam liflerinin yoğunlukları yaklaşık 2,11 g/cm³ (D-tipi cam lifi) ile 2,72 g/cm³ arasındadır. Cam liflerinin mukavemeti buldukları ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte düşmektedir [27].

2.2.2.2. Kimyasal, Elektriksel Ve Termal Özellikler

- Cam lifleri yanmazlar ve 1150 °C civarında erirler,
- Asitlere karşı dayanıklıdırlar ancak sıcak hidroflorik asit ve fosforik asitten etkilenirler,
- Sıcak baz çözeltileri ve derişik bazlardan olumsuz etkilenmektedirler,
- Isıyı ve elektriği iletmemektedirler.

Cam liflerinin asitler, baz ve suya karşı dayanıklılığı ağırlık kaybındaki % değeri olarak belirtilmektedir. Bu değer azaldıkça camın korozif çözeltiliye karşı dayanımında artış meydana gelmektedir. Cam liflerinin dayanımı üzerine suyun önemli etkisi bulunmaktadır. Dayanım kaybı lif çapına ve içerdiği alkali oranına bağlı olarak değişmektedir. Cam liflerinin dayanımını sıcaklığın değişimi az da olsa etkilemektedir. -50°C' den +250°C'ye kadar değişen sıcaklığın etkisi pek görülmezken +250°C'den sonra sıcaklık ve zaman dayanımı etkilemektedir [27].

2.2.2.3. Kullanım Alanları

Cam liflerinin uzama yetenekleri ve sürtünme dayanımları düşüktür. Daha çok ısıya ve elektriğe karşı yalıtkan bir malzeme olması nedeniyle ısı ve elektrik yalıtkan malzemesinin yanı sıra plastik malzemelerin dayanımını arttırmak için takviye maddesi olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber bazı teknolojik özellikleri nedeniyle cam liflerinin kullanımı son derece önem kazanmıştır. Özellikle ısı yalıtkanlığı ve ısıya dayanıklı oluşu, röntgen ve radyasyon ışınlarını önlemesi bunların başında sayılabilmektedir. Işınlara ve yangınlara karşı perde, önlük, tente, miğfer, elbise gibi koruyucu eşya ve kumaşların yapılması bu özelliğine dayanmaktadır. Aynı şekilde tanker gemilerinde cankurtaran kayıkların ve yangından koruyucu eşyaların yapılmasında da cam lifleri kullanılmaktadır [27].

2.2.3. Silis Kumu

Dünyanın çokça bulunan madenlerden bir tanesi olan silis kumu yüksek sertliğe sahip bir malzemedir. Ülkemizde en çok Trakya ve Şile bölgelerinde bulunmakla birlikte bölgelere ve madenlerin yapısına göre içeriğindeki silis oranları, sertlik oranları ve kimyasal yapıları değişebilmektedir. Silis kumu çoğunlukla Şekil 2.1'de gösterildiği gibi sarı, bej, gri ve beyaz renklerde olabilmektedir. Silis kumunun içeriğindeki demir oksit ve silisyum dioksit oranlarına göre özellikleri artar veya azalır [28].



Şekil 2.1. Farklı renklerde silis kumu.

Atom numarası 14 olan silis "Si" simgesi ile gösterilir. Oda sıcaklığında katı fazdadır. 4A grubunda ve 2. periyotta bulunur. Nötr haldeki elektron diziliminde ilk halkada 2, ikinci halkada 8, üçüncü halkada 4 elektron bulunur. Nötr halde kararlı yapıya sahip değil ve yoğunluğu $2,33 \text{ g/cm}^3$ 'tür.

Silis kumu 1824 yılında Berzelius tarafından keşfedilmiştir. Yer kabuğunun yaklaşık

%25,7'si bu elementten oluşmaktadır. Oksijenden sonra bileşikleri halinde en fazla bulunan elementtir. Silis kumu doğada kum ve kuartz şeklinde bulunmaktadır.

Saf silisyum, kok kömürü ile elektrikli fırında silisyum oksidin indirgenmesi sonucunda elde edilir. Gerekenden daha fazla karbon kullanılması durumunda silisyum karbür (SiC) oluşur [29].

Silis Kumu, en az %98 oranında SiO₂ içermektedir. Silisyum ve oksijen dünyada en çok bulunan elementlerdendir ve birlikte silikayı yani dünyada kaya formundaki üç mineralden birini oluşturmaktadır. Silika 3 ana kristal formda bulunur ve en çok Quartz formundadır. Bu cevherler sıcaklığa ve kimyasal etkilere maruz kaldığında yüksek dayanım göstermektedirler. Bu özelliği nedeniyle farklı endüstrileri kollarında kullanılmaktadır [30].

Silis kumlarının kullanım alanları çok çeşitli olmakla birlikte özellikle inşaat sektörünün birçok alanında hammadde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca temel olarak cam üretiminde, filtre kumu olarak silis kumu kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları yüzey sertleştiricileri, fayans-seramik yapıştırıcıları, elyaf takviyeli prekast ürünler üretimi, cam yünü üretimi gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Silis kumunun aşınma dayanımı yüksek, sert hava koşullarına dayanıklı ve kimyasallara karşı yüksek kararlılığa sahiptir [30].

Silis kumunun kullanım alanları ise başta elektrik ve inşaat sanayisidir. Saf Silis kumu transistör, diyot ve diğer yarı iletkenlerin imalatında kullanılmaktadır. Ayrıca pirinç, çelik ve bronz üretiminde de alaşım elemanı olarak kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı ve inert olduklarından hidrolik sıvılarında, yağlayıcılarda, su geçirmeyen malzemelerde, vernik ve emayelerde kullanılırlar [30].

Kum ve kil formu özellikle tuğla ve beton yapımında kullanılır. Silikat formu ise mine, emaye yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca çeliğin bileşimine de katılmaktadır. Mekanik, elektriksel ve termal özellikler taşıyan kum halindeki silika, camın da esas bileşenini oluşturmaktadır. Elektronik mikroçiplerin üretiminde yarı iletken olarak kullanılır [30].

2.2.4. Kimyasal Katkılar

2.2.4.1. Akışkanlaştırıcılar

Akışkanlaştırıcılar, betonda aynı kıvamın ya da işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlayan kimyasal katkılardır. Taze betonda kullanılan su miktarının azalması betonun dayanımını artırmaktadır. Azalttığı su miktarına göre normal ve süper olarak adlandırılmaktadırlar. Yüksek performanslı beton elemanların üretiminde, erken ve son dayanımları arttıran, yüksek oranda su azaltıcı beton katkıları süper akışkanlaştırıcılardır. Beton içerisindeki çimentonun homojen dağılmasını sağlayarak, betonun su ihtiyacını önemli oranda azaltır ve betonun su geçirimsizliğine katkıda bulunur. Beton bünyesindeki agregaların, çimentonun ve varsa mineral katkıların çok iyi bir şekilde ıslanmasına katkıda bulunur. Böylece betonun dayanıklılığını da arttırmaktadırlar.

Kullanım alanları:

- Mükemmel akışkanlık istenen betonlar,
- Yüksek dayanımlı betonlar,
- Yerleştirme zorlukları bulunan ince sık donatılı betonarme imalatları,
- Yüksek oranda su azaltma istenen betonlarda,
- Öngermeli beton imalatında,
- Prekast ve prefabrik beton üretiminde kullanılmaktadır.

Özellikleri / Avantajları:

- Dayanıklı beton üretimi elde edilir,
- Düşük su/çimento oranı sayesinde betonun su geçirimsizliğine katkıda bulunur,
- Betonun kendiliğinden yerleşmesini sağlar,
- Betonun uzun mesafelere pompalanmasını mümkün kılar,
- Prekast elemanların üretimi sırasında kür süresi ve sıcaklığını azaltarak enerji tasarrufu sağlar,
- Betonun karbonatlaşma hızını düşürür,
- Daha düzgün beton yüzeylerin elde edilmesini sağlar,

- Segregasyon riskini ortadan kaldırır.

2.2.4.2. Polimer Katkı Malzemeleri

GRC üretiminde, çimento esaslı harç ve sıvalarda kullanılan polimer katkıları aderansın ve su geçirimsizliğinin artırılması için kullanılır ve kopolimer dispersiyon esaslı katkı malzemesidir.

Kullanım Alanları:

- Prekast beton üretiminde,
- Tamir harçlarında (katkı olarak),
- Sıvaların tamiri için hazırlanan harçlarda aderans katkısı olarak,
- Sıva ve şaplarda su geçirimsizlik katkısı olarak,
- Betonarme silolarda,
- Havuzlar, su depoları, arıtma tesislerinin iç ve dış sıvalarının aderansı ile su geçirimsizliğin artırılmasında.

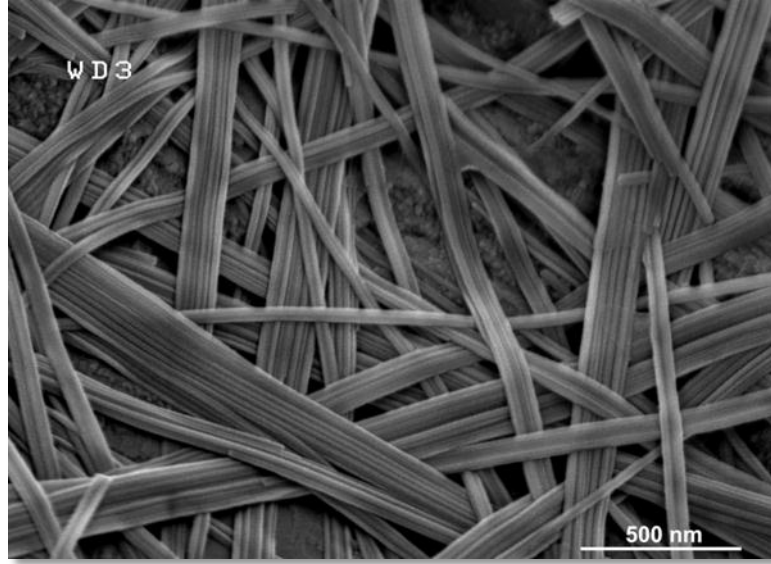
Avantajları:

- Güçlü bir bağ oluşturur,
- Mükemmel elastikiyet ve aderans sağlar,
- Mekanik ve kimyasal etkilere karşı yüksek direnç sağlar,
- Rötire çatlaklarına engel olur,
- Su geçirimsizliği sağlar,
- Donma - Çözünme döngüsüne dayanıklıdır,
- İşlenebilirliği artırır.

2.3. SEPIYOLİT

Fillosilikatlar (tabakalı silikatlar) grubunda bulunan magnezyum hidrosilikattan oluşan doğal bir kil minerali olan sepiyolit Şekil 2.2’de gösterildiği gibi lifsi yapıya sahiptir [32]. Ayrıca, yüksek yüzey alanı, porozitesi, kompozisyonu ve kristal morfolojisi, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli süspansiyonlar oluşturması, yüzey aktivitesi gibi teknolojik uygulamalara temel oluşturan sorptif, reolojik ve katalitik özellikleri

nedeniyle birçok kullanım alanına sahiptir [31].



Şekil 2.2. Sepiyolitın taramalı elektron mikroskopunda görülen lifsi yapısı.

Sepiyolitın kimyasal formülü Nagy-Bradley'e göre şu şekildedir:

Sepiyolit: $(Si_{12})(Mg_9)O_{30}(OH_6)(OH_2)_4 \cdot 6H_2O$ [33].

Sepiyolit kelimesi ilk kez 1847 yılında Glocker tarafından kullanılmıştır. Yunancada "mürekkep balığı" anlamına gelen kelimedenden türetilmiştir. Sepiyolit adındaki ticari killer ülkemizde sepiyolitik kil ve lületaşı olarak iki grupta değerlendirilmektedir [34]. Ülkemizde lületaşı, yüzyıllardır bilinen ve aynı zamanda ihraç ettiğimiz mineral olmasına rağmen tabakalı tip, sedimanter oluşumlu sepiyolit yataklarına yönelik araştırmalar son yıllarda başlamış ve kullanım alanlarının belirlenmesine yönelik teknolojik çalışmalar hız kazanmıştır [35].

Sepiyolit ısı işlemlere karşı hassastır. Adsorbe ve zeolitik su molekülleri ısı derecesi arttıkça kaybolur. Ayrıca asitlerle etkileşime girip kristal yapısı bu işlem sonucu kısmen bozulabilir. Hem ısı hem de asit etkileri, sepiyolitın yüzey özelliklerini ve porozitesini değiştirebilir. Böylece mineralin en önemli özelliklerinden (kolloidal, absorptif ve katalitik özellikler) bazılarını bu işlemlerle değiştirebilmek mümkündür. Çizelge 2.1'de, bazı tipik sedimanter sepiyolit, lületaşı ve atapulgit (paligorskit) cevherlerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir [36].

Çizelge 2.1. Bazı tipik lületaşı, sedimanter sepiyolit ve atapulgit (paligorskit) cevherlerinin kimyasal bileşimleri.

Bileşim	Lületaşı	Lületaşı	Sedimanter sepiyolit (Sanayi sepiyoliti)					Hidrotermal Sepiyolit	Alüminyumlu sepiyolit	Laflinit
(%)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
SiO ₂	52,90	54,02	53,70	55,97	60,60	52,05	52,50	57,00	52,43	50,80
Al ₂ O ₃	0,27	0,19	1,15	1,56	1,73	1,03	0,60	8,50	7,05	0,66
MgO	25,89	23,13	23,31	22,81	22,45	23,74	21,31	10,10	15,08	16,18
K ₂ O	-	0,02	0,61	0,27	0,58	-	-	1,20	-	-
Na ₂ O	-	0,02	0,67	0,12	0,16	-	-	3,70	-	8,16
FeO	-	-	0,02	-	-	0,01	0,70	-	2,40	1,51
Fe ₂ O ₃	0,36	0,51	0,64	0,77	0,62	0,04	2,99	2,50	2,24	1,05
TiO ₂	-	-	-	0,12	-	-	-	0,30	-	-
MnO	-	-	-	0,02	-	-	-	0,20	-	-
CaO	0,01	0,06	0,03	0,57	0,40	0,51	0,47	2,00	-	0,12
A.Z.	20,55	21,63	19,59	17,75	13,22	21,71	21,27	13,35	19,97	22,60

(1) Eskişehir-Sepetçi; (2) Konya-Yuna; (3) Konya; (4) Eskişehir-Sivrihisar; (5) İspanya-Vallecas; (6) Japonya-Kuzuu District; (7) Madagaskar; (8) Bolu-Kıbrısık; (9) Avustralya- Tintinara; (10) USA Wyoming

İnce taneli ve kaygan görümlü bir yapıya sahip olan tabakalı sepiyolit, genellikle krem, gri, beyaz veya pembe renkli olabilmekle beraber içeriğindeki organik madde miktarına bağlı olarak koyu kahverengi ve siyahımsı da olabilmektedir. Çin ve Ampandrandawa (Madagaskar) sepiyolitleri gibi bazı uzun lifsi formlar ise beyaz ve açık sarı renktedir. Nemli olduğunda tırnakla çizilebilecek sertliktedir. Sepiyolitin kuruma sıcaklığı 40 °C, erime sıcaklığı ise 1400-1450°C arasındadır [31].

2.3.1.1. Absorpsiyon Özelliği

Sepiyolit ısıtma işlemine tabi tutulduğunda absorpsiyon özelliğinde azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise yapısal değişime bağlı olarak mikroporlar yıkılmasıdır. Ayrıca sepiyolit mineralinin genleşme özelliği bulunmamaktadır.

Yüksek absorpsiyon özelliğine sahip olması nedeniyle sepiyolitin başlıca kullanım alanları:

- Çiftlik ve ahırlarda koku giderici olarak; evcil ve ahır hayvanlarının atıklarının emilmesi ve koku gidermesi için zeminlerde,
- Madeni esaslı yağlar, bitkisel yağlar ve parafinlerin rafinasyonunda,

- Sigara filtreleri ve karbonsuz kopya kâğıtlarında,
- Tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak,
- Atık su arıtma sistemlerinde,
- Deterjan ve temizlik maddelerinde,
- Sindirim sistemi ile ilgili ilaçlarda toksin ve bakteri emici formülasyonlardır.

2.3.1.2. Katalitik Özelliği

Mekanik dayanımı, yüksek yüzey alanı ve termal duraylılığından dolayı son zamanlarda katalizör taşıyıcı olarak sepiyolit granülleri tercih edilmektedir. Sepiyolit, denitrojenasyon, hidrojenasyon, demetilizasyon, desülfürizasyon, etanolden butadien ve metanolden hidrokarbon elde edilmesi gibi birçok katalitik süreçte W, Ni, Co, Fe, Mo, Cu, Al, Mg'un katalitik destekleyicisi olarak kullanılmaktadır. Sepiyolit tanecik yüzeyindeki Silanol (Si-OH) grupları belli derecede asit özellik göstermekte ve katalizör ya da reaksiyon merkezi olarak davranabilmektedir. Bu gruplar sepiyolit lif eksenini boyunca 5 Å ara ile sıralanmışlardır. Sepiyolit asitle etkileşimi sonucunda alanında artış meydana gelir, gözenek dağılımı ve kristallik derecesi etkilenir.

Sepiyolit katalitik uygulamaları:

- Etanolden butadien üretimi,
- Olefinlerde doymun olmayan C=C bağlarının hidrojenasyonu,
- Metanolden hidrokarbon üretimi,
- Otomobil ekzosları ve fabrika bacaları için katalitik seramik filtre imali,
- Sıvı yakıtların hidrojenasyonu olarak sıralanabilir.

2.3.1.3. Reolojik Özellikleri

Sepiyolit, sıvılarla düşük derişimlerde viskozitesi yüksek (1000-40.000 cps/5 rpm, Brookfield) ve durabiliteli süspansiyonlar oluşturur. Tiksotropik özellik göstermesi nedeniyle sepiyolitten yapılan süspansiyonlar yapıştırıcı, gübre ve kozmetik karışımlarında kalınlaştırıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca sepiyolit diğer killere göre tuzlu ortamlarda durabilitesi daha yüksektir ve bu nedenle özellikle petrol sondajlarında çamur malzemesi olarak kullanılmaktadır. pH değeri 8'e kadar iyileştirici özelliklerini korumasına karşın pH değeri 9 ve üzerindeki ortamlarda peptizasyon viskozitede ani bir düşüşe neden olmaktadır.

Reolojik özelliklere sahip olması nedeniyle kullanıldığı alanlar:

- Çözelti kalınlaştırıcı olarak asfalt kaplamaları, boya, gres yağı ve kozmetik ürünlerinde,
- Yüksek elektrolit derişimi ve sıcaklığa sahip derin sondaj kazılarında çamur malzemesi olarak,
- Tohum kaplama ve gübre süspansiyonlarında,
- Bağlayıcı özelliğinden dolayı eczacılıkta tablet olarak,
- Dolgu maddesi olarak kâğıt, filtre, mukavva ve kauçuk sanayilerinde,
- Tuğla ve seramik ürünlerinde (özellikle honeycomb seramikler),
- Deterjan sanayisinde,
- Besicilikte yemle karıştırıldığında verim artışı sağlamaktadır.

2.3.1.4. *Dünyada Ve Türkiye 'de Sepiyolit*

Lületaşı tipi sepiyolit yatakları ülkemiz haricinde özellikle Tanzanya, Somali, Kenya ve Meksika'da bulunmaktadır. Somali Cumhuriyeti'nde yüksek kalitede, düşük yoğunluklu ve porozitesi yüksek lületaşı ile birlikte sedimanter (tabakalı) sepiyolit oluşumları da bulunmaktadır. Bu oluşumlar Mogadişu'nun 350 km kuzeybatısında, El-Bus civarında, Mudug'dadır. Bunların toplam rezervi 2 milyon tonu görünür olmak üzere, 50-100 milyon ton aralığında olduğu düşünülmektedir. Kenya lületaşı yatakları Kenya-Tanzanya sınırında bulunan Amboseli Gölü kenarında Sinya'dadır ve kuzeye doğru Kenya içine doğru uzamaktadır [36].

Dünya sedimanter sepiyolit üretiminin neredeyse tamamı İspanya tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu ülkeye ait sepiyolit rezervlerinin 15-20 milyon ton aralığında olduğu tahmin edilmektedir [37].

Dünyadaki en kaliteli lületaşı oluşumları Türkiye'de olmakla beraber Eskişehir ve Konya illerinde çıkarılmaktadır. Eskişehir'in batısında Nemli-Dutluca bölgeleri, doğusunda Margı, Sepetçi, Gökçeoğlu, Sarısu, Kayı ve Türkmentokat lületaşı açısından en önemli bölgelerdir ve bu yörelerde 2000 yıldan beri üretim faaliyetleri göstermektedir. Bunların dışında, özelliği itibarıyla hayvan yaygısı olarak kullanılabilen ve sepiyolit içeriği %50'nin altında olan oluşumlar belirlenmiştir [38]. %50'nin üzerinde sepiyolitli cevher rezervi, görünür rezerv bazında 13.546.450 ton civarındadır

[39]. Hayvan yaygısı olarak kullanıma uygun sepiyolit rezervlerinin ise bir kaç milyon ton dolaylarında olduğu düşünülmektedir.

2.3.1.5. Sepiyolitle Yapılan Çalışmalar

T. Kavas ve diğ. yaptıkları çalışmada, Portland çimentosu klinkeri ve %5 oranında alçı taşı katılan karışıma sırasıyla %3, %5, %10, %15, %20 ve %30 oranlarında sepiyolit katılmış ve çimentonun özellikleri iyileştirmeye çalışılmıştır. Üretilen karışımlara genişleme deneyleri, blaine testleri, elek analizleri, priz başlangıcı ve priz sonu, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı gibi fiziksel ve mekanik testler ile kimyasal testler yapılarak çimentoya ilave edilen sepiyolit hangi oranlarında bu özellikleri geliştirdiği tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda betona %10 sepiyolit ilavesinin klinker miktarındaki azalmaya rağmen çimentonun basınç ve eğilme dayanımını iyileştirdiği, ayrıca çimentonun diğer özelliklerinde de herhangi bir olumsuzluğa neden olmadığı tespit edilmiştir [40]. Yaptıkları diğer bir çalışmada ise sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerinin yapısal özellikleri ve en uygun karışım oranları araştırılmıştır. %10 sepiyolit (doğal kil minerali) elyaf ilavesi harçın mekanik ve fiziksel özelliklerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sıradan Portland çimento karışımı ile karşılaştırıldığında, sırasıyla 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı %3,5, %6,2 ve %7,7, eğilme dayanımı %12,7, %5,7 ve %6,3 olarak elde edilmiştir. Taramalı elektron mikroskopu resimlerine dayanarak bu iyileşmenin sepiyolit elyaflar ile çimento matrisi arasında bir ağ yapısının oluşmasıyla sağlandığı görülmüştür [41]. Fuente, E ve diğ. oluklu çatı örtüsünün sepiyolit katkıli lifli betondan üretilebileceğini ortaya koymuştur [42], [43]. Andrejkovičová S. ve diğ. yağlı kireç ile %10, %20 ve %30 metakaolin ikameli harçlara çimentonun ağırlıkça %5'i oranında ince sepiyolit ekleyerek düşük nemli ortamlarda tamir harcı olarak kullanılıp kullanılmayacağını araştırmış ve %20 metakaolin ve %5 sepiyolit ikameli yağlı kireç harcının 180 gün sonra sepiyolit ikamesiz karışıma göre daha yüksek basınç ve eğilme dayanımlarına sahip olduğunu göstermiştir [44].

Martínez-Ramírez, S. ve diğ. sepiyolit katkıli kireç harcının karbonatlaşma süreci ve özellikleri üzerine araştırma yapmış ve %5'ten daha az sepiyolit ikameli harçın mekanik özellikleri üzerine etkisinin olmaması ve su emme özelliğinin olması nedeniyle kireç harçlarında karbonatlaşma sürecini yavaşlattığını ortaya koymuştur [45].

RocíoJarabo ve diğ. çimento harçlarının işlenebilirliği üzerine yaptıkları araştırmada sepiyolit Anyonik Poliakrilamidlerin (A-PAM) indüklediği farklı lif takviyeli çimento

harçlarının flokülasyonu üzerine etkilerini incelemiştir. Flokülasyon ve flok özellikleri, Odaklı Işın Gerilimi Ölçümü (FBRM) probu kullanılarak gerçek zamanlı olarak bağ boyut dağılımının izlenmesi ile incelendi. Sonuçlar, sepiyolit lifli çimento süspansiyonlarında flok boyutunu ve stabilitesini arttırdığını göstermektedir. Sepiyolit, A-PAM adsorpsiyonu için lif ve kil ile rekabet etmiş ve A-PAM ile olan bu etkileşimi mineral partiküllerin flokülasyonunu geliştirmiştir [46].

Sepiyolit ikameli çimento harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini üzerine yapılan çalışmada CEM I 42,5 R çimentosu yerine ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında Eskişehir yöresine ait sepiyolit ikame edilerek yeni katkılı harçlar elde edilmiştir. Üretilen sepiyolit katkılı harç numunelerin 7, 28 ve 56 günlerdeki fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak sepiyolit katkı oranının çimento miktarının %10'unu aşmaması önerilmiştir. Daha yüksek oranlarda kullanımların sadece taşıyıcı olmayan bölme duvarlar gibi uygulamalarda ve tesviye betonlarında önerilmiştir [47].

Duvar elemanı olarak kullanılan gaz betonun yaygınlaşmasıyla bu yapı malzemesi üzerine yapılan araştırmalar da hız kazanmıştır. Bu amaçla, M. Savaş ve diğ. gazbeton üretiminde hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine sepiyolit ikamesinin gaz betonunun basınç ve ısı özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, duvar elemanı olarak kullanılan G2/04 sınıfı gaz beton üretimi esas alınmıştır. Hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine Eskişehir Sivrihisar maden sahasından alınan sepiyolit %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilmesiyle gaz beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler 60°C sıcaklıkta 4 saat süre ile kür işlemine tabi tutulduktan sonra 180 °C'de 11 bar basınçta 6,5 saat boyunca otoklavda küre tabi tutulmuştur. Üretilen numunelerin ısı iletkenlik özellikleri ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak sepiyolit oranının artırılması ile numunelerin basınç dayanımlarında azalmaya neden olurken ısı iletimde iyileşme görülmüştür [48].

Puzolanlar, bağlayıcılık özelliği olmayan ya da bağlayıcılık değeri az olan fakat ince sulu ortamda kalsiyum hidroksitle bir araya gelerek hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanan alüminalı ve silikalı malzemelerdir. Sepiyolit puzolanik aktivitesi üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Bir çalışmada standart sepiyolit numuneleri, 370, 570 ve 830°C'de kalsine işlemine tabi tutulmuş, ham ve kalsine sepiyolit-çimento harçlarının teknolojik özellikleri 2, 7, 28 ve 91 gün boyunca 40°C'de reaksiyon sonrasında reoloji ve basınç dayanım testleri ile incelenmiştir. Sonuçlar olarak, sepiyolit puzolanik bir madde olarak oldukça inaktif olduğunu ve su ihtiyacının yüksek olduğunu ortaya

konulmuştur. 370°C'den 570°C'ye kadar kalsinasyon önemli ölçüde yükselmemektedir. En etkili kalsinasyon sıcaklığı 830°C'dir, bu da harcının basınç dayanımını, referans Sıradan Portland Çimento (OPC) harcının basınç dayanımını %84 oranında yükseltmektedir [49].

Song Pu ve diğ. yaptığı bir çalışmada, kütlece %0-20 (%5 artış) sepiyolit karıştırılan sodyum silikat ve sodyum hidroksit çözeltileri ile aktive edilen uçucu kül-metakaolin jeopolimerinin basınç dayanımı, eğilme mukavemeti ve mikro yapısı araştırılmıştır. %10 sepiyolit eklenerek yapılan karışımlarda 7 günlük basınç dayanımında artış gözlenirken sepiyolit ilavesinin artmasıyla dayanımda azalma meydana gelmiştir. Benzer şekilde, %10'a kadar sepiyolit ilavesi, kürlenmeden bağımsız olarak eğilme dayanımında iyileşme göstermiştir. %10 sepiyolit ihtiva eden numunelere kıyasla, %20 sepiyolit ihtiva eden numunede bazı çatlaklar gözlemlenmiştir [50].

Hava sürüklemenin sertleşmiş harçların gözenek ağındaki etkilerini belirleyebilmek için yapılan çalışmada hava sürüklenmiş çimento pastasının reolojik özellikleri incelenmiş, alüminyum tozu ile köpürtülen çimento pastaları üzerine yapılan araştırma yapılmıştır. Sonuç olarak sıradan Portland çimentosundaki Silisli Uçucu Küllerin (SFA) Metakaolin (MK) ve/veya SP ile birleşmesiyle en büyük genleşme hızı artışına neden olduğu görülmüştür [51].

Sepiyolit'in çimento harç karışımları üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra polimer bağlayıcılar ile nasıl bir davranış sergilediği merak konusu olmuş ve yapılan bir çalışmada polimer, polivinil-alkol ve poliüretan ilavesinin sepiyolit'in reolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, polimer moleküllerinin sepiyolit parçacıklarının yüzeyine bağlandığını ve akış özelliklerini belirli konsantrasyonlarda kararlı hale getirdiğini göstermiştir. Ayrıca, PU polimerinin sepiyolit yüzeyini PVA'ya oranla daha hızlı kapladığı ancak PVA kaplamasının daha pürüzsüz olduğu tespit edilmiştir [52].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

3.1.1. Çimento

Çalışmada, Bolu Çimento Fabrikası'ndan temin edilen TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilen Şekil 3.1'de gösterilen CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel analizi Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. CEMI 42.5 R çimento.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel analizi.

Bileşenler (%)	CEMI 42,5R	TS EN 197-1	Fiziksel Özellikler			TS EN 197-1
CaO	63,03	C+S≥%50	Priz Başlama (Dak.)	Başlama	125	min. 60
SiO ₂	29,12			Bitiş	202	-
Al ₂ O ₃	4,77	-	Yoğunluk (g/cm ³)		3,17	-
Fe ₂ O ₃	4,37	-	Blaine İnceliği (cm ² /g)		4359	-
MgO	2,35	Lim.≤%5	Toplam Hacim genleşmesi (mm)		1,5	max. 10
SO ₃	2,99	Lim.≤%4	45 µm elek üstü %		2,5	-
Na ₂ O	0,29	-				
K ₂ O	0,49	-	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2 Gün	27,5	min. 20
Cl-	0,0141	Lim.≤%0,10		7 Gün	45,7	-
Kızdırma Kaybı	1,30	Lim.≤%5		28 Gün	56,8	min. 42,5 max. 62,5
Çözünmeyen Kalıntı	0,46	Lim.≤%5				

3.1.2. Cam Lifi

Çalışmada kullanılan cam lifi Şekil 3.2’de gösterildiği gibi 12 mm uzunluğunda kırılmış olarak tüm sepiyolit ikameli ve ikamesiz GRC örneklerinde ağırlıkça %3 oranında kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan kırılmış cam lifi.

3.1.3. Sepiyolit

Çalışmada kullanılan sepiyolit Eskişehir yöresinden elde edilmiş olup ham, 500-700-900°C sıcaklıklarda kalsine işlemine tabi tutulmuştur. Ham ve 900°C’de kalsine edilen sepiyolit çimentolu numunelere %0-5-10-15-20 oranlarında ikame edilerek deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Ham sepiyolit Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Ham Sepiyolit.

Çalışmada kullanılan sepiyolit kimyasal analiz değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ham sepiyolit kimyasal analiz sonuçları.

Ham Sepiyolit Kimyasal İçeriği (%)			
MgO	23,06	Fe ₂ O ₃	0,23
Al ₂ O ₃	0,45	Cr ₂ O ₃	0,001
SiO ₂	26,34	Na ₂ O	0,07
SO ₃	0,05	Mn ₂ O ₃	0,0023
K ₂ O	0,20	TiO ₂	0,05
CaO	14,59	Diğ.	35,75

3.1.4. CEN Standart Kumu

Çeşitli ülkelerde imal edilen CEN standart kumu TS EN 196-1 standardına göre çimentonun dayanımının belirlenmesinde kullanılır [53]. Silisyum dioksit miktarı en az %98 olan ve tercihen yuvarlak tanecikli doğal silis kumunun tanecik büyüklük dağılımı Çizelge 3.3’e uygun olmalıdır.

Çizelge 3.3. CEN Referans kumunun tane büyüklüğü dağılımı.

Kare göz açıklığı mm Kümülatif elekte kalan %	Kare göz açıklığı mm Kümülatif elekte kalan %
2,00	2,00
1,60	1,60
1,00	1,00
0,50	0,50
0,16	0,16
0,08	0,08

Çalışmada, CEN standart kumu TS EN 196-1’e uygun olarak önceden karıştırılmış deneye hazır halde 1350±5 g’lık plâstik torbalar halinde temin edilmiş ve harcın hazırlanmasında kullanılmıştır. Şekil 3.4’te CEN standart kumu verilmiştir.



Şekil 3.4. CEN standart kumu.

3.1.5. Silis Kumu

Çalışmada Çeliktaş Sınai Kumu Sanayi ve Tic. A.Ş.'den temin edilen AFS 30-35 silis kumu cam lif takviyeli sepiyolit ikameli numune üretimlerinde kullanılmıştır (Şekil 3.5). GRC üretiminde kullanılan kuma ait tane dağılımı Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Cam lif takviyeli numunelerde kullanılan silis kumu.

Çizelge 3.4. 30-35 AFS Silis kumu tane dağılımı.

Elek Boyutu (Mikron)	Analiz Sonucu (%)	Kabul Aralığı (%)
+1000	4,0	0-7
710-1000	10,3	2-12
500-710	29,7	20-40
355-500	33,4	15-45
250-355	16,3	2-24
180-250	4,9	1-10
125-180	1,2	0-2
90-125	0,2	0-1
0-90	0,0	0
AFS	32,4 AFS	30-35
KİL	0,20	Max: 0,25

3.1.6. Polimer Katkı Malzemesi

Çalışmada, cam lifli takviyeli beton üretiminde su geçirimsizliğinin ve aderansın artırılması için kullanılan kopolimer dispersiyon esaslı Bettolatex marka katkı malzemesi kullanılmıştır (Şekil 3.6). Polimer katkı malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.6. Kopolimer dispersiyon esaslı polimer katkı malzemesi.

Çizelge 3.5. Polimer katkı malzemesinin teknik özellikleri.

Malzemenin Yapısı	Modifiye Polimer Dispersiyon
Renk	Beyaz
Yoğunluk	1,05 ± 0,05 kg/lt
pH	6,0 ± 1,05
Uygulama Sıcaklığı	+5°C +35°C

3.1.7. Akışkanlaştırıcı

Çalışmada akışkanlaştırıcı katkı olarak polikarboksilat esaslı BUILDENT WR-780 marka süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı.

Her bir deney serisine bağlayıcı miktarının %1 oranında katılmıştır. Akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Teknik Özellikleri	
Kimyasal İçeriği	Polikarboksilat Esaslı
Form	Likit
Renk	Açık Kahverengi
Ph	2,5
Yoğunluk	1,11 (25°C)
Viskozite (Brookfield), cps	500 (25°C)

3.1.8. Su

Çalışmada örneklerin üretiminde kullanılan karışım suyu Düzce Belediyesi içme suyu şehir şebekesinden temin edilmiştir.

3.2. METOT

3.2.1. Toz Örnekler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar

3.2.1.1. Yoğunluk Deneyi

Ölçümler Micromeritics marka Accupyc II 1340 model tam otomatik gaz piknometre sistemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8). AccuPyc II 1340 gaz yer değişimi prensibine bağlı olarak ölçüm yapan tam otomatik gaz piknometre sistemidir. Literatürde helyum piknometresi olarak da geçmektedir. CEMI 42.5R, ham sepiyolit ve 500-700-900°C sıcaklıklarında 3 saat süre ile kalsinasyon işlemine tabi tutulmuş numuneler en az 5 tekrarlı şekilde ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Tam otomatik gaz piknometre sistemi.

3.2.1.2. Lazer Tane Boyut Analizi

Tane büyüklüğü ölçümü seramik, kum, kil, çimento, gıda, farmakoloji, kozmetik, boya, sedimentoloji ve zemin mekaniği gibi birçok endüstri ve mühendislik alanında ihtiyaç duyulan ölçümlerdendir. Tane büyüklüğünü belirlemek için çok farklı yöntemler bulunmakla birlikte lazer kırınım yönteminin temeli tanelerin büyüklüğü ile ışınların kırılma açısı arasındaki ters orantı ilişkisine dayanmaktadır. Bu yöntemde tanelerin üzerine lazer ışınları gönderilmekte, tanelere çarparak kırılan ve ileri yönde yansıyan

ışınlar bir merceğin içinden geçtikten sonra dedektörün üzerine düşmektedir. Dedektörün üzerine düşen ışınlar bilgisayar aracılığıyla tane büyüklüğü ve yüzdesi değerlerine çevrilmektedir [54].

Bu çalışmada ham, 500°C, 700°C ve 900°C’de kalsine işlemine tabi tutulmuş toz sepiyolit örnekleri üzerinde lazer tane boyut analizi Malvern Mastersizer 3000 marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Lazer tane boyutu analiz cihazı.

3.2.1.3. Termal Analiz

Termogravimetri, malzemelerde zamanın veya sıcaklığın bir fonksiyonu olarak oluşan kütle kaybı veya kazanımlarının belirlenmesinde kullanılır. Deney numunesi sabit bir ısıtma hızında ısıtılır ve kütle değişimi sıcaklığın bağı olarak ölçülür. Genelde deney numunesinin kütesinin değişmesine sebep olan reaksiyonlar; yükseltgenme reaksiyonları, bozunma veya bir bileşenin örnekten buharlaşmasıdır.

Kütlenin sıcaklığa veya zamana karşı çizilen grafiği TG eğrisidir. Sıcaklığa bağlı malzemenin kütesindeki değişim ve bu değişimin yayıldığı aralık malzemenin termal kararlılığının göstergesidir. Deneysel çalışmada kullanılan ham sepiyolite ait termal analizi Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde yapılmıştır.

3.2.1.4. Kimyasal Analiz

Bir malzemenin bileşenlerinin kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla X Işını Floresans Analizi (XRF) yapılmaktadır. Bu analizde numunenin içerisindeki elementleri ve bu elementlerin oksitlerinin yüzde olarak miktarlarını belirlemek mümkün

olmaktadır.

Bu çalışmada ham, 500°C, 700°C ve 900°C’de kalsine işlemine tabi tutulmuş toz sepiyolit örnekleri üzerinde kimyasal analizler Çimsa A.Ş. çimento fabrikasında yapılmıştır.

3.2.1.5. FT-IR Analizi

Bu analiz molekülün yapısındaki fonksiyonel grupları belirlemek için kullanılır. Maddeyle infrared ışığı etkileştiğinde kimyasal bağlar gerilir, sıkışır, eğrilir. Bunun sonucunda yapıdaki fonksiyonel gruplar yapının geri kalanından bağımsız bir şekilde belli dalga boyunda IR ışığını absorbe eder. Fourier transform infrared spectroscopy adındaki cihaz FT-IR şeklinde kısaltılabilir. Sepiyolit analizleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde bulunan Shimadzu IRPrestige 21 marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).

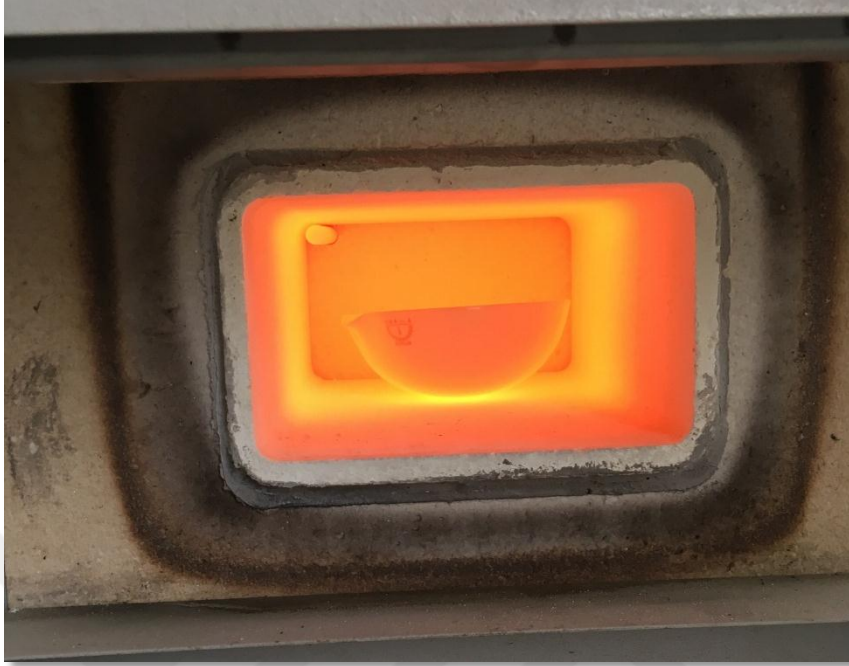


Şekil 3.10. F-TIR cihazı.

3.2.1.6. Kızdırma Kaybı Deneyi

Kızdırma kaybı betonu oluşturan ham maddelerde ne kadar yüksekse betonda dayanım ve durabilite sorunlarına o derece neden olur. Kızdırma kaybı deneyi çimentolarda hava şartlarından dolayı karbonatlaşan ve hidrate olan serbest kireç ve magnezyum seviyesini, uçucu kül ve agregada ise organik madde miktarını belirlemek için yapılır. Deney TS EN 196-2’ye uygun olarak ham sepiyolit üzerinde yapılmıştır [55]. Önceden kızdırılıp tartımı alınmış seramik kâseye $1\pm 0,05$ g numune tartılmıştır. Seramik kâse $975\pm 25^\circ\text{C}$ ’de kontrollü elektrikli fırına konulmuştur (Şekil 3.11). 5 dakika kızdırıldıktan

sonra kase 10 dakika daha fırında tutulmuştur. Kase desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve tartılmıştır.



Şekil 3.11. Yüksek sıcaklık fırınında sepiyolitın kızdırılması.

3.2.1.7. Kalsinasyon

Bir maddenin içeriğindeki karbondioksit ve nem gibi uçucu maddeleri uzaklaştırmak için o maddeyi erime noktasının altında ısıtma işlemine kalsinasyon denir. Cevherin öğütülme işleminden sonra yararlı hale getirmek için en sık yapılan işlemlerden birisidir. Çimento ve kireç de bazı maddelerin kalsinasyonu ile elde edilmektedir.

Bu çalışmada ham sepiyolit 3 saatlik süre boyunca 500°C, 700°C ve 900°C sıcaklıklarında Ref-San markalı kül fırınında kalsine işlemine tabi tutulmuştur.

3.2.1.8. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizleri

Deneye esas olmak üzere ham ve 900 °C'de kalsine edilmiş sepiyolit numunelerinin mikro yapılarının SEM görüntüleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde FEI marka QuantaFeg 250 model değişken basınçlı cihaz ile çekilmiştir. EDS analizleri ise EDAX marka Apollo X model cihazı kullanılarak yapılmıştır.

3.2.2. Hamur Fazında Yapılan Deneysel Çalışmalar

3.2.2.1. Kıvam Deneyi

Çimentonun kıvamı vicat aletinin sondasının serbest bırakıldığı andan itibaren 30 saniye içinde çimento hamuru içinden cam levhaya 5-7 mm uzaklık kalıncaya kadar batmasını sağlayan kıvamdır. Amaç kıvamı sağlayan su miktarını saptamaktır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Vicat aleti.

Bu deneyde çimentoya %5-10-15-20 oranlarında ham ve 900°C'de kalsine sepiyolit ikame edilerek TS EN 196-3'e uygun olarak belirlenmiştir [56].

3.2.2.2. Priz Başlangıç ve Bitiş Deneyi

Priz başlama süresi, çimento ile suyun karıştırıldığı andan itibaren vicat iğnesinin cam levhaya 3-5 mm uzaklık kalıncaya kadar geçen zamandır. Deney TS EN 196-3 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Kıvam deney prosedürlerine ek olarak iğnenin cam levhaya olan uzaklığı 4 ± 1 mm kaldığında priz başlama süresi, çimento pastasına 0,05 mm'ye kadar battığında ise priz bitiş süresi tespit edilmiştir.

3.2.2.3. Hacim Genleşmesi Deneyi

Çimento içindeki serbest kireç ve magnezyum oksit %5'ten fazla olması durumunda zamanla hacim genişlemesine neden olur. Bu hacim genişmesi çimento içerisinde iç gerilmelere neden olduğundan beton ve çimento bünyesinde hiçbir zaman istenmeyen

çatlamlar meydana gelir. Çimentonun genişmesinin saptanması çimento bileşiminde bulunan kalsiyum veya magnezyum oksidin hidrasyonu sebebiyle ortaya çıkaracağı, hacim değişimini belirleyeceği çimentonun magnezyum ve kalsiyum oksit miktarının uygun olup olmadığını saptamaktır.

Deney TS EN 196-3 standardına uygun olarak kıvam deneyinde bulunan su miktarı ile hazırlanan %0-5-10-15-20 ham ve 900°C'de kalsine sepiyolit ikameli çimento pastaları her biri için en az 3 adet olmak üzere Le Chatelier kalıplarına koyularak alt ve üstten cam plakalar ile kapatılmıştır (Şekil 3.13). Çimento hamuru kalıplara yerleştirilirken çubukların açılmaması için bağlandı. Nemli, 20±2°C ortamda 24 saat bekletilen kalıpların çubukları arasındaki ölçü alındıktan sonra kaynama sıcaklığındaki su banyosunda 3 saat bekletildi ve çubuklar arası ölçüm 0,5 mm hassasiyetliğinde tekrar alındı. Denklem 3.1'e göre sonuçlar değerlendirilmiştir.

$$A - B < 10mm \quad (3.1.)$$

A: Kalıplar kaynar su banyosundan çıkarıldıktan sonra alınan ölçü (mm)

B: Hamur kalıplara yerleştirildikten 24 saat nemli ortamda bekletildikten sonra alınan ölçü (mm)



Şekil 3.13. Le Chatelier kalıpları.

3.2.2.4. SEM ve EDS Analizleri

Deneyde 28 günlük külden çıkarılan çimento ağırlığının %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında ham ve 900°C'de kalsine sepiyolit ikameli toplam 9 adet hamur numunelerinden parçalar alınmıştır. Parçalar numune kaplarına konularak analize gönderilmiştir. Numunelerin mikro yapılarının SEM görüntüleri Düzce Üniversitesi

Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde FEI marka QuantaFeg 250 model değişken basınçlı cihaz ile çekilmiştir (şekil 3.14). EDS analizleri ise EDAX marka Apollo X model cihazı kullanılarak yapılmıştır.



şekil 3.14. Taramalı elektron mikroskobu.

3.2.2.5. *F-TIR Analizi*

Çimento ağırlılığının %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında ham ve 900°C'de kalsine sepiyolit ikameli harç numunelerinin F-TIR analizleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Shimadzu IRPrestige 21 marka cihaz ile gerçekteştirilmiştir.

3.2.2.6. *Termal Analiz*

Farklı oranlarda ham ve kalsine sepiyolit ikame edilen hamur numuneleri üzerinde termal iletkenlik analizi Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekteştirilmiştir.

3.2.3. Harç Fazında Yapılan Deneysel Çalışmalar

3.2.3.1. *Yayılma Çapı Deneyi*

TS EN 459-2 standardına göre yapılan deneyde %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında ham ve kalsine sepiyolit ikame edilen harç karışımları şekil 3.15'te gösterilen yayılma tablası üzerine sıkıca oturtulmuş huniye iki tabaka hâlinde doldurulmuştur [57]. Her harç tabakası tokmakla 10 defa hafifçe tokmaklanarak, kalıp homojen bir şekilde doldurulmuş ve fazla miktardaki harç sıyrılmıştır. Harcın sıyrılmasından 10-15 saniye sonra kalıp yavaşça ve dūřey olarak kaldırılmış ve motor tablaya saniyede bir dūřme

yaptırarak şekilde çalıştırılarak, tablaya toplamda 15 düşüş yaptırılmak suretiyle harcın yayılması sağlanmıştır. Daha sonra yayılmış harcın çapı birbirine dik iki doğrultuda kumpas kullanılarak ölçülmüştür. 1 mm doğrulukla yapılan ölçme sonuçlarının ortalaması alınarak en yakın 1 mm'ye yuvarlatılıp kaydedilmiştir.



Şekil 3.15. Çimento yayılma tablası.

3.2.3.2. Hızlandırılmış Deney Metodu İle Alkali-Silika Reaktivitesi

ASTM C-1260-01 standardına göre yapılan deneyde %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında ikameli ham ve kalsine sepiyolitli harç karışımları her birinden 3 adet numune üretilecek şekilde 25x25x285 mm boyutlarında kalıplara döküldükten sonra 24 saat nemli bir ortamda kürünü tamamlaması sağlanmıştır (Şekil 3.16) [58].



Şekil 3.16. Harç çubuğu çelik numune kalıpları.

Kalıplardan çıkarılan numuneler 24 saat boyunca Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan saf su cihazından elde edilen 80°C'ye kadar ısıtılmış saf su içerisinde bekletilmiş ve referans ölçümler alınmıştır. 1 lt saf su için 40g %99 saflıkta pellet halinde NaOH kullanarak hazırlanan çözeltide 3, 7 ve 14. günlerdeki boy değişimleri ölçülmüştür (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Harç çubuklarının 80°C'deki NaOH çözeltisinde bekletilmesi.

3.2.3.3. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi, TS EN 196-1 "Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [53]. Referans numunesi kütlece 1 kısım çimento, 3 kısım standart kum ile 0,50 su/çimento oranındaki harçtan hazırlanmış ve %5-10-15-20 oranlarında ham ve kalsine sepiyolit ikameli karışımlar referans karışımıyla aynı yayılma çapına sahip olacak şekilde su oranları belirlenmiştir. Her bir deney serisi için 7, 28, 56 ve 90 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere 50x50x50 mm boyutlarında toplam 12 adet küp numune hazırlanmıştır. Deneyde dijital kumanda üniteli, 300 kN yükleme kapasiteli ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli çimento basınç test cihazı kullanılmış ve harç numunelerin basınç dayanımları Denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır (Şekil 3.18).

$$f_c = \frac{P_{max}}{A_c} \text{ (MPa)} \quad (3.2.)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı (MPa)

P_{max} : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c : Numunenin en kesit alanı (mm^2)



Şekil 3.18. 300 kN kapasiteli çimento basınç test cihazı.

3.2.3.4. Puzolanik Aktivite Deneyi

Puzolanik özellikteki malzemelerin söndürülmüş kireç ve suyla hangi ölçüde reaksiyona girebileceği ve bağlayıcılık sağlayabileceği puzolanik aktivite olarak adlandırılmaktadır. Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için amorf yapıya sahip olması, ince taneli olması ve yeteri kadar alümin, silis ve demir oksit içermelidir. Puzolanik aktivite “dayanım aktivite indeksi” olarak isimlendirilen değerin ASTM C-311’e göre hesaplanmasıyla bulunmaktadır. Bu değerin hesabı Denklem 3.3’te gösterilmiştir [59].

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100 \quad (3.3)$$

Burada;

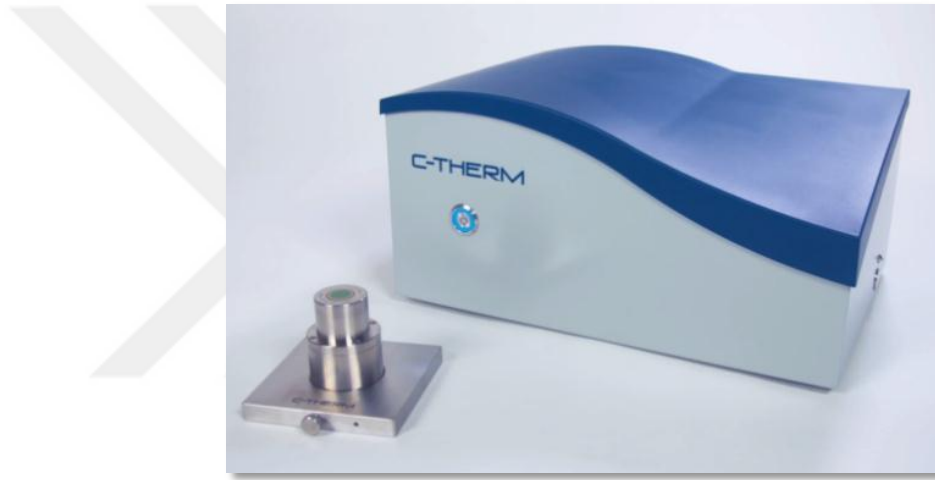
A= Puzolanlı harç numunelerin basınç dayanımı,

B= Kontrol harç numunelerinin basınç dayanımıdır.

Bu deneyde çimentoya %20 oranında ham ve %20 oranında kalsine sepiyolit ikame edilerek 28 gün sonundaki basınç dayanımları üzerinden numunelerin puzolanik aktivitesi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerin %75’ten yüksek olması durumunda toz örneklerin puzolanik aktivitesinin olduğu sonucuna ulaşılabacaktır.

3.2.3.5. Termal İletkenlik Deneyi

Çimento ağırlığının %0-5-10-15-20 oranlarında ham ve kalsine sepiyolit ikameli harç numunelerinin analizleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan C-THERM TCi model Termal iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiş olup aynı zamanda cihaz polimer, seramik, köpük bazlı malzemelerin termal iletkenlik sabiti değerlerinin W/mK cinsinden oda sıcaklığında belirlenebilme imkânı sağlamaktadır (Şekil 3.19). Ölçümü yapılacak uygun bir yüzeye sahip malzeme cihazın sensörüne temas ettirilir. Cihaz sensör ile numune arasındaki sıcaklık etkileşiminden malzemenin termal iletkenlik katsayısını W/mK cinsinden belirlemektedir.



Şekil 3.19. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.

3.2.4. GRC Örnekler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar

3.2.4.1. Karışım Dizaynı

Çalışmada, GRC referans numunelerinin üretiminde çimento, silis kumu, su, polimer katkı, akışkanlaştırıcı ve cam lifi kullanılmıştır. Referans numuneye çimentonun ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ham ve kalsine edilmiş sepiyolit ikame edilmiştir.

Karışımın karılmasında el mikseri kullanılmıştır. Karışımında silis kumu, çimento ve sepiyolit mikser ile kuru olarak karıştırılmıştır. Sonrasında polimer ve akışkanlaştırıcı katkı içeren su kuru karışıma eklenerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar yaklaşık 2 dakika daha karıştırılmış ve en son cam lifleri eklenerek bir miktar daha el mikseri ile karıştırılmıştır. Taze harç yerleştirilirken, harcın segregasyona uğramaması

ve homojenliğini kaybetmemesine dikkat edilerek numune kalıplarına yerleştirilmiştir. Numunelerin prizini tamamlaması için oda koşullarında 7 ve 28 gün hava kürü işlemi için bekletilmiştir. Referans harç numunesinin karışım dizaynı Çizelge 3.7’de, ham ve kalsine sepiyolit ikameli numunelerin karışım dizaynı Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Referans harç numunesi karışım dizaynı.

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	1 m ³ için		1 m ³ için	
		Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (%)	Hacim (%)
Çimento CEM I 42,5	3,00	960,62	320,21	41,98	32,02
Silis Kumu 30-35 AFS No	2,65	960,62	362,50	41,98	36,25
Cam Lifi	2,55	76,85	30,14	3,36	3,01
Su	1,00	249,76	249,76	10,92	24,98
Polimer Katkı	1,05	31,7	30,19	1,39	3,02
Akışkanlaştırıcı	1,2	8,65	7,20	0,38	0,72

Çizelge 3.8. Ham ve kalsine sepiyolit ikameli numunelerin karışım dizaynı.

Sepiyolit Türü	Sepiyolit (%)	Sepiyolit (kg)	Çimento (kg)	Silis Kumu (kg)	Cam Lifi (kg)	Su (kg)	Polimer Katkı (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)
	0	0	960,62	960,62	76,85	249,76	31,7	8,65
Ham	5	48,03	912,59	960,62	76,85	267,79	31,7	8,65
	10	96,06	864,56	960,62	76,85	288,98	31,7	8,65
	15	144,09	816,53	960,62	76,85	313,33	31,7	8,65
	20	192,12	768,50	960,62	76,85	343,08	31,7	8,65
Kalsine	5	48,03	912,59	960,62	76,85	275,91	31,7	8,65
	10	96,06	864,56	960,62	76,85	338,12	31,7	8,65
	15	144,09	816,53	960,62	76,85	418,37	31,7	8,65
	20	192,12	768,50	960,62	76,85	491,41	31,7	8,65

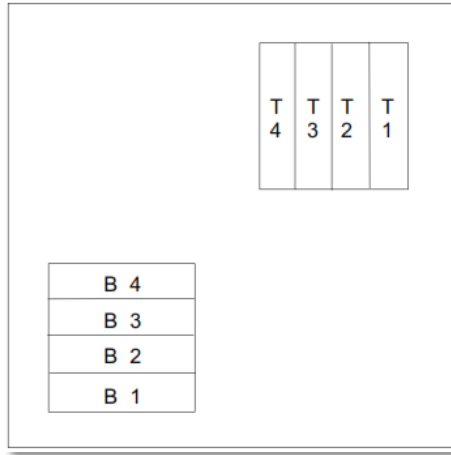
3.2.4.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi, TS EN 196-1 "Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [53]. Referans numunesi hacimce %32 çimento, %36 silis kumu, %3 cam lifi, %25 su, %3 polimer katkı ve %1 oranlarındaki harçtan hazırlanmış ve %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında ham ve

kalsine sepiyolit ikameli karışımlar referans karışımıyla aynı yayılma çapına sahip olacak şekilde su oranları belirlenmiştir. Tüm deney serileri 7 ve 28 günlük hava kürü süreleri sonunda kırılmak üzere 50x50x50 mm boyutlarında toplam 9 adet küp numune hazırlanmıştır. Deneyde 300 kN yükleme kapasiteli, yükleme hızı ayarlanabilen, dijital kumanda üniteli ve tek eksenli çimento basınç test cihazı kullanılmış ve harç numunelerin basınç dayanımları hesaplanmıştır.

3.2.4.3. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyi, TS EN 1170-5 "Ön Yapımlı Beton Mamuller - Cam Elyaf Takviyeli Çimento Deney Metodu - Bölüm 5: Eğilme Dayanımı Tayini-Tam Eğilme Deneyi Metodu" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [60]. GRC harcı her bir deney serisi için 10x600x600 mm boyutlarında plakalara dökülmüş ve 24 saat sonra numune panel kalıptan çıkarılıp 7 ve 28 gün boyunca hava kürüne tabi tutulmuştur. Kırım öncesi üretilen plakalar Şekil 3.20'de gösterildiği yerlerden kenarlardan 50+2 mm olacak şekilde sekiz deney parçası halinde testere ile kesilmiş ve iki eksenli eğilme deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.20. Deney parçalarının yerleri ve işaretlenmesi.

Eğilme deneyi için Testomatic Micro 350 marka dijital kumanda üniteli eğilme test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Eğilme test cihazı.

Eğilme testi sonucundaki numunelerin gerilme değerleri Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F \times L}{b \times d^2} \quad (3.4.)$$

Burada;

σ : Eğilme dayanımı (MPa)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

L: Mesnetler arası uzaklık (mm)

b: Numune genişliği (mm)

d: Numune yüksekliği (mm)

3.2.4.4. Darbe Dayanımı Deneyi

Bir malzemenin darbe dayanımı, ani yüke dayanabilme kabiliyeti, ani yük altında kırılma şeklinde gerçekleştirilen iş olarak adlandırılabilir. Bu deney için her bir ham ve kalsine sepiyolit ikameli numuneler için 40x40x160 mm boyutlarında 3'er adet toplamda 27 adet numune üretilmiş ve ağırlığı 8,5 kg, numuneye uzaklığı 120 cm olan pandüle sahip Charpy darbe dayanımı deney aleti kullanılmıştır (Şekil 3.22). Numuneler mesnet açıklığı 150 mm olacak şekilde alete yerleştirilmiş ve darbe dayanımı deneyi uygulanmıştır.



Şekil 3.22. Charpy darbe deney aleti.

3.2.4.5. Aşınma Dayanımı Deneyi

Aşınmaya dayanımı için Böhme Deney aleti kullanılmış olup TS 699'a uygun olarak GRC numuneler kesilmiş, hassas terazide tartılmış ve her bir numuneye 294 ± 3 N'luk aşındırma kuvveti uygulanarak her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanmıştır. Numunelerdeki kütle kayıpları % olarak belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu deneyde aşındırıcı malzeme olarak ISO 8684-1'e uygun tane büyüklüğü F 80 olan zımpara tozu kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. TOZ ÖRNEKLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1.1. Yoğunluk

AccuPyc II 1340 gaz yer değişimi prensibine bağlı olarak ölçüm yapan tam otomatik gaz piknometre ile yapılan yoğunluk ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

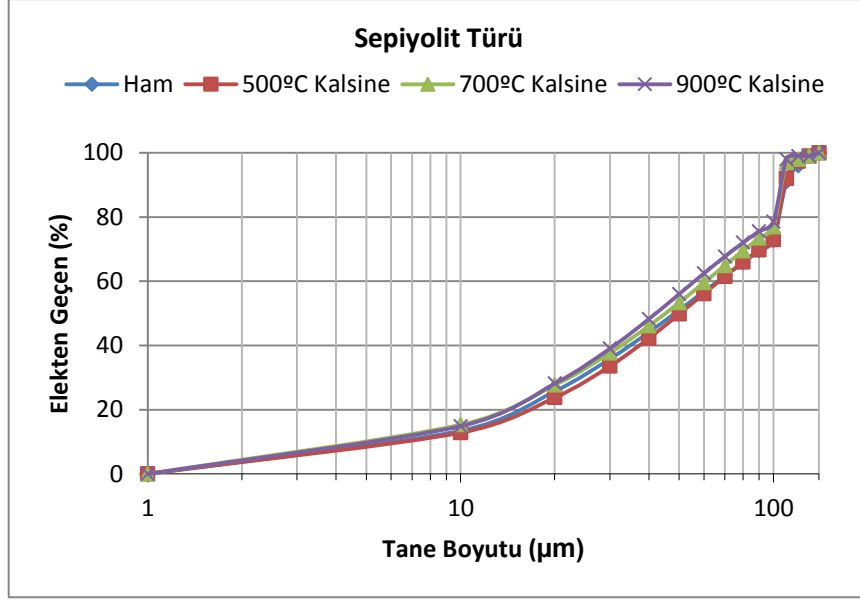
Çizelge 4.1. Farklı sıcaklıklarda kalsine edilen sepiyolit örneklerinin yoğunlukları.

Numune Adı	Yoğunluk (g/cm ³)
Ham Sepiyolit	2.5319
500°C’de Kalsine Sepiyolit	2.7044
700°C’de Kalsine Sepiyolit	2.9603
900°C’de Kalsine Sepiyolit	3.2546

Tablodan da görüldüğü gibi kalsinasyon sıcaklığı arttıkça yoğunlukta artış meydana gelmiştir. 900°C’de kalsine sepiyolit en yüksek yoğunluğa sahipken ham sepiyolit en düşük yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür. Kalsinasyon neticesinde 900°C’de numunenin yoğunluk değerinin %29 oranında arttığı görülmektedir.

4.1.2. Lazer Tane Boyut Analizi Sonuçları

Ham ve kalsine sepiyolit örnekleri üzerinde lazer tane boyut analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 4.1’de verilmiştir.

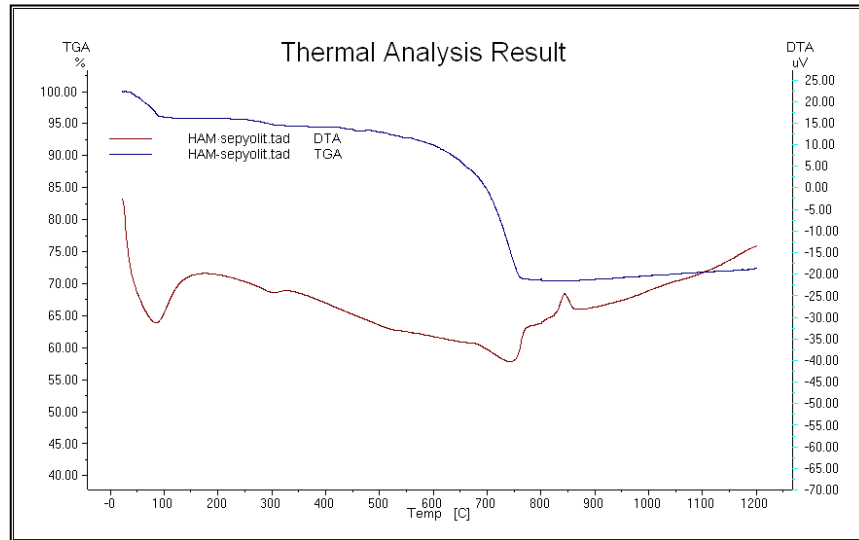


Şekil 4.1. Lazer tane boyut analizi elekten geçen % miktar değerleri.

Grafik incelendiğinde ham sepiyolit tane boyutunun farklı sıcaklıklardaki kalsine sepiyolitler ile yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ham ve kalsine sepiyolitlerin maksimum tane çapları 130 mikron olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kalsinasyon işlemi sırasında kalsinasyon sıcaklığının artmasına bağlı olarak sepiyolit maksimum tane çapı bir miktar azalsa da ham sepiyolite göre önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

4.1.3. Termal Analiz Sonuçları

Ham sepiyolit üzerinde yapılan termal analiz sonuçları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ham Sepiyolit Termal Analiz Sonuçları.

DTA eğrilerinden 100 ve 750°C’de belirgin endotermik pikler görülürken, 860°C’de ekzotermik pike rastlanmıştır. TG eğrisinden çeşitli sıcaklıklardaki ağırlık kayıplarına bakıldığında gözenekler ve yapısındaki fiziksel ve kimyasal suyun 0-200°C arasında dehidratasyonunun %5 civarında olduğu tespit edilmiştir. Karbonat fazının (CaCO₃) dekarbonasyonunu gösteren belirgin pike 700-770°C arasında rastlanmış ve bu bölgedeki ağırlık kaybı yaklaşık %15 olarak belirlenmiştir. Toplam olarak sepiyolitinin ağırlık kaybının ise 0-1200°C arasında %30 olarak meydana geldiği belirlenmiştir.

4.1.4. Kimyasal Analiz Sonuçları

Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

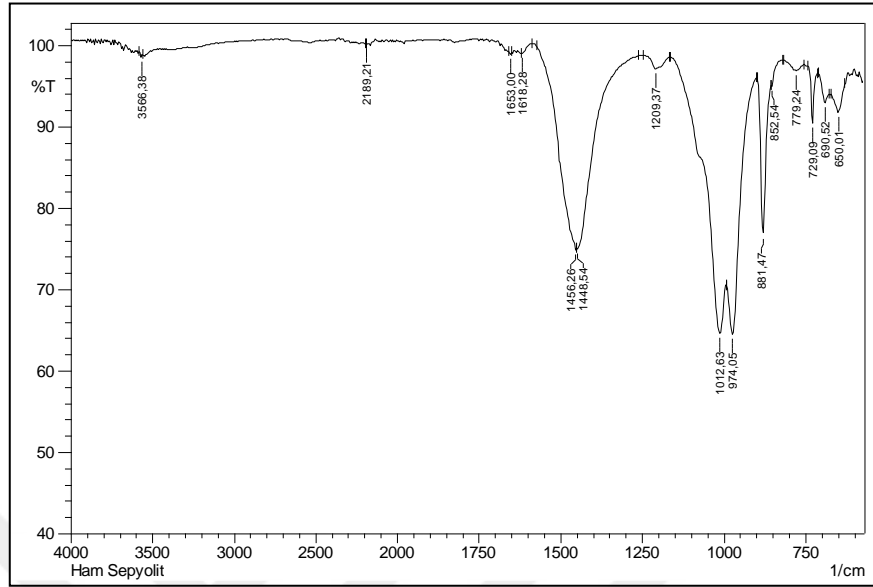
Çizelge 4.2. Farklı sıcaklıklarda kalsine sepiyolitlere ait kimyasal analiz sonuçları.

Kimyasal Kompozisyon	Sepiyolit Türü			
	Ham S.	500°C’de Kalsine S.	700°C’de Kalsine S.	900°C’de Kalsine S.
SiO ₂	26,34	29,01	42,07	40
Al ₂ O ₃	0,45	0,45	0,74	0,67
Fe ₂ O ₃	0,23	0,27	0,35	0,36
CaO	14,59	16,68	18,96	22,68
MgO	23,06	26,26	31,34	35,35
SO ₃	0,05	0,06	0,07	0,08
TiO ₂	0,05	0,05	0,07	0,07
Cr ₂ O ₃	0,001	0,001	0,0018	0,0017
Mn ₂ O ₃	0,0023	0,0026	0,0044	0,0045
Diğ.	35,75	27,3	6,6	0,5
Kızdırma Kaybı	36,9	31,1	4,31	1,40

Malzemelerin farklı sıcaklıklardaki kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak tüm değerlerin arttığı, ham sepiyolitinin kızdırma kaybının %36,9 olduğu görülmektedir.

4.1.5. F-TIR Analizi Sonuçları

Ham sepiyolit üzerinde yapılan F-TIR analizi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ham sepiyolit F-TIR analizi.

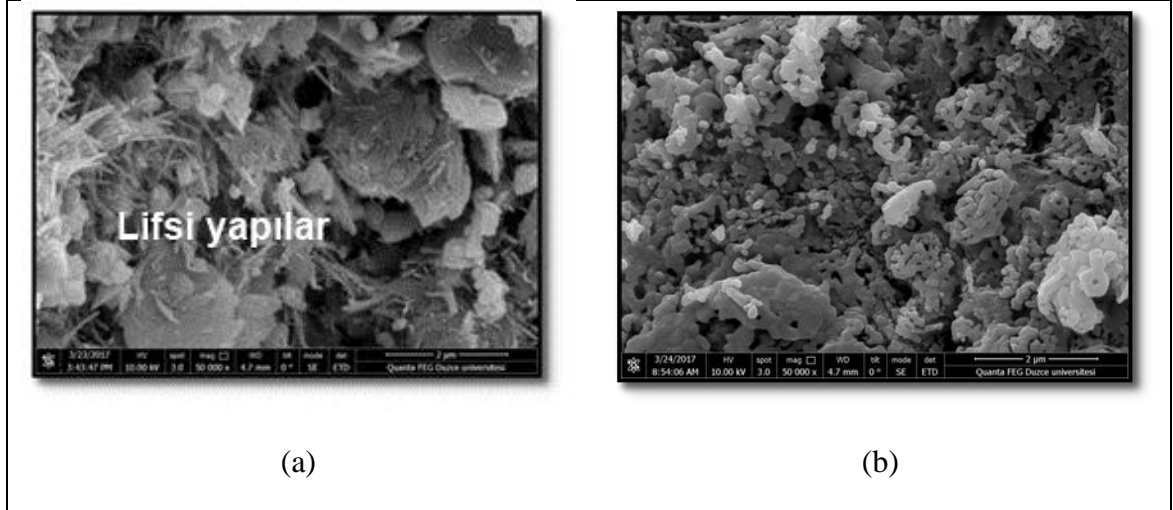
Ham sepiyolitın FT-IR analizi sonucunda 650, 690, 729, 779, 881, 974, 1012, 1209, 1448, 1456, 1618, 1653 ve 3566 cm^{-1} dalga sayılarında belirgin titreşimler görülmektedir. Yapıda 729, 881, 1448 ve 1456 cm^{-1} dalga sayıları dolomit'in varlığını yansıtmaktadır. Kafes yapılarındaki Si-O bağları 650, 690, 974, 1012 ve 1209 cm^{-1} dalga sayılarında simetrik ve asimetrik titreşimler şeklinde görülmektedir. Yapısındaki su iyonları ve molekülleri 3566 cm^{-1} dalga sayısında OH gerilme titreşimleri ve 1618 ve 1653 cm^{-1} dalga sayılarında H-O-H eğilme titreşimleri şeklindedir. 1448 ve 1456 cm^{-1} 'de ise CO_3^{2-} görülmektedir.

4.1.6. Kızdırma Kaybı Sonuçları

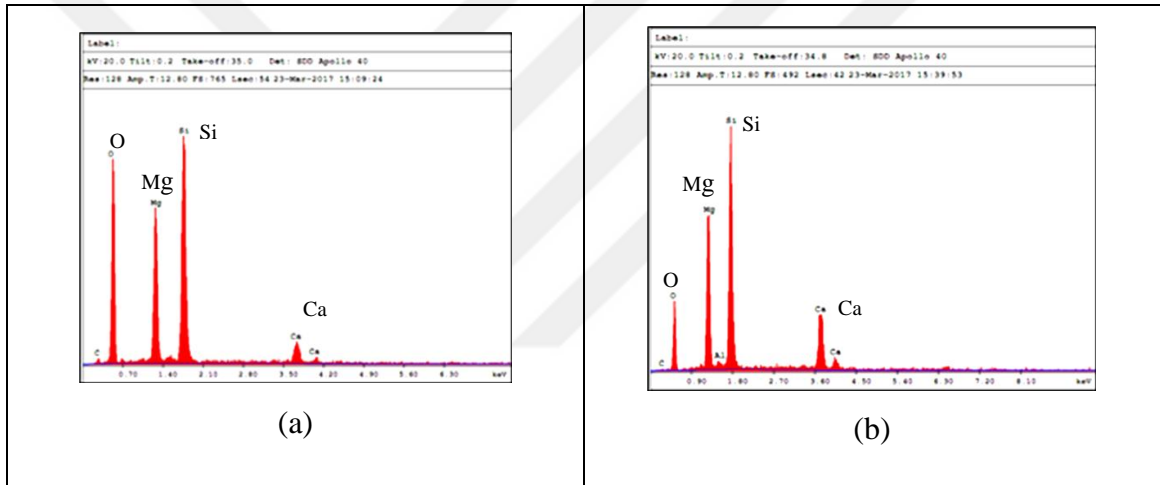
TS EN 196-2 standardına uygun olarak yapılan kızdırma kaybı deneyi sonucunda ham sepiyolitın kütlece %37'sini kaybettiği görülmüştür. Bunun nedeni; ham sepiyolitın bünyesindeki nemin ve karbondioksitin uzaklaşması olarak gösterilebilir.

4.1.7. SEM ve EDS Analizleri Sonuçları

Çalışmada numunelerden elde edilen SEM görüntüleri Şekil 4.4'te ve EDS analizleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4. SEM görüntüleri a) Ham sepiyolit b) 900°C’de kalsine sepiyolit.



Şekil 4.5. EDS analizleri a) Ham sepiyolit b) 900°C’de kalsine sepiyolit.

SEM görüntüleri incelendiğinde, ham sepiyolit lifsi yapısı açıkça görülmektedir. Kalsinasyon işlemine tabi tutulduğunda lifsi yapıların yapısının bozulduğu ve daha oval bir hal aldığı SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır.

EDS sonuçlarına bakıldığında, kalsine işlemi sonrası ham sepiyolit bünyesinde bulunan Oksijenin (O) büyük oranda uzaklaştığı görülmektedir.

4.2. HAMUR FAZINDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

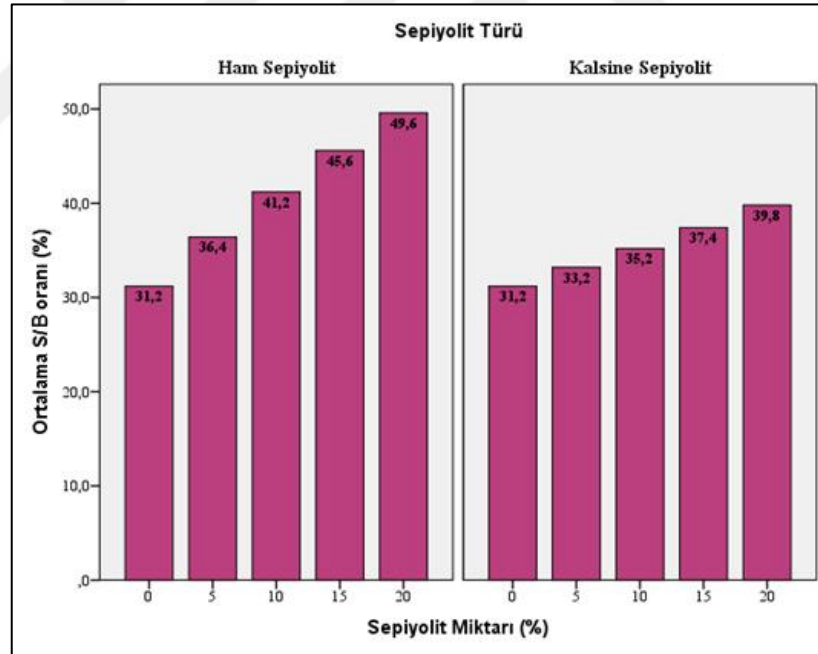
4.2.1. Kıvam Deneyi Sonuçları

Farklı oranlarda ham ve kalsine sepiyolit hamur karışımlarının su ihtiyacı vicat aleti ile belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.3’te verilmiştir. Ayrıca sepiyolit miktarına bağlı

olarak S/B oranlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.6’da, bu oranlar arasındaki ilişki Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Hamur karışımlarına ait kıvam deneyi sonuçları.

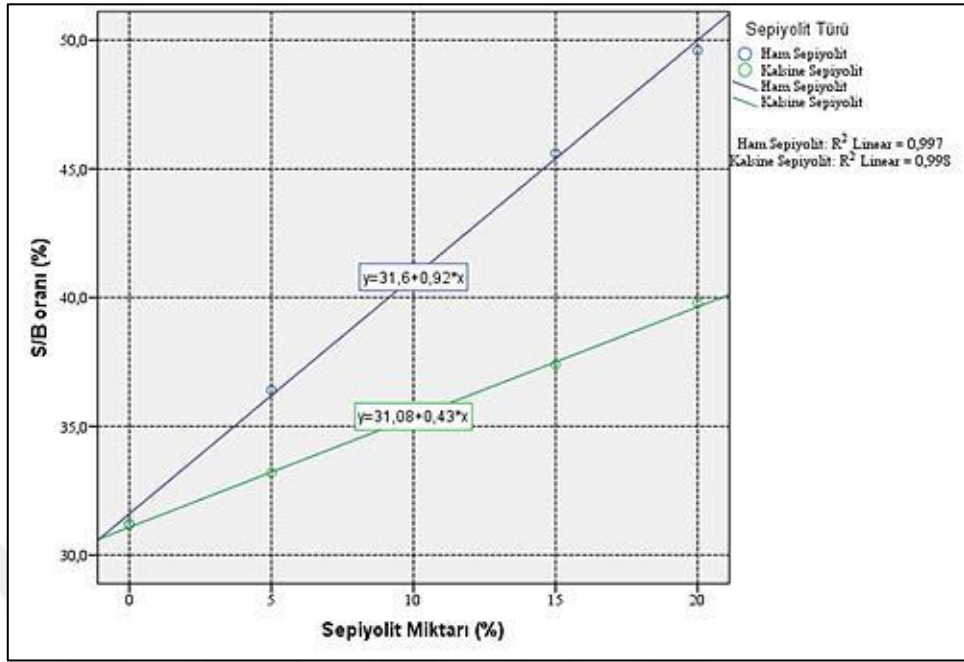
Karışım	Çimento (g)	Sepiyolit (g)	Su (g)	S/B Oranı (%)
0% Sep. (Referans)	500	-	156	31,2
Ham Sepiyolit				
5%Sep	475	25	182	36,4
10%Sep	450	50	206	41,2
15%Sep	425	75	228	45,6
20%Sep	400	100	248	49,6
900°C’de Kalsine				
5%Sep	475	25	166	33,2
10%Sep	450	50	176	35,2
15%Sep	425	75	187	37,4
20%Sep	400	100	199	39,8



Şekil 4.6. Ortalama S/B oranı değerlerine ait bar grafiği.

Sonuçlar incelendiğinde, ham sepiyolit su emme miktarının kalsine edilmiş sepiyolite göre fazla olduğu ve hamur karışımındaki sepiyolit miktarı arttıkça su ihtiyacının da arttığı görülmektedir. Referans numunesine göre %20 ham sepiyolit ikamesinin %59 daha fazla suya ihtiyaç duyarken %20 kalsine sepiyolit %28 daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır. Buradan ham sepiyolit kalsine sepiyolite göre daha fazla su emdiği

sonucu çıkmaktadır.



Şekil 4.7. Sepiyolit ikame miktarı ile S/B değerleri arasındaki ilişki grafiği.

4.2.2. Priz Başlangıç ve Bitiş Deneyi Sonuçları

Priz başlama süresi, çimentoyla suyun birleştiği an ile çimento hamurunun katılaşmaya başladığı an arasında geçen süredir.

Priz sona erme süresi ise, çimento ve suyun birleştiği an ile çimento hamurunun katılaşığı an arasındaki süredir. Çimentoların priz başlangıç süresinin çok kısa olmaması ve priz sona erme süresinin ise çok uzun olmaması gerekmektedir. Türkiye'de üretilen portland çimentoları için ASTM standartlarına göre priz başlangıç süresi en az 45 dakika, priz bitiş süresi ise en fazla 375 dakika olarak belirtilmektedir.

Çizelge 4.4'te ikameli ve ikamesiz hamur örneklerinin priz başlangıç ve bitiş süreleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. İkameli ve ikamesiz numunelerin priz başlangıç ve bitiş süreleri.

Numune Adı	Priz Baş. (dk.)	Priz Bit. (dk.)
%0 Sep	85	194
%5 Ham Sep	111	233
%10 Ham Sep	147	255
%15 Ham Sep	180	274
%20 Ham Sep	209	298
%5 Kalsine Sep	131	204
%10 Kalsine Sep	158	219
%15 Kalsine Sep	171	243
%20 Kalsine Sep	182	274

Çizelge incelendiğinde sepiyolit ikamesi arttıkça priz başlangıç ve bitiş sürelerinde artışın meydana geldiği, ham sepiyolit su emme özelliğinin daha yüksek olmasından kaynaklı kalsine sepiyolite göre daha yüksek priz bitiş süresinin olduğu, bu durumun aksine priz başlangıç süresinin ise kalsine sepiyolite göre daha kısa olduğu görülmüştür. En yüksek biriz başlangıç ve bitiş süreleri %20 ham sepiyolit ikameli örneklerde, en az priz başlangıç ve bitiş süreleri ise %0 referans numunelerinde görülmüştür.

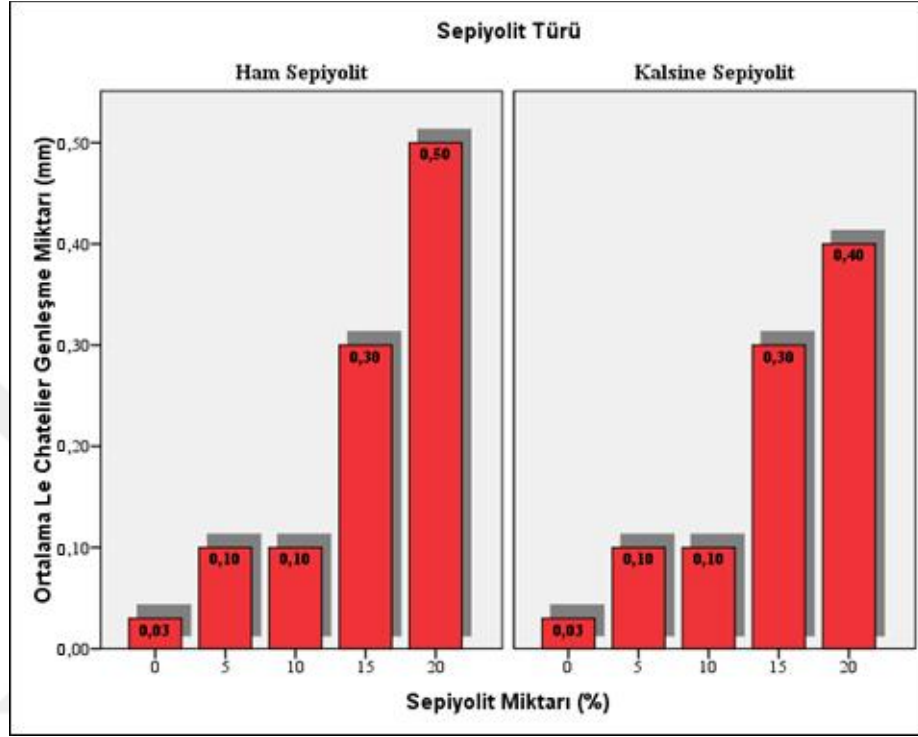
4.2.3. Hacim Genleşmesi Deneyi Sonuçları

Farklı oranlarda ham ve kalsine sepiyolit ikameli çimento pastaları üzerinde yapılan Le Chatelier hacim genleşme deneyi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

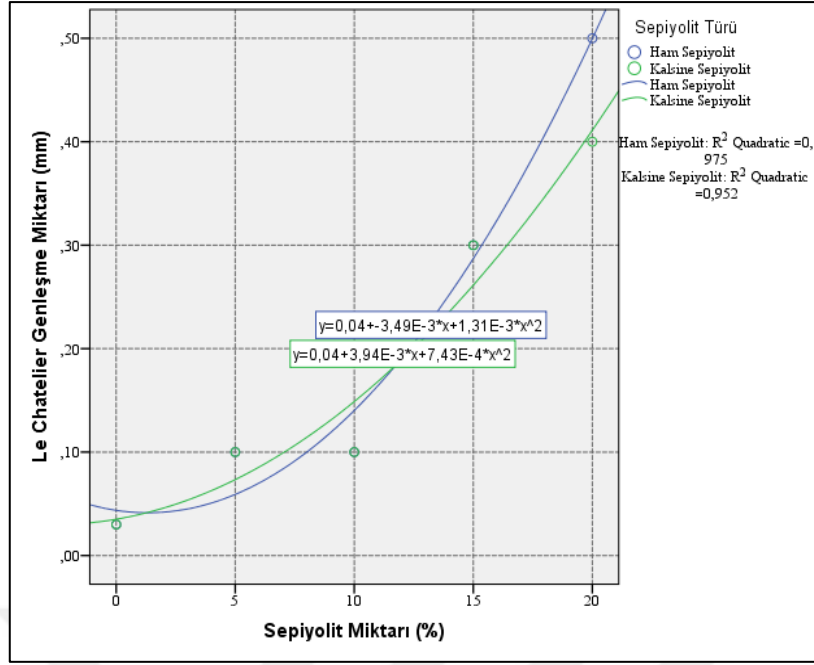
Çizelge 4.5. Hacim genleşmesi deney sonuçları.

Karışım	Çimento (g)	Sepiyolit (g)	Su (g)	Genleşme (mm)
0% Sep	500	-	156	0,03
Ham Sepiyolit				
5%Sep	475	25	182	0,1
10%Sep	450	50	206	0,1
15%Sep	425	75	228	0,3
20%Sep	400	100	248	0,5
900°C' de Kalsine				
5%Sep	475	25	166	0,1
10%Sep	450	50	176	0,1
15%Sep	425	75	187	0,3
20%Sep	400	100	199	0,4

Sonuçlar incelendiğinde ham sepiyolit ve kalsine sepiyolit çimento karışımlarında önemli bir genişlemeye sebep olmadığı gözlemlenmiştir. Genleşme değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.8’de ve genişleme değerleri arasındaki ilişki ise Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8. Sepiyolit miktarlarına bağlı Le Chatelier genişleme değerlerine ait bar grafiği.

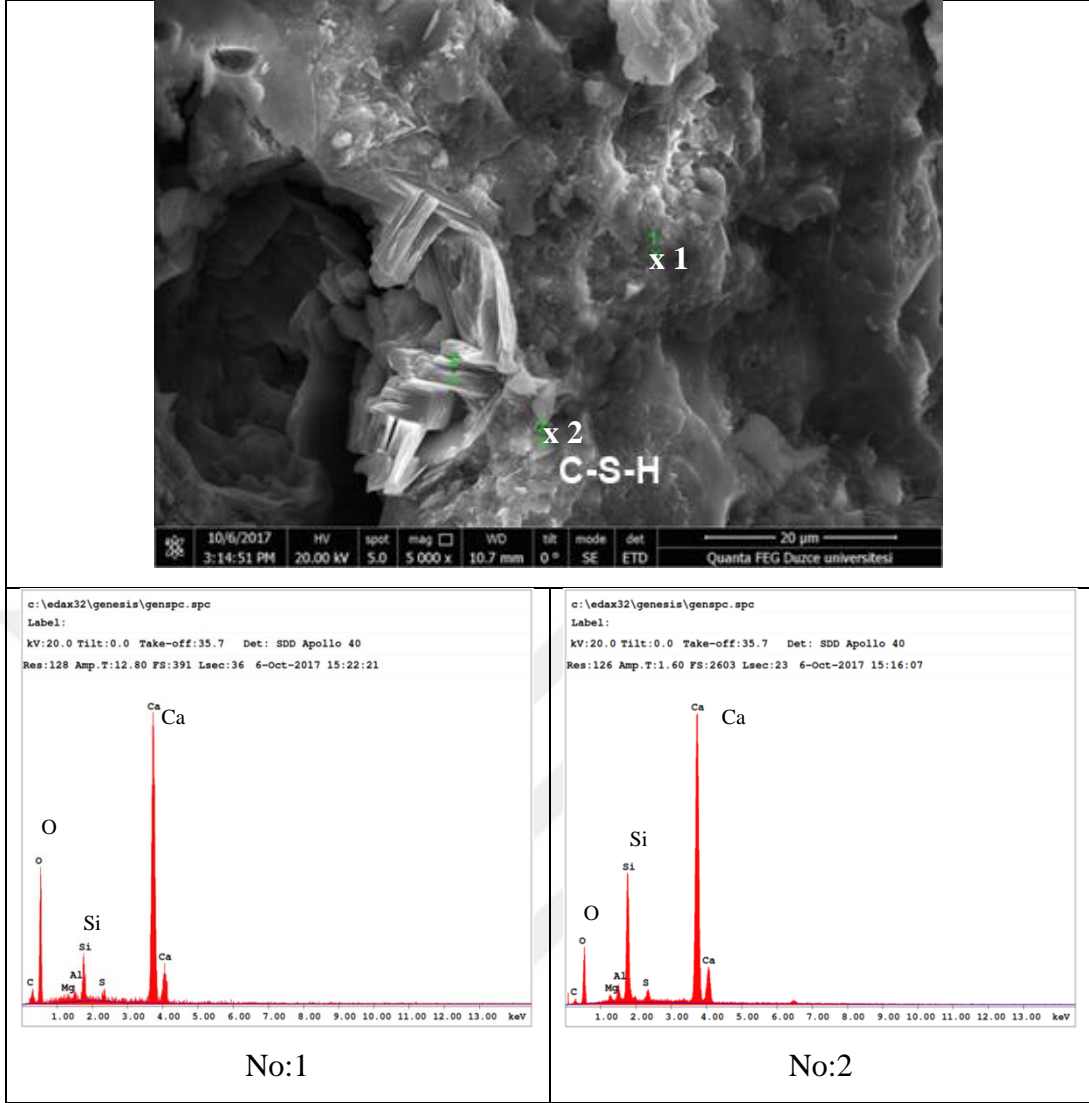


Şekil 4.9. Sepiyolit ikame miktarı ile Le Chatelier genişleme değerleri arasındaki ilişki grafiği.

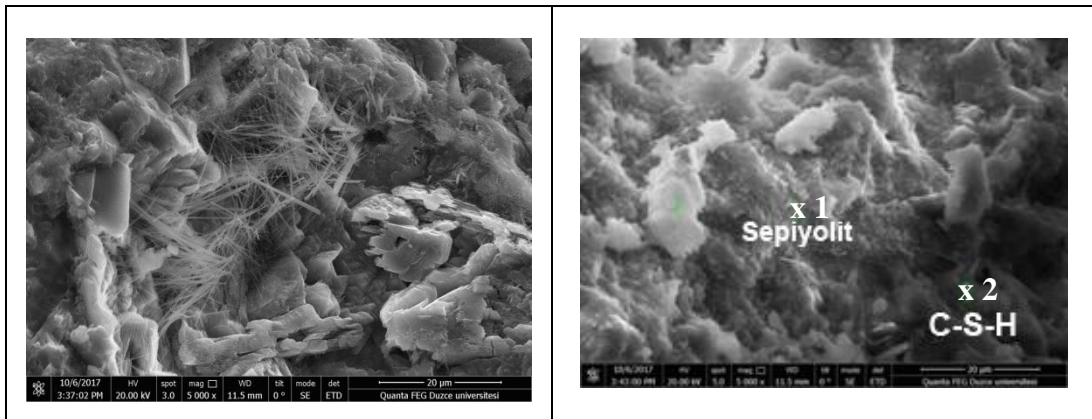
Değerler incelendiğinde ham ve kalsine sepiyolit ikameli bütün numunelerde aynı oranlarındaki ikamelerin genişleme değerleri aynı olmakla birlikte en yüksek genişleme 0,5 mm ile %20 ham sepiyolit ikameli örneklerde görülürken en az genişleme ise 0,03 mm ile %0 referans numunelerinde görülmüştür.

4.2.4. SEM ve EDS Analiz Sonuçları

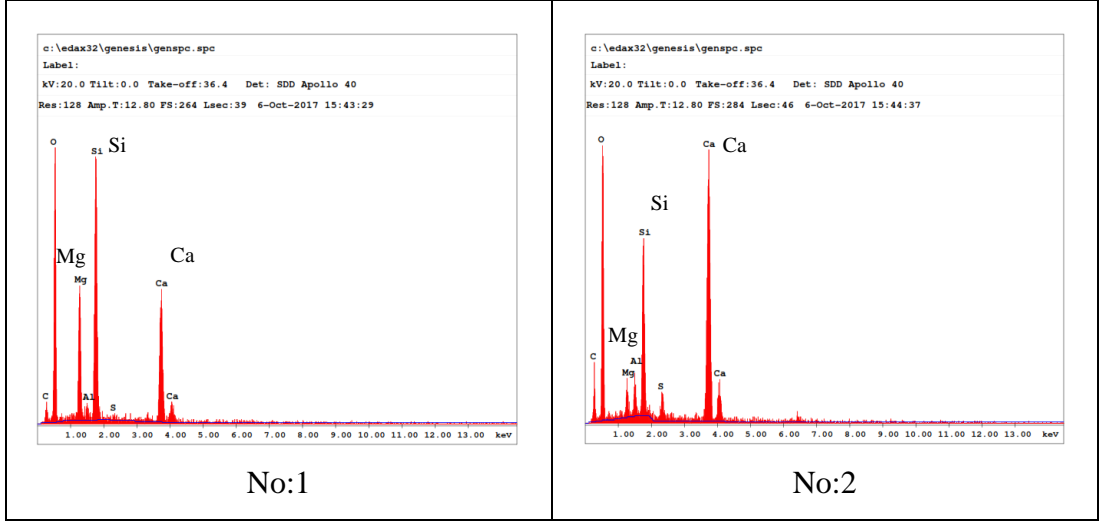
C-S-H çimentonun yüksek dayanıma sahip olmasını sağlayan maddelerdir. Elektron mikroskopu ile yapılan incelemeler neticesinde C-S-H'nin yapısı hakkında bilgi sahibi olmak mümkün olabilmektedir. Bu yapılar çoğunlukla lifsi ve ince levha halinde olmak üzere iki değişik şekle sahip olabilmektedir. Kalsiyum silikatların hidrasyon elemanları oluşurken $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hegzogonal kristal şeklinde meydana gelerek hidrate elemanlar arasında köprüler oluşturur. C-S-H'nin zamanla artmasıyla lifler ve levhalar büyüyerek iç içe girer ve çimentonun mukavemet değerlerinin zaman içerisinde artmasını sağlar [61], [62]. Çalışmada %0 referans, %5-10-15-20 ham ve %5-10-15-20 kalsine numunelerinden elde edilen SEM ve EDS analizleri Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18'de verilmiştir.



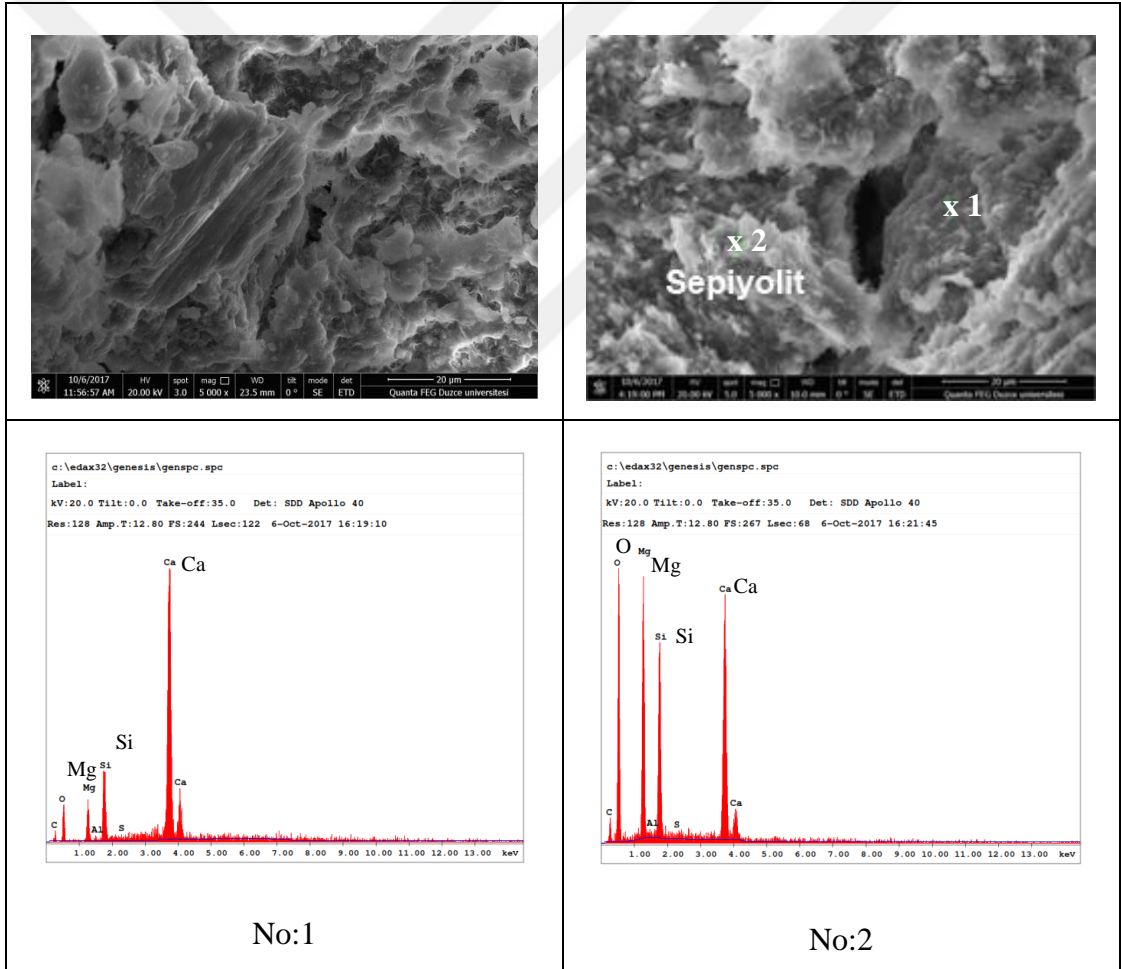
Şekil 4.10. % 0 referans numunesi SEM ve EDS analizleri.



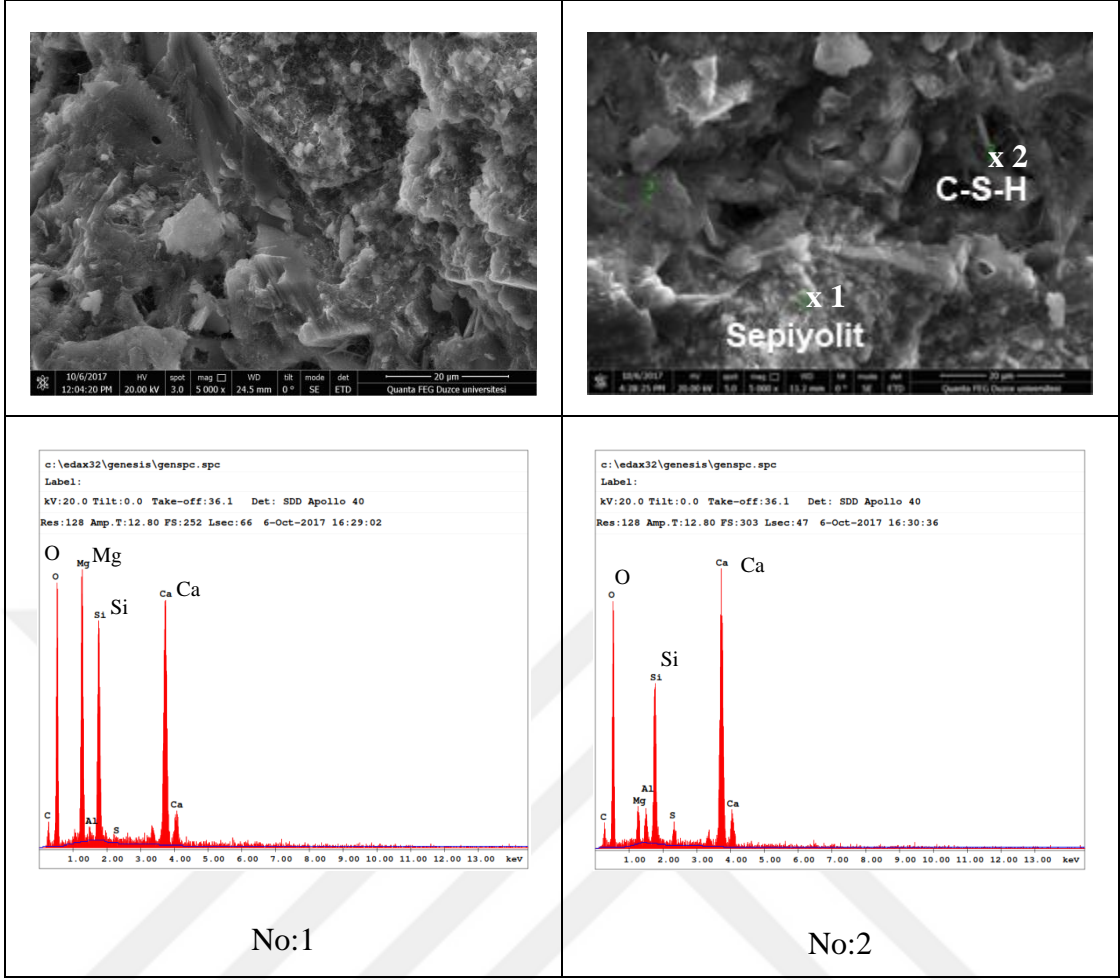
Şekil 4.11. % 5 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



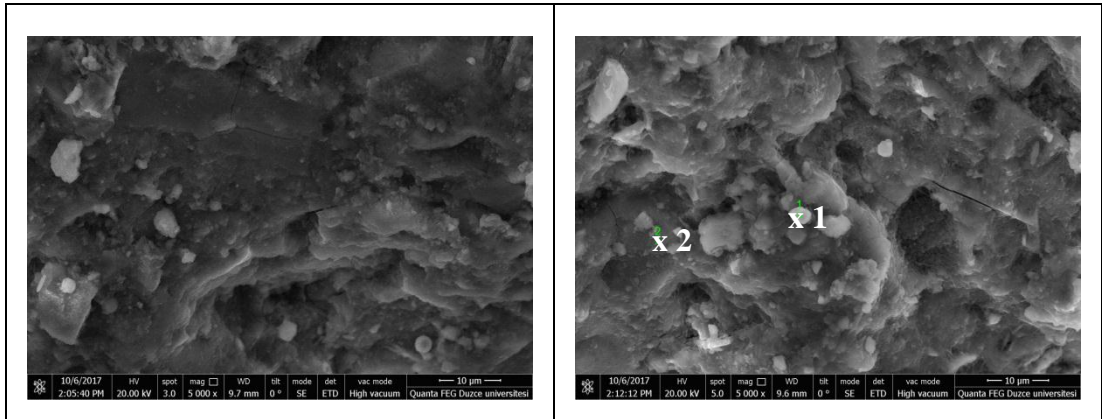
Şekil 4.11.(devam). % 5 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



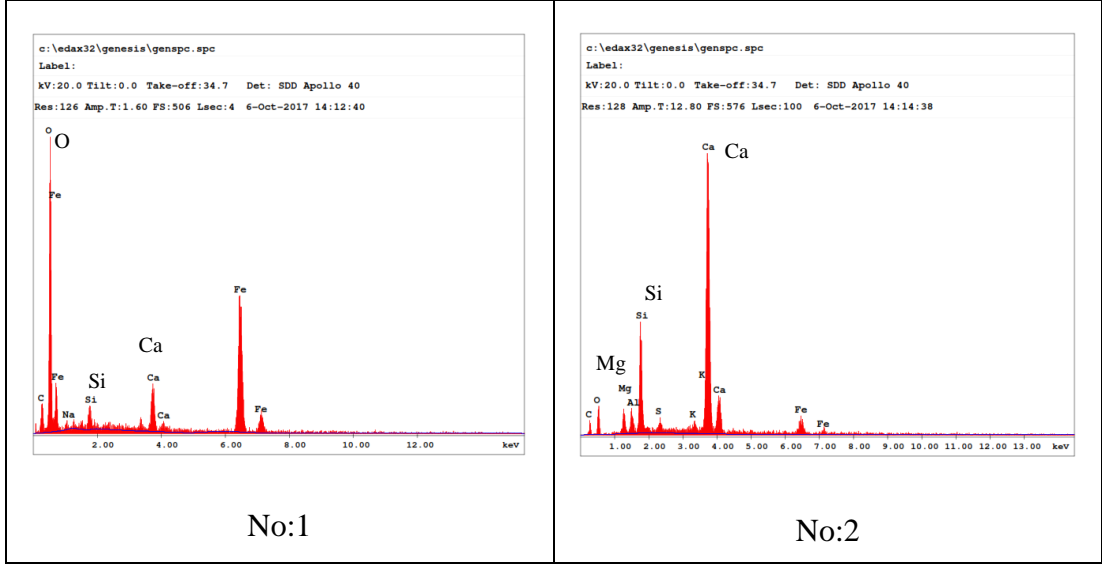
Şekil 4.12. % 10 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



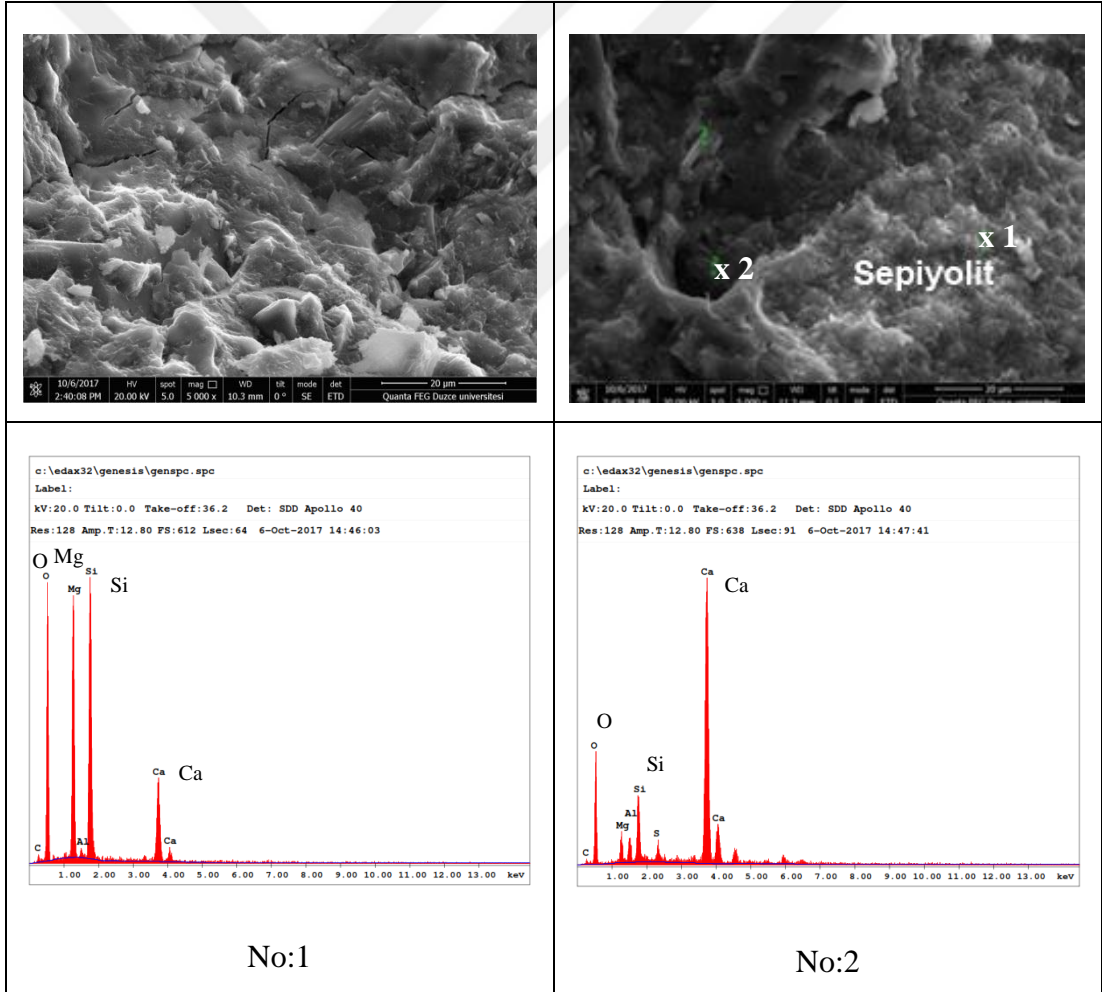
Şekil 4.13. % 15 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



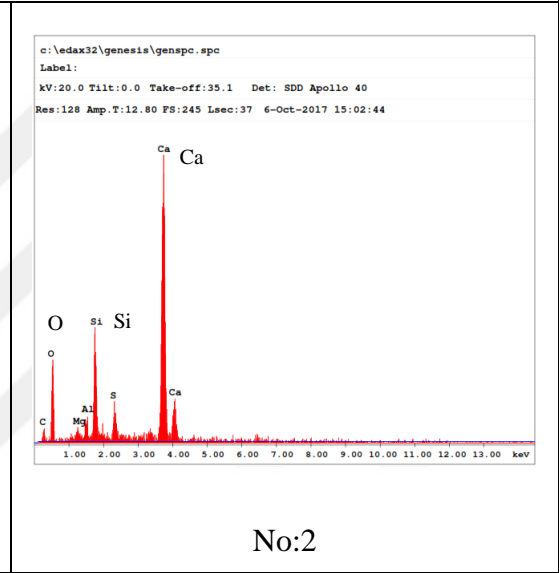
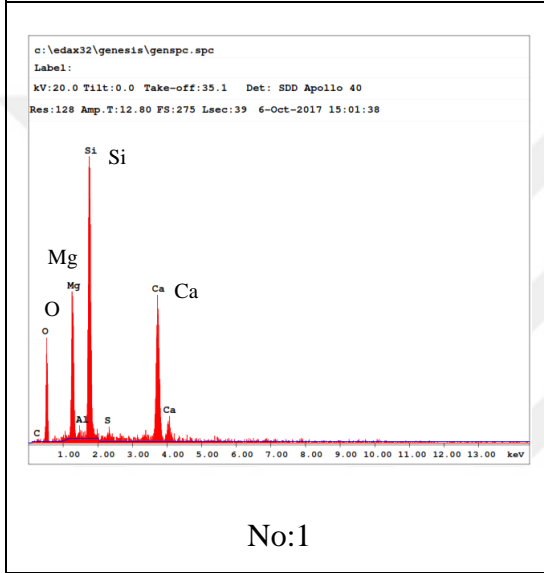
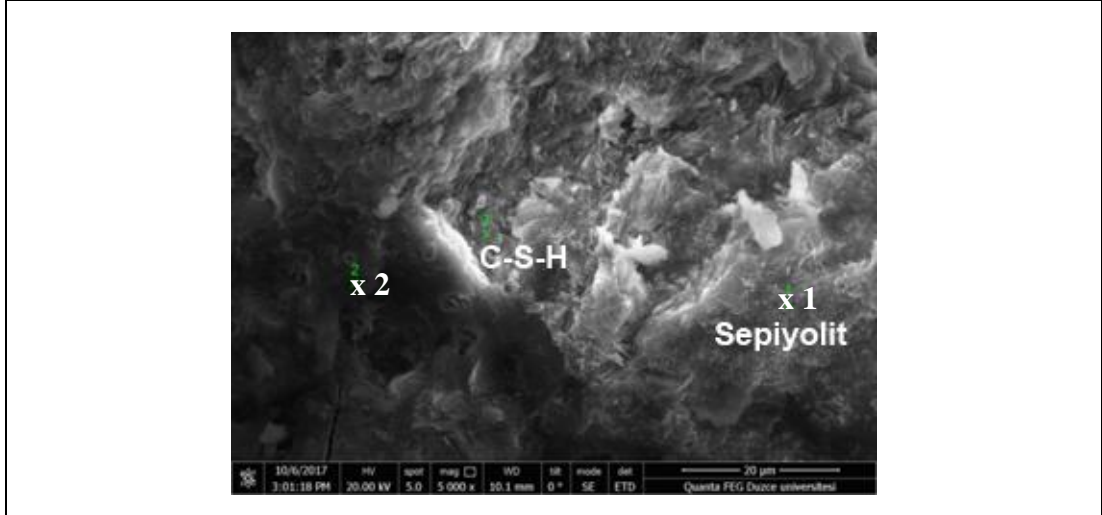
Şekil 4.14. % 20 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



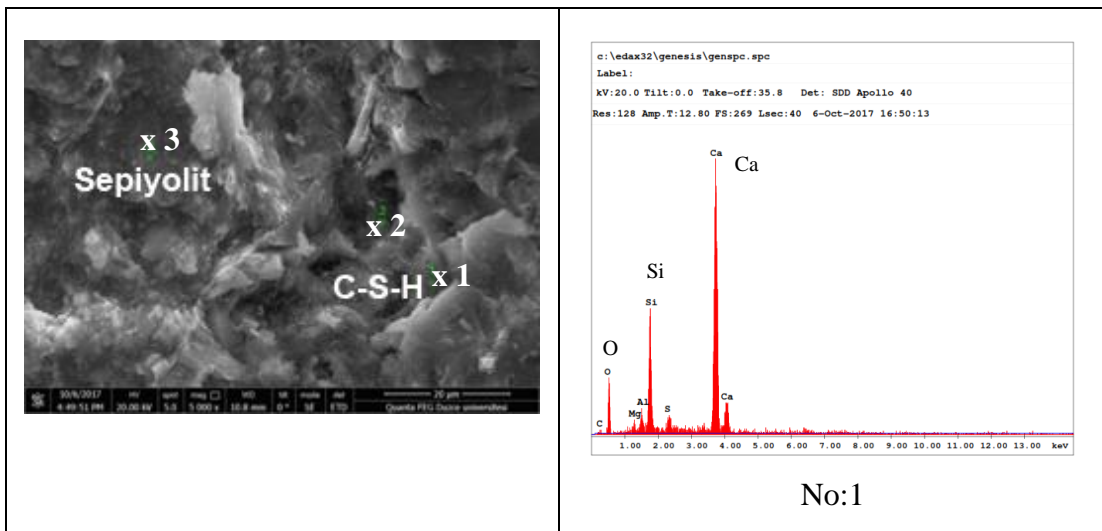
Şekil 4.14.(devam). % 20 Ham sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



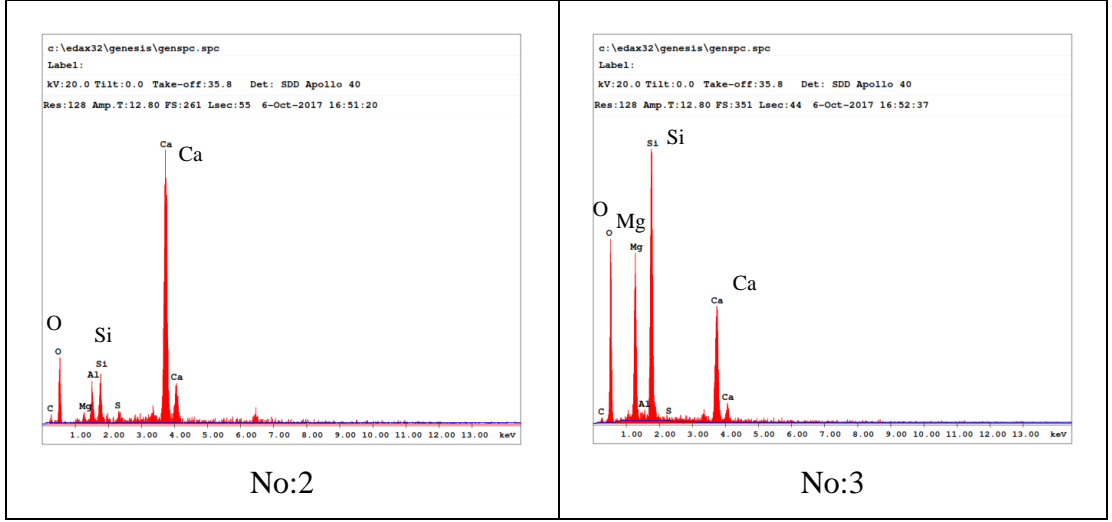
Şekil 4.15. % 5 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



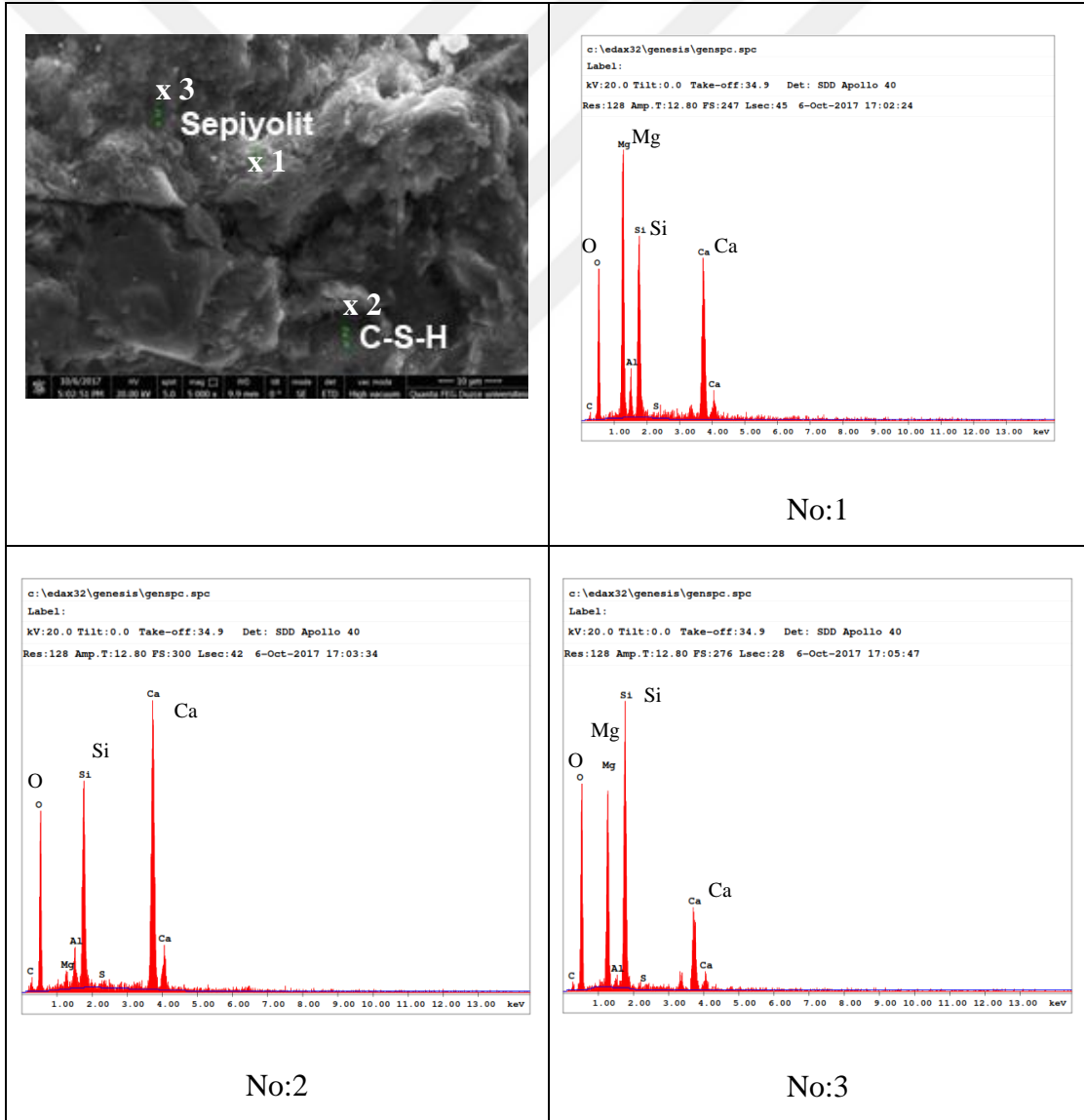
Şekil 4.16. % 10 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



Şekil 4.17. % 15 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



Şekil 4.17.(devam). % 15 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.



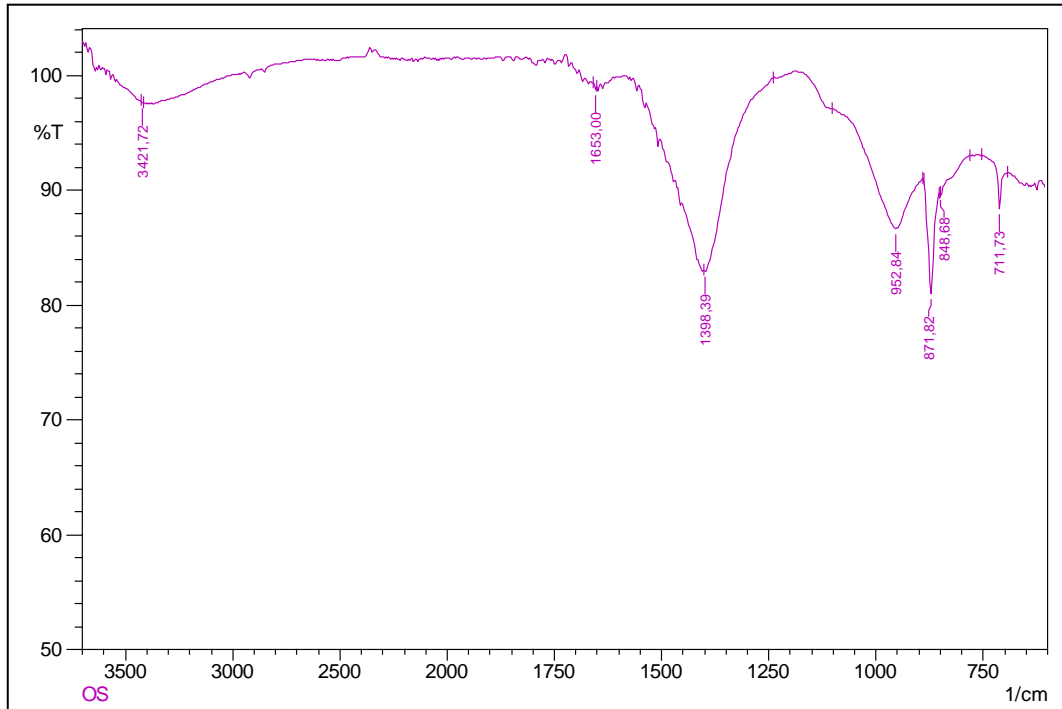
Şekil 4.18. % 20 Kalsine sepiyolit ikameli numune SEM ve EDS analizleri.

SEM görüntüleri incelendiğinde, yapı içerisinde C-S-H, CH ve etrenjit (trisülfoaluminat hidrat) gibi hidrate fazlar belirlenmiştir. Sepiyolit ile çimento pastası arasındaki bağın zayıf olduğu ve bu zayıflık sonucunda çimento pastası ile sepiyolit ara yüzeyinde çatlamların meydana geldiği böylece betonun dayanımına olumsuz etki yaptığı gözlemlenmiştir. Bu bağın ham sepiyolitte kalsine sepiyolite göre daha zayıf olduğu çimento ürünleri ile ham sepiyolit arasında görülen çatlaklardan anlaşılmaktadır.

EDS sonuçlarına bakıldığında, çimento hamuru numuneleri içindeki Ca, O, Mg, Al, Si, S elementleri tüm sepiyolit ikameli numunelerde paralellik göstermektedir. Ayrıca sepiyolit numunelerinde Mg elementinin miktarının yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

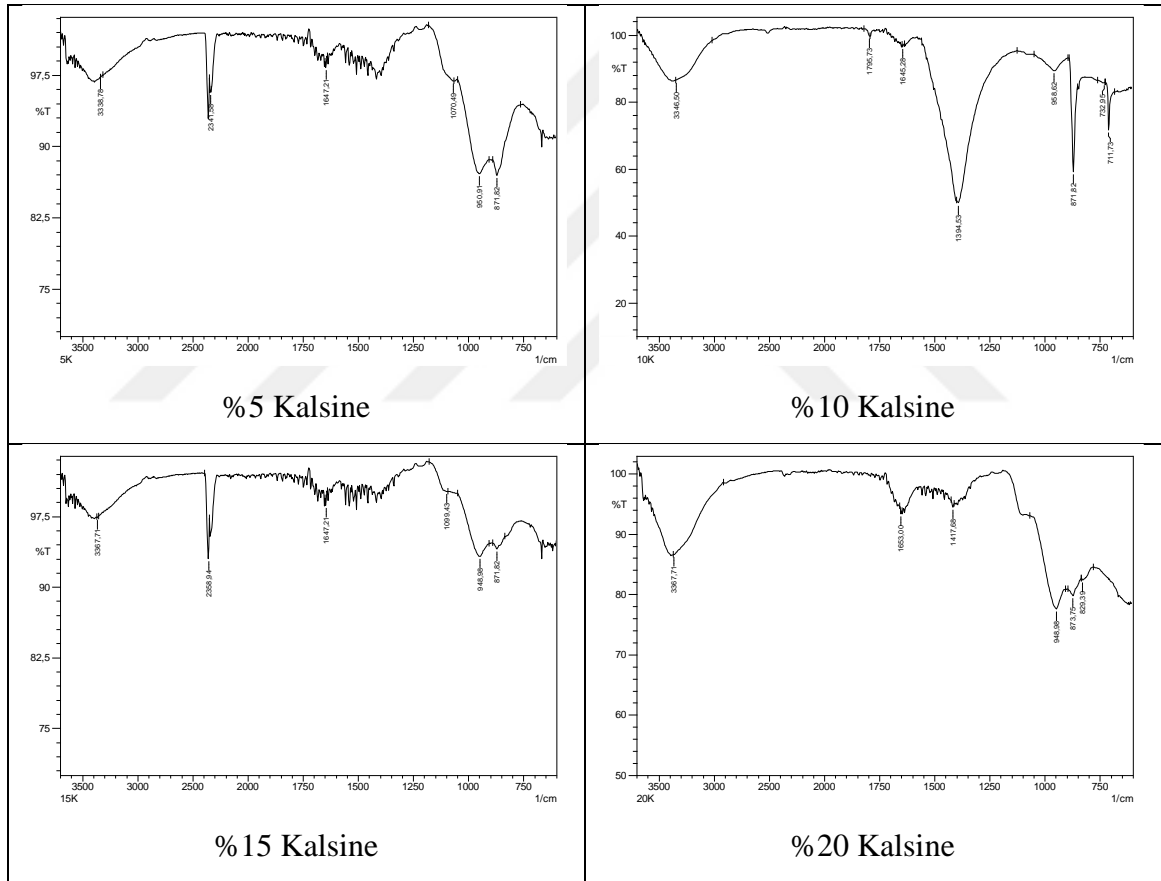
4.2.5. F-TIR Analizi Sonuçları

F-TIR ile piklerin değeri ve şiddetleri hidrasyon gelişiminin incelenmesinde göz önünde tutulmuştur. F-TIR spektroskopisinde katı kafeslerini oluşturan atomların titreşimleri $400-1600\text{ cm}^{-1}$ de, moleküler titreşimler ise $1600-4000\text{ cm}^{-1}$ bölgesinde görülmektedir [63], [64]. Referans ve sepiyolit ikameli numunelerin analizlerinden moleküllerin yüzey yapıları belirlenmiş ve Şekil 4.19'da referans (%0 Sepiyolit), Şekil 4.20'de sırasıyla kalsine sepiyolit ikameli ve Şekil 4.21'de ham sepiyolit ikameli örneklerin F-TIR sonuçları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.19. % 0 Sepiyolit içeren numunenin F-TIR spektrum analizi.

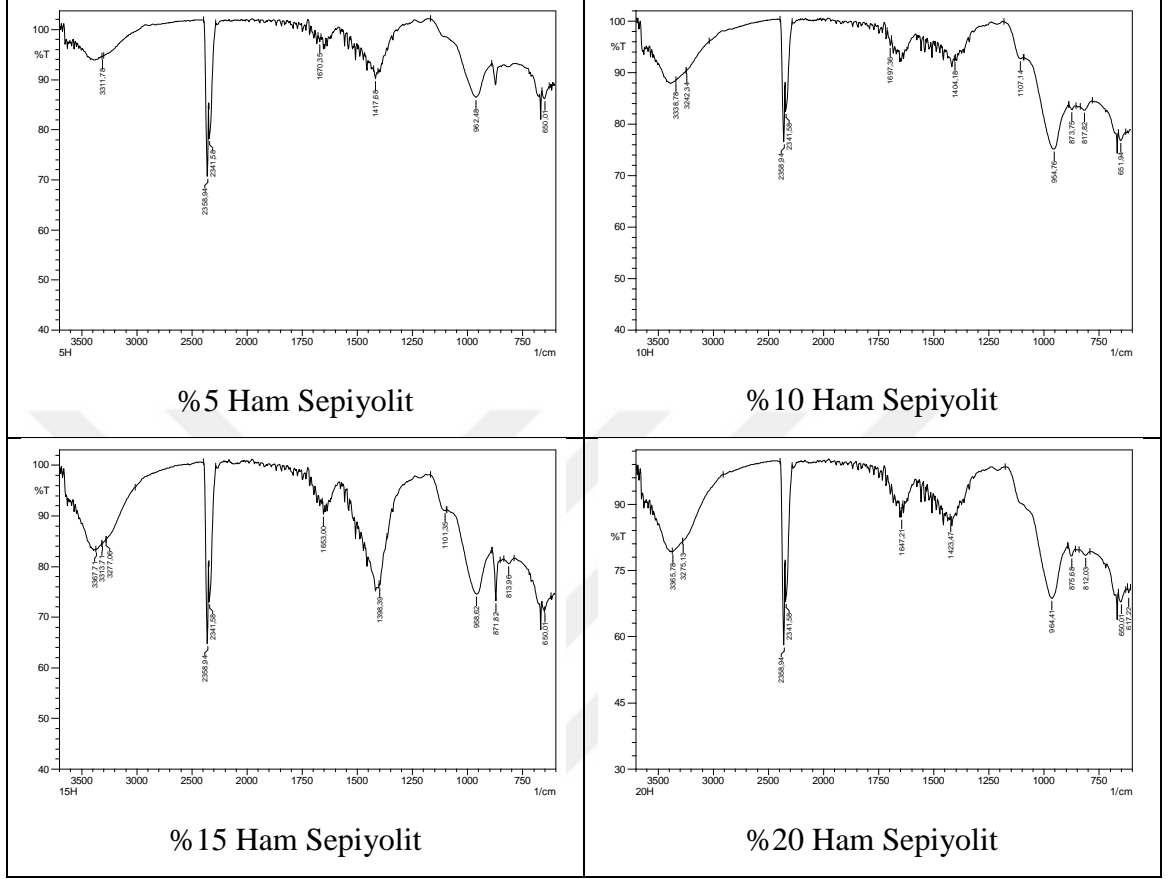
%0 sepiyolit içeren numunenin F-TIR grafiği incelendiğinde 3600 cm^{-1} bölgesi, C-S-H'nın kalsiyum hidroksit bağlarını, absorbe edilmiş ve bağlanmış suyun varlığını göstermektedir. Yapıya tutunmamış su 3421 ve 1653 cm^{-1} , karbonat fazları 1398 , 711 , 848 ve 871 cm^{-1} , sülfat fazları yaklaşık 1100 cm^{-1} bölgelerinde görülmektedir. Ayrıca hidrate olmamış Kalsiyum Silikatlar (CS), $442-506\text{ cm}^{-1}$ ve hidrate olmuş CS'ler, $906-969\text{ cm}^{-1}$ bölgelerinde görülmektedir [65]. $2800-3700\text{ cm}^{-1}$ bölgesindeki geniş absorpsiyon bandı CaCO_3 'ün varlığını göstermektedir ve hidratasyon süresi arttıkça bu band zayıflamaktadır. $800-1100\text{ cm}^{-1}$ bölgesindeki ana pikin yanında ve solundaki iki küçük pik C_2S 'in varlığını göstermektedir (Şekil 3.28) [66]. Bu iki küçük pikin hidratasyon süresi ilerledikçe azalması çimento hamurunun sertleştiğini göstermektedir.



Şekil 4.20. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin F-TIR spektrum analizi.

%5, %10, %15 ve %20 kalsine sepiyolit ikameli örneklerin FT-IR grafikleri birlikte değerlendirildiğinde $3400-3600\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bölge, C-S-H'nın kalsiyum hidroksit bağlarını, bağlanmış ve absorbe edilmiş suyun varlığını göstermektedir. Yapıya tutunmamış su $3338-3367$ ve $1645-1653\text{ cm}^{-1}$, karbonat fazları $1394-1417$, $871-873$ ve 711 cm^{-1} , sülfat fazları 1100 cm^{-1} bölgelerinde görülmektedir. Ayrıca hidrate olmuş

CS'ler, 948-958 cm^{-1} bölgelerinde görülmektedir [65]. 2800-3700 cm^{-1} bölgesindeki geniş absorpsiyon bandı CaCO_3 'ün varlığını göstermektedir ve sepiyolit ikame oranlarına göre bu band farklılıklar göstermektedir [66].



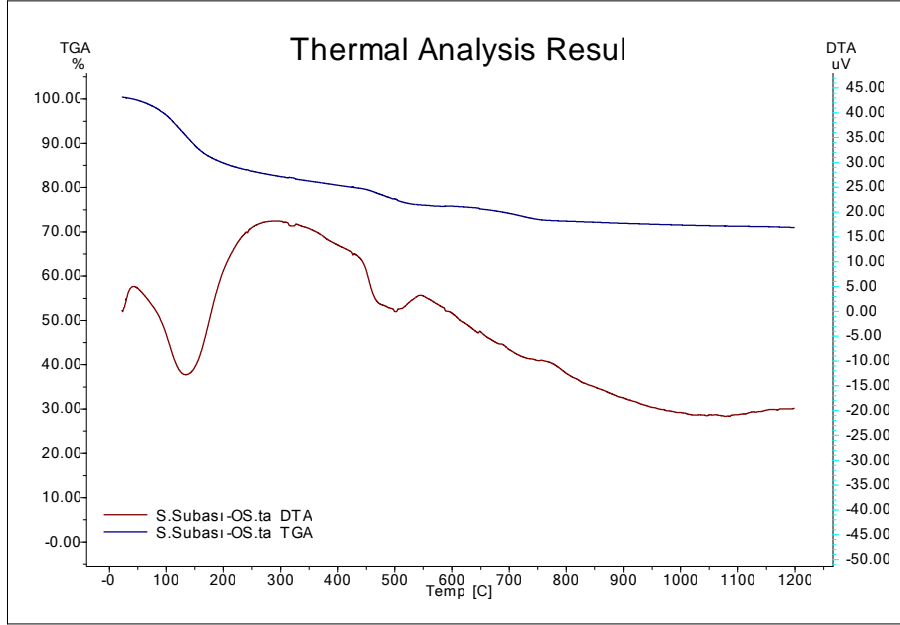
Şekil 4.21. Ham sepiyolit ikameli numunelerin F-TIR spektrum analizi.

%5, %10, %15 ve %20 oranlarında ham sepiyolit ikameli numunelerin F-TIR grafikleri birlikte değerlendirildiğinde yapıya tutunmamış su 3311-3367 ve 1647-1653 cm^{-1} , karbonat fazları 1398-1423, 871-875 ve 710 cm^{-1} , sülfat fazları yaklaşık 1100 cm^{-1} bölgelerinde görülmektedir. Ayrıca hidrate olmuş CS'ler, 954-964 cm^{-1} bölgelerinde görülmektedir [65]. 2800-3700 cm^{-1} bölgesindeki geniş absorpsiyon bandı CaCO_3 'ün varlığını göstermektedir ve ısıl işleme tabi tutulmuş sepiyolit ikame oranlarına göre bu band farklılıklar göstermektedir [66].

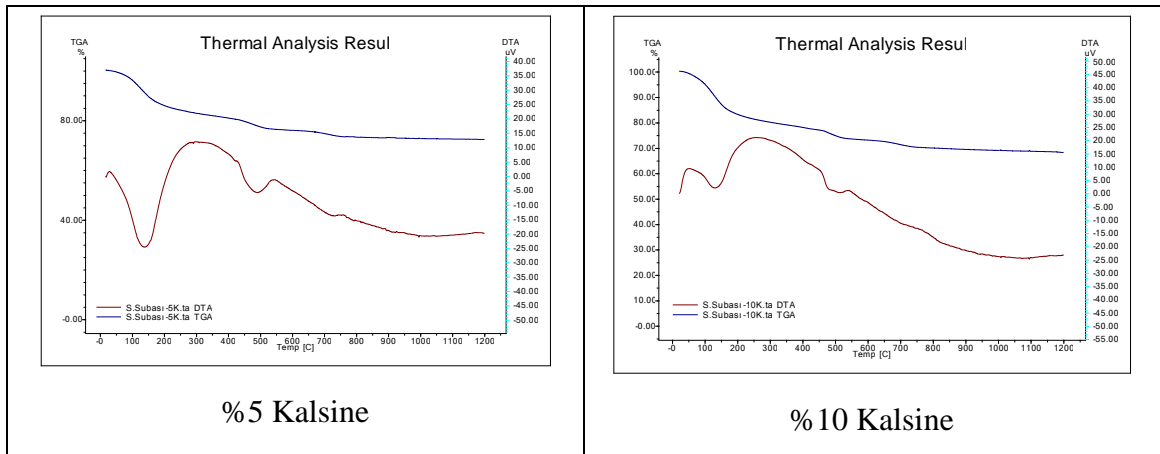
4.2.6. Termal Analiz Sonuçları

Refrans, ham ve ısıl işleme tabi tutulmuş olan sepiyolit ikameli çimento hamurlarının hidrasyon ürünlerine göre Fark Taramalı Termal (DTA) ve Termogravimetrik (TG) analizleri yapılmış, Şekil 4.22'de referans (%0 Sepiyolit), Şekil 4.23'te %5, %10, %15

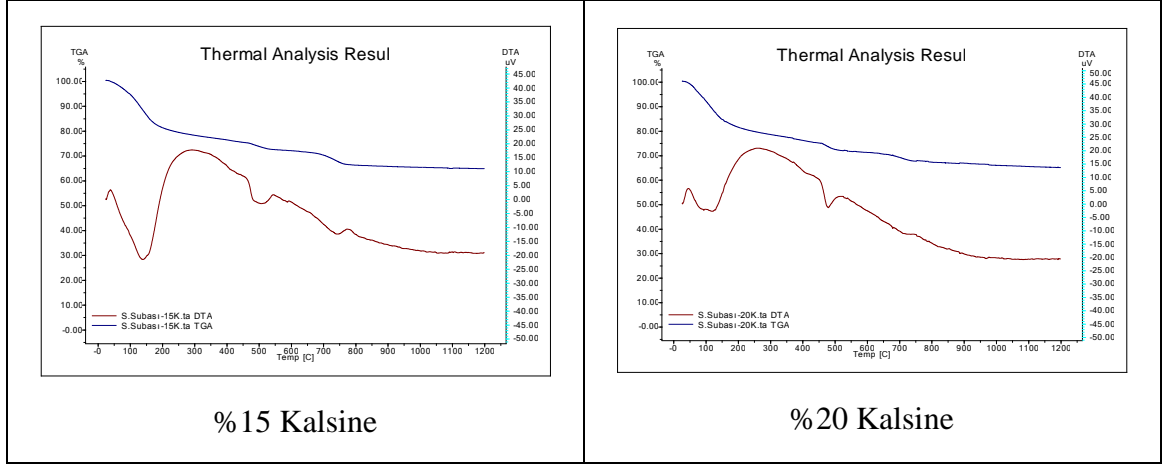
ve %20 oranlarında kalsine sepiyolit ikameli numunelerin ve Şekil 4.24'te %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ham sepiyolit ikameli numunelerin termal analiz sonuçları şematik olarak gösterilmiştir.



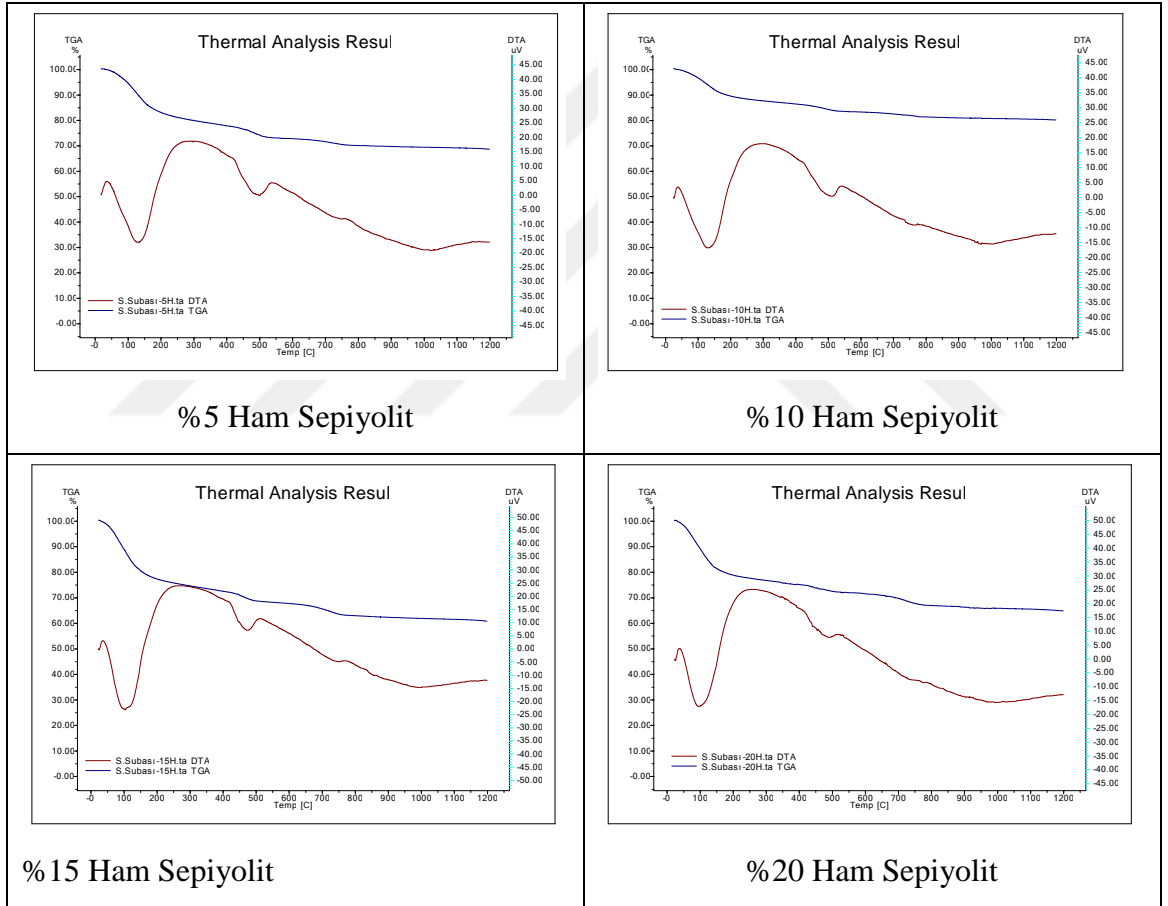
Şekil 4.22. %0 Sepiyolit içeren numunenin DTA-TG analizleri.



Şekil 4.23. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin DTA-TG analizleri.



Şekil 4.23.(devam). Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin DTA-TG analizleri.



Şekil 4.24. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin DTA-TG analizleri.

Hidratasyona tabi tutulmuş örneklerin yaklaşık 100°C’de kapiler boşluklardaki suyun dehidratasyonu ve 100-200°C’lerdeki endotermik etkiler, C-S-H jellerinin farklı aşamalarda dehidratasyonu olarak gelişmiştir. 480-500°C sıcaklık aralığında ise $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (CH)’in dehidratasyonu olarak gelişmiştir. CaCO_3 ’ün kalsinasyonu ise belirsiz pikler şeklinde 750°C sıcaklık bölgesinde gelişmiştir [67]-[69].

Hidratasyona tabi tutulmuş olan örneklerin farklı sıcaklık aralıklarında TG analizleriyle belirlenen kütle kayıpları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. TG analizlerinin sonuçları.

Numuneler Türü	0-200°C, %	0-500°C, %	0-1000°C, %
%0 Sepiyolit	85	76	71
%5 Kalsine	86	77	73
%10 Kalsine	83	74	69
%15 Kalsine	81	73	65
%20 Kalsine	81	72	66
%5 Ham	82	74	69
%10 Ham	89	84	80
%15 Ham	76	69	61
%20 Ham	78	72	65

Çizelge incelendiğinde referans ve sepiyolit ikameli çimento hamurlarının TG analiz sonuçlarından elde edilen kütle kayıpları, sepiyolit ikame oranına göre farklı değerlerde tespit edilmiştir. Tüm çimento hamurları birlikte değerlendirildiğinde en fazla toplam kütle kaybı %15 ham sepiyolit ikameli çimento hamurunda olmuştur. 25-200°C sıcaklık aralığında özellikle %15 ham sepiyolit ikameli çimento hamurunda daha fazla yapısal ve kristal su ile C-S-H fazlarının dehidratasyonu şeklinde görülmektedir. 400-500°C sıcaklık aralığındaki ağırlık kayıpları incelendiğinde ise yine CH’in %15 ham sepiyolit ikameli çimento hamurunda en fazla dehidratasyona uğradığı izlenmiştir.

4.3. HARÇ FAZINDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

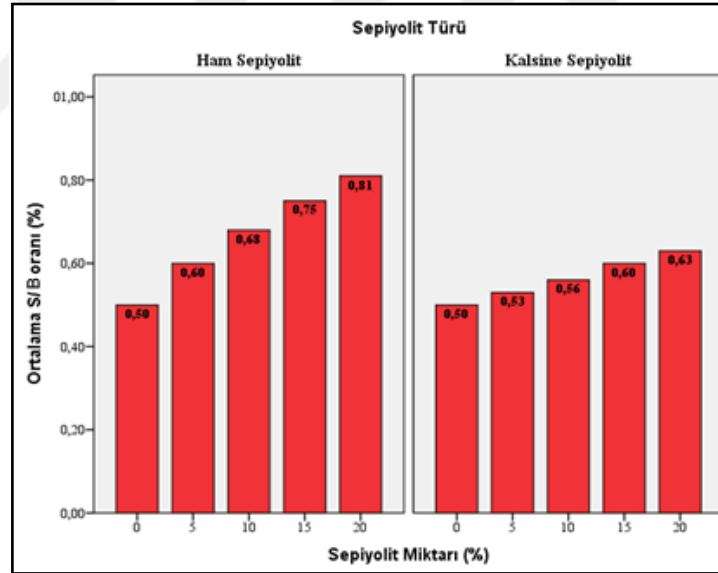
4.3.1. Yayılma Çapı Sonuçları

Sepiyolit ikamesiz referans çimento harcının yayılma çapı standardına uygun olarak bulunmuş, farklı oranlardaki ham ve kalsine sepiyolit ikameli karışımlarda aynı yayılma çapına ulaşmak için su oranları belirlenmiştir. Yayılma çapları Çizelge 4.7’de, sepiyolit ikame miktarına bağlı S/B oranlarının grafik gösterimi ise Şekil 4.25’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Harç numunelerinin yayılma çapı değerleri.

Karışım	Çimento (g)	Sepiyolit (g)	Su (g)	Yayılma (cm)	S/B
0% Sep (Referans)	500	-	250	14,8	0,5
Ham Sepiyolit					
5%Sep	475	25	302	14,8	0,60
10%Sep	450	50	340	14,9	0,68
15%Sep	425	75	373	14,9	0,75
20%Sep	400	100	405	14,8	0,81
900°C'de Kalsine					
5%Sep	475	25	266	14,7	0,53
10%Sep	450	50	282	14,8	0,56
15%Sep	425	75	298	14,8	0,60
20%Sep	400	100	315	14,8	0,63

Sonuçlar incelendiğinde hamur örnekleri üzerinde yapılan kıvam deneyi ile bağlantılı olarak sepiyolit miktarındaki artış ile harç numunelerinin su ihtiyacı artmıştır. Ham ve kalsine sepiyolit karşılaştırıldığında ise sepiyolit kalsinasyon işlemine tabi tutulmasıyla numunelerin su emme oranlarında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25. Sepiyolit miktarına bağlı S/B oranları.

En fazla su ihtiyacı %62 artışla %20 ham sepiyolit ikameli örneklerde görülmüştür. %20 kalsine sepiyolit ikameli numunelerde ise bu artış %26 olarak görülmüştür.

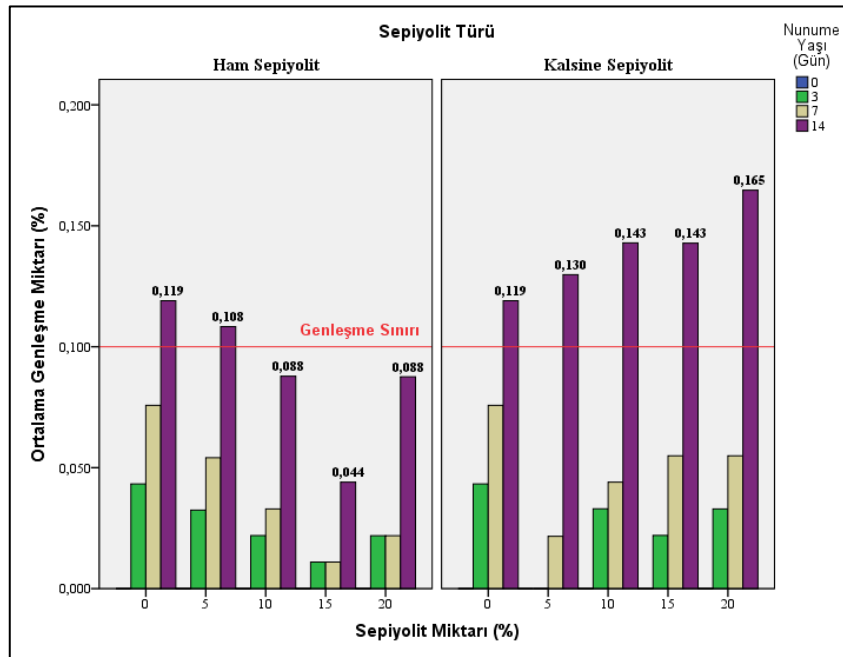
4.3.2. Hızlandırılmış Deney Metodu İle Alkali-Silika Reaktivitesi Sonuçları

Farklı oranlarda sepiyolit ikameli harç karışımları hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi ile genleşme deneyine tabi tutulmuş ve numune boylarındaki genleşme değerleri Çizelge 4.8'de, grafik gösterimi Şekil 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Harç çubuğu ile genişleme tayini sonuçları.

Numune Adı	Numune Yaşı						
	Ref.	3.Gün		7.Gün		14.Gün	
	Boy(cm)	Boy(cm)	% Fark	Boy(cm)	% Fark	Boy(cm)	% Fark
Referans	30,79	30,80	0,04	30,81	0,07	30,83	0,12
%5 Ham	30,78	30,79	0,03	30,79	0,05	30,81	0,11
%10 Ham	30,36	30,37	0,03	30,37	0,03	30,39	0,09
%15 Ham	30,27	30,27	0,01	30,27	0,01	30,29	0,09
%20 Ham	30,46	30,47	0,03	30,47	0,03	30,49	0,08
%5 Kalsine	30,82	30,82	0,00	30,83	0,03	30,86	0,13
%10 Kalsine	30,32	30,33	0,03	30,34	0,04	30,37	0,14
%15 Kalsine	30,34	30,35	0,03	30,37	0,06	30,39	0,14
%20 Kalsine	30,36	30,37	0,03	30,38	0,06	30,42	0,16

Değerler incelendiğinde sepiyolit ikamesi ile hazırlanan harç numunelerinde önemli bir genişleme gözlenmemiştir. Bu da ham ve kalsine sepiyolit yüksek MgO oranına sahip olmasına rağmen çimentolu harçlarda genişleme özelliğinin olmadığını göstermektedir. Kalsine ikameli harç örneklerinde ham ikameli örneklere göre daha fazla genişleme gözlemlenmekle beraber en yüksek genişleme %0,16 ile %20 kalsine sepiyolit ikameli örneklerde gözlemlenmiştir. İkameli örneklerde 3. ve 7. günlerdeki genişleme miktarlarında önemli bir değişim olmazken 14. gün genişleme miktarlarında 3 ve 7. günlere göre 4 kata yakın genişleme gözlemlenmiştir.



Şekil 4.26. Sepiyolit miktarına bağlı genişleme miktarları.

ASTM C1260 standardına göre boy değişimindeki verilerin değerlendirilmesi;

- 14 gün sonunda ölçülen boy değişimi %0,1'den küçükse “Agrega zararsız”,
- 14 gün sonunda ölçülen boy değişimi %0,1-%0,2 arasında ise “Deney süresi uzatılarak örneklerin 28 günlük boy değişimleri ölçülür”,
- 14 gün sonunda ölçülen boy değişimi %0,2'den büyük ise “Agrega potansiyel olarak zararlı”, şeklinde yapılmıştır [58].

Numunelerde alkali silika reaktivitesinden kaynaklanan genleşme, %0,2'lik genleşme sınırının altında kaldığı için sepiyolit alkali silika reaktivitesi açısından zararsız olduğu görülmüştür.

4.3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

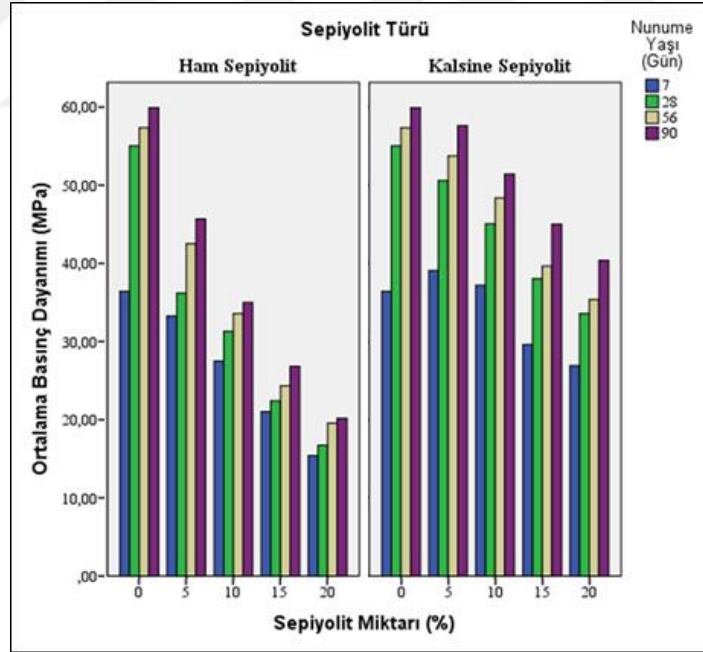
Üretilen harç numunelerin TS EN 196-1'e göre yapılan basınç dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ayrıca sepiyolit ikame oranına bağlı olarak 7, 28, 56 ve 90 günlük harç numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Harç numune basınç dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.

Sepiyolit Türü	Sepiyolit Miktarı (%)	Gün	N	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığında		Minimum	Maksimum
							Alt Sınır	Üst sınır		
Referans	0	7	3	36,42	1,51	0,87	32,66	40,17	35,03	38,03
		28	3	55,03	3,29	1,90	46,86	63,20	51,25	57,21
		56	3	57,36	1,27	0,73	54,21	60,51	56,58	58,82
		90	3	59,90	3,94	2,28	50,11	69,69	56,81	64,34
Ham	5	7	3	33,25	1,33	0,77	29,95	36,55	31,91	34,57
		28	3	36,20	2,83	1,63	29,18	43,22	33,01	38,39
		56	3	42,50	0,17	0,10	42,06	42,93	42,30	42,63
		90	3	45,68	1,97	1,14	40,79	50,58	43,72	47,66
	10	7	3	27,51	1,54	0,89	23,68	31,33	25,80	28,79
		28	3	31,31	1,72	0,99	27,04	35,58	30,22	33,29
		56	3	33,57	1,72	0,99	29,30	37,84	31,83	35,27
		90	3	35,00	0,41	0,24	33,97	36,02	34,53	35,31
	15	7	3	21,01	0,64	0,37	19,43	22,60	20,63	21,75
		28	3	22,41	0,80	0,46	20,43	24,39	21,49	22,92
		56	3	24,32	1,40	0,81	20,83	27,81	23,02	25,81
		90	3	26,82	0,86	0,50	24,68	28,95	26,16	27,79
	20	7	3	15,38	0,73	0,42	13,58	17,18	14,94	16,22
		28	3	16,73	1,06	0,61	14,10	19,36	15,80	17,88
		56	3	19,56	0,32	0,18	18,77	20,34	19,34	19,92
		90	3	20,17	0,80	0,46	18,19	22,16	19,25	20,65

Çizelge 4.9.(devam). Harç numune basınç dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.

Sepiyolit Türü	Sepiyolit Miktarı (%)	Gün	N	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığında		Minimum	Maksimum
							Alt Sınır	Üst sınır		
Kalsine	5	7	3	39,10	4,85	2,80	27,06	51,14	34,11	43,79
		28	3	50,60	0,99	0,57	48,13	53,07	49,71	51,67
		56	3	53,74	1,75	1,01	49,41	58,08	52,00	55,49
		90	3	57,64	1,43	0,83	54,08	61,19	56,00	58,66
	10	7	3	37,20	1,31	0,76	33,93	40,46	36,22	38,69
		28	3	45,08	1,40	0,81	41,60	48,55	44,11	46,68
		56	3	48,38	0,95	0,55	46,02	50,75	47,29	49,02
		90	3	51,43	2,08	1,20	46,26	56,60	50,22	53,83
	15	7	3	29,59	2,18	1,26	24,16	35,02	27,91	32,06
		28	3	38,04	0,26	0,15	37,40	38,68	37,75	38,25
		56	3	39,66	2,09	1,21	34,46	44,85	37,47	41,64
		90	3	45,00	0,72	0,42	43,20	46,80	44,39	45,80
	20	7	3	26,91	0,94	0,54	24,57	29,26	25,88	27,73
		28	3	33,57	2,20	1,27	28,11	39,03	31,03	34,87
		56	3	35,38	1,34	0,78	32,04	38,72	34,24	36,86
		90	3	40,37	1,78	1,03	35,94	44,80	39,20	42,42



Şekil 4.27. Harç numunelerine ait basınç dayanımı deney sonuçları.

Ortalama basınç dayanımı verileri incelendiğinde sepiyolit ikame oranı arttıkça basınç dayanımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin basınç dayanımı değerlerinin ham sepiyolit ikameli numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca %5 ve %10 kalsine sepiyolit ikameli numunelerin erken

yaşlarındaki basınç dayanımlarının referans numune basınç dayanımına göre bir miktar daha yüksek olduğu elde edilen verilerden anlaşılmaktadır.

Farklı sepiyolit türlerinde sepiyolit ikame oranına bağlı olarak gruplar arası farklılıkları ortaya koymak amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiş ve ham sepiyolit üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Sepiyolit ikame miktarına bağlı olarak termal iletkenlik değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.10. Ham sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.

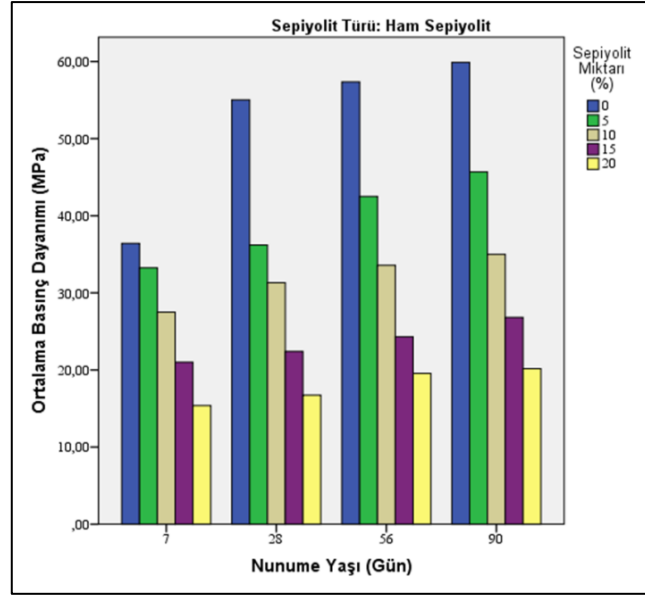
Sepiyolit Miktarı (%)	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
0	Gruplar Arası	1029,061	3	343,020	45,350	0,000
	Gruplar İçi	60,510	8	7,564		
	Toplam	1089,571	11			
5	Gruplar Arası	291,396	3	97,132	28,429	0,000
	Gruplar İçi	27,333	8	3,417		
	Toplam	318,729	11			
10	Gruplar Arası	96,048	3	32,016	15,157	0,001
	Gruplar İçi	16,898	8	2,112		
	Toplam	112,946	11			
15	Gruplar Arası	56,898	3	18,966	20,192	0,000
	Gruplar İçi	7,514	8	0,939		
	Toplam	64,412	11			
20	Gruplar Arası	46,826	3	15,609	26,171	0,000
	Gruplar İçi	4,771	8	0,596		
	Toplam	51,597	11			

Kalsine sepiyolit sonuçları üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Sepiyolit ikame miktarına bağlı olarak termal iletkenlik değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.11. Kalsine sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.

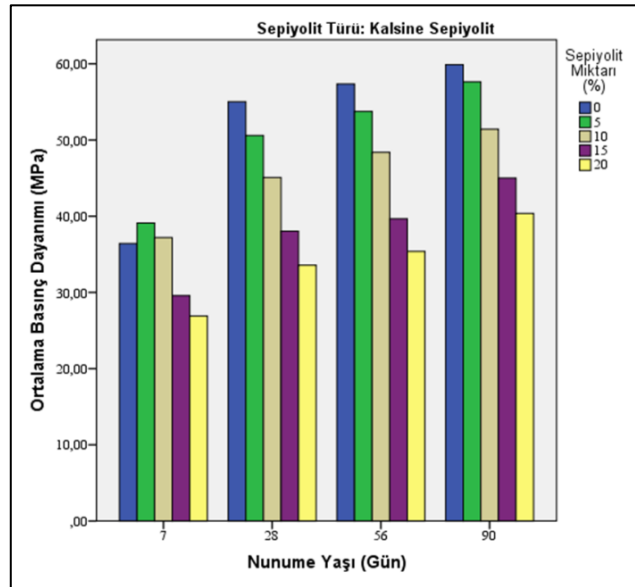
Sepiyolit Miktarı (%)	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
0	Gruplar Arası	1029,061	3	343,020	45,350	0,000
	Gruplar İçi	60,510	8	7,564		
	Toplam	1089,571	11			
5	Gruplar Arası	573,629	3	191,210	25,862	0,000
	Gruplar İçi	59,148	8	7,393		
	Toplam	632,777	11			
10	Gruplar Arası	337,685	3	112,562	50,491	0,000
	Gruplar İçi	17,835	8	2,229		
	Toplam	355,520	11			
15	Gruplar Arası	367,361	3	122,454	50,272	0,000
	Gruplar İçi	19,487	8	2,436		
	Toplam	386,848	11			
20	Gruplar Arası	278,468	3	92,823	34,640	0,000
	Gruplar İçi	21,437	8	2,680		
	Toplam	299,904	11			

Ayrıca numune yaşına bağlı %0, %5, %10, %15 ve %20 ham sepiyolit ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.28'de, kalsine sepiyolit ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi ise Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.28. Numune yaşına bağlı %0, %5, %10, %15 ve %20 ham sepiyolit ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçları.

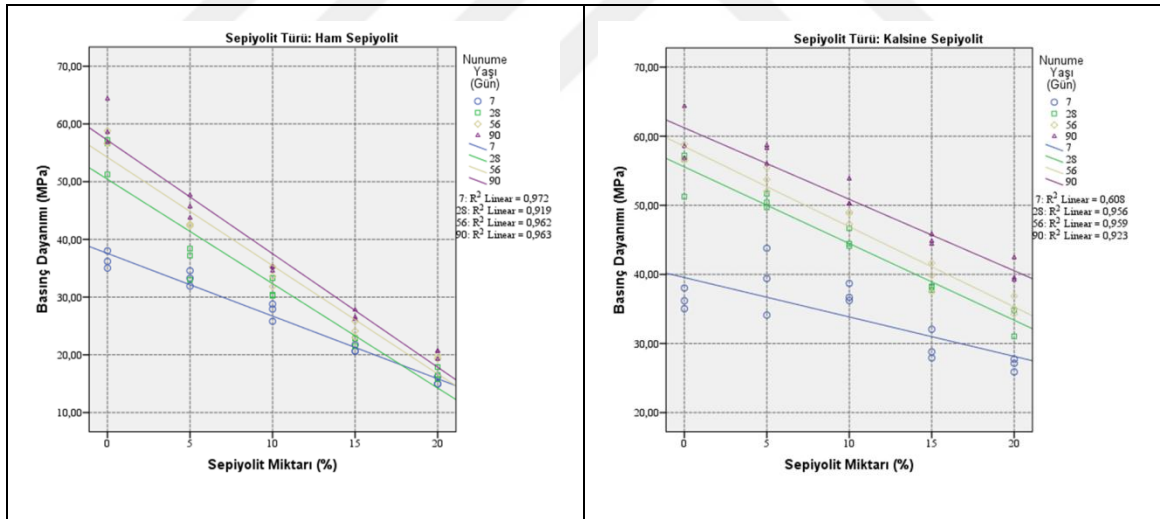
Sonuçlar incelendiğinde numune yaşı arttıkça tüm serilerin basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Numuneler en yüksek dayanıma 90 gün sonra ulaşmıştır. Ayrıca ham sepiyolit oranı arttıkça numunelerin basınç dayanımlarında düşüş gözlemlenmekle beraber en düşük basınç dayanımı %20 ham sepiyolit ikameli örneklerde en yüksek basınç dayanımı ise %0 referans numunelerinde görülmüştür. 28 gün sonunda en yüksek dayanım %51 artışla referans numunelerindedir.



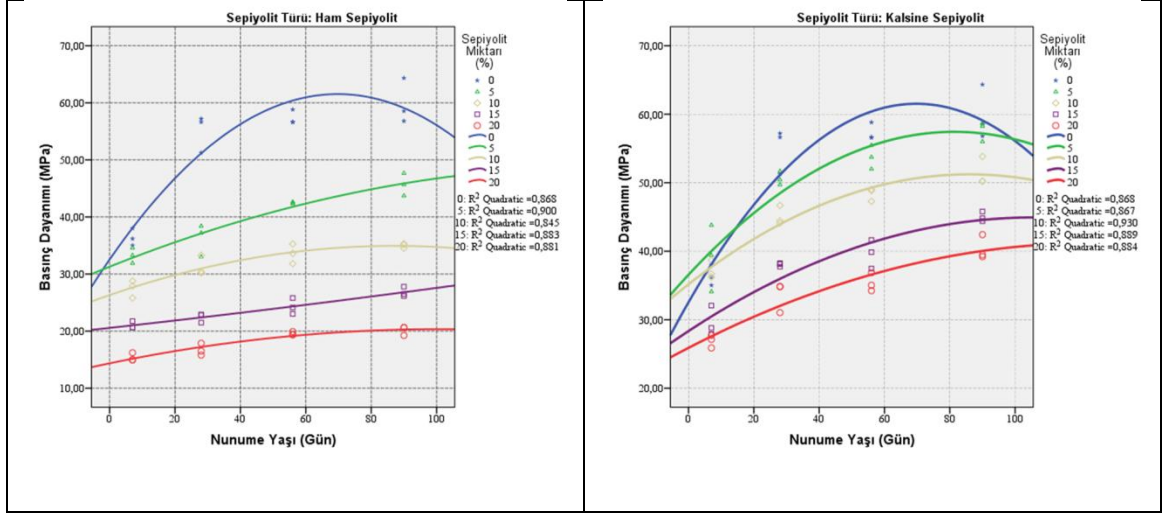
Şekil 4.29. Numune yaşına bağlı %0, %5, %10, %15 ve %20 ham sepiyolit ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçları.

Numune yaşı arttıkça tüm serilerin basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Numuneler en yüksek dayanıma 90 gün sonunda ulaşmıştır. Ayrıca kalsine sepiyolit oranı arttıkça numunelerin basınç dayanımlarında düşüş gözlemlenmekle beraber en düşük basınç dayanımı %20 kalsine sepiyolit ikameli örneklerde en yüksek basınç dayanımı ise %0 referans numunelerinde görülmüştür. %5 ve %10 kalsine sepiyolit ikameli numunelerin 7 günlük erken basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %0 referans numunesinden daha yüksek değerlere ulaştığı daha sonraki yaşlarında ise basınç dayanımının %0 referans numunesinden daha düşük çıktığı görülmektedir.

Sepiyolit ikame miktarları ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Sepiyolit miktarı ile basınç dayanım değerleri arasında birinci dereceden $Y=a+bX$ model denklemi ile açıklanabilen bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Değerler arasındaki ilişki grafiği ve ilişkiyi açıklayan model denklemler Şekil 4.30'da, numune yaşı ile basınç dayanım değerleri arasında ikinci dereceden $Y=a+bX+cX^2$ model denklemi ile açıklanabilen ilişki grafiği ise Şekil 4.31'de görülmektedir.



Şekil 4.30. Sepiyolit ikame miktarları ile basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki grafiği.



Şekil 4.31. Numune yaşı ile basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki grafiği.

4.3.4. Puzolanik Aktivite Deneyi Sonuçları

ASTM C-311 standardına göre yapılan %20 ham ve kalsine sepiyolit ikameli numunelerin 28 günlük kür işlemi sonundaki basınç dayanımı üzerinden puzolanik aktivite indeksi hesaplanmış ve Çizelge 4.12’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde ham ve kalsine sepiyolit ilgili standarda göre puzolanik aktivite indeksinin %75’in altında kaldığı ve puzolanik özellik göstermediği görülmüştür.

Çizelge 4.12. Puzolanik aktivite indeksi sonuçları.

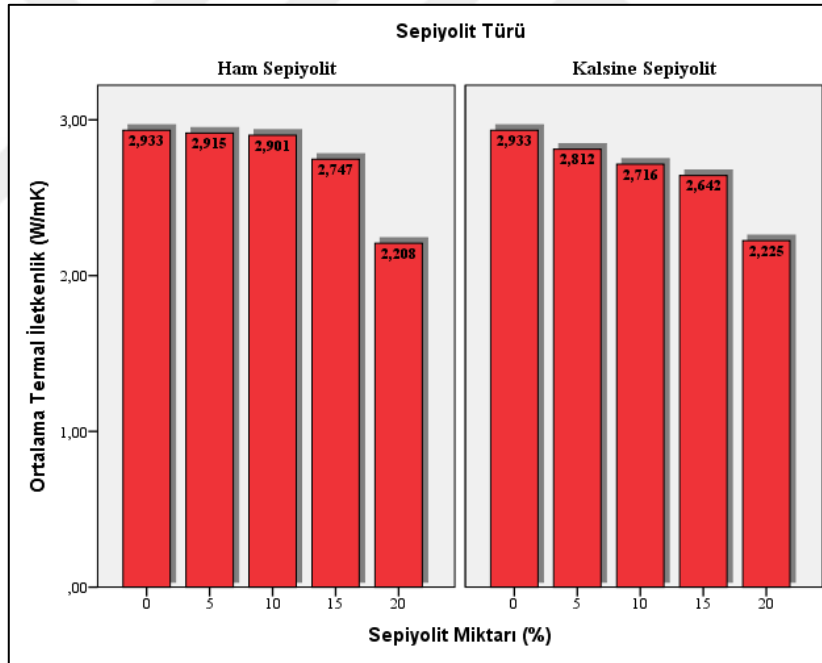
	%0 Sepiyolit İçeren Referans Numunesi	%20 Ham Sepiyolit İkameli Örnekler	%20 Kalsine Sepiyolit İkameli Örnekler
28 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	55,03	16,73	33,57
Puzolanik Aktivite İndeksi (%)	-	30,40	61,00

4.3.5. Termal İletkenlik Sonuçları

Deney sonucunda elde edilen sepiyolit numunelerinin termal iletkenlik verilerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.13’te verilmiştir. Ayrıca sepiyolit ikame oranlarına bağlı olarak termal iletkenlik değerlerindeki değişimi gösteren grafik Şekil 4.32’de görülmektedir.

Çizelge 4.13. Harç numunelerinin termal iletkenlik verilerine ait açıklayıcı istatistikler.

Sepiyolit Türü	Sepiyolit Miktarı (%)	N	Ortalama Termal İletkenlik (W/mK)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığında		Minimum	Maksimum
						Alt Sınır	Üst sınır		
Ham Sepiyolit	0	5	2,9326	0,01066	0,00477	2,9193	2,9458	2,93	2,95
	5	5	2,9151	0,01118	0,00500	2,9012	2,9290	2,90	2,93
	10	5	2,9014	0,01172	0,00524	2,8868	2,9159	2,88	2,91
	15	5	2,7467	0,01022	0,00457	2,7340	2,7594	2,74	2,76
	20	5	2,2081	0,01612	0,00721	2,1881	2,2281	2,18	2,23
Kalsine Sepiyolit	0	5	2,9326	0,01066	0,00477	2,9193	2,9458	2,93	2,95
	5	5	2,8120	0,00837	0,00374	2,8016	2,8224	2,80	2,82
	10	9	2,7156	0,03046	0,01015	2,6921	2,7390	2,69	2,79
	15	5	2,6421	0,01440	0,00644	2,6243	2,6600	2,63	2,66
	20	5	2,2248	0,02017	0,00902	2,1998	2,2499	2,20	2,25



Şekil 4.32. Ham sepiyolit ikameli harç numunelerinin ortalama termal iletkenlik değerleri.

Ortalama termal iletkenlik verileri incelendiğinde sepiyolit ikame miktarı arttıkça termal iletkenlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin termal iletkenlik değerlerinin ham sepiyolit ikameli numunelerden daha düşük olduğu görülmektedir.

Farklı sepiyolit türlerinde sepiyolit ikame oranlarına bağlı olarak gruplar arasında farklılıkları ortaya koymak amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Ham sepiyolit sonuçları üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Sepiyolit ikame miktarına bağlı olarak termal iletkenlik değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.14. Ham sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
Gruplar Arası	1,884	4	0,471	3180,104	0,000
Gruplar İçi	0,003	20	0,000		
Toplam	1,887	24			

Gruplar arasındaki farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığını tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Ham sepiyolit numunelerine ait Duncan testi sonuçları.

Sepiyolit Miktarı (%)	N	Farklı Olan Gruplar			
		1	2	3	4
20	5	2,2081			
15	5		2,7467		
10	5			2,9014	
5	5			2,9151	
0	5				2,9326

Duncan testi sonuçları incelendiğinde sepiyolit ikameli gruplar arasında istatistiki anlamda farklılıklar olduğu %5 ve %10 ikameli grupların birbirinden farklı olmadığı ancak diğer bütün grupların birbirinden farklı olduğu, sepiyolit ikame miktarı arttıkça termal iletkenlik değerlerinde azalma meydana geldiği, en büyük termal iletkenlik değerinin %0 ikameli numunelerde olduğu, en küçük termal iletkenlik değerinin ise %20 oranında sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, %0 ikameli referans numuneye göre %20 ikameli numunelerin %25 oranında daha düşük termal iletkenliğe sahip olduğu görülmektedir.

Kalsine sepiyolit sonuçları üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge

4.16’da verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Sepiyolit ikame miktarına bağlı olarak termal iletkenlik değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.16. Kalsine sepiyolit numunelerine ait varyans analizi sonucu.

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
Gruplar Arası	1,459	4	0,365	824,616	0,000
Gruplar İçi	0,011	24	0,000		
Toplam	1,469	28			

Kalsine sepiyolit ikameli numunelerde gruplar arasındaki farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığını tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerde Duncan testi sonuçları.

Sepiyolit Miktarı (%)	N	Farklı olan gruplar				
		1	2	3	4	5
20	5	2,2248				
15	5		2,6421			
10	9			2,7156		
5	5				2,8120	
0	5					2,9326
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Kalsine sepiyolit ikameli numunelerde, Duncan testi sonuçları incelendiğinde gruplar arasında istatistiki anlamda farklılıklar olduğu, tüm grupların birbirinden farklı olduğu, sepiyolit ikame miktarı arttıkça termal iletkenlik değerlerinde azalma meydana geldiği, en büyük termal iletkenlik değerinin 2,93 W/mK ile %0 ikameli numunelerde olduğu, en küçük termal iletkenlik değerinin ise 2,22 W/mK ile %20 oranında sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, %0 ikameli referans numuneye göre %20 ikameli numunelerin %24 daha düşük termal iletkenliğe sahip olduğu görülmektedir.

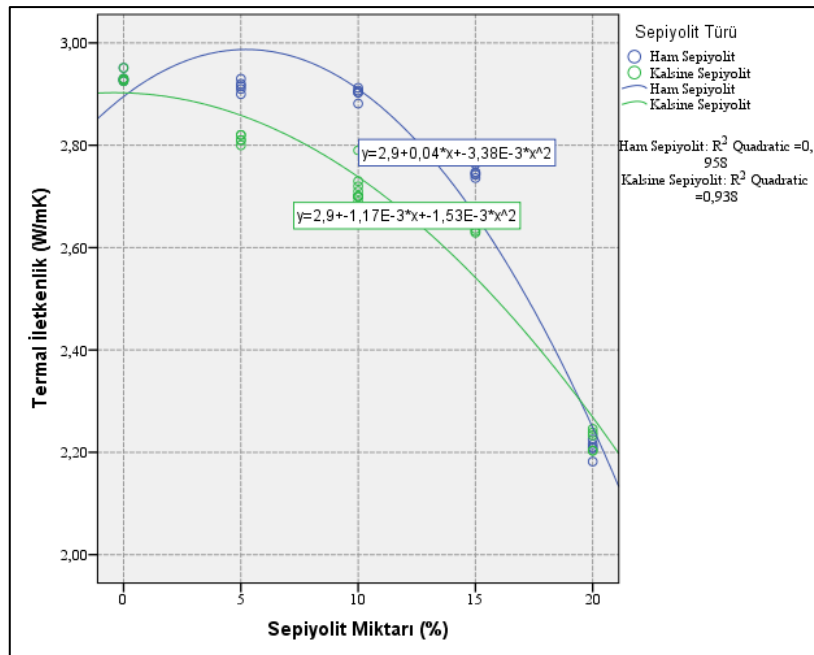
Farklı sepiyolit oranlarında sepiyolit türüne göre termal iletkenlik değerlerinde değişimi tespit edebilmek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Sepiyolit türleri arasında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir.

%20 Sepiyolit ikame miktarı hariç tüm ikame oranlarında, sepiyolit türüne bağlı olarak bağlı olarak termal iletkenlik değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.18. Sepiyolit türüne göre gerçekleştirilen varyans analizi sonucu.

Sepiyolit Oranları	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
%0	Gruplar Arası	0,000	1	0,000	0,000	1,000
	Gruplar İçi	0,001	8	0,000		
	Toplam	0,001	9			
%5	Gruplar Arası	0,027	1	0,027	272,604	0,000
	Gruplar İçi	0,001	8	0,000		
	Toplam	0,027	9			
%10	Gruplar Arası	0,111	1	0,111	167,042	0,000
	Gruplar İçi	0,008	12	0,001		
	Toplam	0,119	13			
%15	Gruplar Arası	0,027	1	0,027	175,243	0,000
	Gruplar İçi	0,001	8	0,000		
	Toplam	0,029	9			
%20	Gruplar Arası	0,001	1	0,001	2,097	0,186
	Gruplar İçi	0,003	8	0,000		
	Toplam	0,003	9			

Sepiyolit ikame miktarları ile termal iletkenlik değerleri arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek amacıyla regrasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Sepiyolit miktarı ile termal iletkenlik değerleri arasında ikinci dereceden $Y=a+bX+cX^2$ model denklemi ile açıklanabilen bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Değerler arasındaki ilişki grafiği ve ilişkiyi açıklayan model denklemler Şekil 4.33'te görülmektedir.



Şekil 4.33. Sepiyolit ikame miktarları ile termal iletkenlik değerleri arasındaki ilişki grafiği.

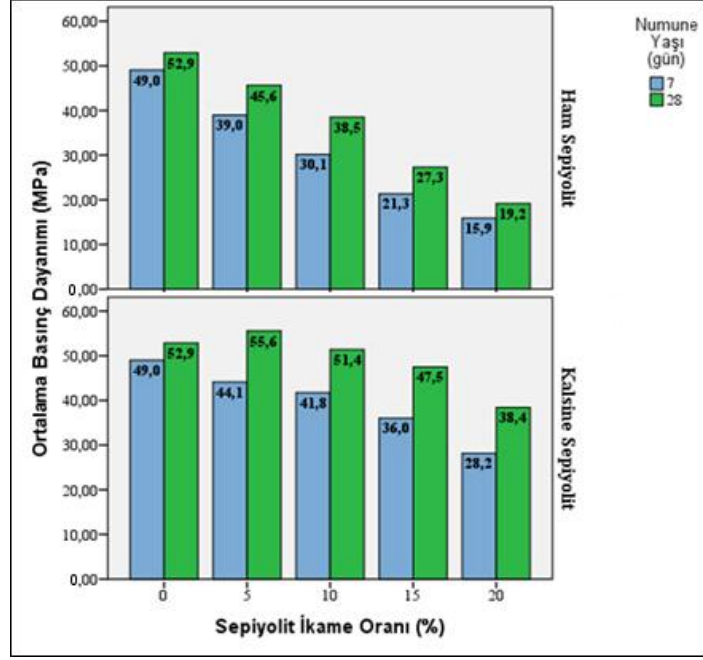
4.4. GRC ÖRNEKLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.4.1. Basınç Dayanımı Sonuçları

Üretilen GRC numunelerin TS EN 196-1'e göre yapılan basınç dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.19'da verilmiştir. Ayrıca sepiyolit ikame oranına bağlı olarak 7 ve 28 günlük GRC numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.34'te verilmiştir.

Çizelge 4.19. GRC basınç dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.

Sepiyolit Türü	Gün	Sepiyolit Miktarı (%)	N	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığında		Minimum	Maksimum
							Alt Sınır	Üst sınır		
Ham	7	0	3	49,050	1,178	0,680	46,123	51,977	47,800	50,140
		5	3	38,970	1,196	0,690	36,000	41,941	38,240	40,350
		10	3	30,130	1,005	0,580	27,633	32,628	29,510	31,290
		15	3	21,333	0,508	0,294	20,070	22,596	21,020	21,920
		20	3	15,907	0,731	0,422	14,091	17,722	15,070	16,420
Ham	28	0	3	52,873	1,302	0,752	49,638	56,109	51,770	54,310
		5	3	45,593	1,356	0,783	42,224	48,963	44,070	46,670
		10	3	38,527	1,932	1,116	33,727	43,326	36,760	40,590
		15	3	27,310	3,180	1,836	19,410	35,210	24,030	30,380
		20	3	19,177	1,058	0,611	16,549	21,804	18,450	20,390
Kalsine	7	0	3	49,050	1,178	0,680	46,123	51,977	47,800	50,140
		5	3	44,133	0,896	0,518	41,906	46,360	43,110	44,780
		10	3	41,770	0,927	0,535	39,467	44,073	40,730	42,510
		15	3	36,007	0,796	0,460	34,029	37,984	35,110	36,630
		20	3	28,157	0,816	0,471	26,128	30,185	27,530	29,080
	28	0	3	52,873	1,302	0,752	49,638	56,109	51,770	54,310
		5	3	55,583	2,819	1,627	48,582	62,585	52,340	57,440
		10	3	51,423	2,206	1,274	45,944	56,903	49,640	53,890
		15	3	47,507	1,762	1,018	43,129	51,885	45,480	48,680
		20	3	38,423	1,895	1,094	33,716	43,131	36,260	39,790



Şekil 4.34. GRC numunelerinin basınç dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Ortalama basınç dayanımı verileri incelendiğinde sepiyolit ikame miktarı arttıkça basınç dayanımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin basınç dayanımı değerlerinin ham sepiyolit ikameli numunelerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Farklı sepiyolit türlerinde numune yaşına bağlı olarak gruplar arasında farklılıkları ortaya koymak amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiş, sonuçlar Çizelge 4.20'de verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Numune yaşına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.20. GRC numunelerine ait varyans analizi sonucu.

Sepiyolit Türü	Sepiyolit Miktarı (%)	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
Ham	7	Gruplar Arası	2133,909	4	533,477	577,186	0,000
		Gruplar İçi	9,243	10	0,924		
		Toplam	2143,152	14			
	28	Gruplar Arası	2217,732	4	554,433	149,836	0,000
		Gruplar İçi	37,003	10	3,700		
		Toplam	2254,735	14			
Kalsine	7	Gruplar Arası	774,525	4	193,631	222,483	0,000
		Gruplar İçi	8,703	10	0,870		
		Toplam	783,228	14			
	28	Gruplar Arası	534,541	4	133,635	31,512	0,000
		Gruplar İçi	42,408	10	4,241		
		Toplam	576,949	14			

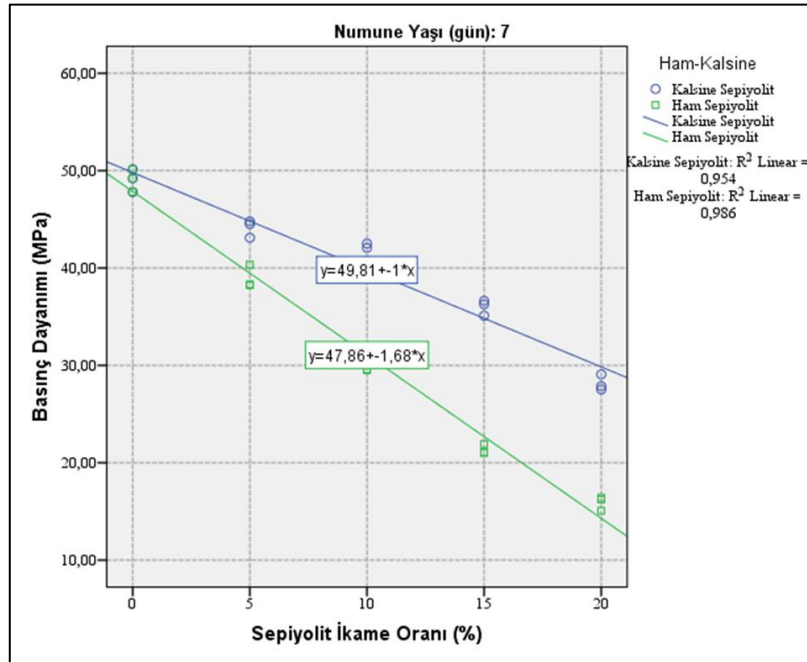
Gruplar arasındaki farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığını tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. GRC numunelerine ait Duncan testi sonuçları.

Sepiyolit Türü	Numune Yaşı	Sepiyolit İkame Oranı (%)	N	Farklı Olan Gruplar					
				1	2	3	4	5	
Kalsine	7	20	3	28,1567					
		15	3		36,0067				
		10	3			41,77			
		5	3				44,1333		
		0	3						49,05
	28	20	3	38,4233					
		15	3		47,5067				
		10	3			51,4233			
		0	3				52,8733	52,8733	
		5	3					55,5833	
Ham	7	20	3	15,9067					
		15	3		21,3333				
		10	3			30,13			
		5	3				38,97		
		0	3						49,05
	28	20	3	19,1767					
		15	3		27,31				
		10	3			38,5267			
		5	3				45,5933		
		0	3						52,8733

Duncan testi sonuçları incelendiğinde sepiyolit ikameli gruplar arasında istatistiki anlamda farklılıklar olduğu, 28 günlük %0 ile %10 ve %0 ile %5 ikameli grupların birbirinden farklı olmadığı, sepiyolit ikame miktarı arttıkça basınç dayanımı değerlerinde azalmanın meydana geldiği, en büyük basınç dayanımı değerinin %0 ikameli numunelerde olduğu, en küçük termal iletkenlik değerinin ise %20 oranında sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, ilerleyen yaşlarında tüm ikame oranlarındaki numunelerin erken yaşlarına göre basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir.

Sepiyolit ikame miktarları ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Sepiyolit miktarı ile basınç dayanımı değerleri arasında birinci dereceden $Y=a+bX$ model denklemi ile açıklanabilen bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Değerler arasındaki ilişki grafiği ve ilişkiyi açıklayan model denklemler Şekil 4.35'te görülmektedir.



Şekil 4.35. Sepiyolit ikame miktarları ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki grafiği.

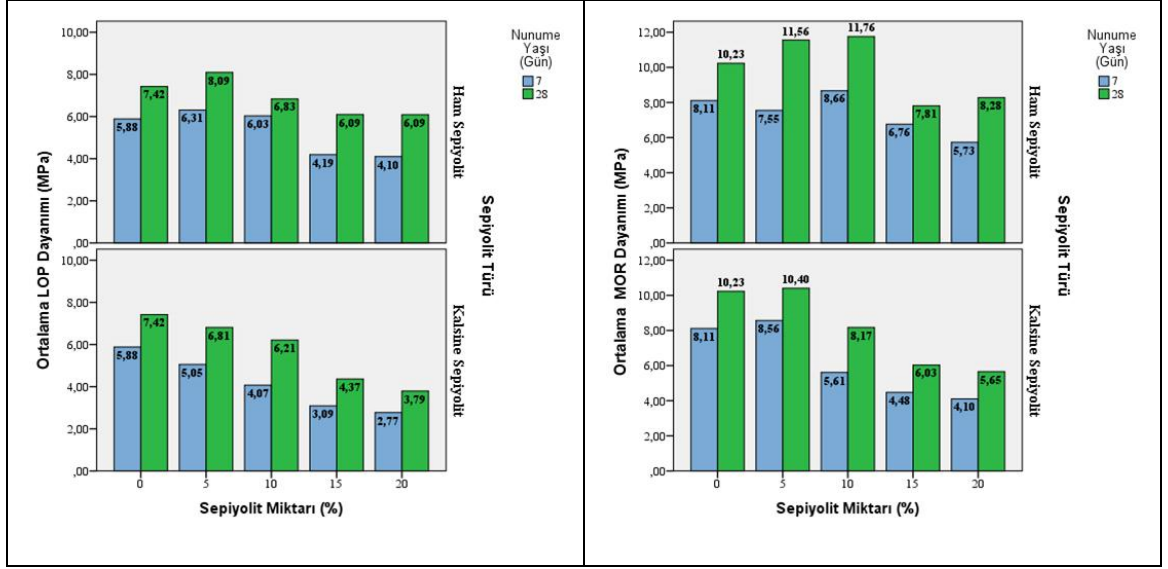
4.4.2. Eğilme Dayanımı Sonuçları

Eğilme dayanımı deneyi, TS EN 1170-5 "Ön Yapımlı Beton Mamuller - Cam Elyaf Takviyeli Çimento Deney Metodu - Bölüm 5: Eğilme Dayanımı Tayini-Tam Eğilme Deneyi Metodu" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.22'de verilmiştir. Ayrıca sepiyolit ikame oranına bağlı

olarak 7 ve 28 günlük GRC numunelerinin eğilme dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Eğilme dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.

Sepiyolit Türü	Gün	Eğilme Dayanım Türü	Sepiyolit Miktarı (%)	N	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığında		Minimum	Maksimum
								Alt Sınır	Üst sınır		
Ham	7	LOP Dayanımı (MPa)	0	8	5,883	1,543	0,545	4,594	7,173	4,180	8,620
			5	8	6,310	1,396	0,494	5,142	7,477	4,490	8,040
			10	8	6,030	1,105	0,391	5,106	6,954	4,510	7,570
			15	8	4,190	0,965	0,341	3,383	4,997	3,220	6,160
			20	8	4,097	0,493	0,174	3,685	4,509	3,510	4,650
		MOR Dayanımı (MPa)	0	8	8,111	1,565	0,553	6,803	9,420	5,320	10,010
			5	8	7,547	0,812	0,287	6,869	8,226	6,310	8,410
			10	8	8,665	1,155	0,408	7,700	9,631	6,630	10,640
			15	8	6,762	0,942	0,333	5,975	7,550	5,740	8,260
			20	8	5,730	0,621	0,220	5,211	6,250	4,770	6,640
	28	LOP Dayanımı (MPa)	0	8	7,421	0,777	0,275	6,772	8,071	6,340	8,460
			5	8	8,093	0,525	0,186	7,654	8,532	7,580	8,790
			10	8	6,830	1,101	0,389	5,910	7,751	5,560	8,580
			15	8	6,094	0,964	0,341	5,287	6,900	4,640	7,500
			20	8	6,087	0,516	0,182	5,656	6,519	5,230	6,750
		MOR Dayanımı (MPa)	0	8	10,230	1,276	0,451	9,164	11,297	8,010	11,310
			5	8	11,557	1,308	0,463	10,463	12,650	9,340	13,200
			10	8	11,755	1,903	0,673	10,165	13,346	10,100	15,810
			15	8	7,809	1,165	0,412	6,835	8,783	5,690	9,170
			20	8	8,277	1,185	0,419	7,286	9,267	6,020	9,400
Kalsine	7	LOP Dayanımı (MPa)	0	8	5,883	1,543	0,545	4,594	7,173	4,180	8,620
			5	8	5,051	0,367	0,130	4,744	5,357	4,300	5,520
			10	8	4,073	0,378	0,134	3,757	4,389	3,420	4,490
			15	8	3,089	1,147	0,406	2,130	4,048	1,450	5,070
			20	8	2,771	0,669	0,236	2,212	3,330	1,370	3,350
		MOR Dayanımı (MPa)	0	8	8,111	1,565	0,553	6,803	9,420	5,320	10,010
			5	8	8,563	1,945	0,688	6,937	10,189	6,290	12,020
			10	8	5,608	1,127	0,398	4,666	6,551	3,800	7,030
			15	8	4,479	0,823	0,291	3,791	5,168	3,160	5,400
			20	8	4,104	0,737	0,261	3,488	4,720	3,100	5,430
	28	LOP Dayanımı (MPa)	0	8	7,421	0,777	0,275	6,772	8,071	6,340	8,460
			5	8	6,806	0,834	0,295	6,109	7,503	5,600	8,090
			10	8	6,213	0,458	0,162	5,830	6,595	5,680	7,130
			15	8	4,367	0,159	0,056	4,234	4,500	4,030	4,520
			20	8	3,791	0,342	0,121	3,505	4,077	3,320	4,300
		MOR Dayanımı (MPa)	0	8	10,230	1,276	0,451	9,164	11,297	8,010	11,310
			5	8	10,400	2,314	0,818	8,466	12,334	8,020	14,370
			10	8	8,173	0,690	0,244	7,596	8,750	7,030	9,000
			15	8	6,025	0,882	0,312	5,288	6,763	5,180	7,690
			20	8	5,653	0,791	0,280	4,992	6,314	4,590	6,770



Şekil 4.36. GRC numunelerinin eğilme dayanımına ait deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Ortalama eğilme dayanımı verileri incelendiğinde sepiyolit ikame miktarı arttıkça eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı, 7 ve 28 numune yaşlarında %5 ham sepiyolit ikameli numunelerin LOP (Elastikiyet Sınırı) değerinin %0 referans numunesine göre arttığı, 28. günde %5 ve %10 ham sepiyolit ikameli numunelerin ile %5 kalsine sepiyolit ikameli numunelerin ise MOR (Maksimum Mukavemet) değerlerinin %0 referans numunesine göre arttığı görülmektedir. Ham sepiyolit ikameli numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin kalsine sepiyolit ikameli numunelerden tüm yaşlarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Farklı sepiyolit türlerinde numune yaşına bağlı olarak gruplar arasında farklılıkları ortaya koymak amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiş, sonuçlar Çizelge 4.23'te verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Numune yaşına bağlı olarak eğilme dayanımı değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.23. Numunelere ait varyans analizi sonucu.

Sepiyolit Türü	Gün	Eğilme Dayanım Türü	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
Ham	7	LOP Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	36,586	4	9,147	6,802	0,000
			Gruplar İçi	47,066	35	1,345		
			Toplam	83,652	39			
		MOR Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	42,526	4	10,631	9,299	0,000
			Gruplar İçi	40,014	35	1,143		
			Toplam	82,539	39			
	28	LOP Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	24,079	4	6,020	9,153	0,000
			Gruplar İçi	23,019	35	0,658		
			Toplam	47,098	39			
		MOR Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	106,404	4	26,601	13,682	0,000
			Gruplar İçi	68,048	35	1,944		
			Toplam	174,452	39			
Kalsine	7	LOP Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	54,775	4	13,694	15,493	0,000
			Gruplar İçi	30,935	35	0,884		
			Toplam	85,710	39			
		MOR Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	135,499	4	33,875	19,414	0,000
			Gruplar İçi	61,071	35	1,745		
			Toplam	196,570	39			
	28	LOP Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	78,941	4	19,735	59,773	0,000
			Gruplar İçi	11,556	35	0,330		
			Toplam	90,497	39			
		MOR Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	161,010	4	40,253	22,716	0,000
			Gruplar İçi	62,018	35	1,772		
			Toplam	223,028	39			

Gruplar arasındaki farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığını tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Çizelge 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Numunelere ait Duncan testi sonuçları.

Sepiyolit Türü	Gün	Eğilme Dayanım Türü	Sepiyolit Miktarı (%)	N	Farklı Olan Gruplar			
					1	2	3	4
Ham	7	LOP Dayanımı (MPa)	20	8	4,097			
			15	8	4,190			
			0	8		5,883		
			10	8		6,030		
		5	8		6,310			
		MOR Dayanımı (MPa)	20	8	5,730			
			15	8	6,762	6,762		
			5	8		7,547	7,547	
	0		8			8,111		
	10	8			8,665			
	28	LOP Dayanımı (MPa)	20	8	6,087			
			15	8	6,094			
			10	8	6,830	6,830		
			0	8		7,421	7,421	
		5	8			8,093		
		MOR Dayanımı (MPa)	15	8	7,809			
			20	8	8,277			
			0	8		10,230		
	5		8		11,557	11,557		
	10	8			11,755			
Kalsine	7	LOP Dayanımı (MPa)	20	8	2,771			
			15	8	3,089			
			10	8		4,073		
			5	8			5,051	
		0	8			5,883		
		MOR Dayanımı (MPa)	20	8	4,104			
			15	8	4,479	4,479		
			10	8		5,608		
	0		8			8,111		
	5	8			8,563			
	28	LOP Dayanımı (MPa)	20	8	3,791			
			15	8	4,367			
			10	8		6,213		
			5	8			6,806	
		0	8				7,4211	
		MOR Dayanımı (MPa)	20	8	5,653			
			15	8	6,025			
			10	8		8,173		
	0		8			10,230		
	5	8			10,400			

Duncan testi sonuçları incelendiğinde sepiyolit ikameli gruplar arasında istatistiki anlamda farklılıklar olduğu, tüm yaşlarında %20 ve %15 ikameli numunelerin tümünün LOP ve MOR gruplarında birbirinden farklı olmadığı, sepiyolit ikame miktarı arttıkça

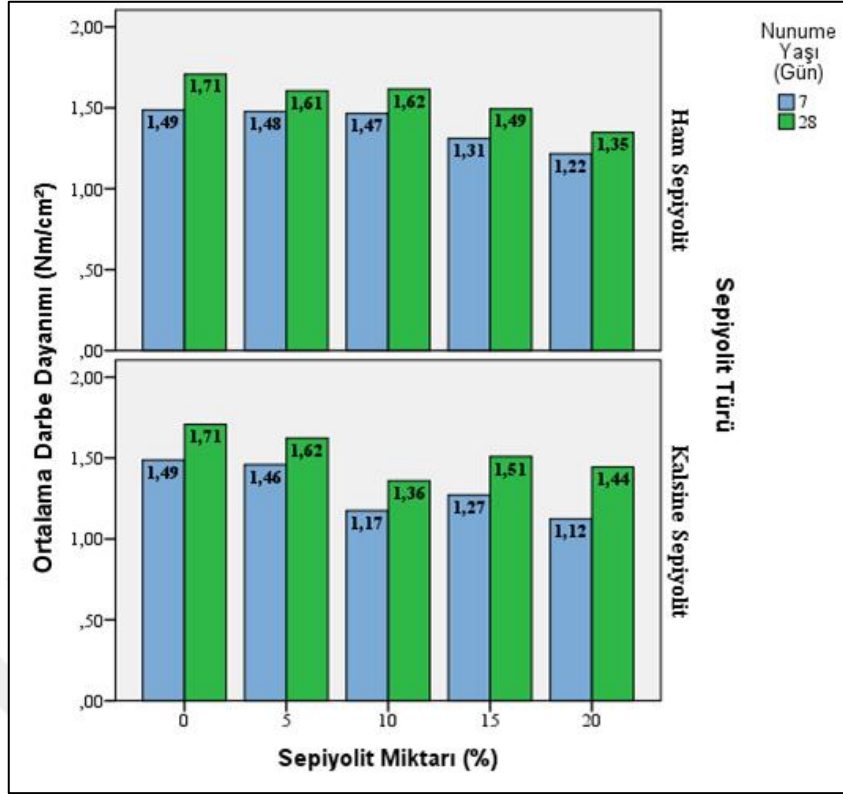
eğilme dayanımı değerlerinde azalmanın meydana geldiği, en büyük 28 günlük MOR eğilme dayanımının %10 ham sepiyolit ikameli numunelerde LOP değerinin ise 28 günlük %5 ham sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, en küçük MOR ve LOP değerlerinin ise %20 oranında kalsine sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, ilerleyen yaşlarında tüm ikame oranlarındaki numunelerin erken yaşlarına göre eğilme dayanımlarının arttığı görülmektedir.

4.4.3. Darbe Dayanımı Sonuçları

Deney sonucunda elde edilen sepiyolit numunelerinin darbe dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.25'te verilmiştir. Ayrıca sepiyolit ikame oranlarına bağlı olarak darbe dayanımı değerlerindeki değişimi gösteren grafik Şekil 4.37'de görülmektedir.

Çizelge 4.25. Numunelerin darbe direnci verilerine ait açıklayıcı istatistikler.

Sepiyolit Türü	Gün	Sepiyolit Miktarı (%)	N	Darbe Direnci (kpm/cm ²)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığında		Minimum	Maksimum
							Alt Sınır	Üst sınır		
Ham	7	0	3	1,487	0,031	0,018	1,411	1,564	1,46	1,52
		5	3	1,477	0,016	0,009	1,438	1,516	1,46	1,49
		10	3	1,465	0,056	0,032	1,326	1,604	1,4	1,51
		15	3	1,311	0,139	0,080	0,967	1,656	1,16	1,43
		20	3	1,216	0,064	0,037	1,058	1,374	1,17	1,29
	28	0	3	1,708	0,067	0,039	1,541	1,875	1,64	1,78
		5	3	1,606	0,062	0,036	1,451	1,761	1,54	1,66
		10	3	1,616	0,097	0,056	1,375	1,857	1,53	1,72
		15	3	1,493	0,057	0,033	1,353	1,634	1,43	1,53
		20	3	1,348	0,050	0,029	1,224	1,473	1,29	1,39
Kalsine	7	0	3	1,487	0,031	0,018	1,411	1,564	1,46	1,52
		5	3	1,459	0,000	0,000	1,459	1,459	1,46	1,46
		10	3	1,175	0,099	0,057	0,930	1,419	1,1	1,29
		15	3	1,271	0,148	0,085	0,904	1,638	1,12	1,41
		20	3	1,124	0,094	0,054	0,891	1,357	1,04	1,23
	28	0	3	1,708	0,067	0,039	1,541	1,875	1,64	1,78
		5	3	1,622	0,091	0,052	1,397	1,847	1,55	1,72
		10	3	1,359	0,049	0,028	1,237	1,481	1,31	1,41
		15	3	1,510	0,095	0,055	1,273	1,746	1,44	1,62
		20	3	1,444	0,096	0,056	1,205	1,683	1,34	1,52



Şekil 4.37. Sepiyolit ikameli numunelerin ortalama darbe dayanımı değerleri.

Ortalama darbe dayanımı verileri incelendiğinde sepiyolit ikame miktarı arttıkça darbe dayanımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kalsine sepiyolit ikameli numunelerin darbe dayanımı değerlerinin ham sepiyolit ikameli numunelerden biraz yüksek olduğu görülmektedir. %10 kalsine sepiyolit ikameli numunelerin 7 ve 28. günlerdeki darbe direçleri en düşük gözükürken bu oranın artmasıyla bu değerdebir miktar artış meydana gelmiştir.

Farklı sepiyolit türlerinde sepiyolit ikame oranlarına bağlı olarak gruplar arasında farklılıkları ortaya koymak amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Sepiyolit ikame miktarına bağlı olarak darbe dayanımı değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.26. Numunelere ait varyans analizi sonucu.

Sepiyolit Türü	Gün	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi $P \leq 0,05$
Ham	7	Gruplar Arası	0,178	4	0,044	8,048	0,004
		Gruplar İçi	0,055	10	0,006		
		Toplam	0,233	14			
	28	Gruplar Arası	0,229	4	0,057	12,157	0,001
		Gruplar İçi	0,047	10	0,005		
		Toplam	0,276	14			
Kalsine	7	Gruplar Arası	0,324	4	0,081	9,819	0,002
		Gruplar İçi	0,082	10	0,008		
		Toplam	0,406	14			
	28	Gruplar Arası	0,232	4	0,058	8,660	0,003
		Gruplar İçi	0,067	10	0,007		
		Toplam	0,298	14			

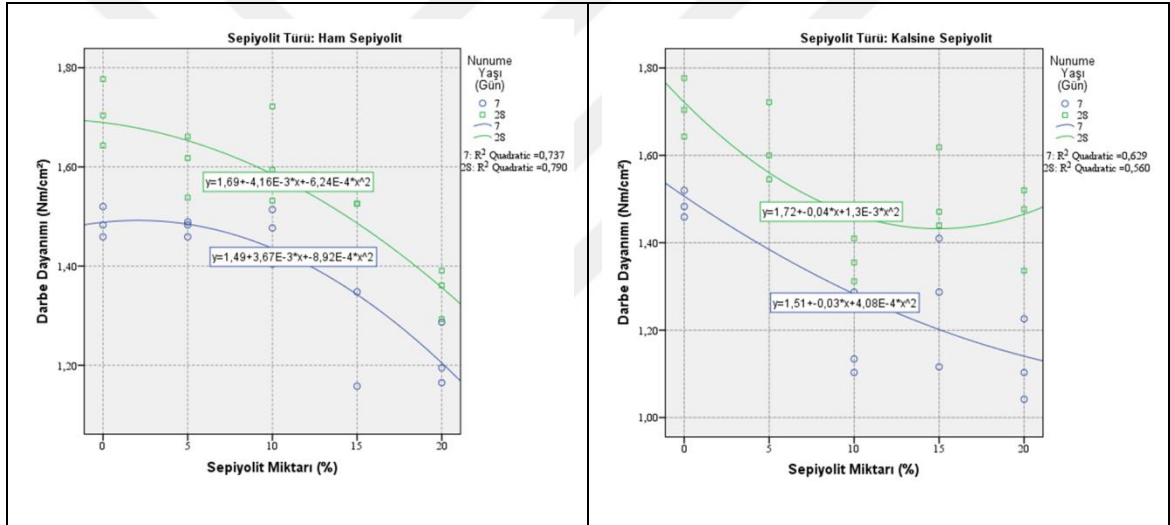
Gruplar arasındaki farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığını tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Numunelere ait Duncan testi sonuçları.

Sepiyolit Türü	Gün	Sepiyolit Miktarı (%)	N	Farklı Olan Gruplar			
				1	2	3	4
Ham	7	20	3	1,216			
		15	3	1,311			
		10	3		1,465		
		5	3		1,477		
		0	3		1,487		
	28	20	3	1,348			
		15	3		1,493		
		5	3		1,606	1,606	
		10	3		1,616	1,616	
		0	3			1,708	
Kalsine	7	20	3	1,124			
		10	3	1,175			
		15	3	1,271			
		5	3		1,459		
		0	3		1,487		
	28	10	3	1,359			
		20	3	1,444			
		15	3	1,510	1,510		
		5	3		1,622	1,622	
		0	3			1,708	

Duncan testi sonuçları incelendiğinde sepiyolit ikameli bazı gruplar arasında istatistiksel anlamda farklılıklar olmadığı, sepiyolit ikame miktarı arttıkça darbe dayanımı değerlerinde azalmanın meydana geldiği, en büyük darbe dayanımı değerinin %0 ikameli numunelerde olduğu, en küçük darbe dayanımı değerinin ise %20 oranında sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, ilerleyen yaşlarında tüm ikame oranlarındaki numunelerin erken yaşlarına göre darbe dayanımlarının arttığı görülmektedir.

Sepiyolit ikame miktarları ile darbe dayanımı değerleri arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Sepiyolit miktarı ile darbe dayanımı değerleri arasında ikinci dereceden $Y=a+bX+cX^2$ model denklemi ile açıklanabilen bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Değerler arasındaki ilişki grafiği ve ilişkiyi açıklayan model denklemler Şekil 4.38’de görülmektedir.



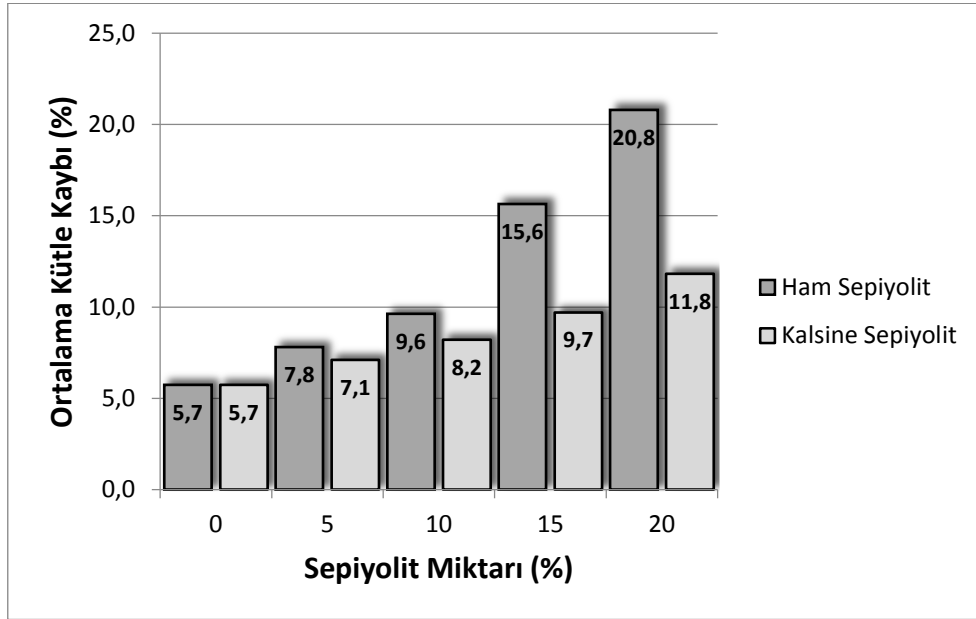
Şekil 4.38. Sepiyolit ikame miktarları ile darbe dayanımı değerleri arasındaki ilişki grafiği.

4.4.4. Aşınma Dayanımı Sonuçları

%0 referans, ağırlıkça %5, %10, %15, %20 oranlarında ham ve sepiyolit ikameli %3 oranında cam lifi içeren toplam 9 farklı oranda ve 27 adet üretilen GRC numuneleri Böhme Deney aleti kullanılarak aşınma testine tabi tutulmuş ve sonuçlar kütle kaybı olarak Çizelge 4.28’de, grafiksek gösterimi ise Şekil 4.39’da verilmiştir.

Çizelge 4.28. Aşınma dayanımı sonuçları

Numune Adı	Sepiyolit Miktarı (%)	Ortalama Kütle Kaybı (%)
Referans	0	5,7
Ham	5	7,8
	10	9,6
	15	15,6
	20	20,8
Kalsine	5	7,1
	10	8,2
	15	9,7
	20	11,8



Şekil 4.39. Sepiyolit ikameli GRC numunelerinin aşınma dayanımı sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde sepiyolit miktarı arttıkça aşınma dayanımının düştüğü, ham sepiyolit ikameli numunelerin ise kalsine edilmiş sepiyolitlerden daha az aşınmaya dayanıklı olduğu görülmektedir. En yüksek kütle kaybı %20,8 ile %20 ham sepiyolit ikameli numunelerde görülürken, aşınmaya en dayanıklı numune serisi %7,1 kütle kaybı ile %5 kalsine sepiyolit ikameli numuneler olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Eskişehir yöresi öğütülmüş sepiyolitinin ikameli çimento üretiminde kullanılabilirliğini araştırmak için ham ve kalsine sepiyolit numuneleri üzerinde; yoğunluk, lazer tane boyutu analizi, termal analiz, kimyasal analiz, F-TIR analizi, kızdırma kaybı deneyi, kalsinasyon işlemi ve SEM-EDS analizleri, ikameli hamur fazı numuneleri üzerinde; kıvam deneyi, priz başlangıç-bitiş deneyleri, hacim genleşme deneyi, termal analiz, F-TIR analizi ve SEM-EDS analizleri, ikameli harç fazındaki numuneler üzerinde yayılma çapı tespiti, alkali-silika reaktivitesi, basınç dayanımı, puzolanik aktivite deneyi ve termal iletkenlik deneyi, son olarak ikameli GRC numuneleri üzerinde ise; basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve aşınma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler ve bu veriler üzerinde yapılan istatistik değerlendirmeler neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Toz örnekler üzerinde yapılan deneyler neticesinde;

- Ham sepiyolit kalsine işlemine tabi tutulduğunda yoğunluğunun arttığı ve 900°C'de kızdırılan sepiyolit en yüksek yoğunluğa sahip olduğu,
- Kızdırma sıcaklığı arttıkça sepiyolit bünyesindeki nemin ve CO₂'nin bünyesinden uzaklaştığı ve 900°C'de %37 ile en yüksek kütle kaybının görüldüğü,
- Ham sepiyolit lifsi yapıya sahip olduğu, kalsinasyon işlemine tabi tutulduğunda ise lifsi yapıların yapısının bozulduğu ve daha oval bir hal aldığı görülmektedir.

Hamur fazında yapılan deneyler neticesinde;

- Referans numunesine göre %20 ham sepiyolit ikamesinin %59 daha fazla suya ihtiyaç duyarken %20 kalsine sepiyolit %28 daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır. Buradan ham sepiyolit kalsine sepiyolite göre daha fazla suyu bünyesine emdiği,

- Sepiyolit ikamesi arttıkça priz başlangıç ve bitiş sürelerinde artışın meydana geldiği, ham sepiyolit kalsine sepiyolite göre daha yüksek priz bitiş süresinin olduğu,
- Ham sepiyolit ve kalsine sepiyolit çimento karışımlarında önemli bir genleşmeye sebep olmadığı,
- Sepiyolit ile çimento pastası arasındaki bağın zayıf olduğu ve bu zayıflık sonucunda çimento pastası ile sepiyolit ara yüzeyinde çatlamların meydana geldiği böylece betonun dayanımına olumsuz etki yaptığı, bu bağın ham sepiyolit kalsine sepiyolite göre daha zayıf olduğu,
- TG analizleri neticesinde tüm sıcaklık aralıklarında en fazla kütle kayıplarının %15 ham sepiyolit ikameli çimento pastası numunelerinde olduğu görülmüştür.

Harç fazında yapılan deneyler neticesinde;

- Sepiyolit kalsinasyon işlemine tabi tutulmasıyla numunelerin su emme oranlarında azalma olduğu, %20 ham sepiyolit ikameli numunelerde en yüksek su ihtiyacının referans numuneye göre %62 arttığı, %20 ham sepiyolit ikameli numunelerde ise bu artışın %26 olduğu,
- Numunelerde alkali silika reaktivitesinden kaynaklanan genleşme, %0,2'lik genleşme sınırının altında kaldığı için sepiyolit alkali silika reaktivitesi açısından zararsız olduğu,
- Sepiyolit oranı arttıkça numunelerin erken ve ileriki yaşlarda basınç dayanımlarının düştüğü, ham sepiyolit ikameli numunelerin kalsine sepiyolit ikameli numunelere göre daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu ve 90. günde en düşük basınç dayanımının %62 azalma ile %20 ham sepiyolit ikameli numunelerde görüldüğü,
- Ham ve kalsine sepiyolit her ikisinin de çimentolu karışımlarda puzolanik özellik göstermediği,
- Ortalama termal iletkenlik verileri incelendiğinde sepiyolit ikame miktarı arttıkça termal iletkenlik değerlerinin azaldığı, bu azalmanın aynı ikame oranındaki ham ve kalsine ikameli numunelerde yakın değerlerde olduğu ve en düşük termal iletkenlik değeri %20 ham sepiyolit ikameli numunelerde görülmüştür.

GRC örnekler üzerinde yapılan deneyler neticesinde;

- Sepiyolit oranı arttıkça numunelerin erken ve ileriki yaşlarda basınç dayanımlarının düştüğü, ham sepiyolit ikameli numunelerin kalsine sepiyolit ikameli numunelere göre daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu, %5 kalsine sepiyolit ikamesinin numunelerin ileriki yaşlardaki basınç dayanımının referans numunesine göre bir miktar artırdığı, 28 günlük en düşük basınç dayanımının 19,2 MPa ile %20 ham sepiyolit ikameli numunelerde olduğu ve bu değer referans numunesine göre %64 daha az değere sahip olduğu,
- Sepiyolit ikame miktarı arttıkça numunelerin eğilme dayanımlarının azaldığı, %5 ve %10 ham sepiyolit ikamesinin numunelerin eğilme dayanımını bir miktar artırdığı ve ikame oranı arttıkça dayanımın düştüğü, %5 kalsine ikamesinin numunelerin eğilme dayanımına bir miktar katkıda bulunduğu fakat bu değerden fazla kalsine sepiyolit eğilme dayanımını düşürdüğü, 28 günlük en düşük MOR eğilme dayanımının 5,65 MPa ile %20 kalsine sepiyolit ikameli numunelerde olduğu,
- Sepiyolit ikame miktarı arttıkça darbe dayanımı değerlerinde azalmanın meydana geldiği, en büyük darbe dayanımı değerinin %0 ikameli numunelerde olduğu, en küçük darbe dayanımı değerinin ise %20 oranında sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, ilerleyen yaşlarında tüm ikame oranlarındaki numunelerin erken yaşlarına göre darbe dayanımlarının ortalama %15 oranında arttığı,
- Sepiyolit miktarı arttıkça aşınma dayanımının düştüğü, ham sepiyolit ikameli numunelerin ise kalsine edilmiş sepiyolitlerden daha az aşınmaya dayanıklı olduğu, en yüksek kütle kaybının %20,8 ile %20 ham sepiyolit ikameli numunelerde olduğu, aşınmaya en dayanıklı numune serisinin ise %5,7 kütle kaybı ile %0 referans numunelerinin olduğu görülmüştür.

Ham ve kalsine sepiyolit puzolanik özelliği bulunmadığı ve çimento karışımlarında basınç dayanımına önemli bir katkı sağlamadığı, sepiyolit ikame oranı arttıkça dayanım değerlerini düşürdüğü, GRC numunelerinde %10'a kadar ham sepiyolit, %5'e kadar kalsine sepiyolit numunelerin eğilme dayanımlarını yapısının lifsi özellikte olması neticesinde bir miktar artırdığı fakat ikame oranının artmasıyla bu dayanımın düştüğü görülmektedir. Bu özelliklerinden dolayı Eskişehir yöresindeki sepiyolit taşıyıcı elemanlarda kullanımının sakıncalı olduğu, ancak taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında

dolgu malzemesi olarak ya da yüksek derecede aşınmaya maruz kalmayan tesviye betonları içerisinde kullanılabileceği, ham sepiyolitın yoğunluğu kalsine sepiyolite göre %22 daha az olduğundan %10 ikame oranını geçmemek şartı ile hafif kaplama elemanların üretilmesinde kullanılabileceği düşünölmektedir. Ayrıca sepiyolitın yapısındaki yüksek su içeriği ve su tutucu özellihte olması nedeniyle ikameli kompozitlerde yüksek sıcaklıklara karşı dayanımının araştırılması önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- [1] *Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, TS EN 197-1, 2002.
- [2] S. Taban ve O. Şimşek, “Zeolitik Tüf Katkı Oranı ve Deniz Suyunun Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, s. 1, ss. 145-153, 2009.
- [3] H.Y. Aruntaş, M. Dayı, İ. Tekin, R. Birgül ve O. Şimşek, “Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi,” *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, s. 173-180, 2007.
- [4] X. Gao, Y. Yang and H. Deng, “Utilization of beetmolasses as a grinding aid in blended cements,” *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 3782-3789, 2011.
- [5] R. Snellings, G. Mertens, Ö. Cizer and J. Elsen, “Early age hydration and pozzolanic reaction in natural zeolite blended cements: Reaction kinetics and products by in situsynchrotron X-ray powder diffraction,” *Cement and Concrete Research*, vol. 40, pp. 1704-1713, 2010.
- [6] H. Y. Aruntaş, M. Gürü, M. Dayı and İ. Tekin, “Utilization of waste marble dust as an additive in cement production,” *Materials and Design*, vol. 31, no. 8, pp. 4039-4042, 2010.
- [7] O. S. Al-Amoudi, M. Maslehuddin, M. Ibrahim, M. Shameem and M.H. Al-Mehthel, “Performance of blended cement concrete sprepared with constant workability,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 33, pp. 90-102, 2011.
- [8] İ. Ustabaş ve Ş. Erdoğan, “Farklı öğütücü kolaylaştırıcı katkıli çimentoların özelliklerinin kıyaslaması,” *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 2013.
- [9] C. Hosten and B. Fidan, “An industrial comparative study of cement clinker grinding systems regarding the specific energy consumption and cement properties,” *Powder Technology*, vol. 221, pp. 183-188, 2012.
- [10] A. Atmaca and M. Kanoglu, “Reducing energy consumption of a rawmill in cement industry,” *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 261-269, 2012.
- [11] M. A. V. Rodriguez, J. D. L. Gonzalez and M. A. Banares Munoz, “Acid activation of a spanish sepiolite, physico chemical karakterizatio, free silica content and surface area of the solids obtained,” *Clay Minerals*, vol. 29, pp. 361-367, 1994.
- [12] A.J. Majumdar and V. Laws, “Glass fiber reinforced cement,” *BSP Professional Books*, Oxford, 1991.
- [13] S. Marikunte, C. Aldea and S. P. Shah, “Durability of glass fiber reinforced cement composites,” *Advanced Cement Based Materials*, vol. 5, pp. 100-108, 1997.

- [14] H. Ball and M. Wackers, "Long term durability of naturally aged GFRC containing Forton polymer," *Proceedings Of The 13th Congress Of The International Glass Fiber Reinforced Concrete Association*, Dublin, Ireland, 2001, pp. 83-95.
- [15] P. Purnell, N.R. Short and C.L. Page, "A static fatigue model for the durability of glass fiber reinforced cement," *Journal of Materials Science*, vol. 36, pp. 5385-5390, 2001.
- [16] J.C. Ferreira and F.A. Branco, "Structural applications of GRC in telecommunications towers," *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 19-28, 2007.
- [17] Yeftaş Prekast. (2015). "GRC Teknik Özellikleri" [Online]. Erişim: <http://www.yeftas.com/public/technical>.
- [18] D. D. IT Bombay. (2012). "Development Of Lightweight Concrete" [Online]. Available: <http://www.engineeringcivil.com/development-of-light-weight-concrete.html>.
- [19] Ö.S. Bideci, "The effect of high temperature on light weight concretes produced with colemanite coated pumice aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 113, no. 15, pp. 631-640, 2016.
- [20] G. Durmuş and M. Arslan, "The effects of high temperature on the cavity structure of concrete," *5th International Advanced Technologies Symposium-IATS'09*, Karabük, Turkey, 2003.
- [21] P. E. Halstead, "The Early History of Portland Cement," *Transactions of the Newcomen Society*, vol. 34, pp. 37-54, 2014.
- [22] A. Yeğınobalı, "Çimento - Yeni bir çağın malzemesi," *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara, 2003.
- [23] L. Şen, "PÇ 42,5 ve PKÇ 32,5 çimentolarla üretilen harçların durabilite özellikleri," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, T.C. Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya, Türkiye, 2005.
- [24] Gurur. (2013). "Cam Elyafı Nedir? Özellikleri Nelerdir?" [Online]. Erişim: <http://www.nkfu.com/cam-elyafi-nedir-ozellikleri-nelerdir/>.
- [25] N. Seventekin, *Kimyasal Lifler*, İzmir, Türkiye: E.Ü. Teks. ve Konf. Araş. Uyg. Merk., 2003, ss. 128-134.
- [26] M. Harmancıoğlu, *Tekstil maddeleri 2 - Rejenere ve sentetik lifler*, İzmir, Türkiye: Ege Üniversitesi Matbaası, 1981, ss. 338-347.
- [27] Ö. Duygu, H. M. Diren, S. Necdet and Ö. Tülin, "Glass Fibers," *Tekstil ve Konfeksiyon*, c. 16, no. 1, ss. 281-287, 2006.
- [28] İnovasilis. (2017). *Silis Kumu Nedir* [Online]. Erişim: <http://inovasilis.com/blog/silis-kumu-nedir>.
- [29] İnovasilis. (2017). *Silis Kumu* [Online]. Erişim: <http://inovasilis.com/icerik/kullanim-alanlari>.
- [30] *Silisyum Elementi Ve Kullanım Alanları* (2017) [Online]. Erişim: <https://www.dersimiz.com/bilgibankasi/SILISYUM-ELEMENTI-VE-KULLANIM-ALANLARI-HAKKINDA-BILGI-389.html>.

- [31] E. Sabah ve M. S. Çelik, “Sepiyolit: Özellikleri ve Kullanım Alanları,” 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu/14-J*, İzmir, Türkiye, 1999.
- [32] T. Kogure. (2017). *Sepiolite Photograph* [Online]. Available: <http://inovasilis.com/icerik/kullanim-alanlari>.<https://cfileonline.org/foto-file-microscopic-images-of-clay-and-minerals/>
- [33] C.E. Weaver and L.D. Pollard, “The chemistry of clay minerals,” *Elsevier Scientific Publishing Company*, vol. 10, pp. 127, 1973.
- [34] G. Can, “Dünya’da ve Türkiye’de sepiyolitik kil,” *MTA Fizibilite Etüdüleri Dairesi Jeoloji Mühendisliği*, ss. 166-170, 1992.
- [35] MTA. (1982). *Sepiyolit* [Online]. Erişim: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/sepiyolit>.
- [36] M.S. Çelik and E. Sabah, “Sepiolite,” *Turkey Industrial Minerals Inventory, General Secretariat of Istanbul Mineral and Metals Exporters' Association*, pp. 181-187, 1999.
- [37] M.R. Gonzalez-Barros, “Spanish industrial minerals and rocks,” *Industrial Minerals*, pp. 63-117, 1995.
- [38] Devlet Planlama Teşkilatı, “Lületaş, Tabakalı Sepiyolit, Atapulgit (Paligorskit), VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu, Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu,” Türkiye, Rap. DPT: 2421, 1996.
- [39] MTA. (2013). *Türkiye Maden Rezervleri (Görünür + Muhtemel)* [Online]. Erişim: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-rezervleri>.
- [40] T. Kavas ve E. Sabah, “Sepiyolitin Lif Takviyeli Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması,” *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2001.
- [41] T. Kavas, E. Sabah and M.S. Çelik, “Structural properties of sepiolite-reinforced cement composite,” *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 2135-2139, 2004.
- [42] E. Fuente, R. Jarabo, A. Moral, Á. Blanco, L. Izquierdo and C. Negro, “Effect of sepiolite on retention and drainage of suspensions of fiber-reinforced cement,” *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 11, pp. 2117-2123, 2010.
- [43] E. Fuente, R. Jarabo, A. Moral, C. Negro and L. Izquierdo, “Effect of sepiolite on the behaviour of fibre cement suspensions in the manufacture of fibre-reinforced cement,” *11th Int. Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference*, 2008.
- [44] S. Andrejkovičová, E. Ferraz, A. L. Velosa, A. S. Silva and F. Rocha, “Fine sepiolite addition to air lime-metakaolin mortars,” *Clay Minerals*, vol. 46, pp. 621-635, 2011.
- [45] S. Martínez-Ramírez, F. Puertas and M.T. Blanco Varela, “Carbonation process and properties of a new lime mortar with added sepiolite,” *Cement and Concrete Research*, vol. 25, no. 1, pp. 39-50, 1995.
- [46] R. Jarabo, E. Fuente, A. Moral, Á. Blanco, L. Izquierdo and C. Negro, “Effect of sepiolite on the flocculation of suspensions of fibre-reinforced cement,” *Cement and Concrete Research*, vol. 40, pp. 1524-1530, 2010.

- [47] A. Demir, "Sepiyolitli harçların mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi," *Ejovoc Special Issue 2nd International Multidisciplinary Eurasian Congress*, 2016.
- [48] M. Savaş, İ. Demir, S. Güzelkçük, Ç. G. Şengül ve H. Yaprak, "Sepiyolit ikame edilmiş gaz betonun ısı ve basınç dayanım özellikleri," *Journal of Polytechnic*, vol. 17, no. 1, pp. 43-47, 2014.
- [49] C. He, E. Makovicky and B. Osbæk, "Thermal treatment and pozzolanic activity of sepiolite," *Applied Clay Science*, vol. 10, pp. 337-349, 1996.
- [50] S. Pu, P. Duan, C. Yan and D. Ren, "Influence of sepiolite addition on mechanical strength and microstructure of flyash-metakaolin geopolymer paste," *Advanced Powder Technology*, vol. 27, pp. 2470-2477, 2016.
- [51] J. P. Melo, A.S. Aguilar and F.H. Olivares, "Rheological properties of aerated cement pastes with fly ash, metakaolin and sepiolite additions," *Construction and Building Materials*, vol. 65, pp. 566-573, 2014.
- [52] N. Alan and S. İşçi, "Surface modification of sepiolite particles with polyurethane," *Progress in Organic Coatings*, vol. 77, pp. 444-448, 2014.
- [53] *Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini*, TS EN 196-1, 2002.
- [54] E. Malgır. (2011). *Lazer Kırınım Yöntemiyle Tane Büyüklüğü Dağılımının Hesaplanmasında Fraunhofer ve Mie Kuramı* [Online]. Erişim: <http://www.nigtasmikronize.com/pdf/makale.pdf>.
- [55] *Çimento deney yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun kimyasal analizi*, TS EN 196-2, 2010.
- [56] *Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini*, TS EN 196-3, 2002.
- [57] *Yapı Kireci - Bölüm 2: Deney Metotları*, TS EN 459-2, 2003.
- [58] *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*, ASTM C-1260-01, 2001.
- [59] *Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete*, ASTM C-311, 2004.
- [60] *Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento Deney Metodu - Bölüm 5: Eğilme Dayanımı Tayini Tam Eğilme Deneyi Metodu*, TS EN 1170-5, 1999.
- [61] A. Bideci, A.H. Gültekin, H. Yıldırım, S. Oymael and Ö. Sallı Bideci, "Internal structure examination of light weight concrete produced with polymer-coated pumice aggregate," *Composites Part B: Engineering*, vol. 54, pp. 439-447, 2013.
- [62] F.A. Shaker, A.S. El-Dieb and M.M. Reda, "Durability of styrene-butadiene latex modified concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 27, pp. 711-720, 1997.
- [63] F. Puertas and A. Fernandez-Jimenez, "Mineralogical and microstructural characterisation of alkali-activated fly ash/slag pastes," *Cement and Concrete Composites*, vol. 25, pp. 287-292, 2003.
- [64] C.E.M. Gomes and O.P. Ferreira, "Analyses of microstructural properties of va/veova copolymer modified cement pastes," *Polimeros: Ciencia E Tecnologia*, vol. 15, no. 3, pp. 193-198, 2005.

- [65] C.E.M. Gomes, O.P. Ferreira and M.R. Fernandes, "Influence of vinyl acetate-versatic vinylester copolymer on the microstructural characteristics of cement pastes," *Material Research*, vol. 8, no. 1, pp. 51-56, 2005.
- [66] Z. Pan, L. Cheng, Y. Lu and N. Yang, "Hydration products of alkali-activated slag-red mud cementitious material," *Cement and Concrete Research*, vol. 32, pp. 357-362, 2002.
- [67] T. Zhang, S. Shang, F. Yin, A. Aishah, A. Salmiah and T.L. Ooi, "Adsorptive behavior of surfactants on surface of portland cement," *Cement and Concrete Research*, vol. 31, no. 7, pp. 1009-1015, 2001.
- [68] W. Prince, M. Espagnea and P.C. Aitcin, "Etrenjit formation: A crucial step in cement superplasticizer compatibility," *Cement and Concrete Research*, vol. 33, pp. 635-641, 2003.
- [69] G. Skripkiunas, V. Sasnauskas, M. Dauksys and D. Palubinskaite, "Peculiarities of hydration of cement paste with addition of hydrosodalite," *Materials Science*, vol. 25, no. 3, pp. 627-635, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rasim Cem SAKA
Doğum Tarihi ve Yeri : 28/12/1987 Çaycuma
Yabancı Dili : İngilizce (YDS 2014 Sonbahar – 82.50)
E-posta : cemsaka@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Y. Lisans	İnşaat Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	İnşaat Müh.	Sakarya Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Oktay Olcay Yurtbay Anadolu Lisesi	2005