

**SEPIYOLİTİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE
SEPIYOLİT KATKILI LİF TAKVİYELİ BETON ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSAN TEZİ

Selçuk KOLTKA

DANIŞMAN

Prof. Dr. Eyüp SABAH

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2012

Bu tez çalışması 00523.STZ.2010-1 numaralı proje ile SANTEZ tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEPIYOLİTİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ
VE SEPIYOLİT KATKILI LİF TAKVİYELİ BETON ÜRETİMİ

Selçuk KOLTKA

DANIŞMAN

Prof. Dr. Eyüp SABAH

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2012

TEZ ONAY SAYFASI

..... tarafından hazırlanan “.....” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğini ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ/DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : (Unvanı, Adı ve Soyadı)

İkinci Danışmanı : (Unvanı, Adı ve Soyadı) (Varsa Yazılacak)

Başkan	: Ünvanı, Adı ve Soyadı ..Ü.Fakültesi,	İmza
Üye	: Ünvanı, Adı ve Soyadı ..Ü.Fakültesi,	İmza
Üye	: Ünvanı, Adı ve Soyadı ..Ü.Fakültesi,	İmza
Üye	: Ünvanı, Adı ve Soyadı ..Ü.Fakültesi,	İmza
Üye	: Ünvanı, Adı ve Soyadı ..Ü.Fakültesi,	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü
(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**SEPIYOLİTİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE
SEPIYOLİT KATKILI LİF TAKVİYELİ BETON ÜRETİMİ**

Selçuk KOLTKA
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Eyüp SABAH

Ülkemiz İspanya'dan sonra önemli sepiyolit rezervlerine sahip olmasına rağmen, sepiyolit yataklarının büyük bir kısmı yeterli kalitede değildir. Bu tür yataklarda sepiyolit dışındaki başlıca bileşen dolomit olmak üzere, yer yer değişik oranlarda illit, detritik kuvars ve volkanik cam bulunmaktadır. Dolomitli sepiyolitler çoğunlukla %50 ve daha fazla oranlarda sepiyolit içerir. Bu tür dolomitik sepiyolitlerin reolojik özelliklerini geliştirmek için zenginleştirme işlemine tabi tutulması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında Eskişehir-Sivrihisar yöresinden alınan ve saflığı %60±10 olan kahverengi ve saflığı %40±10 olan beyaz sepiyolitlerin gravitasyonel yöntemlerle zenginleştirilip reolojisi geliştirildikten sonra sepiyolit katkılı lif takviyeli beton üretimi hedeflenmiştir. Sallantılı masada -2+1 mm fraksiyonlarında sepiyolit numuneleri ile zenginleştirme işlemleri gerçekleştirilmiş ve viskozitesi 815,04 cP olan kahverengi sepiyolit süspansiyonlarından %43,1 verimle 1420 cP viskozite veren kahverengi sepiyolit, viskozitesi 151,04 cP olan beyaz sepiyolit süspansiyonlarından ise %51 verimle 320 cP'lik beyaz sepiyolit ürünleri elde edilmiştir.

Sallantılı masada zenginleştirilen sepiyolit numuneleri, bu proje ile geliştirilen mekanik lif açma işlemine tabi tutulmuş ve proses parametreleri optimize edilmiştir. 1000 D/D karıştırma hızı ile 2 dakika süren bir ön karıştırma ve 16000

D/D'lık 8 dakika süren bir nihai karıştırmadan sonra %6 katı oranında kahverengi sepiyolit süspansiyonları 20.000 cP viskozite, %10 katı oranında beyaz sepiyolit süspansiyonları ise 10.000 cP'lık viskozite vermiştir. Lif açma tekniğinde stabil süspansiyonların önemi bilindiğinden, çok daha yüksek viskozite veren sepiyolit süspansiyonları elde etmek amacıyla sepiyolitlerin fiziko-kimyasal özelliklerini değıştiren – geliştiren yüzey aktif maddeler kullanılmış ve zenginleştirme işlemine tabi tutulan beyaz sepiyolit viskozitesi 19.000 cP'a, kahverengi sepiyolit viskozitesi ise 52.000 cP'a yükselmiştir. Tüvenan sepiyolit süspansiyonları ile reolojisi geliştirilmiş sepiyolit süspansiyonlarının tekil fiberlerinin SEM görüntüleri, yüksek reoloji veren sepiyolit süspansiyonlarında sepiyolit liflerinin elipsoitliğinde artış olduğunu ve bir ağ yapı (network) oluşturduğunu göstermiştir.

Sepiyolit katkılı lif takviyeli beton üretiminde, her iki lif tipi çimentoğun ağırlığınca %0,5, %1, %2 ve %3 katkı oranlarında betona ilave edilmiştir. %0,5-%2 oranlarında kahverengi sepiyolitik lif kullanımı, 28 günlük basınç dayanımı kontrol serilerine göre %7 artış sağlarken, %1 ve %3 oranında beyaz sepiyolitik lif ilave edilen betonlar, 28 günlük referans serileriyle benzer dayanım göstermiştir. Kahverengi ve beyaz sepiyolitik liflerin %2 katkı oranındaki eğilme dayanımı, 28 günlük referans betonların eğilme dayanımlarına oldukça yakındır. Ancak, %0,5, %1 ve %3 katkı oranlarında eğilme dayanımı azalmıştır. %0,5 ve %3 kahverengi sepiyolitik lif katkısı yarma dayanımını artırırken, beyaz sepiyolitik liflerde tüm katkı oranlarında yarma dayanımı artırmıştır. Özellikle %3 beyaz sepiyolitik lif katkısı ile yarma dayanımı, agrega-çimento hamuru ara-yüzeyinin daha dayanıklı hale gelmesi sonucu %29 artmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerinde, basınç dayanımlarında %0,5 üzerindeki kahverengi sepiyolitik liflerin kullanımı etkili olurken, çekme dayanımlarında %2 beyaz sepiyolitik lif katkısı üzerindeki oranların daha olumlu sonuçlar verdiği görölmüştür. Ultrases geçiş hızlarına göre her iki lif tipiyle üretilen 28 günlük betonlar kaliteli beton sınıfı içerisinde yer almışlardır.

Donma çözünme testlerinde; kahverengi sepiyolitik liflerin etkisinin beyaz sepiyolitik lif katkılı betonlara göre daha iyi olduğu, lif miktarı artıkça donma

özünmeye dayanımın arttığı, %2'nin üzerinde kahverengi sepiyolitik lif katkısının, sepiyolitik liflerin betonun işlenebilirliğini azaltması nedeniyle betonun homojenitesini bozduğundan dayanımı düşürdüğü belirlenmiştir. Beton karışımlarına %3 lif ilavesinin, kimyasal katkı kullanılmasına rağmen karıştırmada güçlükler çıkarması nedeniyle her iki lif tipinin de %2 oranına kadar betona ilavesinin uygun olacağı tespit edilmiştir.

2012, xxi + 187 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sepiyolit, Reoloji, Lif takviyeli beton.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

DEVELOPMENT OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SEPIOLITE AND PRODUCTION OF SEPIOLITE-FIBRE-REINFORCED CONCRETE

Selçuk KOLTKA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Eyüp SABAH

Even though our country has the most important sepiolite reserves after Spain, most of our sepiolite beds are not at adequate quality. These types of ore beds contain dolomite as major impurity content, and varying amounts of illite, detritic quartz and volcanic glass depending on locations. Sepiolites with dolomite generally contain 50% or more sepiolite. In order to develop rheologic properties of these types requires enrichment process applications.

In this thesis, first it is aimed to enrich white and brown sepiolites with purities of $60 \pm 10\%$ and $40 \pm 10\%$ from the Eskisehir-Sivrihisar region and develop rheological behavior, than produce sepiolite doped fiber reinforced concrete. Beneficiation processes with shaking table was carried out with $-2 + 1$ mm fraction of sepiolite samples and the white sepiolite suspensions viscosity of 151.04 cP was fed and a product obtained at 51% efficiency and viscosity of 320 cP, in case of brown sepiolite suspension of 815 cP viscosities, a product obtained at 43.1% efficiency and 1420 cP viscosity.

Sepiolite samples enriched with shaking table, was subjected to a mechanical defibering process developed within this project and process parameters were optimized. A pre-mixing for 2 minutes at 1000 rpm agitation speed and final stirring at 16,000 rpm for 8 minutes were applied to brown sepiolite suspensions prepared at final solid to liquid ratio of 6% and a suspension with 20,000 cP

viscosity obtained, and with same parameters were applied to white sepiolite samples prepared at solid to liquid ratio of 10% and a suspension 10,000 cP viscosity were obtained. The importance of producing stable suspensions in defibering technique is very well known, in order to produce much higher viscosity suspension, surface active reagents that alters-improves sepiolites physico-chemical properties and enhance the viscosity of white sepiolite to 19,000 cP and brown sepiolite to 52,000 cP. SEM images of single fibers sampled from run of mine sepiolite suspensions and improved rheology suspensions indicated that the sepiolite fibers ellipsoid shape were developed in the suspension and a network structure constructed.

In production of fiber reinforced concrete, both of these fiber types were added to concrete at solid rates of 0.5%, 1%, 2% and 3%. When brown sepiolite added at 0.5%-2% solid rates, the concrete samples compressive strength 7% increased after 28th day control measurements, whilst the concretes containing 1% and 3% white sepiolite fibers reassured similar strength behaviours at 28 days reference series. The brown and white sepiolite mixed at 2% solid rate concrete samples reproduced flexural strength value similar to strength of 28 days reference concretes. However, at the rates of 0.5%, 1% and 3% addition this flexural strength has decreased. Only when the brown sepiolite fiber addition at 0.5% and 3% increased splitting strength, in case of white sepiolite fiber addition at all rates increased the splitting strength. Especially with the addition of 3% rate of white sepiolite the splitting strength has increased by 29% depending on the increased durability of aggregate-cement matrix interface. On concrete characteristics, the brown sepiolite addition over the rate of 0.5% contribute the increase of compressive strength, in terms of splitting tensile strength white sepiolite addition over 2% represented more positive results. According to ultrasound trespassing speed measurements the concretes of 28 days with added both types of sepiolites represented quality concrete class values. According to freeze-thaw tests, the effect of brown sepiolites are better than white sepiolites, due to increase of fiber amount the resistance against freeze-thaw increased, while over 2% brown sepiolite addition degrades the homogeneity of concrete, therefore it decreases

process ability of the slump and decrease the overall strength. At the rate of 3% sepiolite fiber addition arouse difficulties during stirring even when chemical additives are used, for this reason it is stated that the fiber addition up to 2% for both of the sepiolites would be appropriate

2011, xxi + 187 pages

Key Words: Sepiolite, Rheology, Fiber-reinforced concrete.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim esnasında çalışmalarında beni cesaretlendiren, bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, destek veren saygıdeğer hocam ve danışmanım Prof. Dr. Eyüp SABAH'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın deneysel kısımlarında reolojik ölçüm ve tekniklerini bana öğreten saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. M. Fatih CAN'a, çalışmanın beton üretim kısmında destek veren Doç. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU'na teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarında, agregaların beton standartlarına uygunluğun araştırılması ve raporlanmasında Maden Mühendisi Fatma YILMAZ'a, sepiyolitin taramalı elektron mikroskobu altında incelenmesinde Adaçal Endüstriyel Minerallerden PCC üretim müdürü İ. Koray Kasnak'a ve PCC laboratuvar teknikeri İlker YOLAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca, projeyi destekleyen Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına (SAN-TEZ) ve Adaçal Endüstriyel Mineraller Genel Müdürü Muharrem KAPLAN'a şükranlarımı arz ederim.

Bütün öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen, bana güvenen saygıdeğer aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Selçuk KOLTKA
AFYONKARAHİSAR, 2012

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Sepiyolit.....	3
2.1.1 Sepiyolitin Özellikleri	3
2.1.1.1 Yapısı ve Kompozisyonu	3
2.1.1.2 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	5
2.1.1.3 Reolojik Özellikleri	6
2.1.2 Sepiyolit Yatakları	8
2.1.2.1 Amerika Birleşik Devletleri	8
2.1.2.2 Çin	8
2.1.2.3 İspanya.....	9
2.1.2.4 Türkiye	10
2.1.3 Sepiyolitin Üretim Yöntemi ve Teknolojisi.....	10
2.1.4 Kullanım Alanları.....	16
2.1.4.1 Kedi Toprağı.....	16
2.1.4.2 Sondaj Çamuru	17
2.1.4.3 Zirai Uygulamalar	18
2.1.4.4 Boyalar	18
2.1.4.5 Desikant Nem Tutucu.....	19
2.1.4.6 Endüstriyel Zemin Adsorbanları	19
2.1.4.7 Derz Dolguları.....	20
2.1.4.8 Yapıştırıcı ve Zift Katkısı.....	20

2.1.4.9 Yemlerde Bağlayıcı	20
2.1.4.10 Asfalt	21
2.1.4.11 Sızdırmazlık Ürünleri	21
2.1.4.12 Ağartma Toprağı	21
2.1.4.13 Katalizör Desteği ve Taşıyıcı	21
2.1.4.14 Seramikler	22
2.1.4.15 Kozmetikler	22
2.1.4.16 Filtre Elemanı	22
2.1.4.17 Döküm Kumu Bağlayıcıları	23
2.1.4.18 Deterjan ve Temizlik Malzemeleri	23
2.1.4.19 İlaçlar	23
2.1.4.20 Karbonsuz Kağıt	23
2.1.4.21 Yağ Rafinasyonu	24
2.1.4.22 Gübre Süspansiyonları	24
2.2 Lif Takviyeli Beton	24
2.2.1 Betonda Lif Kullanımının Tarihçesi	27
2.2.2 Çimentolu Kompozitlerde Kullanılan Lif Türleri	28
2.2.3 Çelik Lifler	29
2.2.3.1 Çelik Liflerin Sınıflandırılması	30
2.2.3.2 Çelik Liflerin Performansları	32
2.2.3.3 Çelik Lifin Beton Özellikleri Üzerine Etkileri	33
2.2.4 Polipropilen Lif Katkılı Betonlar	38
2.2.4.1 Polipropilen Lif	38
2.2.4.2 Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması	38
2.2.4.3 Polipropilen Liflerin Performansları	39
2.2.4.4 Polipropilen Lifli Betonun Teknik Özellikleri	40
2.2.4.5 Polipropilen Liflerin Kullanım Alanları	42
3. MATERYAL ve METOD	44
3.1 Materyal	44
3.2 Metod	46
3.2.1 Sepiyolite Uygulanan Karakterizasyon Testleri	46
3.2.2 Sepiyolite Uygulanan Zenginleştirme Testleri	56

3.2.3 Agregaya Uygulanan Karakterizasyon Testleri	61
3.2.4 Beton Karışımların Hazırlanması ve Üretimi	62
3.2.4.1 Taze Beton Testleri	63
3.2.4.2 Sertleşmiş Beton Testleri.....	66
4. BULGULAR.....	74
4.1 Sepiyolite Uygulanan Karakterizasyon Testleri Sonuçları.....	74
4.1.1 Kimyasal Mineralojik ve DTA-TGA Analizleri.....	74
4.1.2 Boyut Analizleri.....	78
4.1.3 BET Özgül Yüzey Alanı ve Su Emme.....	80
4.2 Tüvenan Sepiyolite Ait Reolojik Ölçümler.....	80
4.2.1 CC27 Spindle ile Yapılan Reolojik Ölçümler.....	80
4.2.2 CC39 Spindle ile Yapılan Reolojik Ölçümler.....	83
4.3 Zenginleştirme Deneyleri.....	85
4.3.1 Kahverengi Sepiyolit Zenginleştirilmesi	85
4.3.1.1 Zenginleştirme İşlemine Tabi Tutulan Kahverengi Sepiyolit Viskozitesi için Regrasyon Modeli.....	88
4.3.2 Beyaz Sepiyolit Zenginleştirilmesi	94
4.3.2.1 Zenginleştirme İşlemine Tabi Tutulan Beyaz Sepiyolit Viskozitesi için Regrasyon Modeli	98
4.4 Lif Açma Prosesi	105
4.4.1 Mekanik Aktivasyon Öncesi Stabil Süspansiyonların Hazırlanması.....	105
4.4.2 Mekanik Aktivasyon	109
4.4.3 Lif Açma İçin Regrasyon Modeli	114
4.4.4 Koagülantların Sepiyolit Reolojik Özelliklerine Etkisi	117
4.4.5 Lifleri Açılmış Sepiyolitlerle Oluşturulan Süspansiyonların Reolojisi .	121
4.4.5.1 Kahverengi Sepiyolit Süspansiyonların Reolojik Özellikleri	121
4.4.5.2 Beyaz Sepiyolit Süspansiyonların Reolojik Özellikleri	125
4.5 Beton Testleri.....	131
4.5.1 Agregaya Uygulanan Karakterizasyon Testleri	131
4.5.1.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı	131
4.5.1.2 İncelik Modülü Testi	134
4.5.1.3 Çok İnce Malzeme Muhtevası Testi.....	134

4.5.1.4 Tane Şekli Tayini	136
4.5.1.5 Los Angeles Metodu	136
4.5.1.6 Agreganın Özgül Ağırlık ve Su emme Testi	137
4.5.1.7 Gevşek Yığın Yoğunluk Testi	140
4.5.1.8 Sıkışık Yığın Yoğunluk Testi	141
4.5.1.9 Donma ve Çözünmeye Karşı Direnç Testi	142
4.5.1.10 Hava Dolaşımli Etüvde Kurutma ile Su Muhteva Testi	142
4.5.1.11 Asitte Çözünbilen Sülfat Testi	143
4.5.1.12 Toplam Kükürt Testi	143
4.5.1.13 Ateş Zaiyatı Testi	143
4.5.1.14 Humus Muhtevası Testi	144
4.5.1.15 Agreganın Kimyasal İçeriği	144
4.5.1.16 Petrografik Analiz	145
4.5.2 Sepiyolitik Lif Katkılı Beton Testleri	146
4.5.2.1 Sepiyolitik Lif Katkılı Taze Beton Testleri	146
4.5.2.2 Sepiyolitik Lif Katkılı Sertleşmiş Beton Testleri	149
4.5.3 Lif Takviyeli Betonların Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri	164
5. SONUÇLAR	174
6. KAYNAKLAR	179
ÖZGEÇMİŞ	187

SİMGELER ve KISATMALAR DİZİNİ

Simgeler

°	Derece
%	Yüzde
lt	Litre
m	Metre
t	Ton
kg	Kilogram
µm	Mikron
V	Hacim

Kısaltmalar

SEP	Sepiyolit
KSEP	Kahverengi Sepiyolit
BSEP	Beyaz Sepiyolit
API	Amerikan Petrol Enstitü
PÇ	Portland çimentosu
CEN	Avrupa Standartlar Komitesi
XRD	X-ray Diffraction
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sepiyolit kristal yapısı.....	4
Şekil 2.2 Sepiyolit ve poligorskit kristal yapısı.....	5
Şekil 2.3 Sepiyolit yapısını teşkil eden liflerin şematik gösterimi	7
Şekil 2.4 Güney Georgia ve Kuzey Florida Poligorskit yatakları.....	8
Şekil 2.5 Çin sepiyolit yatakları	9
Şekil 2.6 Ocakta kurumaya bırakılan tüvenan sepiyolit.....	11
Şekil 2.7 Sepiyolit üretim akım şeması	15
Şekil 2.8 Sepiyolit kullanım alanları	16
Şekil 2.9 Beton teknolojisi gelişimine bağlı dayanımları	25
Şekil 2.10 Beton takviyesinde kullanılan polipropilen	26
Şekil 2.11 Çelik lif katkılı beton	26
Şekil 2.12 Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri.....	29
Şekil 2.13 Çelik lif çeşitleri.....	31
Şekil 2.14 Maksimum basınç yükü aşıldıktan sonra lifli beton davranışı.....	35
Şekil 2.15 Döküm sonrasında lifler	36
Şekil 2.16 Çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı.....	37
Şekil 3.1 Sepiyolit sahası yer buldu haritası	44
Şekil 3.2 Numune bölme akım şeması	45
Şekil 3.3 XRD cihazı.....	46
Şekil 3.4 XRF cihazı	46
Şekil 3.5 Termal analiz cihazı	47
Şekil 3.6 Elek sarsma cihazı.....	47
Şekil 3.7 Malvern Mastersize 2000 tane boyut analiz cihazı	48
Şekil 3.8 Nova 2200 e yüzey alanı ölçüm cihazı	49
Şekil 3.9 Nem ölçüm cihazı	50
Şekil 3.10 Otomatik yoğunluk ölçüm cihazı ve soğutma ünitesi	50
Şekil 3.11 Yığın yoğunluğu ölçüm aparatı.....	51
Şekil 3.12 Zeta potansiyel ölçüm cihazı.....	51
Şekil 3.13 Değişken devirli yüksek hızlı karıştırıcı	52

Şekil 3.14 Anton Paar Rheolab QC reometre cihazı	54
Şekil 3.15 Gravitasyonel yöntemlerle sepiyolit zenginleştirme akım şeması	57
Şekil 3.16 Sallantılı masa deney düzeneği	57
Şekil 3.17 Genel proses akım şeması	60
Şekil 3.18 Beton karıştırma mikseri	62
Şekil 3.19 Beton karılma işlem aşamaları	63
Şekil 3.20 Slump test ekipmanları ve deneyi	64
Şekil 3.21 Beton hava metre cihazı	65
Şekil 3.22 Beton kalıpları	65
Şekil 3.23 Kür havuzu	66
Şekil 3.24 Hidrolik pres makinesi	67
Şekil 3.25 Yarma deneyi	68
Şekil 3.26 Eğilme deneyi	68
Şekil 3.27 Ultrases cihazı	70
Şekil 3.28 Donma-Çözünme deneyinin yapılması	70
Şekil 3.29 Donma-Çözünme deneyi akış şeması	71
Şekil 3.30 Arşimet deney düzeneği	72
Şekil 4.1 Tüvenan kahverengi sepiyolite ait XRD diyagramı	75
Şekil 4.2 Tüvenan beyaz sepiyolite ait XRD diyagramı	75
Şekil 4.3 Kahverengi sepiyolite ait DTA ve TGA analizi	76
Şekil 4.4 Beyaz sepiyolite ait DTA ve TGA analizi	77
Şekil 4.5 Isıl işlem ile sepiyolit kristal yapısındaki değişim	78
Şekil 4.6 Tüvenan kahverengi sepiyolit boyut dağılım eğrisi	78
Şekil 4.7 Tüvenan beyaz sepiyolit boyut dağılım eğrisi	79
Şekil 4.8 Boyult küçültme işlemine tabi tutulan sepiyolit numunelerinin boyut dağılımı	79
Şekil 4.9 Süspansiyonun katı oranının kahverengi sepiyolit reolojisine etkisi	81
Şekil 4.10 Süspansiyonun katı oranının beyaz sepiyolit reolojisine etkisi	81
Şekil 4.11 %15 katı oranında kahverengi sepiyolite ait kayma hızı-kayma gerilimi reogramı	82
Şekil 4.12 %15 katı oranında kahverengi sepiyolit numunesinin reolojisi (CC 17) ..	83
Şekil 4.13 -2 +1 mm fraksiyonu kahverengi sepiyolit zenginleştirme akım şeması ..	86

Şekil 4.14 -1 +0,5 mm fraksiyonu kahverengi sepiyolit zenginleştirme akım şeması	86
Şekil 4.15 -0,5 mm fraksiyonu kahverengi sepiyolit zenginleştirme akım şeması	87
Şekil 4.16 Farklı fraksiyonlarda yapılan zenginleştirmenin viskozite ve verime etkisi.....	87
Şekil 4.17 Sallantılı masa nihai zenginleştirme prosesi materyal balansı.....	90
Şekil 4.18 Tane boyutunun viskoziteye etkisi.....	90
Şekil 4.19 Besleme suyu miktarının viskoziteye etkisi.....	91
Şekil 4.20 Genlik frekansının viskoziteye etkisi.....	92
Şekil 4.21 Genliğin viskoziteye etkisi.....	92
Şekil 4.22 Masa eğiminin viskoziteye etkisi.....	93
Şekil 4.23 Tüvenan kahverengi sepiyolit (a) ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolit (b) ait XRD diftogramı.....	93
Şekil 4.24 -2 +1 mm fraksiyonu beyaz sepiyolit zenginleştirme akım şeması	95
Şekil 4.25 -1 +0,5 mm fraksiyonu beyaz sepiyolit zenginleştirme akım şeması	96
Şekil 4.26 -0,5 mm fraksiyonu beyaz sepiyolit zenginleştirme akım şeması.....	97
Şekil 4.27 Farklı fraksiyonlarda zenginleştirmenin viskozite ve verime etkisi	97
Şekil 4.28 Sallantılı masa nihai zenginleştirme prosesi materyal balansı.....	100
Şekil 4.29 Boyut dağılımının viskoziteye etkisi.....	101
Şekil 4.30 Besleme suyu miktarının viskoziteye etkisi.....	102
Şekil 4.31 Genliğin viskoziteye etkisi.....	102
Şekil 4.32 Masa eğiminin viskoziteye etkisi.....	103
Şekil 4.33 Genlik frekansının viskoziteye etkisi.....	104
Şekil 4.34 Tüvenan beyaz sepiyolit (a) ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolit (b) ait XRD diftogramı	105
Şekil 4.35 Kahverengi sepiyolit süspansiyonuna dağıtıcı tuzun etkisi	106
Şekil 4.36 Beyaz sepiyolit süspansiyonuna dağıtıcı tuzun etkisi	107
Şekil 4.37 Lif açma prosesinde dispersan ilavesinin mekanik aktivasyona etkisi ...	108
Şekil 4.38 Dispersan varlığında mekanik aktivasyon etkisiyle açılan sepiyolitik liflerin SEM görünümü.....	108
Şekil 4.39 500 ml hacimli süspansiyonda farklı akış rejimleri	110
Şekil 4.40 750 ml hacimli süspansiyonda farklı akış rejimleri	111

Şekil 4.41 1000 ml hacimli süspansiyonda farklı akış rejimleri	112
Şekil 4.42 Süspansiyon hacminin viskoziteye etkisi.....	113
Şekil 4.43 Pervane yüksekliğinin viskoziteye etkisi	114
Şekil 4.44 Kahverengi sepiyolit süspansiyonuna iki ve tek değerlikli metal tuzların etkisi	118
Şekil 4.45 Kahverengi sepiyolit süspansiyonun viskozitesine CaCl ₂ 'ün etkisi	119
Şekil 4.46 Beyaz sepiyolit süspansiyonuna iki ve tek değerlikli metal tuzların etkisi.....	120
Şekil 4.47 Beyaz sepiyolit süspansiyonun viskozitesine CaCl ₂ 'ün etkisi	121
Şekil 4.48 Kahverengi sepiyolit süspansiyonun kayma gerilimi – kayma hızı reogramı ve tiksotropisi.....	122
Şekil 4.49 Kahverengi sepiyolit süspansiyonun görünür viskozite-kayma hızı reogramı.....	123
Şekil 4.50 Tüvenan ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolit süspansiyonunda kayma gerilimine bağlı viskozite reogramı.....	124
Şekil 4.51 Farklı morfolojideki partiküllerin viskozite-kayma gerilimi	124
Şekil 4.52 Tüvenan ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolit süspansiyonlarının zamana bağlı viskozite değişimi.....	125
Şekil 4.53 Beyaz sepiyolit süspansiyonun kayma gerilimi – kayma hızı reogramı ve tiksotropisi.....	125
Şekil 4.54 Beyaz sepiyolit süspansiyonun görünür viskozite-kayma hızı reogramı	127
Şekil 4.55 Tüvenan ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolit süspansiyonunda artan kayma gerilimine bağlı viskozite reogramı	128
Şekil 4.56 Tüvenan beyaz sepiyolit.....	129
Şekil 4.57 Tüvenan ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolit süspansiyonlarının zamana bağlı viskozite değişimleri.....	130
Şekil 4.58 Kırmataş agregasına (22,4/11,2) granülometri eğrisi.....	133
Şekil 4.59 Kırmataş agregasına (11,2/4) granülometri eğrisi.....	133
Şekil 4.60 Kırmataş agregasına (4/0) granülometri eğrisi.....	134
Şekil 4.61 Kayaç içerisinde gözlenen (KAL) kalsit mineralli.....	145
Şekil 4.62 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonda taze birim ağırlık	147

Şekil 4.63 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonda slump.....	147
Şekil 4.64 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonda hava içeriği	148
Şekil 4.65 Kahverengi sepiyolit lif katkılı betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım gerilmeleri.....	149
Şekil 4.66 Beyaz sepiyolitik lif katkılı betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım gerilmeleri	150
Şekil 4.67 Farklı lif türlerinin basınç dayanımına etkisi	151
Şekil 4.68 Kahverengi sepiyolit lif katkılı betonların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı	152
Şekil 4.69 Beyaz sepiyolit lif katkılı betonların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı ..	153
Şekil 4.70 Farklı lif türlerinin eğilme dayanımına etkisi	155
Şekil 4.71 Kahverengi sepiyolit lif katkılı betonların 7 ve 28 günlük yarma dayanımı	155
Şekil 4.72 Beyaz sepiyolit lif katkılı betonların 7 ve 28 günlük yarma dayanımı ..	155
Şekil 4.73 Farklı lif türlerinin yarma dayanımına etkisi	156
Şekil 4.74 Kahverengi sepiyolit lif katkılı küp betonların 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızları	158
Şekil 4.75 Beyaz sepiyolit lif katkılı küp betonların 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızları	158
Şekil 4.76 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonların donma çözünme sonrası ağırlık kaybı.....	159
Şekil 4.77 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonların donma çözünme sonrası yoğunluk kaybı	160
Şekil 4.78 Kahverengi sepiyolit lif katkılı betonların donma çözünme sonrası su emme yüzdesi	161
Şekil 4.79 Beyaz sepiyolit lif katkılı betonların donma çözünme öncesi ve sonrası su emme yüzdesi	162
Şekil 4.80 Kahverengi sepiyolitik lif katkılı betonların donma çözünme öncesi ve sonrası sonrası basınç dayanımı	163
Şekil 4.81 Beyaz sepiyolitik lif katkılı betonların donma çözünme öncesi ve sonrası sonrası basınç dayanımı	163
Şekil 4.82 Katkısız betonun SEM görüntüleri	164

Şekil 4.83 KSEP0,5 kodlu betonun SEM görüntüleri.....	166
Şekil 4.84 Agrega çimento arayüzey bölgesi	166
Şekil 4.85 KSEP1 kodlu betonun SEM görüntüleri.....	167
Şekil 4.86 KSEP2 kodlu betonun SEM görüntüleri.....	168
Şekil 4.87 KSEP3 kodlu betonun SEM görüntüleri.....	169
Şekil 4.88 BSEP0,5 kodlu betonun SEM görüntüleri	170
Şekil 4.89 Agrega yüzeyindeki nano lifler.....	171
Şekil 4.90 BSEP1 kodlu betonun SEM görüntüleri	171
Şekil 4.91 BSEP2 kodlu betonun SEM görüntüleri	172
Şekil 4.92 BSEP3 kodlu betonun SEM görüntüleri	173

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Sepiyolitın özellikleri.....	6
Çizelge 2.2 Amerikan petrol enstitüsü sondaj çamuru özellikleri.....	17
Çizelge 2.3 Sepiyolitın yağ ve su emme oranı	19
Çizelge 2.4 Çelik lif sınıfları ve tipleri.....	30
Çizelge 2.5 Çelik lifli betonun teknik özellikleri	33
Çizelge 2.6 Polipropilen liflerin teknik özellikleri.....	38
Çizelge 2.7 Polipropilen liflerin kullanım alanları.....	43
Çizelge 3.1 Tüvenan örneklerin sepiyolit içerikleri	44
Çizelge 3.2 Optimize edilen parametreler	52
Çizelge 3.3 Lif açma deney planı.....	53
Çizelge 3.4 Spindle özellikleri	56
Çizelge 3.5 Sallantılı masa yapısal özellikleri.....	58
Çizelge 3.6 Sallantılı masa hız ayarları	58
Çizelge 3.7 Sallantılı masa işletme parametreleri	59
Çizelge 3.8 Sallantılı masa deney tasarımı.....	59
Çizelge 3.9 TS 706 EN 12620 standardına göre beton agregalarına yapılan analizler	61
Çizelge 3.10 Tek seri için üretilecek numune tip ve sayıları	66
Çizelge 4.1 Kahverengi ve Beyaz sepiyolitte ait kimyasal analiz sonuçları.....	74
Çizelge 4.2 Çalışmalarda kullanılan sepiyolit örneklerinin fiziksel özellikleri	80
Çizelge 4.3 CC 39/QC spindle özellikleri.....	83
Çizelge 4.4 %3 katı oranında kahverengi sepiyolit süspansiyonlarının CC39 spindle ile elde edilen viskozite değerleri	83
Çizelge 4.5 %5'lik Kahverengi sepiyolitın viskozite sonuçları	84
Çizelge 4.6 %3 katı oranında beyaz sepiyolit süspansiyonlarının CC39 spindle ile elde edilen viskozite değerleri.....	84
Çizelge 4.7 %5 katı oranında beyaz sepiyolit süspansiyonlarının CC39 spindle ile elde edilen viskozite değerleri.....	85
Çizelge 4.8 Viskozite için regrasyon modeli.....	88

Çizelge 4.9 Viskozite için anova tablosu	89
Çizelge 4.10 Viskozite için regresyon modeli.....	89
Çizelge 4.11 Tüvenan ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolite ait kimyasal analiz	94
Çizelge 4.12 Viskozite için regrasyon modeli.....	98
Çizelge 4.13 Viskozite için anova tablosu	99
Çizelge 4.14 Viskozite için regresyon modeli.....	99
Çizelge 4.15 Sallantılı masa optimum zenginleştirme parametreleri.....	100
Çizelge 4.16 Tüvenan ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolite ait kimyasal analiz	105
Çizelge 4.17 Mekanik aktivasyon regrasyon modeli	114
Çizelge 4.18 Mekanik aktivasyon için anova tablosu	115
Çizelge 4.19 Mekanik aktivasyon için regresyon modeli	115
Çizelge 4.20 Sepiyolit süspansiyonunda mekanik aktivasyonla oluşan akış rejimleri	116
Çizelge 4.21 Regrasyon analizine ait optimum deney sonuçları.....	117
Çizelge 4.22 Tüvenan ve lifleri açılmış konsantre sepiyolit ürünleri.....	130
Çizelge 4.23 22,4/11,2 mm tane boyutlarında kırmataş agregasının tane büyüklüğü dağılımı değeri	131
Çizelge 4.24 11,2/4 mm tane boyutlarında kırmataş agregasının tane büyüklüğü dağılımı değeri	132
Çizelge 4.25 0/4 mm Tane boyutlarında kırmataş agregasının tane büyüklüğü dağılımı değeri	132
Çizelge 4.26 Kırmataş agregalarının çok ince malzeme muhtevası değeri.....	135
Çizelge 4.27 Metilen mavisi değerinin tayini	135
Çizelge 4.28 Kırmataş agregalarının şekil indisi değeri.....	136
Çizelge 4.29 Agregaların Los-Angeles katsayısı	136
Çizelge 4.30 İri agrega (22,4/11,2 mm) özgül ağırlık ve su emme oranı.....	138
Çizelge 4.31 İri agrega (11,2/4 mm) özgül ağırlık ve su emme oranı.....	139
Çizelge 4.32 İnce agrega (4/0 mm) özgül ağırlık ve su emme oranı.....	140
Çizelge 4.33 Agregalarda gevşek yığın yoğunluğu.....	141
Çizelge 4.34 Agregalarda boşluk hacmi.....	141
Çizelge 4.35 Agregalarda sıkışık yığın yoğunluğu	142

Çizelge 4.36 Agregalarda su muhtevası.....	143
Çizelge 4.37 Kırmataş agregalarının kimyasal içerikleri	144
Çizelge 4.38 Ultrasonik testle beton kalitesinin değerlendirilmesi.....	157

1. GİRİŞ

Kil mineralleri, kalınlaştırıcı (thickener) ve viskoziteyi veya akışkanlığı kontrol edici malzemeler olarak yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Bu amaçla, daha çok bentonit türü tabaka yapılı smektit grubu killeri ve iğne yapılı sepiyolit ve atapulgit gibi killeri kullanılmaktadır (Santaren 1993). Bir çok teknik özelliklere sahip olmasından (Sabah 1998, Kara 1999) dolayı sayısız kullanım alanına sahip stratejik bir kil minerali konumunda olan sepiyolit, özellikle reolojik özelliğine dayalı kullanım alanları son zamanlar da hızla artmaktadır. Sepiyolit, iğne şekilli lif kümeleri (fiberler) oluşturan aglomeralar halinde bulunması, yüzey özellikleri ile birlikte, sepiyolit reolojik özelliklerini belirleyen en önemli unsurlardır (Santaren 1993; Simonton *et al.* 1988). Bu sayede, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli ve daha stabil süspansiyonlar elde edilebilmesi sepiyolite, bu alanda kullanılan diğer killere karşı üstünlük sağlamaktadır (Mart vd. 2003).

Ancak, günümüzde bir çok üretici firma satışa sunduğu düşük viskoziteli süspansiyonlar sergileyen kalitesiz sepiyolitler nedeniyle Avrupa pazarında İspanyol firmaları ile rekabet edebilecek düzeyde değildir. Yüksek viskoziteli sepiyolit süspansiyonları sergileyen sepiyolitlere talep büyük olup, pazarda yüksek fiyatla hemen alıcı bulabilmektedir. Türk sepiyolitlerinin kısa lif boyutları nedeniyle kanserojen etkisinin bulunmaması pazarda ayrı bir tercih nedeni olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek viskoziteli duraylı süspansiyonlar sergileyen sepiyolitler; likit polyester reçinelerinde, boyalarda, asfalt kaplamalarda, kozmetik ürünlerinde kalınlaştırıcı (thickener) ve tiksotropi sağlayıcı katkı maddesi olarak, kauçuk sanayinde ise dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

Maden Tetkik Arama Enstitüsünün (M.T.A) değişik projeler kapsamında yaptığı çalışmalarda, İspanya'dan sonra dünyanın en büyük sepiyolit rezervlerinin Türkiye'de olduğu ve üç ayrı kalitede sedimanter kökenli sepiyolit varlığı tespit edilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü kalite sepiyolitlerin % mineral içerikleri sırasıyla 0>90, 70-89 ve 50-69'dur. %50'nin üzerinde mineral içeren görünür sepiyolit rezervleri 1,5 milyon ton, %50'nin altında "pet-litter" kalite sepiyolit rezervleri ise

bir kaç milyon ton mertebesindedir (Sabah 1998). Gerek iç piyasada gerekse dış pazarlarda satışa sunulan sedimanter kökenli sepiyolitler (β -sepiyolit) %90 ve üzerinde sepiyolit içeren kaliteli sepiyolit'dir. Dolomitik sepiyolit diye adlandırılan dolomit içeriği yüksek, kalitesiz sepiyolitlerin piyasada satış imkanı son derece kısıtlı olup, uygulama alanları sınırlıdır. Bu tür sepiyolitlerin düşük maliyetli proseslerle zenginleştirilerek çeşitli sektörlerde kullanımına yönelik bir araştırma bulunmayıp, bunun için uygun bir teknoloji henüz geliştirilememiştir.

Bütün dünyada 1969 yılından bu yana inşaat teknolojisinde kullanılan lif takviyeli beton, 1980'li yılların ikinci yarısından itibaren ülkemizde de başta nitelikli yapılarda olmak üzere yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. İnşaat sektöründe özellikle teknoloji ağırlıklı üretilen prestij yapılarda ve çağdaş yapı teknolojisinin kullanıldığı yapılar ile tarihi yapıların yenilemelerinde diğer malzemelere göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Beton; hidrolik bağlayıcı olan çimento, su ve ince ya da kaba agrega içeren bir yapı malzemesidir. Bu şekilde hazırlanmış bir betona düzensiz lifsi yapılı, doğal veya yapay malzemelerin ilave edilmesiyle elde edilen betona ise lif takviyeli beton adı verilmektedir. Günümüzde lif katkılı beton üretiminde çeşitli uzunluk, kalınlık ve geometriye sahip çelik, cam veya plastik fiberler kullanılmaktadır (Mehta and Monteiro 1986). Sağlamlık ve esneklik açısından yeterli uzunluğa sahip, küçük çaplı çok sayıda life ihtiyaç vardır. Bunların belirli oranlarda ilavesiyle betonun gerilme ve kırılma davranışlarında önemli iyileşmeler meydana gelmektedir.

Bu tez çalışmasında; kalitesiz sepiyolitlerin bünyesinde bulunan dolomit ve diğer safsızlıkların uzaklaştırılması için sarsıntılı masa kullanılmış ve yüksek reolojik özellik sergileyen sepiyolit süspansiyoları elde etmek için çeşitli karıştırma teknikleri denenmiş, sepiyolit yapısını teşkil eden lif kümelerinin su içinde dağılma şartları, katı konsantrasyonu, ortamın pH'sı, inorganik tuzların varlığı ve bunların reolojik özelliklere etkisi araştırılmış, reolojik özellikleri geliştirilen ve lifleri açılan sepiyolit numuneleri ile farklı katkı oranlarında reçeteler hazırlanarak lif takviyeli beton üretimi gerçekleştirilmiş, elde edilen lif takviyeli betonun kalitesi ve performansı fiziko-mekanik testlerle ortaya konmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Sepiyolit

Sepiyolit; hidrate magnezyum silikattan ibaret mikrofiber yapılı, yüksek yüzey alanına sahip doğal bir kil mineralidir. Yarım hücre formülü $\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{O}_2\text{H})_4\text{H}_2\text{O}$ (IMA 2012) şeklindedir. Tetrahedral ve oktahedral düzenlenmiş oksit tabakaların istiflenmesi sonucu oluşan lifsi bir yapısı vardır ve lif boyunca devam eden kanal boşluklarına sahiptir (Sabah ve Çelik 1998).

Sepiyoliti mineralojik anlamda ilk defa, Glocker (1847) tanımlamış, hafif ve gözenekli yapısından dolayı mürekkep balığı anlamında yunanca $\sigma\eta\pi\iota\alpha$ kelimesinden türetilen sepiyolit terimini benimsemiştir (Sabah ve Çelik 1998). Tabiatta sepiyolit zenginleşmeleri, kabaca iki farklı tipte bulunmaktadır. Bunlardan birinci tip sepiyolit oluşumu, ülkemizde özellikle Eskişehir yöresinde ve Konya – Yunak civarında bulunan “lületaşı (meerscham)” dur. Bir diğer önemli sepiyolit oluşumu ise, “sanayi sepiyoliti” veya “tabakalı sepiyolit” olarak adlandırılan “sedimenter sepiyolit” lerdir (Çelik vd. 2006).

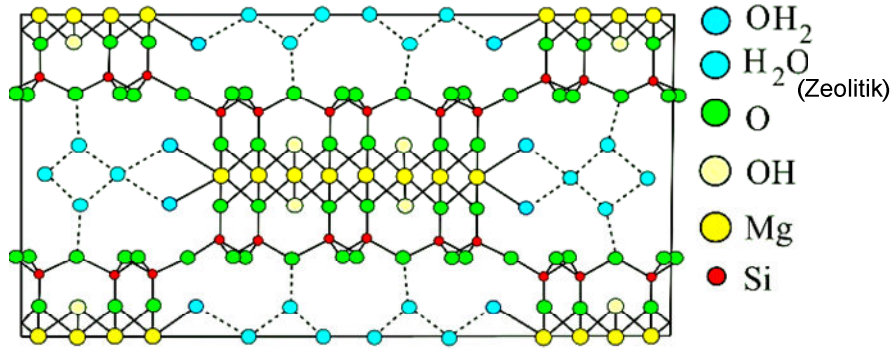
2.1.1 Sepiyolitin Özellikleri

2.1.1.1 Yapısı ve Kompozisyonu

Sepiyolit, kristalize olmuş kil mineralleri arasında yaygın ve önemli bir yere sahip olan tabakalı silikatlar grubuna ait bir kil mineralidir. Ancak, amfibol tipi çift zincir yapısının oluşturduğu zincir kafes tipi (lifsi yapı) nedeniyle, yine bu grup içinde yer alan, tabaka (düzlem) kafes tipi minerallerden ayrılmaktadır.

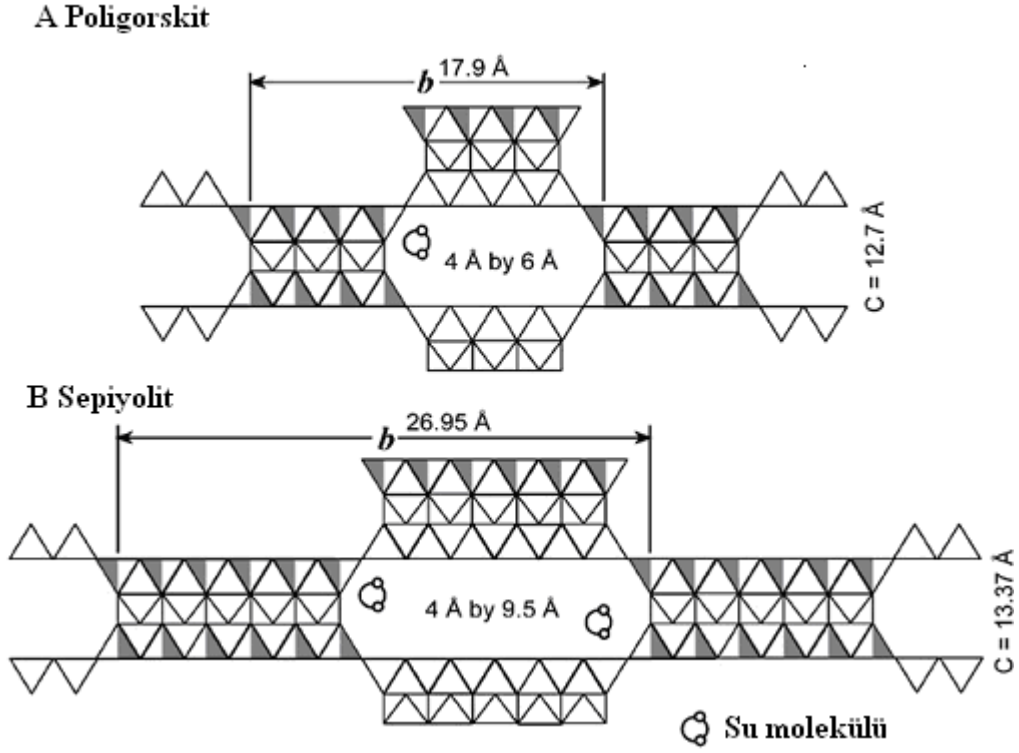
Sepiyolit, taban oksijen düzlemlerinden aşağı veya yukarı doğru yönelik şekilde düzenlenmiş Si-O tetrahedronlarıyla, oktahedral tabakalardan oluşan bir kristal yapıya sahiptir (Şekil 2.1). Burada, tepe oksijenleri aynı yönde olan tetrahedronlar, X-eksenine paralel olarak uzanan şeritleri oluştururken, zıt yönde olanları da oktahedral

katyonlara bağlanarak lif doğrultusunda (X-ekseni boyunca) sürekli, dik doğrultuda (Y-ekseni boyunca) sınırlı boyutta 2:1 katmanlı yapı oluştururlar. Şeritlerin sepiyolitte üç, paligorskitte ise iki piroksen zincirinin birbirine bağlanmasıyla oluşan genişlikleri vardır. Zincir yapısındaki tabakalı (düzlemsel) yapıdan lifsi yapıya geçiş, yapısal boşlukların sayısının artışına bağlıdır. Oktahedral boşluk sayısı 1/9 olduğunda sepiyolit yapısı; 1/5 olduğunda ise poligorskit yapısı ortaya çıkar. Şeritler arasındaki dikdörtgen kanallarda, Ca ve Mg iyonları ile değişen miktarlarda zeolitik su bulunur. Yapı formülünde (OH)₂ olarak gösterilen su molekülleri ise şerit kenarlarındaki oktahedral magnezyuma koordine olurlar (Sabah ve Çelik 1998).



Şekil 2.1 Sepiyolittin kristal yapısı (Jones and Galan 1988).

Sepiyolitin şeritler arası kanalları, poligorskitinkinden daha geniştir (Şekil 2.2). Poligorskitte kanalların boyutları yaklaşık olarak 4Å - 6Å, sepiyolitte yaklaşık olarak 4 Å – 9 Å arasındadır. Poligorskitteki b eksenini yaklaşık olarak 18 Å iken sepiyolite 27 Å dur. Sepiyolit ve poligoskit iki tür su içerir. Bunlardan birisi oktahedral katyonlarla koordineli diğeri zeolitik su olarak tanımlanan gevşek bağlarla kanallara bağlanan sudur. Bu kanallar ayrıca değişebilir katyonlar içerebilir (Murray 2007).



Şekil 2.2 Sepiyolit ve poligorskit kristal yapısı (Murray 2007).

2.1.1.2 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Sepiyolit, doğada genellikle beyaz, krem, gri veya pembenin yanı sıra organik madde içeriğine bağlı olarak koyu kahverengi ve siyahımsı olarak da (Sivrihisar güneyindeki Neojen havzasındaki bazı türlerde olduğu gibi) bulunabilmektedir. Ampandrandawa (Madagaskar) ve Çin sepiyolitleri gibi bazı uzun lifsi formlar ise krizotil benzeri beyaz ve açık sarı renklidir.

Sedimanter oluşumlu, uzun lif demetleri şeklinde bulunan α -sepiyolit (tabakalı sepiyolit) lif uzunluğu 100 Å - 3 ile 5 μm , genişliği 100-300 Å ve kalınlığı 50-100 Å arasında değişebilmektedir. Bununla birlikte bu liflerin uzunlukları standart olmayıp, dünyanın pek çok yerinde farklı uzunluklara sahip sepiyolitler bulunmaktadır. Örneğin Çin ve Ampandrandawa (Madagaskar) sepiyolitlerinin lif uzunluğu bir kaç milimetre hatta santimetreye varmaktadır. Vallecas (İspanya) sepiyolitinin lif boyutları ise 8000×250×40 Å'dur (Jones and Galan 1988). Polatlı (Ankara) güneyindeki Türktaciri

bölgesinden alınan orijinal kahverengi sepiyolit lif uzunluğu da 5-10 μ m olarak belirlenmiştir.

Sepiyolit, gözenekli (poroz) bir yapıya sahiptir ve ortalama mikropor çapı 15 Å, mezopor yarı çapı ise 15-45 Å arasında değişmektedir. Yoğunluğu 2-2,5 g/cm³ arasında olup monoklinik veya psödorombusal sistemde kristallenir. Mohs sertliği 2-2,5 civarında ve ortalama kırılma indeksi ise 1,50'dir (negatif biaksiyal optik işaret verir). Nemli olduğunda tırnakla çizilebilmekte ve dile dokundurduğunda yapışmaktadır (Sabah ve Çelik 1998). Çizelge 2.1'de Sepiyolitte ait bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

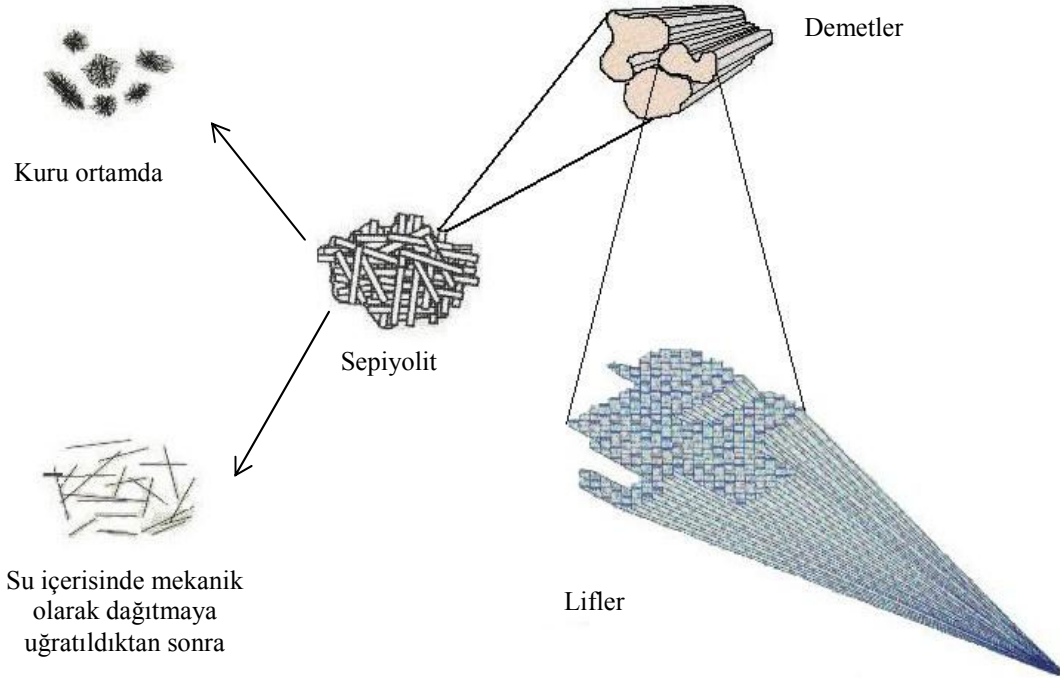
Çizelge 2.1 Sepiyolittin özellikleri.

Özellikler	Değerler
Partikül şekli	İğnemsiz
Sertlik (Mohs)	2,0-2,5
Yüzey alanı	150 – 320 m ² /g
Kasyon değişim kapasitesi (KDK)	30-50 meq/100g
API verimi	100-115 varil/ton
Ergime noktası	1550 °C
Sorpsiyon	Yüksek
Su emme	Ağırlığının %100
Yağ emme	Ağırlığının %80

2.1.1.3 Reolojik Özellikleri

İzometrik olmayan mineral yapısının yanı sıra bünyesindeki serbest kationların miktarı ve yüzey özellikleri sepiyolit reolojik davranışında önemli rol oynamaktadır. Sayısız büyüklükte iğne şekilli demetlerden oluşan sepiyolit mineralleri (Şekil 2.3) düşük kasyon değişim kapasitesi ve zincir tipi yapısı nedeniyle su içerisinde şişme göstermez. Ancak, iğne şekilli olan bu demetler bir mekanik karıştırma işlemiyle suda dağıtmaya tabi tutulursa birçok tanecik bu demetlerden ayrılarak serbest hale gelir ve

diğer serbest taneciklerle üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturarak ortamdaki suyu hapseder ve viskoz bir yapı kazanır. Sürekli ve daha yoğun bir mekanik karıştırma ise demetlerin boyut ve sayısını azaltarak serbest tanecik sayısının daha da artmasına ve daha karmaşık rijit ağ oluşumuna neden olur; bu da viskoziteyi daha fazla artırıcı bir etkiye neden olur. Böylece, daha fazla su tanecikler arasında ve iç ve dış yüzeylerinde adsorplanarak tutulmuş olur (Can 2008).



Şekil 2.3 Sepiyolitin yapısını teşkil eden liflerin şematik gösterimi.

Su içerisinde mekanik olarak dağıtılmış sepiyolit partikülleri, tiksotropi özellik göstermekte (Santaren 1993; Simonton *et al.* 1988), oluşan ağ yapısı, parçacıklar arası farklı kuvvetlerle (silanol grupları arasında van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağı) bir arada tutulmaktadır. Sepiyolit, bu özelliğinden dolayı süspansiyon ajanı olarak kullanılmaktadır. Eğer sepiyolitten ayrı olarak süspansiyonda başka parçacıklar varsa bu parçacıklar sepiyolit fiberlerinin oluşturduğu ağ içerisinde hapsolür. Süspansiyondaki sepiyolit harici iri taneler sepiyolit ağ yapısını koruyan parçacıklar arası güçlü kuvvetler nedeniyle askıda kalır.

2.1.2 Sepiyolit Yatakları

2.1.2.1 Amerika Birleşik Devletleri

Kuzey Florida ve Güney Georgiada poligorskit sedimanter katmanı orta, miyosende yaşlı ve Hawthorne formundadır (Şekil 2.4). Çökme ortamı nehir ağzı ve deniz lagünlerinde tuzlu sudan tatlı suya düşük enerjili ortamlarda çeşitlilik gösterir. Dominant mineral olan poligorskit olup, ona eşlik eden mineraller smektit, illit, kuvars, dolomit, apatit, demir oksitler, kasiterit ve anatazdır. Sepiyolit tortuları ise, Las Vegasın 100 mil kuzeyindeki Nevada'daki Ash Meadowus alanında bulunmaktadır (Murray 2007).

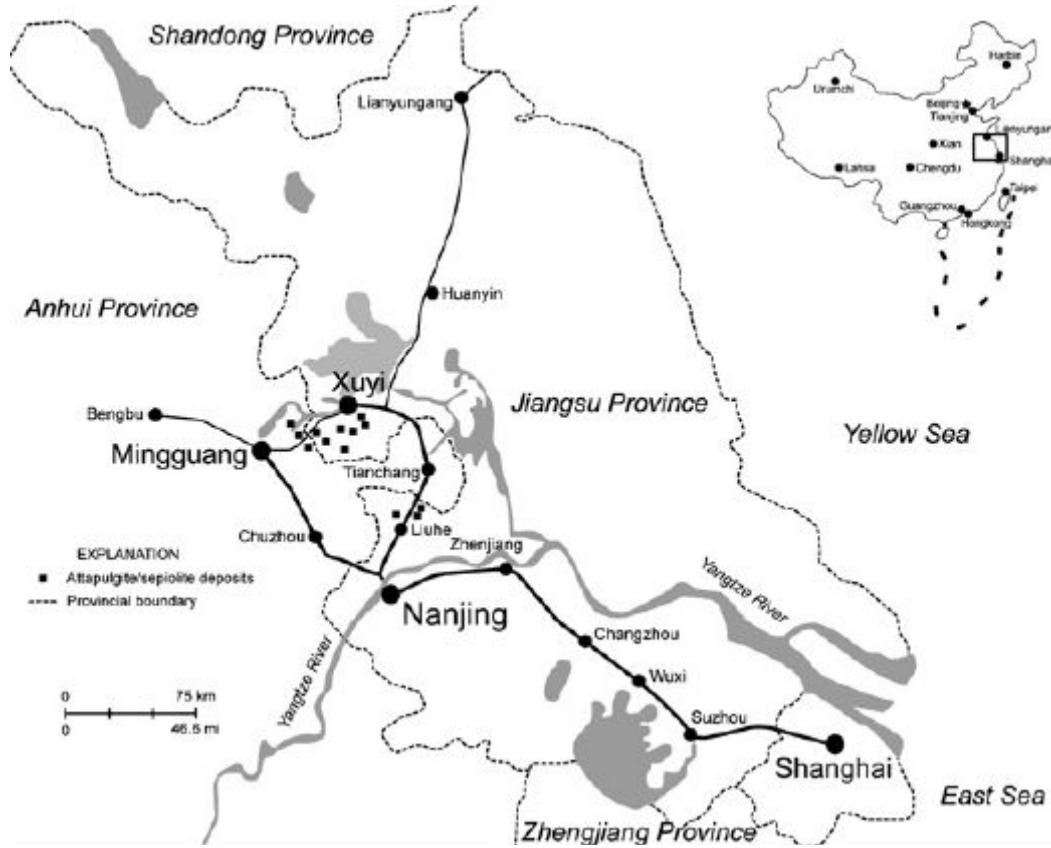


Şekil 2.4 Güney Georgia ve Kuzey Florida poligorskit yatakları.

2.1.2.2 Çin

İspanya dışında Çin Halk Cumhuriyeti'nde bazı ekonomik sepiyolit yataklarının varlığı bilinmektedir. Poligorskit, Anhui ve Jiangxi illeri arasında yataklanmış, orta miyosende yaş ve Huaguashan formundadır (Şekil 2.5). Yapılan jeolojik etütlere göre

tahmini 200 milyon tondan fazla rezerve sahip bu yatağın kalınlığı 3-6 m arasında değişmektedir. Az miktarda smektit, kuvars ve dolomit içermektedir. Anhui sınırlarında Mingguangda poligorskit hemen bazaltın altında mevcuttur. Jiangxi ilindeki Yuyi çevresinde poligorskit yüzeye çok yakın ve ince smektit katmanı ile örtülmüştür. Sakamoto vd. (1984)'de, Jiangxi Eyaletindeki yatakların alt Permiyen serileri içinde çörtlü kireçtaşlarında ince damarlar şeklinde bulunduğu belirtilmektedir. Bu sepiyolit oluşumları son derece uzun lifli olup asbesti andırmaktadır. Rezervleri konusunda bilgi yoktur, ancak bir miktar üretim yapılarak Japonya'ya gönderildiği bilinmektedir (DPT 1996, Murray 2007).



Şekil 2.5 Çin sepiyolit yatakları.

2.1.2.3 İspanya

Dünya sedimanter sepiyolit üretiminin hemen hemen tamamı İspanya tarafından karşılanmakta, en geniş ticari sepiyolit yatakları Madrid yakınında Vicalvaroda bulunmaktadır. Sepiyolit ve poligorskit Toleda, Torrejon El Ruhe, Lebija, Almeria, ve

Maderuelo eyaletlerindedir (Galan *et al.* 2011). ABD, Çin ve Türkiye'deki az miktarda üretim dışında, İspanya dünyanın en büyük sepiyolit üreticisidir. Pek çok sepiyolit yatağı bulunan bu ülkeye ait sepiyolit rezervleri 15-20 milyon ton civarındadır. Bu alanda tekel durumundadır. Faaliyet gösteren firmaların üretim kapasitelerinin bugün 1 milyon tonun üzerinde olduğu tahmin edilmekte, üretimin %90'ı ise ihraç edilmektedir (DPT 1996, Sabah ve Çelik 2008).

2.1.2.4 Türkiye

Eskişehir-Sivrihisar güneyi Yukarı Sakarya Neojen alanında Pliyosen çökellerinin evaporitik dönemlerine ait birimleri içerisinde, çok değişik boyutlarda mercekler şeklinde bulunur. Saf ve safa yakın, organik maddece zengin kahverengi sepiyolitler bataklık ortamında Mg'ca zengin suların tarafından kimyasal çökeltim yoluyla otijenik olarak oluşmuşlardır. Ayrıca organik madde içermeyen, bej-koyu bej renkli safa yakın sepiyolitler küçük playa göllerinde çökelmişlerdir. Bunlar oldukça nadir rastlanan oluşumlardır. Beyaz renkli, masif, çok değişken oranlarda dolomit içeren dolomitli sepiyolitler ve sepiyolitli dolomitler ise, çok daha geniş ve devamlı, Mg'ca zengin alkali ve dolomit göllerinin ürünleridir. Bunlar kalın ve devamlı mercekler şeklindedir ve pet-litter olarak kullanıma uygundur. Mihaliççık-Koyunağılı yöresinde ise, volkanik aktivitenin etkisi ile ortama sağlanan sodyumdan dolayı, fay kaynakları civarında, yer yer kalınlık veren mercekler halinde loughlinit (Na-sepiyolit) oluşumlarına rastlanmaktadır. Yine bu bölgede, havzaya Al getirmenin fazla olmasına bağlı olarak genelde paligorskit konsantrasyonu, Yukarı Sakarya havzasına göre artmaktadır (DPT 1996).

2.1.3 Sepiyolit Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Sivrihisar güneyi Neojen Havzasında sedimanter sepiyolit üretimi, İlyaspaşa ve Yenidoğan (Tatar) köyleri civarındaki ocaklarda zaman zaman yürütülmektedir. Ayrıca Günyüzü-Kayakent civarında sepiyolitli dolomit üretimi yapılmaktadır. İlyaspaşa ve Yenidoğan ocaklarında, kazma ve üretim faaliyetinde Cat-955 kepçe kullanılmakta, üretilen cevher ocak mahallinde güneşte kurutma işlemine tabi

tutulmaktadır. 1-1,2 tonluk big-bag'ler içinde ambalajlanan kahverengi sepiyolitler, teknolojik uygulamalar için Japonya ve İngiltere'ye ihraç edilmektedir. Cat-litter amaçlı üretim ise genel olarak yığın (dökme) şeklinde gönderilmektedir.

Tüvenan sepiyolit üretimi, klasik açık ocak işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. Mevcut işletmelerde patlayıcı kullanılmamakta, paletli ekskavatör ve dozer kullanılarak ocak aynası hazırlandıktan sonra, üretimde kontaminasyon ve tozlaşmayı asgariye indirmek amacıyla lastik tekerlekli ekskavatör veya beko kullanılarak söküm ve yükleme yapılmaktadır. Üretilen cevherin zaman zaman %35'e kadar ulaşabilen doğal nem içeriği nedeniyle, aynadan sökülen hammaddenin ocak mahallinde sergilenerek kurutulması (Şekil 2.6), bunun da ötesinde, tesisin ocak yakınında kurulması mümkün değilse en azından primer-sekonder kırma ve eleme işlemlerinin ocakta yapılarak gereksiz nakliyeden kaçınılması ekonomik rantabilite açısından gereklidir.



Şekil 2.6 Ocakta kurumaya bırakılan tüvenana sepiyolit.

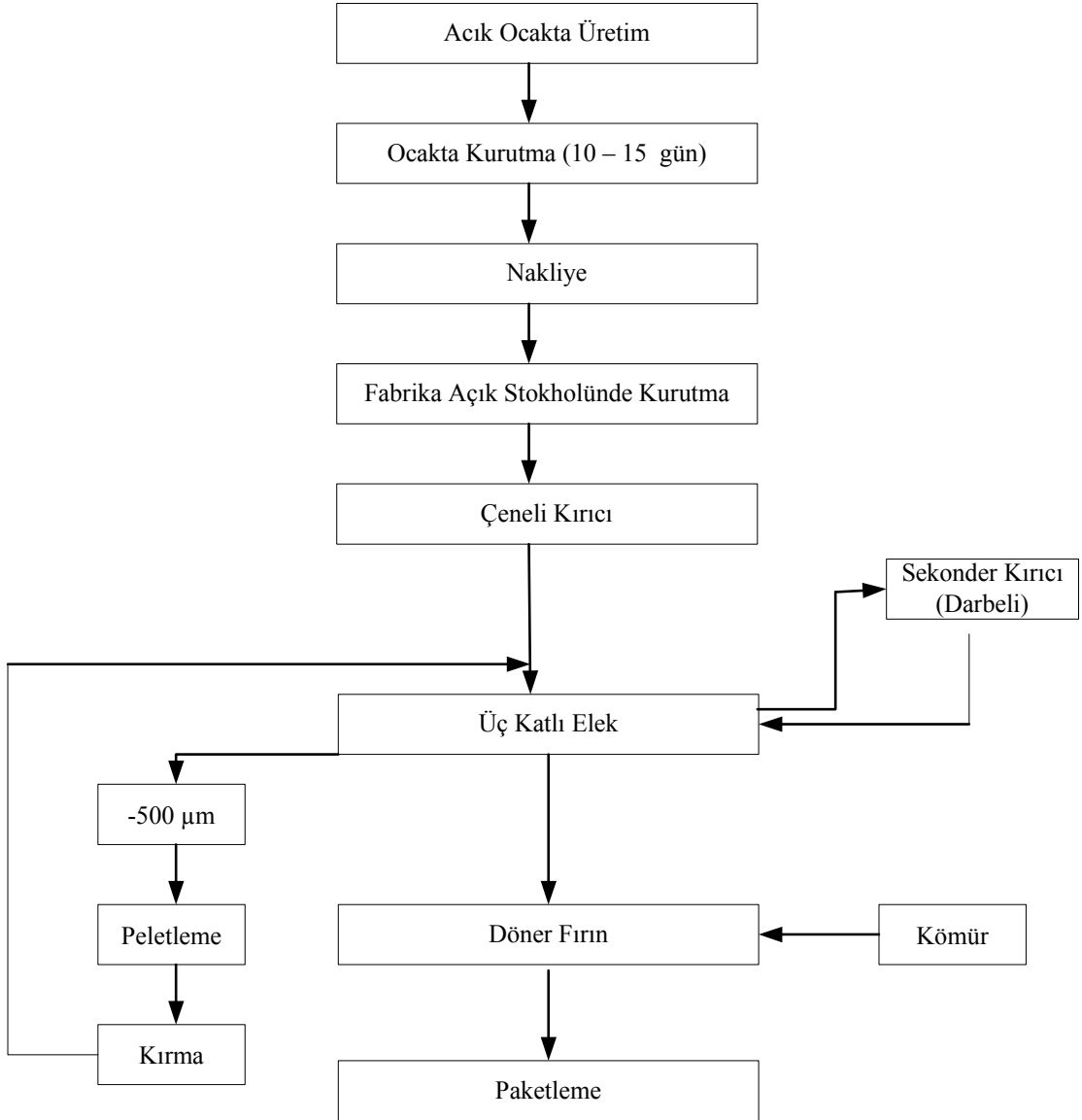
Sepiyolit mamulleri elde edilmesi için uygulanacak mekanik ve teknolojik prosesler, ana hatları ile şu şekilde özetlenebilir:

- Cevherin ocaktan üretildiği haliyle tüvenan satışı söz konusu değildir. En basit piyasaya sunum şekli, belli tane aralıklarında granüle edilmiş ürün şeklindedir. Bu, daha çok basit absorban amaçlı kullanımlarda uygulanabilir. Temin edilen pazar koşulları elverdiği taktirde, sadece güneş altında kurutma ve ocak mahallinde mobil veya sabit kırma eleme tesisi ile bu gerçekleştirilebilir. Ancak, mevcut şartlarda, nihai ürünün nem içeriğinin en fazla %5-7 civarında istenmesi dolayısıyla granüle edilmiş hammaddenin fırınlanarak kurutulması kaçınılmaz olmaktadır.
- Primer ve sekonder kırma işlemleri konvansiyonel çeneli kırıcı-çekiçli/silindir kırıcı kombinasyonları ile yapılabilmektedir. Burada teknik anlamda dikkat edilmesi gereken husus, kırmaya beslenen sepiyolitın nem içeriğinin çenelerde veya çekiç ya da silindir yüzeyinde sarma yapmayacak düzeye ön kurutma ile indirgenmesidir. Sekonder kırıcı olarak çekiçli kırıcı kullanıldığında, çekiç sayısının malzeme tozlaşma oluşturmayacak sayıda olması ve alt elek aralığının ayarlanması teknik olarak dikkat edilmesi gereken noktalar. Sekonder olarak silindir kırıcı kullanılması durumunda ise, düz yüzeyli değil, heliks şeklinde yivli veya konik röliyefli kırıcılar tercih edilmelidir.
- Sekonder kırıcıdan çıkan kırılmış malzemenin iki kademeli bir vibrasyonlu elekten geçirilmesi proses verimliliği açısından gereklidir. Böylece, hem fırına şarj edilen elek üstü malzemenin gereksiz yere kurutulması, dolayısıyla fırında gereksiz enerji ve ısı kaybı önlenmiş olur, hem de nihai ürün eleğinde yığılma önlenerek elek verimi artırılmış olur.
- Sepiyolit mamulleri üreten bir tesisteki en can alıcı nokta, fırınlama işlemidir. Genellikle döner fırınlar kullanılmakla birlikte, çelik bantlı, vibrasyonlu tünel tipi fırınlar da bazı tesislerde devreye girmeye başlamıştır. Sepiyolitın temel fiziksel, mineralojik ve reolojik özelliklerini bozmadan etkin bir kurutma yapılabilmesi için, gerek fırının mekanik yapısı, gerekse de malzeme karakteristiklerinden kaynaklanan hususların göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlar ana başlıklar olarak aşağıda sıralanmıştır:

- a. Fırın tipi ve boyutlarının belirlenmesi için mutlaka ısı mühendisliği hesaplarının yapılması gerekir. Bunda, malzemenin ısıl iletkenlik değeri, beslenen ve çıkan malzemenin nem oranı, fırın içi atmosfer koşulları, esas kuruma bölgesi, bağıl nem miktarı ve basıncı, kapasite, yakıt türü ve kalorifik değeri gibi veriler dikkate alınmalıdır.
- b. Yukarıdaki çalışma sonucu elde edilen hesaplara göre, fırın çapı, uzunluğu, eğimi, fan tipi, yanma hücresi tipi, bek veya brülör tipi ve malzemenin fırın içinde savrulmasını sağlayacak en uygun fırın iç dizaynı (helezon ve kanatların miktarı, eğimi, bağıl dizaynı) belirlenir.
- c. Fırın dönüş devri mutlaka otomatik frekans kontrol ünitesi ile ayarlanmalı, fırına giren malzemenin özellikle nem içeriğine göre devir sürekli kontrol edilmelidir.
- d. Fırın dizaynı sepiyolit için ters akım tekniğinde yapılmalı, fırının soğuk bölgesinden giren cevher, adsorbe suyunu atabilecek süre burada kalmalı, orta sıcaklık bölgesinde ($\approx 140-350^{\circ}\text{C}$) absorbe ve kanal yapısındaki zeolitik suyun çıkışına imkan tanıyacak optimum süre belirlenmelidir. Yanma hücresine yakın yüksek sıcaklık bölgesinde ise, kurumuş malzemenin tekrar fırın içi nispi neminden etkilenmeyecek ve mineralojik olarak faz dönüşümüne yol açmayacak bir sıcaklıkta termal şoka tabi tutularak fırından çıkışına imkan verilmelidir.
- e. Cehennemlik tabir edilen yanma hücresi içindeki sıcaklık $1000-1100^{\circ}\text{C}$ olabilmesine karşın, kurutulacak sepiyolit maruz kalacağı maksimum sıcaklık değerinin $500-550^{\circ}\text{C}$ 'ı aşmamasına dikkat edilmelidir. Her ne kadar mineralojik anlamda enstatit transformasyonu 800°C üzerindeki ısı değerlerinde gerçekleşse de, kristal kafes yapısındaki rotasyon daha düşük derecelerde başlamakta ve bundan dolayı sepiyolit mineralinin reolojik özelliklerinde endüstriyel kullanımı aleyhine bozulmalar meydana gelebilmektedir.

- f. Fırına beslenen cevher rutubet oranının olabildiğince sabit tutulmasına özen gösterilmeli, fırın içi sıcaklık ve baca gazı sıcaklığı devamlı takip edilmelidir.
- g. Fırın içinde rotasyon sırasında oluşabilecek tozun iyi aspire edilmesi ve ısıнын perdeleme etkisinde kalmaması, fırın verimliliği açısından zorunludur.
- h. Baca gazlarının çevrilerek ön kurutmada kullanılması, enerji tasarrufu sağlar ve fırın verimini artırır.
- i. Fırın dış izolasyonunun çok iyi yapılması, enerji kaybını önler.
- Fırından çıkan kurutulmuş granüle malzeme bantlar üzerinde dolaştırılarak atmosferik koşullarda soğutulmalı ve yüzey buharını atmasına imkan sağlanmalıdır. Bu işlem, aynı zamanda nihai ürün eleğinde yapışmayı ve tıkanmayı önleyerek elek verimini artıracaktır.
 - Nihai ürün eleğinin boyutları iyi belirlenmeli, kuru malzemenin elek üzerinde sıçrama özelliği göz önüne alınarak eğimi verilmelidir. İnce gözlü elekler çabuk aşınabildiğinden, alttan daha büyük göz açıklıklı eleklerle astarlanarak kullanılabilir.
 - Genellikle big-bag'lere doldurularak ihraç edilen absorban sepiyolit ürününün kapalı ve nemden arındırılmış bir alanda stoklanmasına dikkat edilmelidir.
 - Sepiyolit, gerek kırma devreleri ve bant üzerinde taşımada, gerekse fırınlama sırasında, otojen olarak tozlaşma eğiliminde olduğu için, uygun büyüklükte ventil veya jet-pulse filtrelerle toz emisyonu olan her noktada tutulmalı, böylece hem sağlık hem de işletmecilik açısından uygun ortam yaratılmalı, havadaki mikronize tozların hassas mekanik parçalara etkimesi önlenmelidir.
 - Perakende olarak pazarlanacak sepiyolit için kullanılacak paketleme ünitesinin, kırma-eleme ve fırın ünitelerinin yer aldığı bölümden bağımsız ve tozsuz, kapalı ayrı bir bölümde yapılması ve tamamen otomatik kontrollü kapalı devre olarak çalışması idealdir.

- Sepiyolit içeriği, uygun mikron tane boyutu ve nem içeriğine sahip tozların filtreden toplanarak, örneğin yem sanayii dolgu maddesi olarak değerlendirilmesi de işletme verimliliğini artıran bir unsur olarak alınabilir.



Şekil 2.7 Sepiyolit üretim akım şeması.

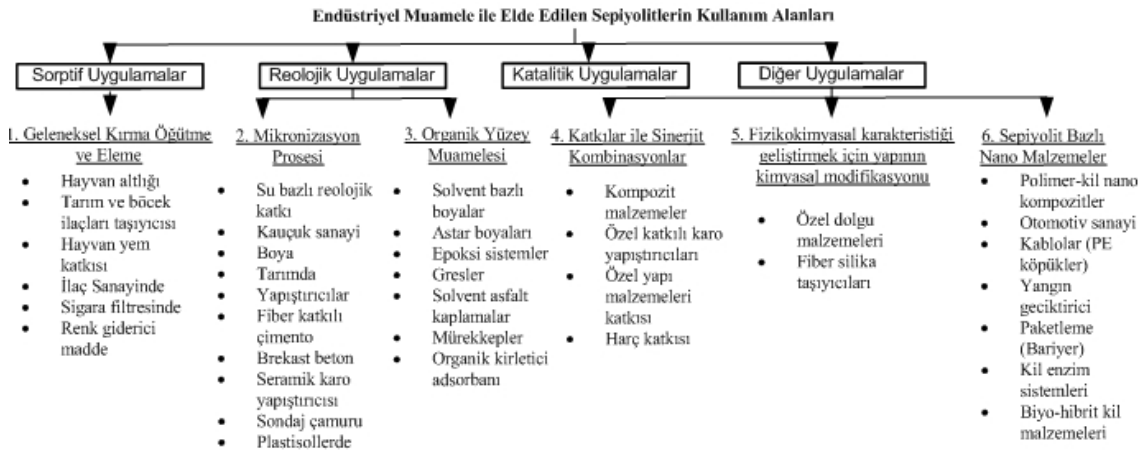
Şekil 2.7’de verilen proses akım şeması; kurutulmuş, uygun yoğunluk ve nem değerlerine indirgenmiş ve ebatlandırılmış, tozdan ari granüle ürün prosesi olup, sınai bazda Türkiye sepiyolit üretiminin hemen hemen tamamını temsil etmektedir. Bunun yanı sıra, özellikle high-tech uygulamalar (örneğin, ileri seramikler), boya, gübre, tarım ve diğer birçoklarında, sepiyolit mineral içeriği %80’in üzerinde olan yüksek

kaliteli sepiyolit, mikronize edilerek ve bir dizi kimyasal işlemlerden geçirilmek suretiyle kullanılmaktadır.

Mikronizasyon prosesinde, genellikle yaş yöntem tercih edilmektedir, zira kuru öğütmede lifler enine ve boyuna kırılarak reolojik özelliklerini kaybedebilmektedir. Teknik uygulamalarda istenen 5-10 µm gibi değerlere inebilmek ve mikronize işlemi hassas olarak yapabilmek, oldukça ileri teknolojik uygulamalar gerektirmektedir. Bugün için ülkemizde 5-10 µm boyutunda mikronize sepiyolit üreten firma yoktur.

2.1.4 Kullanım Alanları

Sepiyolitin kullanım alanları kaolin ve bentonit mineralleri kadar yaygındır (Çizelge 2.2). Sepiyolit lifsi yapısı nedeniyle özellikle yüksek elektrolit konsantrasyonunda duraylı süspansiyonlar oluşturmaktadır. Sepiyolit lifleri, sıvı ortamda kolay ve bağımsız hareketleriyle diğer partiküllerle irtibata geçer ve süspansiyonu askıda tutarak dispersiyonu sağlar; süspansiyonu askıda tutması koloidal özelliğinin bir sonucudur.



Şekil 2.8 Sepiyolitin kullanım alanları (Sabah ve Çelik 1998, Galan and Singer 2011).

2.1.4.1 Kedi Toprağı

Sepiyolit ve poligorskit granül olarak yüksek emme kapasitesine sahip olduğundan kedi kumu olarak kullanılmaktadır. Sepiyolitin evcil hayvan altlığı olarak kullanılmasının sebebi hafifliği, yüksek sıvı absorpsiyonu ve koku giderici özelliğidir. Sepiyolit, evcil hayvanların idrarlarını absorbe ederken katı dışkılarını dehidrate

ederek kötü kokuları ve bakteri üremesini önler (IMA 2012). Granül partiküller genellikle 1,1 – 0,53 mm (16/30 mesh) veya 0,71 – 0,4 mm (20/40 mesh) boyutlarında kedi pisliklerini emer ve kötü kokuları birkaç gün içinde kaldırır (Murray 2007).

2.1.4.2 Sondaj Çamuru

Poligorskit ve sepiyolit tiksotropik jelleşme özelliğiyle viskozite oluşturarak sondaj kırıntılarını askıda tutan madde (sondaj çamuru) olarak petrol ve gaz sondajlarında kullanılır. Sepiyolit; tuz çözeltilerinde, elektrolit varlığında (bentonitin aksine) ve yüksek sıcaklıklarda stabilizasyonu sağlar. Bu yüzden jeotermal sondaj kuyularında sıklıkla kullanılır. Bununla birlikte, Amerikan Petrol Enstitüsü (API) için gerekli olan sondaj çamurunun özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Murray 2007). Sondaj sırasında çamura giren farklı kirleticiler nedeniyle, sondaj operasyonu teknik ve ekonomik olarak olumsuz yönde etkilenmektedir. Sondajı yapılan formasyonların yaklaşık %70-80’i şeyilli formasyonlar olduğundan, sondaj sırasında aktif katıların çamura kirletici olarak girmesi karşılaşılan yaygın bir kirlenmedir ve çamur özelliklerinin değişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, sondaj çamurunun kimyasal ve fiziksel özellikleri formasyonların sondajı sırasında yaşanan matkap sarması, kuyu yıkılması ve/veya şişmesi, kaçak gibi kuyu stabilitesi sorunlarının oluşmasını engelleyecek veya en az düzeyde tutacak şekilde delinen formasyonlarla uyumlu olmalıdır. Kirlenme sonucu sepiyolit çamurlarının reolojik ve su kaybı özellikleri katkı maddeleri kullanılarak ekonomik bir şekilde kontrol altına alınabilmektedir. Yüksek tuz ve sıcaklıkta, sepiyolit bazlı çamurlar reolojik ve su kaybı özellikleri bakımından diğer çamurlara göre daha iyi performans göstermektedirler (Altun vd. 2011).

Çizelge 2.2 Amerikan petrol enstitüsü sondaj çamuru özellikleri (Murray 2007).

Viskozite	30 cps minimum 600 rpm
Akma gerilimi / Plastik viskozite	Maksimum 3
Süzüntü Hacmi	15 cm ³ maksimum
Kalıntı	75 µm, ağırlıkça 4% maksimum

2.1.4.3 Zirai Uygulamalar

Sepiyolit yüksek emme kapasitesi ile böcek zehiri, böcek ilacı ve zararlı bitki zehirinin taşınması uygulamalarında kullanılmaktadır. Kimyasal madde emdirilmiş sepiyolit granülleri yavaş salınım sağladığından kimyasal madde, bitkinin çimlenme ve ilk büyüme sürecinde etkili olmaktadır. Sepiyolit, ayrıca kimyasallarla karıştırıldıktan sonra toz veya spray olarak, büyüyen bitkiye veya bitki büyümeden toprağa uygulanarak da kullanılabilir (Murray 2007).

Sepiyolitin, toksik kimyasalları uzun bir süre bünyesinde tutması, aynı zamanda pestisidin kimyasal duraylılığını bozmaması, bu sektörde kullanımını sağlamıştır. Taşıyıcı materyallerde istenilen, pestisidin absorbe ettirildikten sonra serbest akış sağlama kapasitesine sahip olmasıdır. Sepiyolittin bir diğer faydalı özelliği, sulu ortamda aktif kimyasalları kolaylıkla bırakabilmesidir (Sabah ve Çelik 1998).

2.1.4.4 Boyalar

Sepiyolit emülsiyon boyalarda organik koyulaştırıcılar yerine kullanılır. Böylelikle suya karşı daha dayanıklı film oluşur ve boya, gelişmiş renk tutma özelliği kazanır. Çünkü kilin koyuluğu çözünmezlik oluşturur. Lifsi yapı, boya süspansiyonlarında pigmentleri tutar ve askıda kalmasını sağlar. Sepiyolit tiksotropik özelliği ile sarkmayı önler ve fırçalama işlemini kolaylaştırır (Murray 2007). Boyanın zemin örtme özeliğini geliştirir; parlaklık, pas giderme, sürtünme direnci, bükülme direnci, ısı duraylılığı gibi özellikler kazandırır. Organik katkılara kıyasla sağladığı bir diğer avantaj, mantar gelişimi için uygun bir ortam oluşturmamasıdır (Sabah ve Çelik 1998). Japon Toyota Tsusho Corp'un ortak olduğu Turan Madencilik tarafından İlyaspaşa'daki ocaktan üretilen kahverengi sepiyolit, yıllık 3-4 bin ton mertebesinde Japonya'ya ihraç edilmekte ve TOYOTA otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Başlıca kullanımı korozyona dayanıklı otomobil boyası üretimi ile otomobil iç döşemelerindeki kullanımındır (DPT 1996).

2.1.4.5 Desikant Nem Tutucu

Sepiyolit yüksek absorpsiyon kapasitesi olan bir malzemedir. Sepiyolit granülleri ıslak bile, kimyasal olarak inert olması nedeniyle, emilen sıvı ile reaksiyona girmez (Murray 2007). Sepiyolit aşırı nemi absorplayarak yoğunlaşmayı sağlarken, mikroorganizmaların üremesini, kötü kokuların yayılmasını engeller (IMA 2012).

2.1.4.6 Endüstriyel Zemin Absorbanları

Sepiyolit, yüksek yağ ve su emme özelliğinden dolayı granüler ve/veya toz olarak kullanımıyla yağ, gres yağı, kil molekülleri absorplar. Çizelge 2.3 sepiyolit yağ ve su emme oranını göstermektedir (Murray 2007).

Çizelge 2.3 Sepiyolit yağ ve su emme oranı (Murray 2007).

Tür	Miktar
Su absorpsiyonu	Ağırlığının %100'ü kadar
Yağ absorpsiyonu	Ağırlığının %80'i kadar

Endüstriyel absorbentlerin sahip olması gereken özellikler:

- Sıkıştırma ve aşınmaya karşı direnç anlamına gelen mekanik dayanım, kuru durumdaki parçalanmaya karşı olan direnç ve sıvı ile doymuş durumdaki sepiyolit kaygan olmayan karakter sergilemesi gereklidir.
- Emilen sıvılarla tepkimeye girmemesi için kimyasal açıdan inert olmalıdır.
- Parlamayan ve yanıcı olmayan özellikleri, parlayıcı ve yanıcı sıvıların kontrollü kullanılmasına izin verir.
- Yüksek spesifik yüzey alanı, molekülleri absorbe etmek için geniş iç ve dış yüzey alanının varlığına işaret eder.
- Yüksek poroziteye sahip olmalıdır. Yüksek porozitenin absorpsiyonu artırması nedeniyle molekül emilimi artar. (Galan and Singer 2011).

2.1.4.7 Derz Dolgusu

Pülverize sepiyolit, yapıştırıcılarla karıştırılarak derz ve çatlak dolgusu olarak kullanılır. Derz veya çatlak dolgusu hızlı, pürüzsüz ve kuruma sırasında küçülme olmayan özelliklerdeki malzemeden olmalıdır. Lifsi partiküller yapıştırıcı kururken küçülmez böylece pürüzsüz ve hizalı durur (Murray 2007).

2.1.4.8 Yapıştırıcı ve Zift Katkısı

Sepiyolit çeşitli yapıştırıcı veya ziftlerde, viskozite kontrolü ve yüksek adhezyon amacıyla kullanılır ve lifler aynı kompozisyonda jel oluşumunu sağlar. Bu uygulamalarda, pulverize sepiyolit kullanılması gerekmektedir (Murray 2007).

2.1.4.9 Yemlerde Bağlayıcı

Sepiyolit, hayvansal yem pelletlerinde bağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılır. Hayvan yemlerine teknolojik katkı maddesi olarak kullanımı Avrupada tescil edilmiştir. Yem topraklarını bağlarken bu killer aflatoksin için mükemmel bir absorban olurlar (Murray 2007). Sepiyolit ürünleri, sıvı yemlerde topaklanmayı önleyici katkılarla birlikte kullanılır. Ayrıca reolojik özellikleri sebebiyle domuz ve geviş getiren hayvanların yemlerinde, süspansiyonun askıda kalmasını sağlamaktadır (IMA 2012). Soğurma özellikleri, serbest akış, antikekleşme, kimyasal inertlik ve toksik olmama gibi özelliklerine bağlı olarak sepiyolit, çeşitli tane boyutlarında hazırlanarak besicilikte kullanılabilir. Başlıca uygulama alanları şunlardır:

- Gelişimi hızlandırıcı olarak,
- Amid konsantreleri bileşeni olarak,
- Kullanılan ilave katkıları taşıyıcı olarak,
- Katı yemlerde bağlayıcı olarak,
- Üretim artışı sağlayıcı olarak.

2.1.4.10 Asfalt

Kalınlaştırıcı ve tiksotropi özelliklerine ilaveten lifsi yapısının sağlığa zararlı bir etkisi olmaması nedeniyle emülsiyonlarda stabilizasyonu sağlayarak asfaltı daha kolay uygulanabilir hale getirir ve agregayla kolayca karışmasını sağlar (Murray 2007).

2.1.4.11 Sızdırmazlık Ürünleri

Keith ve Murray (1994), sepiyoliti Na - bentonit ile karıştırmak suretiyle dolgulardaki kuruma çatlaklarını önleyen malzeme üretmiştir. Karışım, %30-40 poligorskit ilave edilerek sızdırmazlık özelliği geliştirmektedir.

2.1.4.12 Ağartma Toprağı

Sepiyolit, doğal bir ağartma kili olup, bitkisel ve mineral yağlarda bulunan renk verici pigmentlerin yağdan uzaklaştırılmasında ağartma toprağı olarak kullanılmaktadır. Asitle modifiye edilmiş ağartma toprakları daha etkili, ancak daha maliyetlidir. Sepiyolit; nitritler, ketonlar ve diğer polar gazlar, hidrokarbonlar gibi organik bileşenlerin seçici emiliminde de kullanılabilirler (Murray 2007).

2.1.4.13 Katalizör Desteğı ve Taşıyıcı

Endüstride kullanılan katalizörlerin büyük bir kısmı, uygun mekanik ve termal duraylılığa ve yüzey alanına sahip taşıyıcılara yedirilerek kullanılır. Taşıyıcıların sahip olduğu bu özellikler termal ve kimyasal işlemlerle değiştirilebilir özelliklerdir. Sepiyolit de doğal haliyle bu tanımlamaya uymaktadır. Mekanik ve termal mukavemetinin uygun olmasının yanı sıra, sepiyolit 350-400 m²/g'a ulaşan bir yüzey alanına sahiptir. Bu tür proseslerde katalizör, bir başka metal tuzu pH=7 civarında muameleye tabi tutularak sepiyolit yüzeyine yedirilir bu esnada sepiyolit kristal yapısındaki oktahedral tabakalarda bulunan Mg⁺² katyonlarının bir kısmı ile yer değiştirebilir. Sepiyolit bu amaca uygun olarak kullanma potansiyeli, Mg⁺² iyonun, katalitik açıdan önem arz eden Ni⁺², Pt⁺², Pdⁿ, Zn⁺², Co⁺², Cu⁺² ve Ba⁺² gibi iyonlar ile yer değiştirmesiyle artar (Sabah ve Çelik 1998). Sepiyolit katalizör taşıyıcısı

olarak, sistemde daima hazırdır. Çünkü katalizör, sepiyolit yüzeyine tutunmaz serbest kalır. Geniş yüzey alanı, mekanik direnç ve termal kararlılık katalizör taşıyıcısı olarak kullanılmasında pozitif etki gösterir (Murray 2007).

2.1.4.14 Seramikler

Sepiyolit, seramik bünyelerin özelliklerini iyileştiren, alternatif bir hammadde olmasında, lifsi yapısının önemi vardır. Zira, lifsi yapı seramik formülasyonlarında kuru ve yüksek ham direnci artırırken vitrifiyedeki suyun daha çabuk uzaklaşmasını ve sağlamaktadır (Sabah 1998, Murray 2007). Karo seramik bünyelerde %40 oranında Eskişehir – Sivrihisar sepiyoliti kullanılarak yapılan çalışmada;

- Sepiyolit katkı ile yoğunluğun $1,9 \text{ gr/cm}^3$ arttığı, su emme oranında %9'dan %7,8'e düştüğü, eğilme dayanımının 170 kg/cm^2 'den 196 kg/cm^2 'ye çıktığı yüzey sertliğinin 6 Mohs'tan 7 Mohs'a ulaştığı ve ısı genleşme katsayısının 8×10^{-6} 'dan 5×10^{-6} ya düştüğü,
- Üretilen deneysel karoların şoka dayanımlarının iyi olup Standart TSE-4037'ye uygun olduğu belirlenmiştir (Sabah ve Çelik 1998).

2.1.4.15 Kozmetikler

Sepiyolit, kozmetik ürünlerinde kalınlaştırıcı ve tikrotropik elemanı olarak kullanılır. Reçetelere sepiyolit ilavesi ile elde edilen kozmetik ürünler, yüksek yağ ve su absorpsiyonu özelliğinden dolayı mükemmel yüz maskeleri oluşturarak cildi temizler. Ayrıca, ciltde oluşturduğu koruyucu film tabaksı, parlaklığı ortadan kaldırarak kusurları önler (Murray 2007).

2.1.4.16 Filtre Elemanı

Sepiyolit, lifsi ve çalı otu gibi yapısal özellikleri nedeniyle çok iyi filtrasyon yeteneğine sahiptir. Lifler birbirlerine eklenerek rijit bir yapı oluşturmak suretiyle özel yağlar ve diğer sıvılar filtre edilebilir (Murray 2007).

2.1.4.17 Döküm Kumu Bağlayıcıları

Sepiyolit lifsi yapısı sayesinde yüksek dirençli bağlayıcı kil olarak kullanılır (Murray 2007).

2.1.4.18 Deterjan ve Temizlik Maddeleri

Yüksek emicilik özelliğinden dolayı sepiyolit, deterjan etkisiyle tuzu ve kir partiküllerini absorbe ederken deterjan içeriğini disperse ederek uniform bir yapı sağlar (Murray 2007).

2.1.4.19 İlaçlar

Sepiyolit bazı sıvı ilaçların bileşimini ve uniform dağılımını korumak için kullanılır. Burada, sepiyolit geniş aktif yüzey alanından dolayı, ilaç aktif maddesini tutma yönüyle, hidrokortizon gibi ilaçları daha sonra uygun oranda serbest bırakılabilir. İğnemi poligorskit ve sepiyolit mineralleri kompleks ilaç karışımların bileşenlerini askıda tutarak çökmeyi ve ayrıştırmayı önler. Ayrıca bu iki mineral toksinler, bakteriler ve bağırsak virüsleri için emici özellik gösterir. Sepiyolit jel yapıcı özelliği, mide ve bağırsak duvarlarındaki müköz membranın korunmasına imkan sağlar (Sabah ve Çelik 1998, Murray 2007).

2.1.4.20 Karbonsuz Kâğıt

Karbonsuz kopya kağıtları, karbon içeren kopya kağıdı olmaksızın, yüksek basınç uygulaması gerektirmeden kopya çıkaran kağıtlardır. Bu tür kağıtlar, iki veya üç yapaktan oluşur. Birinci konumda bir BB transfer yaprağı ve bir CF esas yaprak; ikinci konumda ise, üçüncü transfer ve esas yapraklar yer alır. Bu kağıtların arka yüzünde, renksiz CVL (cryystal violet carbinol) veya mavi BLMB (n-benzolökmetilen) tabakası mevcut olup mikro kapsüllerden oluşur. CF olarak adlandırılan ikinci nüsha, pigment geliştirici bir tabaka ile kaplıdır ve bu tabaka, fenolik reçine gibi organik veya kil gibi inorganik bir madde olabilir. Baskı işlemi

sırasında, CB katına baskı, uygulandığından mikrokapsüller kırılır. Bu esnada boya verici elemanlar CB kağıdının alıcı yüzeyine ulaşır ve burada elektron alışverişli gerçekleşir. Böylelikle hammadde renli moleküllere dönüşür (Sabah ve Çelik 1998) Sepiyolit geniş yüzey alanı, renk oluşumundan sonra, renk verici moleküllerin sepiyolit yüzeyine absorplanarak kalıcı olmasını sağlar (Alvarez 1984).

2.1.4.21 Yağ Rafinasyonu

Parafin, gres yağları, mineral yağları ve nebati yağların renginin giderilmesinde de killeri yaygın olarak kullanılmaktadır. Renk giderme prosesi:

- Filtrasyon ve renk verici partiküllerin perkolasyonu sırasında tutulması,
- Renkli maddelerin adsorpsiyonu ve renkli bileşiklerin renksiz bileşikler veya kolay absorbe edilebilen bileşikler haline katalitik dönüşüm olarak özetlenebilir (Sabah ve Çelik 1998).

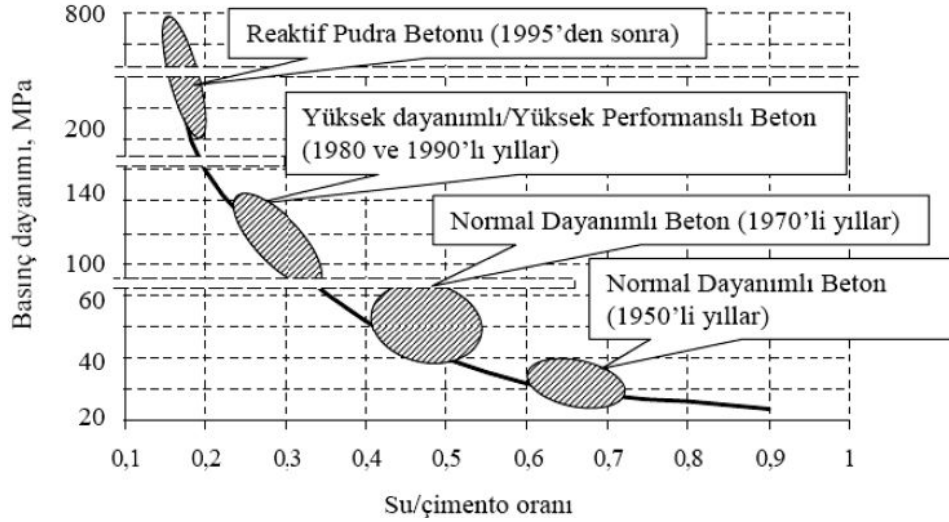
2.1.4.22 Gübre Süspansiyonları

Süspansiyon halindeki gübreler, gübre çözeltilerine göre daha avantajlıdır, zira azot, fosfor ve potasyum bileşikleri çözünme oranları ile kısıtlı değildir. Bu tür gübreler, çözünmeyen maddeleri süspansiyonda tutacak bir katkı maddesine ihtiyaç duyarlar. Sepiyolit reolojik özellikleri ve düşük pH değerlerinde sahip olduğu yüksek viskozite, gübre süspansiyonlarında kalınlaştırıcı olarak kullanılabilme imkanı sağlar (Sabah ve Çelik 1998).

2.2 Lif Takviyeli Beton

Beton; çimento, su ve ince ya da kaba agrega içeren hidrolik bir bağlayıcıdır. Bu şekilde hazırlanmış bir betona düzensiz lifli yapı, doğal veya yapay malzemelerin ilave edilmesiyle elde edilen betona ise lif takviyeli beton adı verilmektedir. Lif takviyeli beton prekast ürünler, 80'li yıllardan başlayarak hızlı bir değişim sürecine giren inşaat endüstrisinde, teknik ve estetik kolaylıklar nedeniyle, hafif, pratik, sağlam

ve ekonomik beton prekastlar sunarak sektörde önemli bir görevi yerine getirmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Beton teknolojisi gelişimine bağlı dayanımlar (Taşdemir ve Bayramov 2002).

Beton özelliklerinin iyileştirilmesi çabaları ile mühendisler, teknolojik gelişmelere paralel olarak daha avantajlı yapı malzemeleri arama yoluna gitmişlerdir. Diğer bir deyişle hem basınç, hem çekme, hem de eğilme dayanımı yüksek olan, ancak metal yapı malzemelerinden daha ekonomik bir yapı malzemesi oluşturulmasına çalışılmaktadır.

Genel olarak yorulma, aşınma, çekme, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları ve enerji yutma kapasiteleri bakımından zayıf olan betonun bu özelliklerini iyileştirmek amacıyla betona katkı malzemeleri ilave edilebilmektedir. Lifler de bu malzemelerden birisidir. Lifli betonun üretilmesindeki amaç; malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerinin artırılmasıdır. İlk çağlardan beri kırılğan yapı malzemelerinin takviyesinde liflerin kullanılması pratiği de göz önüne alınarak betonda da saman, polipropilen lif (Şekil 2.10), yonga lif, plastik-cam bazlı lif ve çelik lifler kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.10 Beton takviyesinde kullanılan polipropilen.

Polipropilen lifler, korozyondan etkilenmeyen, tuz ve alkalilere dayanıklı malzemelerdir. Betondaki iç gerilmeleri azaltarak mikro çatlakları engellemekte ve gerilmeleri çelik hasırda %72'ye kadar düşürmektedir (Karahana 2006).

Betona çelik lif katkısı ile daha yüksek enerji yutma kapasitelerine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyen, çatlama riski daha az ve durabilitesi daha da yüksek malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı çelik lifli betonlara talep artmaktadır (Şekil 2.11). Günümüzde beton katkı malzemesi olarak çelik lifler yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonun zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan çelik telin tanımı ACI 544 göre tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda telin narinliğinin de ifade etmektedir. Beton takviyesinde genellikle daire kesitli çelik lifler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra dikdörtgen kesitli çelik teller de bulunmaktadır. Boyları 30-60 mm, çapları ise 0,5 - 1,0 mm arasında değişen çelik tellerin yük etkisiyle kopmadan matristen sıyrılmalarına rağmen çekme dayanımlarının en az 345 N/mm² olması istenmektedir.



Şekil 2.11 Çelik lif katkılı beton.

2.2.1 Betonda Lif Kullanımının Tarihçesi

İlk insanların saman çöpü, keçi kılı ve insan saçı kullanarak tuğla ve harcı kuvvetlendirme çabaları, yapı malzemelerinin doğasını geliştirmeye yönelik girişimlerin oldukça eskilere gittiğini göstermektedir. Gerçekte, lifli betonlara esin kaynağı olan saman takviyeli kıl harcı (kerpiç) 4500 yıl öncesinden beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktaydı. Yapı malzemelerinin sürekli donatılarla kullanılması, ancak betonarme betonu kadar eskidir (Arslan 1993).

Roma Collosium inşaatı sırasında devrin sıvası olarak adlandırabileceğimiz balçık karışımlarına çeşitli hayvanlara ait kuyruk ve yele kıllarının ilave edildiğini biliyoruz. Türk Mimarisinde Mimar Sinan Usta'nın yapılarında kullandığı Horasan Harcı da içerisinde saman gibi doğal lifler içermekteydi. Basit bir çimento, agrega ve su karışımı olan beton, İkinci Dünya Savaşı yıllarına kadar büyük bir değişim göstermemiştir. Uzun yıllar boyunca da betonda görülen çatlaklar ürünün doğasından kaynaklandığı düşünülerek dikkate alınmamıştır (Erbaş 1999, Yiğiter 2002). 1960'lı yılların başında Amerikan Silahlı Kuvvetleri Mühendisleri Birliği, betonda oluşan çökme ve büzülme çatlaklarına yönelik bir araştırma programı başlatmıştır. Betonda yapısal olmayan çökme ve büzülme çatlaklarının azaltılması için kullanılan geleneksel yöntemler, yüzeyin bir sıvı kür malzemesi ya da bir örtü kullanılarak kapatılmasını kapsamaktadır. Ancak bu önlemler çatlakların kılcal olmasını sağlıyor, yine de betona yük bindiğinde çatlakların genişlemesini önlemiyordu. Araştırma programının sonunda "plastik büzülme çatlaklarının, betonun tasarlandığı mukavemet değerine ulaşmaya kadar maruz kaldığı dinamik iç gerilmelerden kaynaklandığı" sonucuna ulaşılmıştır. Buna ilaveten "beton içerisine konulacak liflerin betonun balistik, enerji sönmüleme ve darbe dayanımını arttırdığı" şeklinde bir bulguya daha ulaşılmıştır (Erbaş 1999).

Lifli betonlar üzerindeki çalışmalar, 1963'lü yıllarda beton içerisine cam liflerin katılmasıyla devam etmiştir. Daha sonraları farklı lif tipleri kullanılarak beton mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; beton

içerisinde süreksiz dağılı bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme özelliğini artırdığı tespit edilmiştir (Ünal 1994).

Günümüzdeki bilinen şekle sahip lif patentleri 1927'de ABD'de G. Martin tarafından, 1939'da İngiltere'de Zitzkeviç ve yine İngiltere'de 1943'de G. Constantinesco tarafından alınmıştır (Naaman 1985, Beddar 2004). 1960'ların başlarında günümüzde bilinen anlamıyla çelik liflerin betonda kullanımına yönelik çalışmalar başlamıştır (ACI 544 1997, Romualdi and Baston 1963). Günümüzde geleneksel çelik teller endüstriyel zemin betonları ve tünel uygulamalarında kullanıldığı gibi yağmur suyu kolektörleri, atık su tankları, atık madde tankları, cephe ve bölme duvar elemanları, kanalizasyon boruları, tünel segmentleri gibi prefabrike elemanların üretiminde de kullanılmaktadır (Taşdemir vd. 2002, Yardımcı 2007).

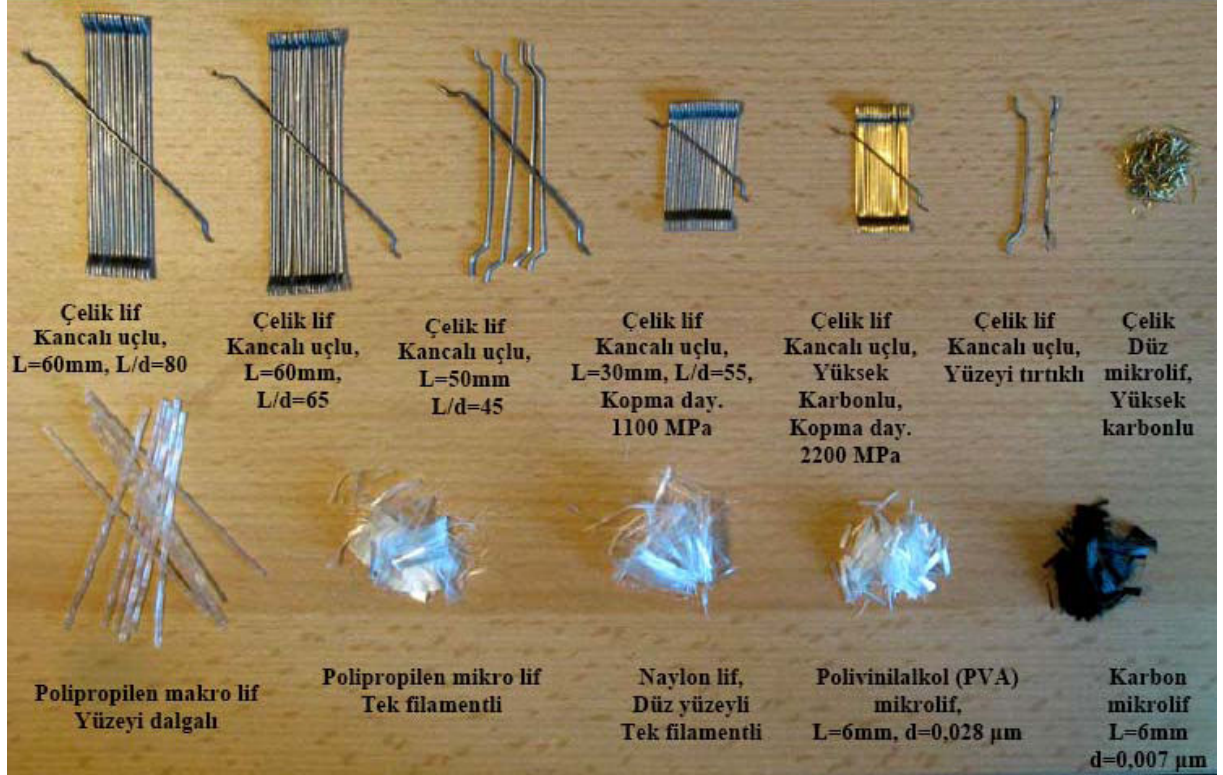
2.2.2 Çimentolu Kompozitlerde Kullanılan Lif Türleri

Çimentolu kompozitlerin çeşitli özelliklerini geliştirmek için metalik, cam, doğal ve sentetik lifler kullanılabilir. Bu liflerin karakteristik özelliği dikkate alınarak ihtiyaca yönelik tasarım yapılırken uygun lif türü seçilmektedir. Lif türlerinin mekanik iyileşmelere etkisi olduğu gibi kimi durumlarda bazı özelliklerde düşüşler olabilmektedir. Lif türlerinin mekanik özellikleri geliştirici etkisi yanı sıra durabilite zorlamalarındaki hasarların önlenmesi için kullanımı halen araştırma konusudur.

Son yıllarda sentetik liflerin kullanımı hız kazanmaktadır. Sentetik liflerden sık kullanılanları polietilen, polipropilen, polivinil alkol, karbon ve akrilik lifler olarak verilebilir. Sentetik liflerin yüzey dokuları çeşitli yöntemlerle değiştirilerek çatlak yaymaya yönelik çalışmalar ve eğilebilir beton adı altında yüksek süneklikli beton tasarımları günümüzde yeni bir konudur.

Yüksek alkali ortamda liflerin kimyasal bozulmalardan korunması, yalın haldeki performanslarına yaklaşabilmeleri için iyi bir aderans sağlanması, homojen halde kalıba dağılarak betonun tüm bölgelerinde iş görebilir halde olması çimentolu matrisin taze ve sertleşmiş haldeki vazifelerindedir.

Lifler kullanım sıklığına göre Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi birçok geometrik yapı, dayanım, hammadde ve narinliğe göre sayısız lif türleri üretebilmek mümkündür. Bu lifler genellikle suda eriyen yapıştırıcılarla tutturulmuş demetler halinde satılmaktadır.



Şekil 2.12 Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri (Yardımcı 2007).

2.2.3 Çelik Lifler



Çelik lifler klasik betonun bazı özelliklerini geliştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, betonda çelik lif kullanımı, klasik betonun çekme, eğilme, darbe, yorulma ve aşınma dayanımları, deformasyon kapasitesi, çatlak sonrası yük taşıma özelliği ve tokluk gibi özelliklerini önemli derecede geliştirmektedir (Yazıcı ve Sezer 2008). Basınç etkisi altında mekanik davranışları elverişli olan yapı malzemelerinin, çekme ve eğilme etkisi altındaki davranışları çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu malzemelerin elverişli olmayan mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için beton içerisine karıştırılan çelik liflerin yapısı betonun çekme dayanımına pozitif katkı sağlamaktadır. Çelik lifli betonların üretilmesindeki ana amaç; malzeme tokluğu, darbe yüklerine karşı direnci, eğilme dayanımı gibi

özelliklerin artırılmasına yöneliktir. Çelik lif donatılı betonları karakterize eden en önemli özellikleri, tokluk ve dinamik yüklere dayanımıdır. Başka bir deyişle, betonun enerji yutma kapasitesindeki büyük artıştır. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri çelik liflerin rolünden ziyade beton kalitesine, tokluk ise çelik liflerin performansına bağlıdır (Yerlikaya 2003). Çelik lif katkılı betonlar son yıllarda; tünel yapılarında, döşeme ve saha betonlarında, şev stabilizasyonunda, onarım malzemesi olarak, baraj yapılarında, liman yapılarının yapımında ve onarımında, yangın korumalarında, beton büz borularında ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle yaygın olarak uygulama alanı bulmaktadır.



2.2.3.1 Çelik Liflerin Sınıflandırılması

TS 10513 (1992)'e göre çelik lif sınıfları ve tipleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

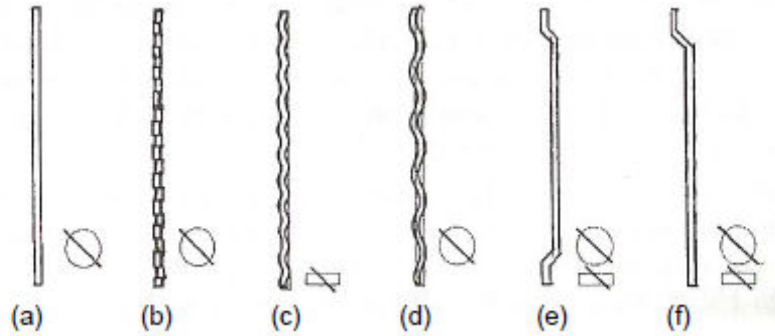
Çizelge 2.4 Çelik lif sınıfları ve tipleri (TS 10513).

Sınıfı	Tipi	Resim	Açıklama
A Düz, pürüzsüz yüzeyle lifler	1		Yüzeyinde pürüz bulunmamaktadır.
B Bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş lifler	1		Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler
	2		Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler
	3		Ay biçimi dalgalı lifler

Çizelge 2.4. (Devam) Çelik lif sınıfları ve tipleri (TS 10513).

C Sonu kancalı lifler	1		İki ucu kancalı lifler
	2		Tek ucu kancalı lifler

Geometrik yapılarına göre çelik lifler üç sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 2.13). Düz, pürüzsüz yüzeyli teller, bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş teller (üzerinde çentikler açılmış teller, kıvrımlı teller, ay biçimli dalgalı teller) ve sonu kancalı teller (iki ucu kıvrılmış teller, bir ucu kıvrılmış teller) (TS 10513 1992).



Şekil 2.13 Çelik lif çeşitleri; a) Düz Lif, b) Çentikli Lif, c) Dalgalı Lif, d) Ay Biçimli Dalgalı Lif, e) İki Ucu Kancalı Lif, f) Bir Ucu Kancalı Lif.

Lifler pas, yağ ve petrolden arınmış ve temiz, çelik lifler düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile elde edilmiş olmalı, çekme-kopma gerilmesi ortalaması 345 N/mm^2 , her bir lif ise 310 N/mm^2 den az olmamalıdır. Çelik liflerin çapları 0,13-1,0 mm arasında olup, narinlikleri ise (uzunluk/çap oranı) 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları 13 mm'den 70 mm'ye kadar, lif hacmi ise genellikle %0,5 ile %3 arasında değişmektedir (Karahan 2006).

Betonun zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan çelik liflerin tanımı ACI 544'e göre lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda lifin narinliğini ifade etmektedir. Beton takviyesinde genellikle daire en kesitli ve dikdörtgen en kesitli çelik lifler kullanılmaktadır. Boyları 30-60 mm, çapları ise 0,5-1,0 mm arasında değişen çelik liflerin yük etkisiyle kopmadan, matristen sıyrılmalarına rağmen çekme dayanımlarının en az 345 N/mm² olması istenmektedir. Uçları kancalı üretilen çelik liflerin sıyrılmaya davranışları düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır (Karahan 2006).

Düşük karbonlu çelikten üretilen çelik lifler genellikle;

- Soğukta çekilen liflerin kesilmesiyle,
- Çelik plakaların kesilmesiyle,
- Erimiş haldeki çelik potasından çıkarılması ile elde edilmektedir.

Sert çekilmiş düşük karbonlu çelik C1008'den üretilen çelik liflerde, yüksek ve üniform çekme gerilmesiyle düşük uzama özelliği birleştirilmiştir. Beton içerisinde bulunan liflerin nihai yükleri kırılma ve kopma olmadan taşımaları gerekir. Çelik lifler 1100 N/mm² çekme mukavemeti ile bunu gerçekleştirir. Düşük elastik limitleri (%0,2), yüksek çekme gerilmesiyle birleştirilmiştir (Karahan 2006).

2.2.3.2 Çelik Liflerin Performansları

Çelik lif donatılı beton, ince çelik liflerin beton kütlesi içine homojen olarak dağıtıldığı üç boyutta donatılı betondur. Çelik lifler betonların çatlak direncini, geçirgenlik ve süneklik gibi özelliklerini artırır. Ulaşılması istenen performans seviyesi beton kalitesi, çelik liflerin narinlik oranı (uzunluk/çap) ve dozaja bağlı olarak değişir. Deney metoduna bağlı olarak çelik lif donatılı beton performansının seçilmesi gerekir. Bu seçimde en önemli parametre yapı güvenliği ve sünekliktir. Çelik lifler, taze betonda oluşmaya başlayan mikro çatlaklar arasında köprü teşkil ederek, iç gerilmeleri bütün kitle içine yayar ve servis yükleri altında çatlak yayılma ve büyümesinin önüne geçerler. Servis yüklerinden başka ani etkileyen deprem gibi

dinamik yüklemelere karşı enerji yutma yetenekleri nedeni ile betonun dağılmasını engellerler (Yerlikaya 2003).

Çelik liflerin teknik üstünlüğü pek çok bileşenden oluşur. Bunlar;

- İdeal uzunluk/çap oranı,
- Ankrajlı uçlar sayesinde kontrollü sıyrılma,
- Yüksek çekme mukavemeti (min. 1100 N/mm²),
- Tutkallı demetler ile homojen şekilde yayılma.

2.2.3.3 Çelik Lifin Beton Özellikleri Üzerine Etkileri

Liflerin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, düktilitesini, enerji tüketme kapasitesini, oyulma direncini artırmak ve çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Lifler, kendi çekme mukavemetlerine ulaşıncaya kadar beton basınç ve çekme gerilmelerinden meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu en aza indirmektedir. Böylece geleneksel beton içerisine farklı miktarlarda ve belirli özelliklerde çelik liflerin katılması ile normal betonun zayıf olarak bilinen birçok özelliği iyileştirilerek performansları arttırılmaktadır. Bu iyileşmeler Çizelge 2.5’da özetlenmiştir (Yaprak vd. 2004, Uğurlu 1994).

Çizelge 2.5 Çelik lifli betonun teknik özellikleri (Uğurlu 1994).

Beton Özelliği	Artış (%)
Tokluk	100-1200
Darbe Dayanımı (MPa)	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı (MPa)	25-100
Çekme Dayanımı (MPa)	25-100
Nihai Eğilme Dayanımı (MPa)	50-100
Yorulma Dayanımı (MPa)	50-100
Deformasyon Kapasitesi	50-100
Basınç Dayanımı (MPa)	±25
Kavitasyon Dayanımı	300
Elastisite Modülü (GPa)	±25

- İşlenebilirlik;

Beton içerisine çelik liflerin katılmasıyla işlenebilirlik özelliklerinde bazı değişiklikler gözlenir. Şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda betona katılan çelik lif ilavesinin işlenebilirlikte önemli derecede azalmalara yol açtığını tespit edilmiştir. Bu azalma üzerindeki en önemli iki faktör, karışımdaki lif hacmi ve narinlik diye tanımlanan lifin uzunluk/çap oranıdır. Yine çalışmalar göstermiştir ki çelik lif ile güçlendirilmiş betonların işlenebilirliğinin ölçümünde slump yönteminin pek kullanılmadığını ve en uygun yöntemlerin ters çevrilmiş koni ve vebe yöntemleri olduğunu göstermektedir. Çelik lif miktarının beton içerisinde artması ile işlenebilirlikte azalmalar meydana gelmektedir. Ayrıca narinlik oranının artması da yani çelik lif performansının artması ile de işlenebilirlik zorlaşmaktadır. Çelik lif tipi ve geometrik şekli işlenebilirliği olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir (Karahana 2006). Aşırı yüksek işlenebilirlik değerlerinde çelik liflerin matrisle tutunamayarak kalıp dibine doğru çöktüğü bilinmektedir. Bu çökme numunelerin eğilme performansını ve kırılma parametrelerini değiştirmektedir. Aynı zamanda yükleme doğrultusuna göre eğilmeye çalışan kesite giren lif sayısında önemli farklılıklar olduğundan literatürde bu sorun çok sayıda çalışma ile vurgulanmıştır (Yalçınkaya 2009).

- Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk);

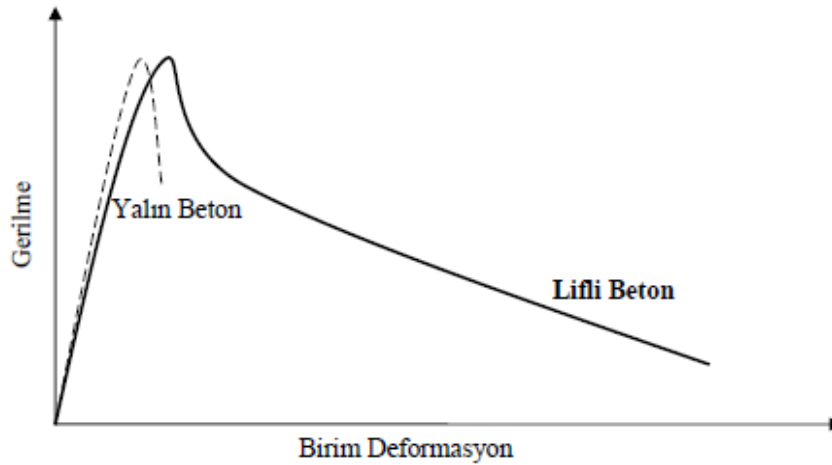
Çelik lif donatılı betonları karakterize eden en önemli özellikleri, tokluk ve dinamik yüklere dayanımıdır. Başka bir deyişle, betonun enerji yutma kapasitesindeki büyük artıştır. Basınç ve eğilme – çekme gerilmeleri çelik lifleri rolünden ziyade beton kalitesine, tokluk ise çelik liflerin performansına bağlıdır (Yerlikaya 2003).

Tokluk, beton içindeki çelik liflerin rolüne bağlı olup, ve lifli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Bu özellik çelik lifli betonun lif miktarı, narinlik oranı, lif boyu, lif geometrisi ile yükleme hızı ve numune boyutları gibi faktörlerden etkilenir. Sözü edilen, enerji yutma kapasitesinin ölçümü JCI-SF4 Japon, ASTM 1018 USA, TS 10515 standartlarında belirtilmiş olup, yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Betondaki lif içeriğinin artmasına

bağlı olarak lif boyunun ve narinlik oranının büyümesi ile betonun tokluğu da artmaktadır (Karahan 2006).

- *Dayanım;*

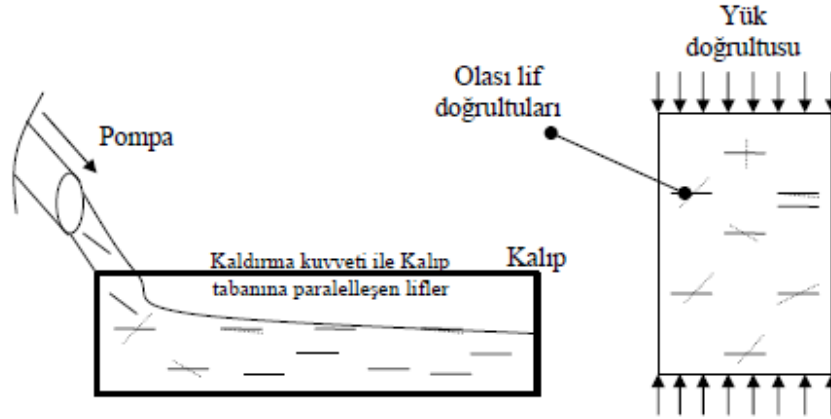
Çelik lifli beton taşıma gücünü aşıp üzerine aldığı yükü deformeye uğratarak boşalttığı halde (çatlama) yük taşıma özelliği vardır. Ayrıca, kesme, burulma ve yorulmaya karşı dayanımı fazladır (Şekil 2.14). Bu nedenle, yüksek kiriş, betonarme silo ve deprem perdesi gibi kesme ve burulma elemanlarında kullanımı oldukça yararlıdır. Çelik lifli betonda, çatlama, dökülme, parçalanma ve dağılmalar geleneksel betona göre oldukça azdır (Alyamaç ve İnce 2008). Basınç dayanımında da belli bir artış görülür. Fakat çelik lifli betonların basınç dayanımları, çelik liflerin beton içerisinde gelişi güzel dağılmasından dolayı her zaman olumlu etkilenmemektedir. Basınç dayanımlarında artışlar görülebileceği gibi bazen de basınç dayanımı kayıpları ortaya çıkabilmektedir. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri, çelik liflerin rolünden ziyade, beton kalitesine bağlıdır. Diğer özellikleri ise, homojen dağılmış lif donatıya bağlı olarak etkili bir çatlak kontrolü, artan darbe, yorulma ve aşınma dayanımıdır (Karahan 2006).



Şekil 2.14 Maksimum basınç yükü aşıldıktan sonra lifli beton davranışı (Yalçinkaya 2009).

Liflerin yük doğrultusuna göre konumu da çok önemli bir değişkendir. Yük doğrultusu boyunca konuşlanmış liflerin beton basınç dayanımına etkileri fazla olmamaktadır. Ancak uçları çengelli veya çıkıntılı liflerin yük doğrultusunda olsa dahi bir miktar kenetleyici etki yaratması beklenebilir. Yükleme doğrultusuna dik lifler ise gerilme

aktarılmasına önemli oranda yardımcı olmaktadır. Lifler, taze beton içinde genellikle kalıp tabanına paralel şekilde asılı kalma eğilimindedirler. Tüm lifler incelendiğinde liflerin taban düzlemiyle çeşitli açılar yaparak asılı kaldığı söylenebilir. Agreganın çapı ve miktarına göre liflerde yataydan sapmalar oluşmaktadır (Şekil 2.15). Bu durum elle dizilmiş lifler için değil, beton içerisinde rastgele agregaya gibi karıştırılan lifler için geçerlidir (Yalçınkaya 2009).



Şekil 2.15 Döküm sonrasında lifler.

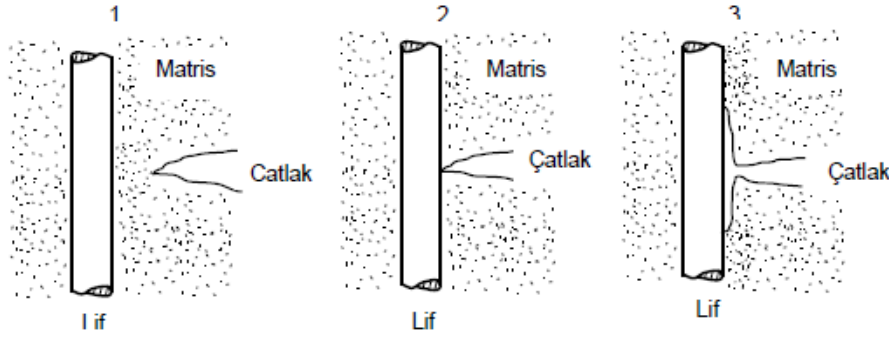
Tokluktan sonra çelik liflerin önemli derecede performans artışı sağladığı özellik betonların darbe dayanımlarıdır. Çelik lifler darbe aşınmasının neden olduğu mikro kırılma çatlaklarını kontrol ederek betonların aşınma hasarlarını azaltmaktadır. Ayrıca çelik lifler beton kaplamaların yüzeylerinin pullanmasını önleyici etki yapmaktadır.

- Rötire;

Hacimsel büzülme anlamına gelen rötire betonda termik, plastik, kuruma ve karbonatlaşma olarak dört farklı rötire oluşumu vardır. Bu oluşumlar betonda değişik priz süreçlerinde farklı nedenlerle meydana gelen çatlakların artması ve büyümesinden kaynaklanır. Bu nedenle priz süreci ve daha sonraki süreçte ortaya çıkan çekme gerilmelerini beton matrisinde alabilecek ve gerilmeyi çatlak olmayan bölgelere aktararak dağıtacak liflere ihtiyaç vardır.

Lifsiz betonlarda gerilme ile başlayan mikro çatlaklar, gerilmenin artışı ile çeşitli yönde yayılarak belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına yol açar. Lifli

betonlarda ise ilk çatlaktan sonra çimento hamuru fazından liflere doğru bir gerilme transferi olur. Lifler, miktarları ve geometrik şekillerine bağlı olarak bu gerilmelerin bir kısmını kendi taşır, bir kısmını da matrisin sağlam bölgelerine aktarırlar (Şekil 2.16). Özellikle kritik yüklemelerde, beton iç gerilmeleri çökme sınırına geldiğinde çelik liflerin beton içerisindeki davranışı daha iyi açıklanır (Yazıcı ve Sezer 2008).



Şekil 2.16 Çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı.

- *Dayanıklılık;*

Tutkallı demetler halinde bulunan çelik liflerin karışım esnasında tek tek tanelere ayrılamamasından dolayı betondan boşluklar oluşur. Bu şekilde boşluklu betonlar geçirgenliği de olumsuz etkilemektedirler. Geçirgenliğin artması da çelik lifin korozyona uğramasına yada kimyasal reaksiyonlar sonucu bozulmaları arttırabilecektir. Lifli betonlarda iyi bir karışım, iyi yerleştirme, iyi bir sıkıştırma ve iyi bir bakım sonucu çelik lifli betonlarda dayanıklılık sorunu önlenilecektir. Çelik liflerin betonların donma-çözülme direncine etkisi önemli düzeyde değildir. Buna karşılık çelik lifler mikro çatlak oluşumunu ve yayılmasını geciktirir. Buna bağlı olarak donma-çözülme esnasında betonun göçme ve hasar görmesini yavaşlatır. Göçme modundaki bu iyileşme çelik lifin çatlak köprüleme etkisine ve çatlak tutma becerisine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla çelik lif donatılı betonların donma-çözülme etkisinde kütle kaybı normal betonlardakine benzer olmaktadır. Çelik lifler genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kavitasyon dirençlerini ise arttırmaktadır (Karahana 2006).

2.2.4 Polipropilen Lif Katkılı Betonlar

2.2.4.1 Polipropilen Lif

Polipropilen lif insanlık tarihi kadar eski olan doğal mikro donatı saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyumlaştırılmış halidir. Polipropilen lif beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak için kullanılan çürümeyen bir üründür. Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılan polipropilen liflerdir. Polipropilen lif betonun içinde üç boyutlu bir mikro donatı ağ oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik ve zaafı azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Polipropilen lifleri hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir. Metrekare başına ağırlığı 90 gram ile 200 gram arasındadır. Bu nedenle yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler (Karahana 2006).

2.2.4.2 Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması

Polipropilen elyafları %100 homo-polipropilenden F ve M olmak üzere iki tipte imal edilmektedir. F-fibrilize elyafları, M-multifilament elyafları temsil etmektedir. M tipi elyaflar çok ince olup, şap yüzeyinde gözükmeklerinden iç mekan şapları için iyi sonuçlar sağlarlar. F tipi lifler ise endüstriyel zemin uygulamalarında (ağır hizmet zeminlerinde) durabilite ve tokluk aranan betonlar için daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Polipropilen liflerin teknik özellikleri.

Tip	Fibrilize	Multifilament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standard F	Standard M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0,91	0,91	1,00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık (µ)	36	18	-

Çizelge 2.6 (Devam) Polipropilen liflerin teknik özellikleri.

Renk	Transparent	Transparent	Renkli
Görünüm	Visible	Invisible	Visible
Gerilme Dayanımı (N/mm ²) (N/mm ²)	500	700	500
Young Modülü (N/mm ²)	7161,20	7161,20	7161,20
Uzama (%)	Max 10	Min 100	-
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

2.2.4.3 Polipropilen Liflerin Performansları

Beton matrisinin, polipropilen lifler kullanılarak donatılması, ilk kez 1965 yılında gerçekleştirilmiş olup, 1970'li yıllarda polipropilen lif donatılı betonların büyük çapta üretimine geçilmiştir. Günümüzde, polipropilen lifler betona hacimce %0,1 gibi oldukça düşük oranlarda katılmakta olup, öncelikli olarak rötre çatlaklarının engellenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Uğur 2007). Çekme dayanımları yüksek olan bu liflerin, elastisite modülleri düşüktür (Avar 2006).

Polipropilen liflerin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisiyle ilgili olarak, bilim adamları arasında henüz kesin bir görüş birliğine varılmamış olsa da, polipropilen lif donatılı betonların basınç etkisi altındaki göçme mekanizmalarının ve göçme şekillerinin çok daha sünek bir karakter sergilediği kabul edilen bir gerçektir (ACI 544.3R-93 1998). Polipropilen liflerin betonun sünekliğine olan olumlu katkıları, yüksek dayanımlı betonlar söz konusu olduğunda kendisini daha da hissettirmektedir. Yapılan birçok çalışmada, yüksek dayanımlı yalın numunelerin, basınç yükü altında daha fazla enerji yutamadıkları noktada parçalara ayrılarak göçtükleri, polipropilen lif donatılı yüksek dayanımlı numunelerin ise daha sünek bir şekilde, bütünlüklerini koruyarak göçme süreçlerini tamamladıkları gözlenmiştir (ACI 544 IR-96 1997). Polipropilen lifler kimyasal olarak durağan ve alkali ortamlara dayanıklıdır. Her tip portland çimentosu ile beraber kullanılabilirler. Organik çözücülere ve hidrokarbonlara dirençli olmalarından dolayı petrol ürünlerinin bulunduğu benzin istasyonlarında rahatlıkla kullanılır. Elektriksel ve manyetik alanlardan etkilenmezler ve ısı geçirgenliği son derece düşüktür. Termal uzaması ihmal edilebilir. Yerden ısıtma sistemlerinin koruma şaplarında kullanılırlar. Kayda değer su emişleri olmadığından betonun su/çimento oranını etkilemezler. Oksitliyciler ve asitler ile

reaksiyon vermezler ayrıca paslanmaz ve çürümezler. Polipropilenler kılcal çatlamları ve beton geçirgenliğini azaltır, sıkıştırma faktörünü yükseltirler. Asit, alkali ve tuzlara karşı dirençli bir tali donatıdır. Plastik rötre çatlaklarını, beton yüzeyindeki göllenmeyi ve su geçirimini azaltır. Aşınma direncini sağlar. Köşe ve derz kırılmasını azaltırlar. Polipropilenler şap betonlarının uzak mesafelere ve yüksek kotlara pompalanabilirlik yeteneğini artırır. Pompa basıncını düşürerek enerji tasarrufu sağlarken, aynı zamanda kauçuk parçaların hasar görmesini engeller. Betonun saçılmasını ve ayrışmasını engeller. Betonun pompa ucundan homojen, yoğun, sürekli ve tutunganlığı yüksek bir şekilde akmasını sağlarlar.

Polipropilen ile donatılandırılmış şap betonlarında, yerleştirme ve masterlama sonrasında beton yüzeyinde su gölcükleri oluşmaz. Bu gölcükler betonun ayrıştığının ve dayanıklılığın ortadan kalkmasının bir göstergesi olup, çatlama, tozuma, ufalanmaya ve pullanmaya yol açar.

Polipropilen şap betonda mikro çatlakları ve kapileriteyi azalttığından sıvı geçirgenliği düşer. Bu sayede donma çözülme çevrimine direnç kazanır. Bu özellik dış mekan şapları ile havaalanı, taksi yolları, otoparklar, yürüme yolları ve benzin istasyonları için yaşamsal önem taşımaktadır. Polipropilen atmosfer etkilerine dirençlidir. Dış mekan, çatı, teras ve tesviye şaplarında da kullanılırlar (Karahana 2006).

2.2.4.4 Polipropilen Lifli Betonun Teknik Özellikleri

Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, sermeden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülmeden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülmeden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibarıyla su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur (Bekaert 1998).

Polipropilen lifler,

- Büzülme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirirler,

- Büzülmeden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini asgari düzeye indirgerler,
- Beton içinde homojen olarak dağılırlar,
- Kg başına yüzey alanı çok geniştirler,
- Betona çok iyi şekilde yapışırlar,
- Elastisite modülü değeri plastik haldeki betona oranla oldukça yüksektirler,
- Sertleşmiş betonda dayanım arttırıcı bir etki yaratmazlar,
- Etkileri betonun plastiklik safhasında geçerlidir ve bir nevi katkı malzemesi görevi görürler.

Polipropilen lifler çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetlerini arttırmada çok etkili olmazlar. Yine azda olsa betona enerji yutma özelliği kazandırır ve özelliklede plastik rötrede çok etkili olurlar. Özellikle çok güçlü olmayan büzülmelelere karşı polipropilen lifler tercih edilmektedirler. Polipropilen liflerin fonksiyonu betonun yumuşak, plastik safhasıyla sınırlı iken, çelik liflerin mukavemet arttırıcı etkisi beton prizini alıp sertleştikten sonra da belirgin şekilde devam eder. Betonun plastik safhasında çelik liflerin çatlak önleyici ve sınırlandırıcı etkisi de mevcuttur. Ancak, betonda mükemmel şekilde dağılmış olan polipropilen liflerin etkisine göre zayıftır. Bununla birlikte sertleşmiş betonda uzun dönemde kuruma büzülmelerinden dolayı oluşacak çatlakların azaltılmasında çelik lifler malzemeye belirli bir dayanıklılık ve tokluk vererek betonun mukavemetini önemli ölçüde arttırırlar (Bekaert 1998). Plastik sıva betondaki rötredaki çatlaklarını, büzülme çatlaklarını ve segregasyonu azaltır; betona tokluk kazandırır, betonun darbeye karşı dayanımını artırır ve geçirimsizleştirir; betonun aşınma mukavemetini artırır, asit ve bazlardan etkilenmez. Polipropilen lifler donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir, betonun dağılmasını önler. Yapılar depremde az hasar görür ve çökme riski azalır, betonun tutunmuşluğu artar, kayar kalıplarda betonun şişmesini önler, yorulma dayanımını kazandırır ve beton hizmet ömrünü artırır, aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır, yüzey tozumasını ve pullanmasını engeller (Karahana 2006).

2.2.4.5 Polipropilen Liflerin Kullanım Alanları

Fibrilize standard F tipi polipropilen liflerin beton, prefabrikasyon, şap, püskürtme sıva, harç ve kaplama; multiflament standard M tipi polipropilenlerin ise şap, kaplama, püskürtme sıva, harç, prefabrikasyon ve alçı, fibrilize paint ise boya, bitüm ve alçı işlerinde kullanılması tavsiye edilmektedir. Polipropilen liflerin başlıca kullanım alanları Çizelge 2.7’de verilmiştir (**İnt.Kyn.1**).

Çizelge 2.7 Polipropilen liflerin kullanım alanları.

Kullanım Alanları	Açıklama
 <p>Bitüm İşlerinde</p>	<p>Polipropilen lifler, otoyollarda, anayollarda, köprü ayakları, park, havaalanı ve yürüyüş yollarında kullanılırlar (Karahan 2006).</p>
 <p>Taşıyıcı Sistemlerde</p>	<p>Polipropilen lif beton içinde homojen şekilde dağılırlar. Beton içinde mükemmel dağılan polipropilen lifleri agrega ve karışımı, mükemmel şekilde birbirlerine tutunmasını sağlayarak betonun dayanıklılığını arttırmış olur (Karahan 2006). Betonun dağılmasını ve parçalanmasını engelleyerek depreme karşı dayanımı artırır (Raf Dergisi 2012).</p>
 <p>Saha Betonu ve Şap İşlerinde</p>	<p>Endüstriyel yüzey ve ağır yüklere maruz kalan zeminlerde polipropilen lifler kırılma, çatlama, aşınma problemlerini çözerken çarpma ve parçalanma dayanımı yüksek betonlarla tesis ömrünü ve kalitesini arttırlar. Tersane ve limanlarda deniz suyuna karşı ekstra koruma sağlarlar. F fibrilize elyaflar ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranan şaplar için uygundur. Multiflament polipropilen elyaflar çok ince olup şap yüzeyinde gözükmediklerinden iç mekan şapları için iyi sonuç verirler.</p>
 <p>Su Yapılarında</p>	<p>Polipropilen lifler çatlak ve yarıklardan kurtulmak, suyun aşındırıcı etkisine dayanmak, şevlerde oluşan derin yarık ve kopmaları önlemek, kenarlarda ve derzlerde oluşacak kırıkları önlemek, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, oturma ve çökmeleri önlemek, homojen, boşluksuz tok bir yapı elde etmek, malzemenin su emmesini önlemek amacıyla su yapılarında kullanılırlar.</p>
 <p>Püskürtme Sıva ve Betonlarda</p>	<p>Püskürtme sıva ve beton (shotcrete) uygulamalarında çelik hasır her zaman iyi sonuç vermeyebilir. Polipropilen lif kullanmak, geri düşmeyi azaltarak kaliteyi artırır ve malzeme israfını önler. Oluşturduğumuz tabaka sürekli, çatlaksız ve yarıksız olur. Tutunma kabiliyeti yüksek ve geçirimsiz bir yapı elde edilebilir. Özellikle büyük kot farklarında çalışmayı kolaylaştırır, kimyasallara karşı dayanım sağlar. Betonunuzu ve içindeki donatıyı korozyona karşı korunmasına yardımcı olurlar. Uygulamada oluşan çatlak ve yarıklar yapının ömrünü kısaltır. Buralardan sızan sular ek maliyetlere ve iş zorluğuna sebep olur. Bu etki zaman zaman yapının zarar görmesine ve yeniden inşa edilmesine sebep olabilir.</p>
 <p>Boya ve Mimari Uygulamalarda</p>	<p>Dış cephe boya ve sıva uygulamalarında polipropilen elyaf kullanılması faydalıdır ve boyanın daha pürüzsüz olmasını sağlar. Su yalıtımında riskli olarak kabul edilen bölgeler için geliştirilmiş polipropilen mikro elyafları kullanılabilir. Boyanın, güneş ışınlarına maruz kaldığı bölgelerde hızla solduğu, soyulduğu ve çatladığı görülür. Güneş, yağmur, rutubet gibi olumsuz hava koşullarına karşı polipropilen kullanılabilir.</p>
 <p>Toz Ürünlerde</p>	<p>Polipropilen hazır beton harcı, hazır şaplar, hazır sıvalar, yapıştırma harcı, tesviye harcı, yüzey sertleştirici ve püskürtme harcı gibi toz ürünlerin iş arkadaşısıdır.</p>
 <p>Sıvalarda</p>	<p>Sıvaların uzun ömürlü olması için mikro donatı kullanma fikri çok uzun yıllardır vardır. Eskinin saman ve hayvan kılları gibi malzemelerin yerini organik olmayan, betona zarar vermeyen polipropilen lifler almaktadır.</p>

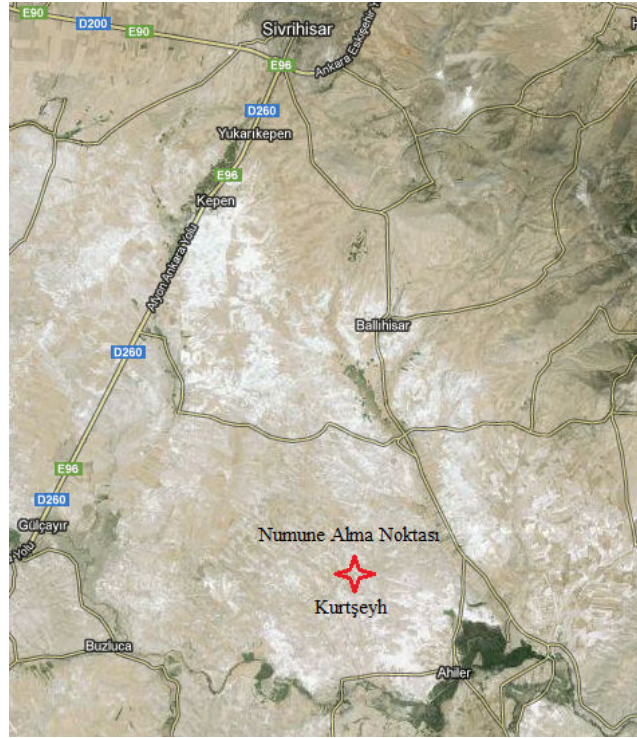
3. MATERYAL ve METOD

3.1 Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan sepiyolit numuneleri, Eskişehir – Sivrihisarda bulunan Anadolu Endüstri Mineraller A.Ş.’den (Şekil 3.1) temin edilmiştir. Dolomit içeriği yüksek (kalitesiz) ve dolomit içeriği düşük (kaliteli) olmak üzere alınan beyaz ve kahverengi sepiyolitlerin içerikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

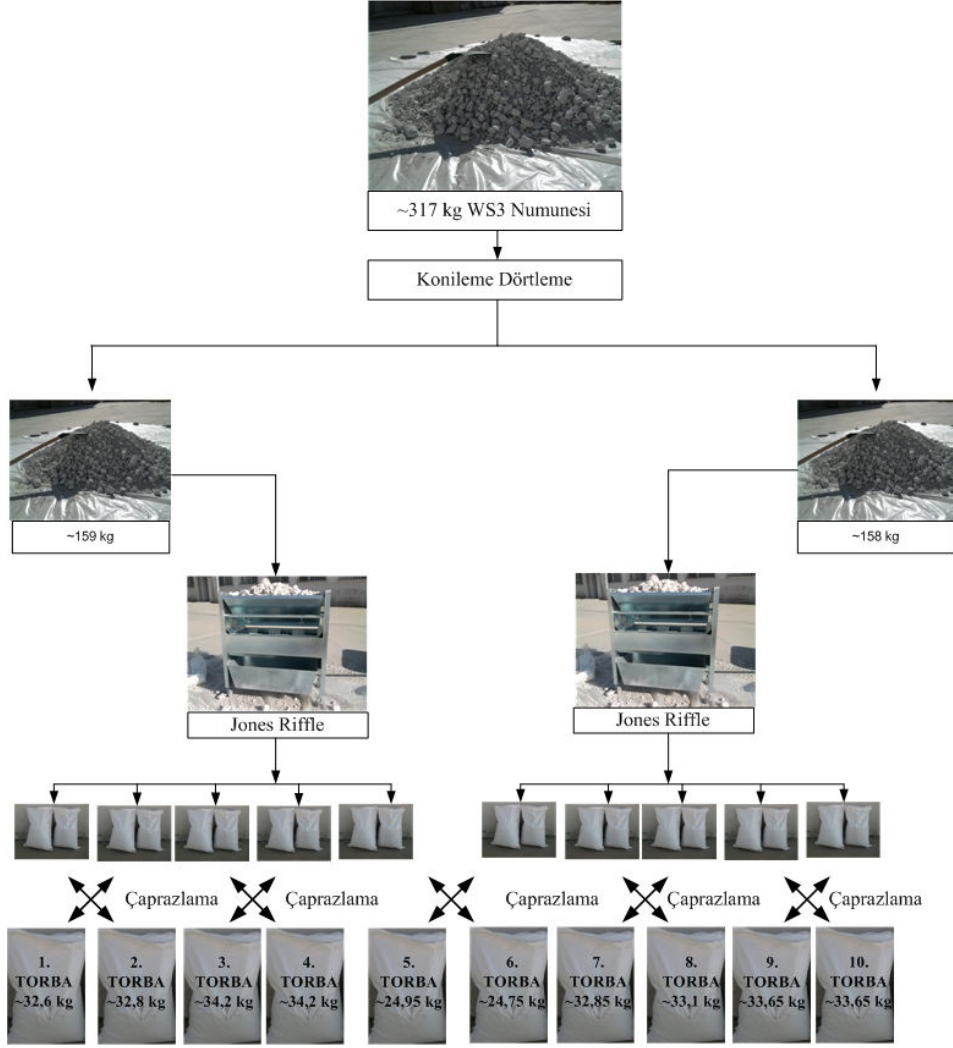
Çizelge 3.1 Tüvenan örneklerin sepiyolit içerikleri.

Sepiyolit	Renk	Safılık (%)
Beyaz	Beyaz	40 - 50
Kahverengi	Açık kahverengi	75 – 90



Şekil 3.1 Sepiyolit sahası yer bulduru haritası.

Ocaktan numune alma işlemi seçimli olarak gerçekleştirilmiş, alınan yaklaşık 320 kg kahverengi ve beyaz sepiyolit numuneleri (nem içeriği %47) serme işlemi ile kurumaya bırakılmıştır. Konileme – dörtleme yöntemi ile iki parçaya bölünen numunelerin her bir parçası, Jones Riffle numune bölücüsü yardımıyla 32 kg’lık 10 torba haline getirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Numune bölme akım şeması.

Beton deneylerinde kullanılan agrega numuneleri, Afyonkarahisar İli, Emirdağ İlçesi, Tabaklar Köyünde İ.R. 76014 nolu faaliyet gösteren Adaçal Endüstriyel Minerallere ait kireçtaşı ocağından temin edilmiştir. Numune temininde TS 707 EN 12620 normuna uygun hareket edilmiştir. Betonda bağlayıcı olarak CEM I 42,5 çimento, aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az suyla sağlanabilmesi için akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Elektrolit varlığında sepiyolit süspansiyonlarındaki viskozite değişimini incelemek için CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl_2 , MgSO_4 , tetra sodyum difosfat ve tri sodyum difosfat kullanılmıştır.

3.2 Metod

3.2.1 Sepiyolite Uygulanan Karakterizasyon Testleri

Kimyasal ve mineralojik özelliklerin tespiti için tamamı 6 mm altına indirilen sepiyolitlerden homojen bir şekilde alınan örnekler seramik hazneli bilyalı değirmende öğütülmüştür. Çanakkale Seramik Fizik laboratuvarlarında orijinal ve zenginleştirme işlemine tabi tutulmuş sepiyolit numunelerinin analizleri Panalytical X Pert Pro MPD model XRD (Şekil 3.3) ve Rigaku marka ZSX Primus XRF (Şekil 3.4) cihazlarında yaptırılmıştır. Tüvenan sepiyolite ait DTA ve TGA analizleri ise Netzsch STA 409 CD (Şekil 3.5) cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.3 XRD cihazı.



Şekil 3.4 XRF cihazı.

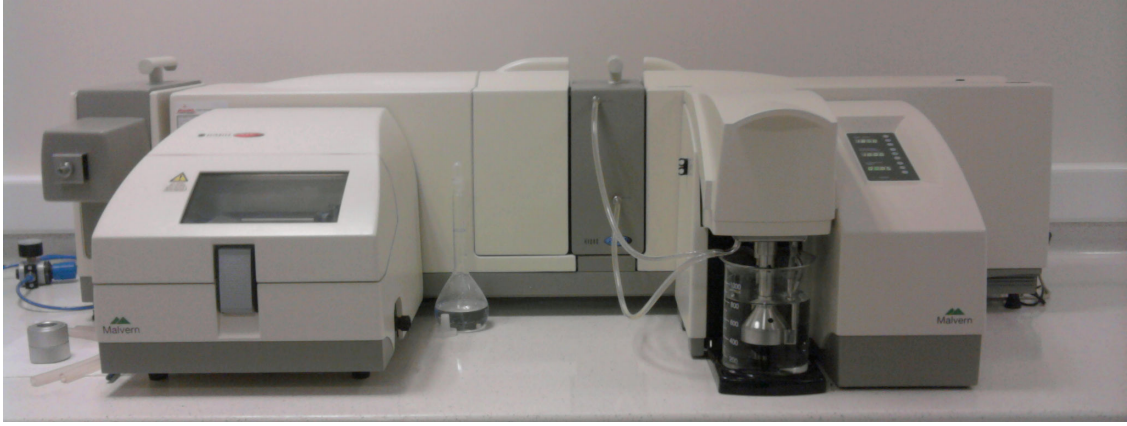


Şekil 3.5 Termal analiz cihazı.

Ocaktan getirildikten sonra üç aşamalı ufalama işlemine tabi tutulan (Çeneli kırıcı – darbeli kırıcı – merdaneli kırıcı) sepiyolit numuneleri -2 mm boyutuna indirilmiştir. 0,5 mm üzerinde yer alan numunelerin elek analizi Retsch AS 200 model (Şekil 3.6) elek sarsma cihazında kuru olarak yapılmış, zenginleştirme öncesi gerçekleştirilen mekanik dağıtma ve reolojik ölçümler için hazırlanan sepiyolit numunelerinin boyut analizleri ise Malvern Mastersizer 2000 (Şekil 3.7) cihazında yaş olarak gerçekleştirilmiştir. Boyut ölçümlerine tabi tutulacak olan örnekler, önceden yaklaşık 0,1 gram tartılarak (yaş örneklerde 0,1 gram kuru malzemeye eşdeğer miktarda tartılır) 19 ml su ve 1 ml %0,1'lik sodyum hekzametafosfat çözeltisi içeren 50 ml'lik bir beher içerisine konulmuş ve bir süre manyetik karıştırıcı ile dağıtmaya tabi tutulmuştur.



Şekil 3.6 Elek sarsma cihazı.



Şekil 3.7 Malvern Mastersier 2000 tane boyut analiz cihazı.

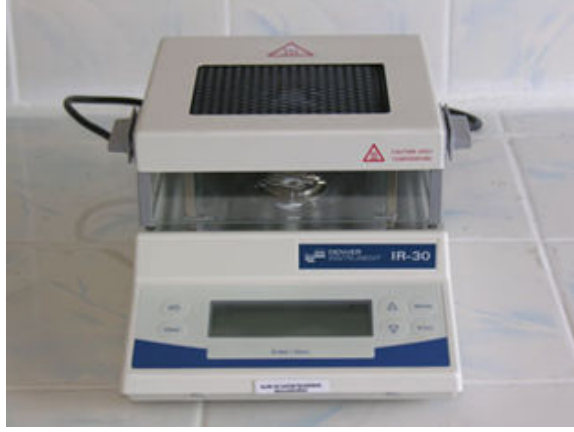
Sepiyolit numunelerinin yüzey alanı, Nova 2200 e model BET özgül yüzey alanı ölçüm cihazında (Şekil 3.8) yapılmıştır. Sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için, ölçümü yapılacak numune yüzeyindeki safsızlıkların uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla numune, Nova cihazının “outgassing” (yüzey alanı ölçülecek malzemenin yüzeyindeki safsızlıkların uzaklaştırılması için numune kabı içerisinde helyum ve azottan oluşan gaz karışımının geçirilmesi işlemi) ısıtma ve outgassing işlemine tabi tutulmuştur. Doğru bir outgassing işlemi yapabilmek için uygulanacak olan süre ve sıcaklık, numunenin yapısına göre değişmektedir. Numune içerisindeki nemi uzaklaştırmak için uygulanan outgassing süresi ve sıcaklığı 30 dakika ve 65°C’dir.



Şekil 3.8 Nova 2200 e yüzey alanı ölçüm cihazı.

Sepiyolit numunelerin su emme kapasiteleri TS 12131 standardına göre belirlenmiştir. Bu standarda göre; 0,01 g hassasiyetle tartılan 20 g ham sepiyolit numunesi, önceden darası alınmış askılı ve süzgeçli bir kaba konarak, içerisinde 1000 ml su bulunan 2000 ml'lik bir mezür içerisine dikkatlice sarkıtılmış, 20 ± 1 dakika bekletildikten sonra çıkartılarak oda sıcaklığında (5 ± 1) dakika boyunca bekletilmiş ve serbest suyun süzülerek uzaklaşması sağlanmıştır. Daha sonra kap, içerisindeki numune ile birlikte tartılmış ve kabın darası düşülerek numunenin son ağırlığı bulunmuştur.

Sepiyolit numunesinin nem tayini DENVER marka IR-30 model nem tayin cihazında yapılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Nem ölçüm cihazı.

Sepiyolit numunelerinin yoğunluğu, Quantachrome Ultrapycnometer 1000 marka yoğunluk tayin cihazında (Şekil 3.10), yığın yoğunlukları ise EN 1097-3 standardına göre Haver & Boecker marka yığın yoğunluğu ölçüm aparatında (Şekil 3.11) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10 Otomatik yoğunluk ölçüm cihazı ve soğutma ünitesi.



Şekil 3.11 Yığın yoğunluğu ölçüm aparatı.

Sepiyolit süspansiyonlarının zeta potansiyel ölçümleri Malvern marka Nano Z model zetametrede (Şekil 3.12) ölçülmüştür.



Şekil 3.12 Zeta potansiyel ölçüm cihazı.

Sepiyolitin lif kümelerinin açılarak suyun içinde dağılmasını ve dolayısıyla jelleşmesini (kıvamlanmasını) sağlamak için değişken devirli yüksek hızlı (max. 20.000 D/D) bir karıştırıcı (Şekil 3.13) kullanılmış, süspansiyonun katı oranı (%6), karıştırma süresi (6 dk), karıştırma hızı (18.000 D/D) sabit alınarak gerçekleştirilen mekanik aktivasyon testlerinde Çizelge 3.2’de verilen parametreler optimize edilmiştir.



Şekil 3.13 Değişken devirli yüksek hızlı karıştırıcı (VMA dispermat).

Mekanik aktivasyonun modellenmesinde VisiMix (Mixing Simulation for Chemical Engineers, Process Engineers, and Chemists) bilgisayar programı kullanılmış, bununla süspansiyon hacmi ve pervane yüksekliğine bağlı oluşturulan akış rejimlerinin simülasyonu yapılmıştır.

Çizelge 3.2 Optimize edilen parametreler.

Deney No	Süspansiyon Hacmi (ml)	Pervane Yüksekliği (mm)
1	500	1
2	500	15
3	500	25
4	750	1
5	750	15
6	750	25
7	1000	1
8	1000	15
9	1000	25

Radyal karıştırıcılarda akım hatları iki kısımdan meydana gelir. Ancak akım hatlarının yüksekliği küçüktür. Karıştırıcılarda genellikle bir disk veya çember üzerine yerleştirilmiş 2, 4 veya 6 plaka bulunmaktadır. Hareket esnasında büyük sürtünme ve

dolayısıyla kesme kuvvetleri doğmaktadır. Bundan dolayı kap içinde önce dik akım hattı doğmakta, ancak akım hattının kap duvarına çarpmasıyla aksiyal akım hattının boyu kısa kalmaktadır. Bu hareket rotasyon hareketlerini de içerdiği için radyal karıştırıcılar çok karışık bir üç boyutlu akım elde etmektedirler. Bu konuda mevcut olan bilgiler ile bu karışımın etkisi ve karıştırıcı düzeni hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir (Ören 2006).

Sepiyolit lif açma işleminde, pervane yüksekliği ve süspansiyon hacmi tespit edildikten sonra diğer parametrelerin devir hızı ve dispersiyon süresinin optimizasyonuna geçilmiştir. Literatürden edilen bilgiler ışığında, düşük hızda belirli bir süre karıştırdıktan sonra yüksek hızda karıştırmanın viskozitenin artışına pozitif etkisi olduğu tespit edilmiş ve buradan hareketle Çizelge 3.3'deki deney planı çıkarılmıştır.

Çizelge 3.3 Lif açma deney planı.

Katı Oranı (%)	Süre 1 (Dak.)	Hız 1 (D/D)	Süre 2 (Dak.)	Hız 2 (D/D)
2	1	1000	2	10000
2	2	3000	4	12000
2	3	5000	6	14000
2	5	7000	7	16000
2	7	8000	8	18000
3	1	3000	6	16000
3	2	5000	7	18000
3	3	7000	8	10000
3	5	8000	2	12000
3	7	1000	4	14000
4	1	5000	8	12000
4	2	7000	2	14000
4	3	8000	4	16000
4	5	1000	6	18000
4	7	3000	7	10000

Çizelge 3.3. (Devam) Lif açma deney planı.

5	1	7000	4	18000
5	2	8000	6	10000
5	3	1000	7	12000
5	5	3000	8	14000
5	7	5000	2	16000
6	1	8000	7	14000
6	2	1000	8	16000
6	3	3000	2	18000
6	5	5000	4	10000
6	7	7000	6	12000

Çizelge 3.3’de yapılan deneylerde viskozite değerlerinin maksimum olduğu girdiler optimum sonuç olarak alınmıştır.

Orijinal ve zenginleştirilmiş sepiyolit numuneleri ile %6 ve %10 katı oranlarında yapılan reolojik ölçümler, endüstride yaygın olarak kullanılan, programlanabilir Anton Paar Rheolab QC model reometrede (Şekil 3.14) gerçekleştirilmiştir. Mekanik aktivasyon esnasında, yüksek devirde karıştırma nedeniyle süspansiyon ısındığından viskozite ölçümleri öncesinde yaklaşık 10 dakika boyunca oda şartlarında bekletilerek süspansiyon sıcaklığının düşmesi sağlanmış ve süspansiyonların 25 ± 1 °C’de viskozite ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.14 Anton Paar Rheolab QC reometre cihazı.

Sepiyolit süspansiyonlarının reolojinin belirlenmesinde, uygun hız ve spindle seçiminin önemi büyüktür. Zira, literatürde viskozite ölçümü Brookfield R3 spindle ile 20. sn ölçüm yapılırken, kayma hızı – kayma gerilimi ölçümüyle ilgili bir standart yoktur. Bu sebeple Anton Paar reometresinde uygun kayma hız – kayma gerilim ölçümü için CC 17, CC 27, CC 39 ve DG 42 spindeller ile çalışılmış, maksimum ve minimum aralıkları dikkate alınarak bir spindle seçimi yapılmıştır. Beyaz sepiyolit numunesinin viskozitesi kahverengi sepiyolitden düşük olduğundan tercih edilecek spindle'nin kahverengi ve beyaz sepiyolit viskozitelerini okuyabilecek aralık hassasiyetine sahip olması gerekmektedir.

Reolojik özellikleri tam olarak bilinmeyen süspansiyonların hız ve spindle seçimi deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir. Uygun bir hız ve spindle seçimi yapıldığında tork skalasının 0,25–75 mNm arasında olması gerekmektedir. Bu aralığın dışında yapılacak ölçümler güvenilir olmamaktadır.

Bu çalışmada iki kural geçerlidir;

- 1) Viskozite, dönme hızına ters orantılıdır.
- 2) Yüksek viskozite, yüzey alanı düşük spindle ile ölçülmelidir.

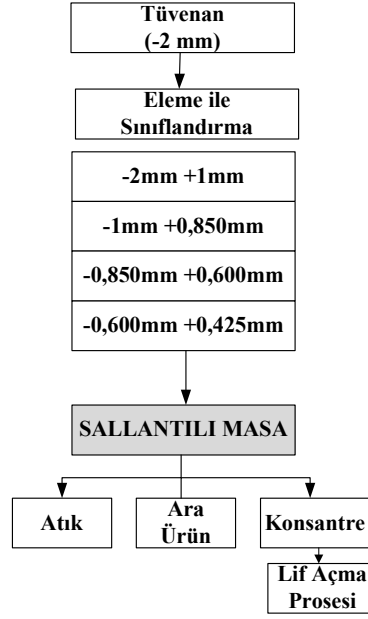
Viskozite okumalarında genel kural; aynı yay, aynı spindle ve aynı hızdır. Bu nedenle, zenginleştirme işlemleri sonucunda elde edilen farklı sepiyolit konsantreleri ile hazırlanan sepiyolit süspansiyonlarının reolojik ölçümlerinde, tek bir spindle kullanılmıştır. Ölçümlerde, cihazın güvenilir sonuç verdiği tork aralığının 0,25–75 mNm arasında yer almasına dikkat edilmiştir. Deneylerde kullanılan tüvenan ve zenginleştirilmiş sepiyolit numunelerine ait (%6 katı oranında) viskozite değerleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Spindle özellikleri.

	Min. Kesme Direnci	Max. Kesme Direnci	Minimum Kesme Hızı	Maksimum Kesme Hızı	Min. Viskozite	Max. Viskozite
Spindle	(cP)	(cP)	(1/s)	(1/s)	(cP)	(cP)
CC10/QC-LTD	0,08	53.520	$1,3 \times 10^{-7}$	1549	$5,8 \times 10^{-2}$	$4,15 \times 10^{11}$
CC17/QC-LTD	0,02	11574	$1,3 \times 10^{-7}$	1549	$1,2 \times 10^{-3}$	$8,97 \times 10^{10}$
CC27/QC-LTD	0,005	2824	$1,3 \times 10^{-7}$	1549	$3,0 \times 10^{-4}$	$2,19 \times 10^9$
CC39/QC-LTD	0,0015	886	$1,3 \times 10^{-7}$	1549	$8,7 \times 10^{-4}$	$6,26 \times 10^9$
CC47.8	0,0018	735	$4,3 \times 10^{-6}$	11000	$1,6 \times 10^{-4}$	$1,95 \times 10^{11}$
DG 42	$5,4 \times 10^{-4}$	324	$4,3 \times 10^{-7}$	5180	$1,0 \times 10^{-7}$	$7,5 \times 10^5$

3.2.2 Sepiyolite Uygulanan Zenginleştirme Testleri

Kahverengi ve beyaz sepiyolitleri, gravitasyonel yöntemlerle zenginleştirmek amacıyla sallantılı masa kullanılmış, önerilen proses akım şeması Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15 Gravitasyonel yöntemle sepiyolit zenginleştirme akım şeması.

Sallantılı masa (Şekil 3.16); kömür, barit, sahil kumu, krom, kuvarsit, demir, manganez, fosfat, potasyum, tantalyum, titanyum, tungsten, zirkon gibi minerallerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cevheri oluşturan mineraller arasındaki yoğunluk ve boyut farklılıklarından yararlanarak masanın hareketi ve üzerindeki çitalardan kaynaklanan farklı akış etkisiyle ayırma yapılmaktadır. Masanın çalışmasında; serbest akış, engelli çökme, asimetric hareket gibi fiziksel olaylar etkili olmaktadır. Sallantılı masalardan iyi sonuç alabilmek için cevheri oluşturan mineraller arasındaki yoğunluk farkının en az 1 gr/cm^3 ve masaya beslenen malzemenin de serbestleşmiş olması gerekmektedir (Yıldız 2010).



Şekil 3.16 Sallantılı masa deney düzeneği.

Deneyleerde Wilfley 800 Model sallantılı masa kullanılmış, sallantılı masaya ait deney düzeneği Şekil 3.16'da, yapısal parametreler Çizelge 3.5'de devir hız ayarları ise Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5 Sallantılı masa yapısal özellikleri.

Değişken Parametre	Değerler
Kapasite	75 kg/h
Genlik	7 – 15 mm
Frekans	200 – 300 D/D
Yıkama Suyu Miktarı	6 – 8 lt
Eğim	0 – 9°
Ayırma Boyutu	2 – 0,05 mm

Çizelge 3.6 Sallantılı masa hız ayarları.

İnvertör Ayarı	Hız (D/D)
Minimum	200
10	210
20	219
30	229
40	238
50	247
60	258
70	267
80	279
90	292
100	298

Sallantılı masa deneylerinde gözlem sayısı Taguchi yöntemine göre belirlenmiş ve L₁₆ deney tasarımına göre 16 deney yapılması uygun bulunmuştur. Çizelge 3.7'de deney tasarım adımları doğrultusunda öncelikle sallantılı masada faktör ve düzeyler belirlenmiş, bu amaçla, tane boyut dağılımı, besleme suyu, genlik mesafesi, genlik hızı ve eğim derecesi gibi parametreler faktör olarak tayin edilmiştir. Her faktörün düzeyi 4 derece seçilmiş olup, Çizelge 3.8'de dikkate alınarak yapılan deneylerde viskozite değerlerinin maksimum olduğu girdiler optimum sonuç olarak alınmıştır.

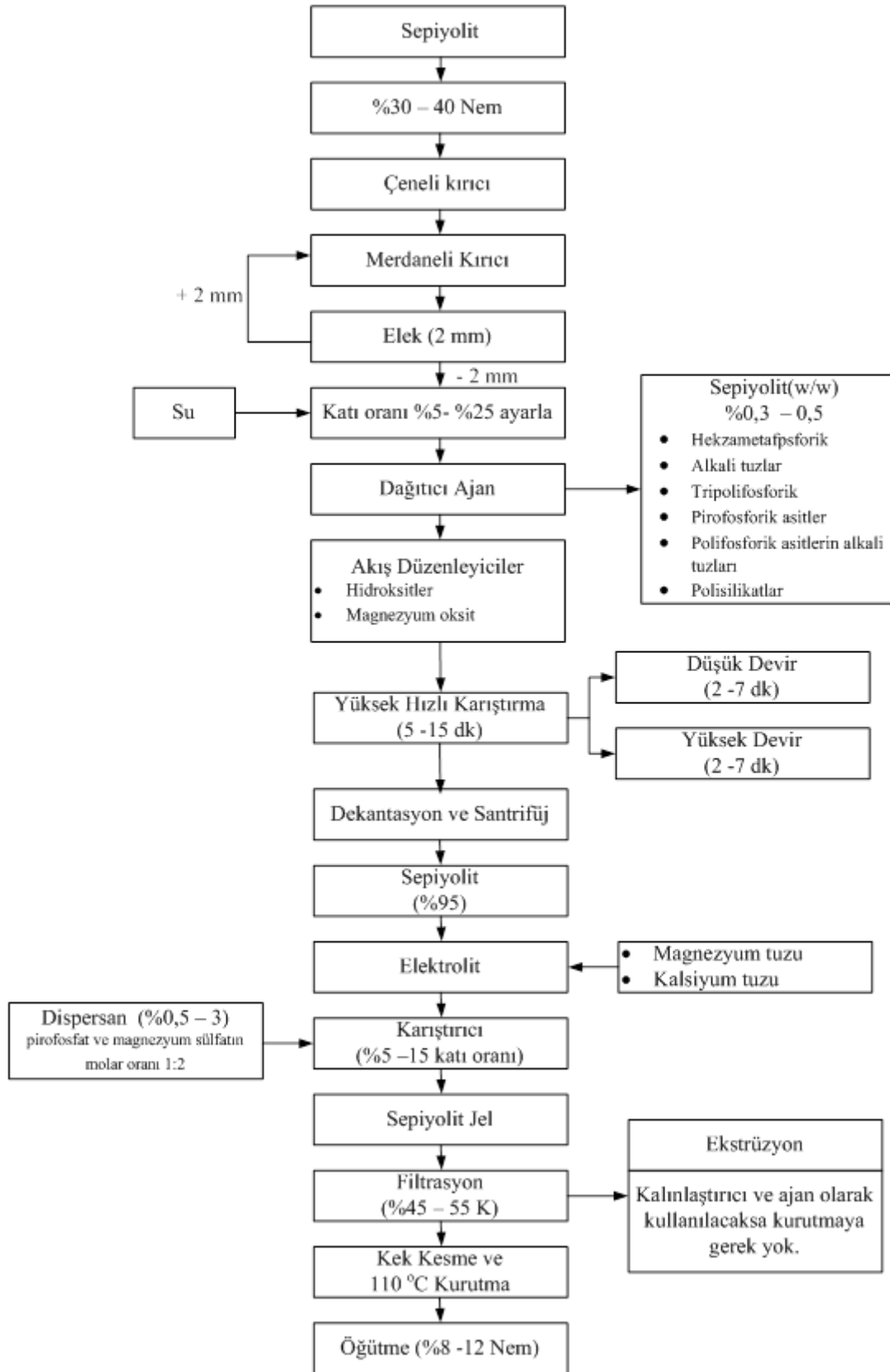
Çizelge 3.7 Sallantılı masa işletme parametreleri.

Parametreler	Optimize Edilen Değerler
Fraksiyon Aralığı (mm)	2 +1), (-1 +0,850), (-0,850 +0,600) ve (-0, 600 +0,425)
Besleme Suyu (lt/dk)	6, 7, 8 ve 10
Genlik Mesafesi (mm)	7, 9, 12 ve 15
Genlik Frekansı (Hz)	10, 40, 70 ve 100
Eğim Derecesi (°)	2, 3, 7 ve 9

Çizelge 3.8 Sallantılı masa deney tasarımı.

Tane Boyutu	Besleme Suyu	Genlik Frekansı	Genlik Mesafesi	Masa Eğimi
(mm)	(lt/dk)	(Hz)	(mm)	(°)
425	8	40	15	2
600	7	100	12	2
850	6	40	12	9
850	10	70	9	2
425	7	70	7	9
1000	7	40	9	3
425	6	100	9	7
1000	6	10	7	2
600	6	70	10	3
600	10	40	7	7
1000	10	100	15	9
850	8	100	7	3
850	7	10	15	7
1000	8	70	12	7
425	10	10	12	3
600	8	10	9	9

Sallantılı masada zenginleştirme işlemine tabi tutulan sepiyolit numuneleri mekanik karıştırıcıda lif açma prosesinden geçirilmiştir. Sepiyolit numunelerine uygulanan proseslerin gene akım şeması Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 Genel proses akım şeması.

3.2.3 Agregaya Uygulanan Karakterizasyon Testleri

Çalışma kapsamında, kullanılan agregaların standartlara uygunluğu, TS 706 EN 12620'ye göre incelenmiş, agregaların özelliklerini tespit amacıyla Çizelge 3.9'da belirtilen test ve/veya analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.9 TS 706 EN 12620 standardına göre beton agregalarına yapılan analizler.

Test ve/veya Analiz	Uygulanan Standart	Standart Kaynağı
Numune alma	TS 707	TSE, 1980
Numune azaltma	TS EN 932-2	TSE, 1999
Agrega tane sınıfları	TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Çok ince malzeme muhtevası	TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Metilen mavisi	TS EN 933-9	TSE, 2001
Tane şekli tayini (şekil indisi)	TS 3814 EN 933-4	TSE, 2001
Los Angeles metodu	TS EN 1097-2	TSE, 2000
Özgül ağırlık ve su emme oranı	TS EN 1097-6	TSE, 2002
Yığın yoğunluğu ve boşluk hacminin tayini	TS EN 1097-3	TSE, 1999
Su muhtevası	TS EN 1097-5	TSE, 2001
Donma ve çözölmeye karşı direnç	TS EN 1367-1	TSE, 1999
Asitte çözünebilen sülfat	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Toplam kükürt	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Ateş ziyatı	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Humus muhtevası	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Petrografik analiz	TS 10088 EN 932-3	TSE, 1997
Kimyasal Analiz	XRF yöntemi ile	-

3.2.4 Beton Karışımların Hazırlanması ve Üretimi

Beton karışım hesapları, TS 802'ye göre yapılmıştır. Tüm serilerde su-çimento oranı 0,55 olarak sabit tutulmuş ve sepiyolit lif katkı serilerin üretiminde 350 kg/m^3 çimento kullanılmıştır. Ayrıca, beton serilerde işlenebilirliği arttırmak amacıyla çimentonun %1,5 oranında kimyasal katkı ilave edilmiştir. Yine çimentonun ağırlığınca %0 (referans), %1, %2 ve %3 oranlarında zenginleştirilmiş kahverengi ve beyaz olmak üzere iki farklı tipte sepiyolit lif ilave edilerek farklı seriler oluşturulmuştur. Ön denemelerde, beton üretimi için %3'ün üzerinde sepiyolit katkısı kullanıldığında, karışım esnasında bloklaşmaların meydana geldiği ve betonun hiç çökmediği gözlenmiştir. Bu nedenle, katkı olarak mak. %3 oranında sepiyolit ilavesi yapılmış ve bu oranın üzerine çıkılmamıştır.

Beton üretimi için 50 dm^3 hacme sahip beton karıştırma mikseri (Şekil 3.18) kullanılmıştır. Her seri karışımında betonyere önce iri agrega, orta agrega ve kum konulduktan sonra çimento ilave edilerek 2 dak. kuru halde karıştırılmıştır. Kuru halde homojen bir karışım elde edildikten sonra karışım suyunun üçte ikisi betonyere ilave edilmiş ve malzemelerin nemli hale gelmesi için 2 dak. daha karıştırılmıştır. Lifi açılmış sepiyolit, liflerin beton karışımında homojen olarak dağılabilmesi için, kalan karışım suyunun içerisine eklenmiş ve kimyasal katkı ilavesinden sonra karıştırma işlemine 3 dakika daha devam edilmiştir. Beton karıştırma işlemi toplam 7 dakika sürmüştür ve bu işlem (Şekil 3.19) tüm beton serilerinde aynı şekilde uygulanmıştır.



Şekil 3.18 Beton karıştırma mikseri.



Şekil 3.19 Beton karılma işlem aşamaları.

3.2.4.1 Taze Beton Testleri

Beton karışımlarının, taze halde özelliklerini belirlemek için slump (çökme) testi, birim ağırlık ve hava içeriği testleri uygulanmıştır

- *Çökme (slump) testi*

Slump testi, üst çapı 100 mm ve alt çapı 200 mm, yüksekliği de 300 mm olan Abrams konisiyle ve yüzeyi düzgün bir levha üzerinde TS EN 12350-2 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

Levha ve koni deney öncesinde nemlendirilmiştir. Taze beton, koni içerisine üç tabaka halinde 25'er defa standart şişleme çubuğu ile şişlenerek yerleştirilmiştir. Koni üst yüzeyindeki beton seviyesi düzeltildikten sonra düşey ekseninde yavaşça yukarıya doğru kaldırılmış ve betonun çökmesi gerçekleşmiştir. Çökme hunisinin yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra, taze beton kütleindeki kendi ağırlığı nedeniyle çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılır. Aradaki yükseklik farkı çökme değeri olarak (mm) cinsinden, betonun işlenebilirliğini verir (Şekil 3.20). Çökme deneyi 10 mm ile 200 mm arasında olan betonların kıvamındaki değişimlere duyarlıdır (Karahana 2006).



Şekil 3.20 Slump test ekipmanları ve deneyi.

- ***Taze beton yoğunluk testi***

Betonlarının taze haldeki birim ağırlıklarının belirlenmesinde 7 lt hacme sahip kap kullanılmıştır. Sabit ve düzgün bir yere konan boş kabın içerisine, karışım işlemi tamamlanmış olan taze beton 3 tabaka halinde sıkıştırılarak doldurulmuştur. Kabın üst yüzeyi, birim ağırlık kabına ait düzeltme aparatıyla düzetildikten sonra 30 kg kapasiteli terazide tartılmıştır. Beton ağırlığı, konulduğu hacme oranlanmak suretiyle taze birim hacim ağırlık değeri TS EN 12350-6 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

- ***Taze beton hava içeriği testi***

Betonda hapsolmuş hava miktarı, betondaki kapalı agrega boşlukları haricinde taze betonda mevcut olan hava hacminin beton hacmine oranının yüzdesi olarak belirlenmesidir. Bu deney TS EN 12350-7 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Hacmi 7 lt olan basınçlı hava-metre cihazının (Şekil 3.21) kabı içerisine taze beton vibrasyon ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Kabın üst kısmına takılan hava-metrenin göstergesiyle taze betona pompa yardımıyla yaklaşık 0,2 MPa basınç uygulanmış ve cihazın göstergesinden betonda hapsolmuş hava miktarı ölçülmüştür. Her bir serinin hava içeriği ölçülerek not edilmiştir.



Şekil 3.21 Beton hava metre cihazı.

Gerekli olan taze beton deneyleri tamamlandıktan sonra betonlar, laboratuvar tipi vibrasyon masası üzerinde 150x150x150 mm küp, Ø150x300 mm silindir, Ø100x200 mm silindir ve 350x100x100 mm boyutlarındaki prizma kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Beton kalıpları.

Doldurma işlemi bittikten sonra kalıpların yüzeyleri mala ile düzeltilmiş ve taze betonda nem kaybını önlemek amacıyla kalıpların üst tarafı naylon bir örtü ile örtülerek sarsıntısız bir yerde sertleşmeye bırakılmıştır. Bu şekilde 24 saat boyunca kalıpta bekleyen numuneler 24 saatin sonunda kalıptan çıkarılmış ve daha önceden hazırlanmış, sıcaklığı $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ olan, kirece doymuş su ihtiva eden kür havuzunda su kürü uygulanmıştır (Şekil 3.23). Su içindeki numuneler sertleşmiş beton deneyleri

uygulamasından bir gün önce kür havuzundan çıkarılarak ve laboratuvar şartlarında 1 gün bekletildikten sonra deneylere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.23 Kür havuzu.

3.2.4.2 Sertleşmiş Beton Testleri

Bu çalışma kapsamında üretilen 162 farklı beton serisi üzerinde; tek eksenli basınç, yarmada çekme, ultra ses ve donma çözünme testleri yapılmış ve bu amaçla kullanılan numunelerin tip ve sayıları Çizelge 3.10’da sunulmuştur.

Çizelge 3.10 Tek seri için üretilecek numune tip ve sayıları.

Test	Kullanılacak numune sayısı		Toplam üretilecek numune	Numune tipi
	7 gün	28 gün		
Basınç dayanımı	3	3	6	15*15*15 cm küp
Eğilme dayanımı	3	3	6	10*10*35 cm prizma
Yarma dayanımı	3	3	6	Ø10*20 cm silindir
Porozite, Birim ağırlık, su emme	-	3*	-	*
Donma-çözülme	-	3*	-	*

*Yarma dayanımından artan parçalarda yapılacak, ayrıca numune üretilmeyecek.

Tek Eksenli Basınç Testi

Bu test için 200 ton kapasiteli hidrolik pres (Şekil 3.24) kullanılmıştır. Beton zamana bağlı olarak şekil değiştirme gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı, betonun basınç dayanımı üzerinde etkili bir parametredir (Baradan 1991). Bu nedenle tüm numuneler, sabit bir yükleme hızı (3,5 kN/s) altında teste tabi tutulmuştur. Basınç deneyinde her seri betondan 7 ve 28 günlük yaşa sahip 150 mm boyutlu 3 adet küp örnek test edilmiştir.



Şekil 3.24 Hidrolik pres makinesi.

Yarmada Çekme Dayanım Testi

Yarmada çekme dayanım testi; 150 mm boyutlu 28 günlük yaşa sahip küp numuneler üzerinde TS 3129 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yarmada çekme dayanımlarını belirlemek için her seri betondan 3 adet örnek test edilmiş, numuneler 3,5 kN/s'lik hızla yüklenmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Yarma deneyi.

Eğilme Dayanımı Testi

Betonun eğilme dayanımı, boyutları ilgili standartlarda belirlenmiş kiriş numunelerin orta noktalarından (ASTM C 293) veya kiriş uçlarından, kiriş uzunluğunun 1/3'i kadar mesafedeki iki noktadan (ASTM C 78) yüklenmesi ve numunenin kırılmasına kadar yük tatbik edilmesi esasına dayanan deneysel yöntemlerle elde edilmektedir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Eğilme deneyi.

Eğilme yüküne maruz kalan kiriş numunelerde gerçekleşen kırılma olayına, kiriş numune kesitinin tarafsız ekseninin altında kalan bölgelerde meydana gelen çekme gerilmeleri neden olmaktadır (Erdoğan 2007). Eğilme etkisi altındaki kiriş numune kesitinin en alt lifinde meydana gelen maksimum teorik gerilme, numunenin eğilmede çekme dayanımı veya kopma modülü olarak kabul edilmektedir (Uğur 2007).

Ultrases

Beton dayanımlarının tespitinde kullanılan tahribatsız yöntemlerden olan ultrases dalga hızı, Pundit (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) (Şekil 3.27) olarak adlandırılan bir cihaz ile ölçülmektedir. Cihaz tarafından gönderilen düşük frekanslı ultrasonik sinyaller, malzeme içerisinden geçerek transducerler tarafından algılanır ve böylece ultrasonik sinyallerin malzeme içerisinden geçiş süresi hassas olarak ölçülür. Ultrasonik sinyallerin beton içerisinden geçiş süresi betonun kalitesine bağlıdır. Ultrasonik testler sonucunda, betonun homojenliği, içindeki boşluklar, çatlaklar, beton yapısındaki yangın ve kimyasal olaylarla meydana gelen değişimler ile beton dayanımı ve kalitesi ile ilgili bilgiler elde edilir.

Ölçümlerde, en çok önerilen direkt yöntem kullanılmıştır. Deneyler 7 ve 28 günlük 150 mm'lik küp ve 350x100x100 mm prizma numunelerle yapılmıştır. Ultrasonik ses hızı, Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır:

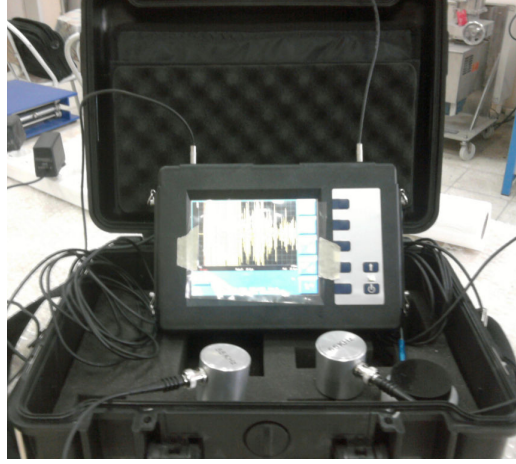
$$V = L/U \quad (3.1)$$

Burada;

V: Ultrasonik hız (km/sn)

L: Geçiş uzunluğu (mm)

U: Geçiş zamanı (µsn)



Şekil 3.27 Ultrases cihazı.

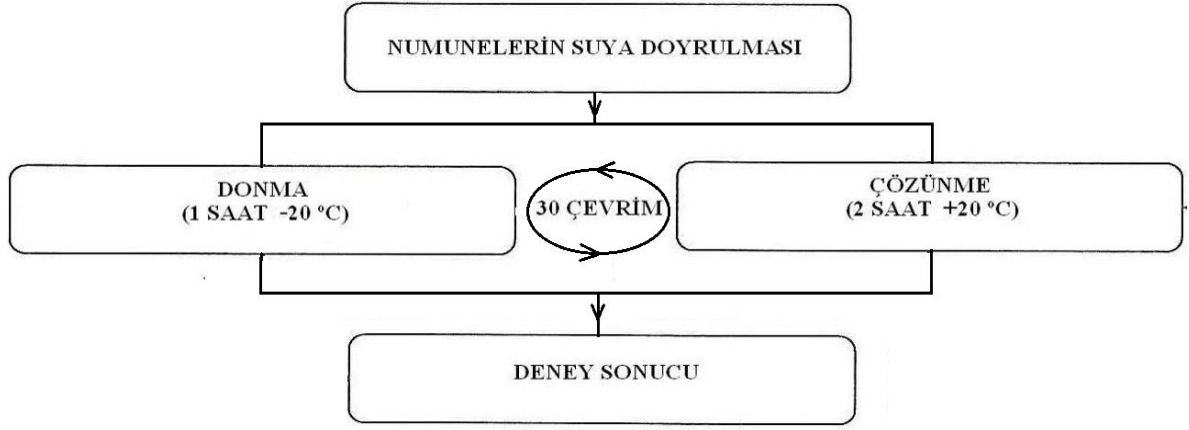
Donma Çözünme Deneyi

Bu deneyin amacı donma çözünme etkisi altında kalabilecek betonların donma-çözünme direncini saptayarak betonun donmaya karşı kalite kontrolünü yapmaktır. Numuneler 105 ± 5 °C'deki etüvde 24 saat tutulmuş ve oda sıcaklığına ulaşması beklendikten sonra etüv kurusu (Go) ağırlıkları bulunmuştur. Bu işlemi müteakip numuneler suya doymun hale getirilmek için 24 saat su içerisinde bekletilmiş ve suya doymun hale getirilen numuneler Şekil 3.28'de görülen donma çözünme dolabına konmuştur.



Şekil 3.28 Donma çözünme deneyinin yapılması.

Her çevrim; -20°C 'de 1 saat donma ve $+20^{\circ}\text{C}$ 'de 2 saat çözünme olmak üzere 30 defa donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır (Şekil 3.29). Tüm çevrimler tamamlandıktan sonra donma-çözülme sonrası deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.29 Donma çözünme deneyi akış şeması.

Donma çözülme işlemi sonunda numuneler etüvde 105 ± 5 °C’de 24 saat sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş ve oda sıcaklığına ulaşması beklendikten sonra etüv kuru (W_o) ağırlıkları bulunmuştur. Etüv kuru küp numuneler üzerinde ultra ses ve basınç deneyleri yapılmıştır. Donma tesirine dayanıklılık, donma tesiri sebebiyle koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (donma kaybı) eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$D_k = \frac{W_o - W_k}{W_o} \times 100 \quad (\%) \quad (3.2)$$

Burada;

D_k : Don kaybı (%)

W_o : Numunenin deneyden önceki kütlesi (kg)

W_k : Numunenin deneyden sonraki kütlesi (kg)

Daha sonra numuneler üzerinde basınç mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde donma sonu basınç mukavemeti ortalaması ile donma deneyi uygulanmamış numunede bulunan basınç mukavemeti ortalaması değerlerinden yararlanılarak tabi don tesirleri sebebiyle meydana gelmesi muhtemel azalma, eşitlik 3.3 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta f = \frac{fb - fdb}{fb} \times 100 \quad (\%) \quad (3.3)$$

Burada;

Δf : Tabii don tesirleri sebebiyle basınç mukavemetinde meydana gelen azalma (%)

f_b : Tabii don deneyi uygulanmamış numunenin basınç mukavemeti aritmetik ortalaması (kg/cm²)

f_{db} : Numunenin don sonu basınç mukavemeti ortalaması (kg/cm²)

- ***Birim Hacim Ağırlık, Porozite ve Su Emme Deneyleri***

Birim hacim ağırlık (BHA), su emme ve porozite deneyleri için her seriden eğilme deneyinden arta kalan numuneler kullanılmıştır. Numunelere ait BHA, su emme ve porozite oranlarının bulunmasında Şekil 3.30'da verilen Arşimet prensibinden yararlanılmıştır.



Şekil 3.30 Arşimet deney düzeneği.

Numuneler 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra doygun halde Arşimet terazisinde havada ve su içerisinde asılı ağırlıkları ölçülmüş, bilahare 105°C sıcaklıktaki etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuşlardır. Daha sonra eşitlik 3.4 ve 3.5'de verilen bağıntılardan BHA ve su emme değerleri belirlenmiştir.

$$BHA = \frac{W_o}{(W_1 - W_2)} \quad (3.4)$$

$$W_w = \frac{W_o}{(W_1 - W_o)} \times 100 \quad (3.5)$$

Burada;

BHA: Birim hacim ağırlık (kg/m^3)

W_w : Ağırlıkça su emmeyi (%)

W_o : Etüv kuru ağırlığı (kg)

W_1 : Suya doymun havada ağırlığı (kg)

W_2 : Su içerisinde asılı ağırlık (kg)

4. BULGULAR

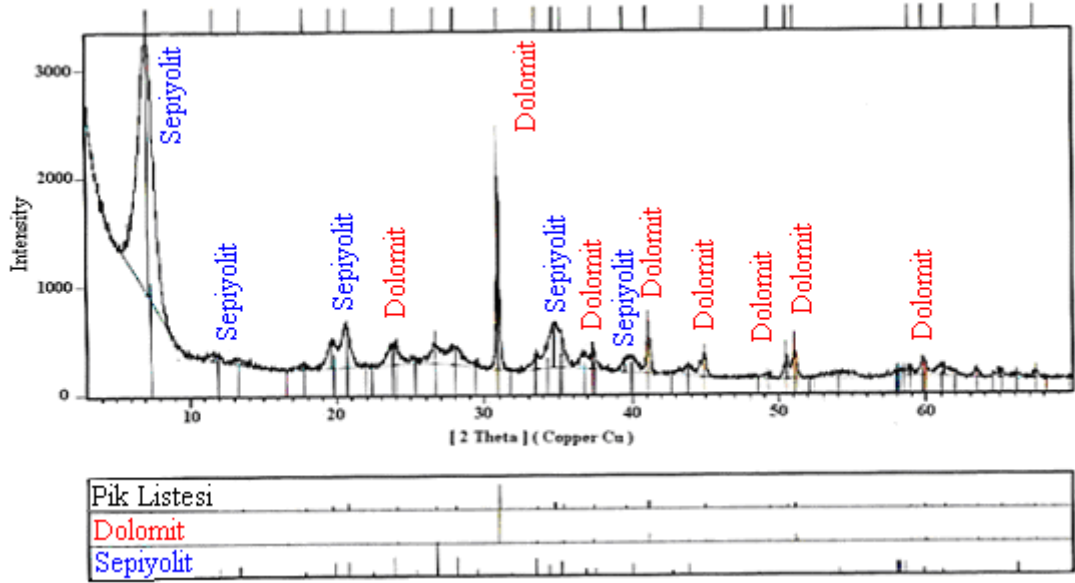
4.1 Sepiyolite Uygulanan Karakterizasyon Testleri Sonuçları

4.1.1 Kimyasal Mineralojik ve DTA – TGA Analizleri

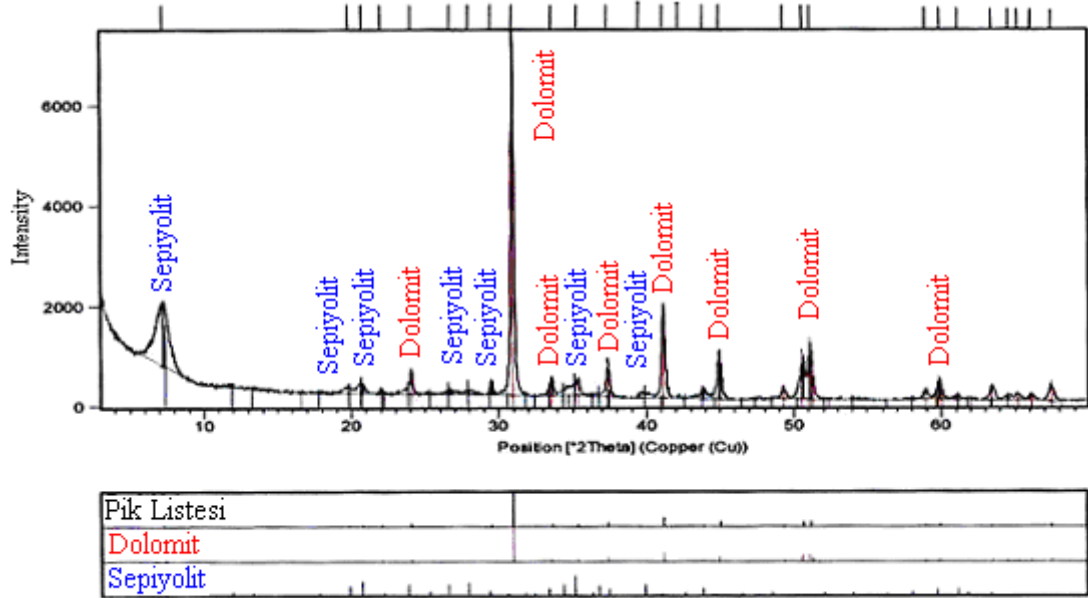
Kahverengi ve beyaz sepiyolitlerin XRF cihazında yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Numunelerin SiO₂, CaO ve K.K. yüzdeleri dikkate alındığında beyaz sepiyolit dolomit muhtevasının yüksek ve kalitesiz olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim, Şekil 4.1 ve 4.2’de kahverengi ve beyaz sepiyolit numunelerine ait XRD pikleri bunu teyit eder mahiyettedir. Her iki numunenin XRD diyagramında hakim pik dolomit olmasına rağmen beyaz sepiyolite ait dolomit pikinin şiddetinin diğerine nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1 Kahverengi ve beyaz sepiyolite ait kimyasal analiz sonuçları.

Bileşim	Kahverengi Sepiyolit (%)	Beyaz Sepiyolit (%)
SiO ₂	46,4	21,08
Al ₂ O ₃	0,93	0,59
Fe ₂ O ₃	0,38	0,32
CaO	6,01	20,94
MgO	24,1	21,6
Na ₂ O	0,25	0,02
K ₂ O	0,54	0,07
TiO ₂	0,06	0,04
P ₂ O ₅	0,01	-
SrO	0,08	-
SO ₃	0,08	-
F	1,51	-
K.K.	19,67	34,88

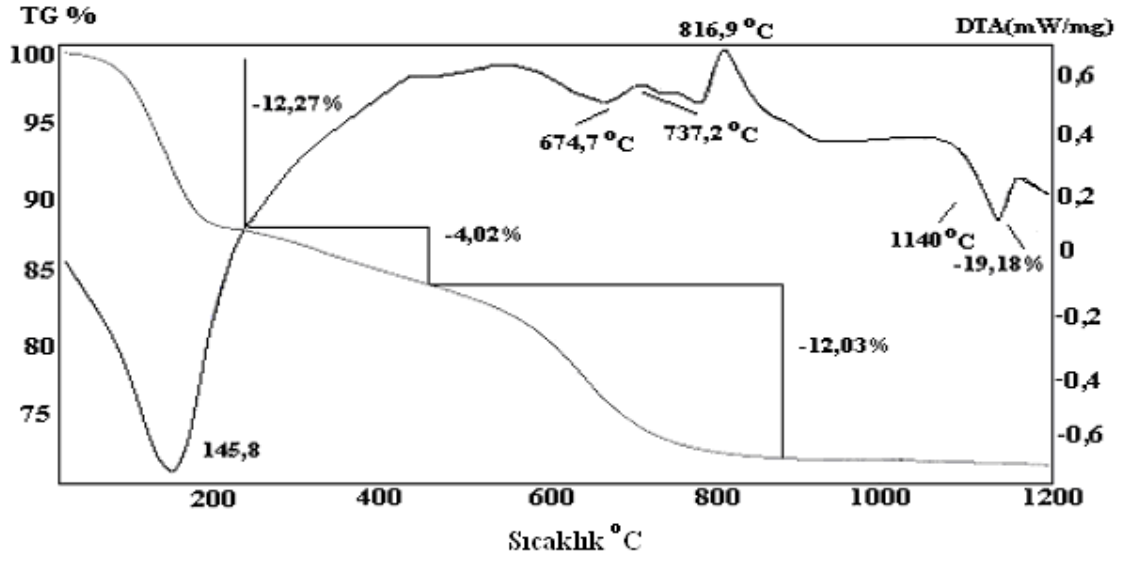


Şekil 4.1 Tüvenan kahvrenge sepiyolite ait XRD diyagramı.



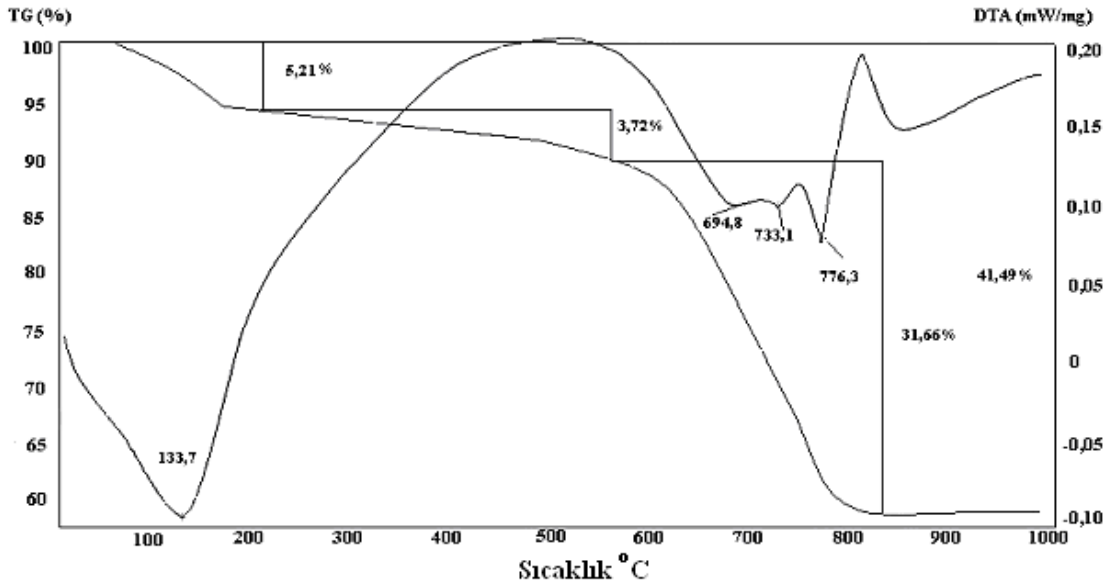
Şekil 4.2 Tüvenan beyaz sepiyolite ait XRD diyagramı.

Sepiyolitın yapısında ısıya bağlı olarak meydana gelen faz değişimleri diferansiyel termik analiz (DTA) ve termogravimetrik analiz (TGA) yardımıyla belirlenebilmektedir. Deneylerde kullanılan kahvrenge ve beyaz tüvenan sepiyolit numunelerine uygulanan DTA ve TGA analizlerine ait sonuçlar sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4'da sunulmuştur.



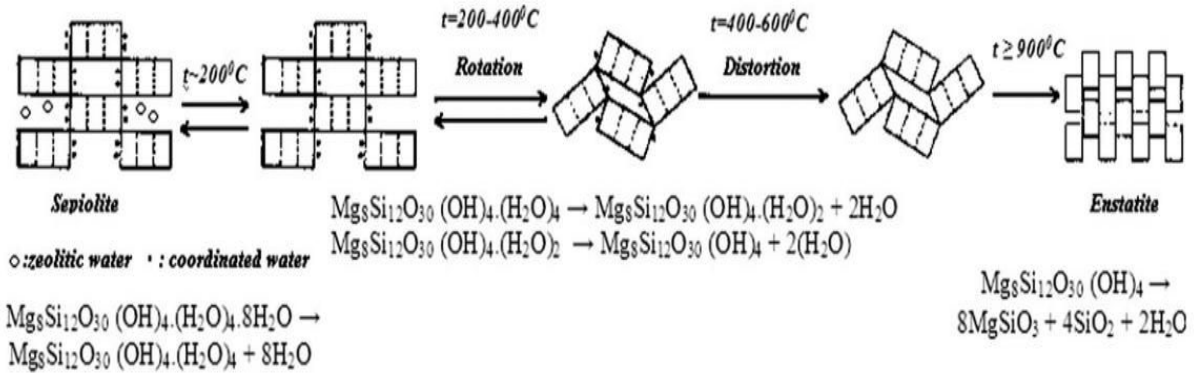
Şekil 4.3 Kahverengi sepiyolite ait DTA ve TGA analizi.

Tüvenan kahverengi sepiyolit numunesinde hidroskopik ve zeolitik su kaybını gösteren endotermik bir pik 145,8°C'de %12,27 kütle kaybı ile elde edilmiştir. Sepiyolitin yapısında magnezyum koordinasyonunda bulunan bağlı su, yapıyı 350°C ve 674,7°C sıcaklıkta olmak üzere iki aşamada terk etmiş olup, toplam %21'lik kütle kaybını gösteren iki endotermik pike karşılık gelmektedir. Dolayısıyla birinci ağırlık kaybı, numunenin nemidir. 350°C civarındaki geniş asimetric endotermik pik, zayıf bağlı dört su molekülünden ikisinin kaybını ifade etmektedir (Serna *et al.* 1977). Bağlı suyun yapıyı terk etmesi 737,2°C'ye kadar devam etmektedir. 737,2°C ve 816,9°C'de görülen endotermik pikler ise, hidroksil su kaybını göstermektedir. 1140°C civarında, magnezyum silikat faz değişimini ifade eden keskin bir ekzotermik pik gözlenmektedir (Şekil 4.3). Adı geçen faz, bu sepiyolit fazının yeniden kristalleşmeye başladığı fazdır.



Şekil 4.4 Beyaz sepiyolite ait DTA ve TGA analizleri.

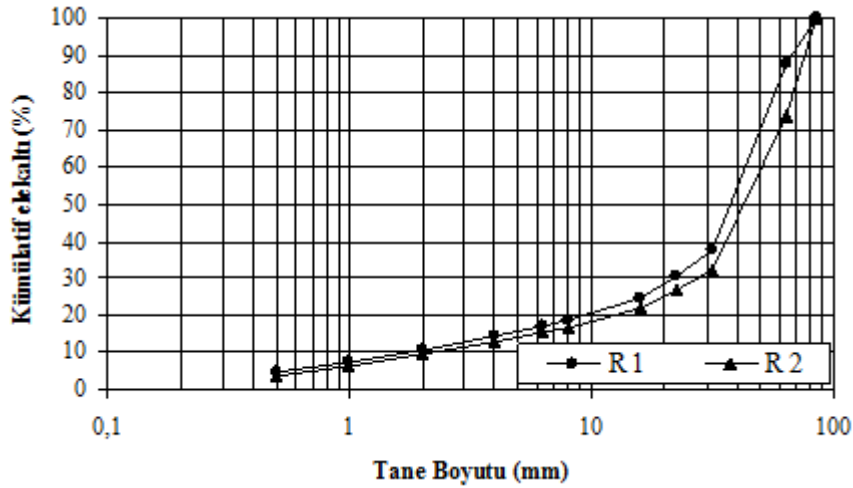
Tüvenan beyaz sepiyolit numunesinde %5,21 kütle kaybına karşılık gelen hidroksilik ve zeolitik su kaybını gösteren endotermik bir pik 133,7°C’de tespit edilmiştir. Sepiyolitin yapısında magnezyum koordinasyonunda bulunan bağlı su yapıyı 350°C ve 694,8°C sıcaklıkta olmak üzere iki adımda terk etmiş, bu da toplam %21’lik kütle kaybını gösteren iki endotermik pike karşılık gelmektedir. Bağlı suyun yapıyı terk etmesi 733,1°C’ye kadar devam etmiştir. Si-O-Si kenar bağları boyunca geçen eksen üzerinde, yapısal blokların notasyonu sonucu, yapıda meydana gelen dönüşüm (alterasyon) nedeniyle 400°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda kristal kenarlarından itibaren bükülme (tilting) başlamış ve bu yapı 750°C’ye kadar sabit bir şekilde devam etmiştir (Şekil 4.4). Bu sıcaklıktan itibaren ikinci su kaybı ile birlikte sepiyolit susuz (anhidrus) hale dönüşmüştür (Caillere 1951). 776,3°C ve 817,2°C’de görülen endotermik pikler ise, hidroksil su kaybını göstermektedir. 820°C civarında keskin bir ekzotermik pik gözlenmektedir. Buda magnezyum silikat faz değişimini ifade etmektedir. Adı geçen faz, bu sepiyolit fazının yeniden kristalleşmeye başladığı fazdır (Şekil 4.5).



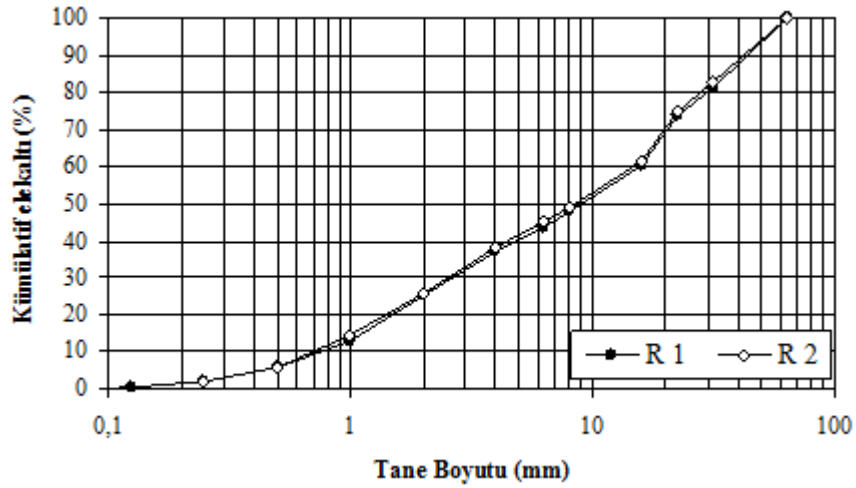
Şekil 4.5 Isıl işlem ile sepiyolit kristal yapısındaki değişim.

4.1.2 Boyut Analizleri

Ocaktan getirildikten sonra kurutma, karıştırma ve bölme işlemine tabi tutulan sepiyolit numunelerinin temsili olup olmadığını kontrol etmek amacıyla rasgele seçilen iki torba (R1 ve R2) elek analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 4.6 ve 4.7’de sunulmuştur. Her iki numuneye ait boyut dağılım eğrileri, numune bölme işleminin başarılı, numunelerin homojen ve temsili olduğunu göstermektedir.



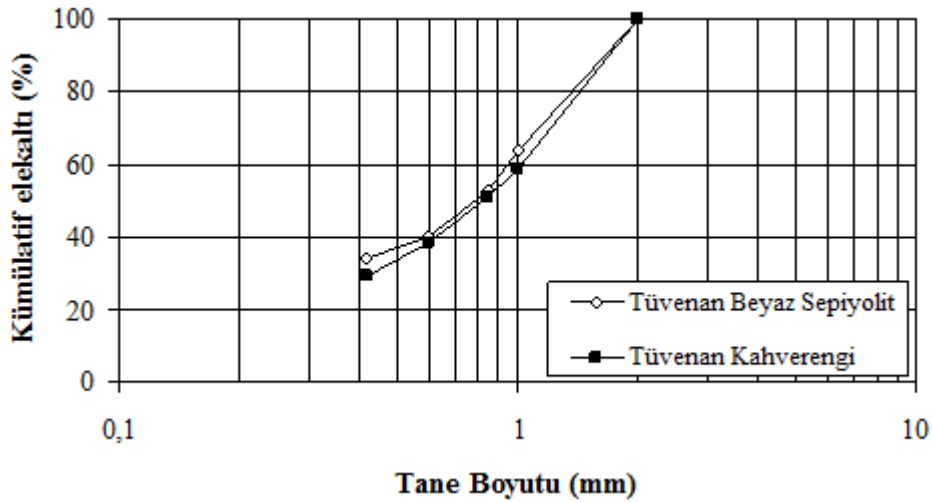
Şekil 4.6 Tüvenan kahverengi sepiyolit boyut dağılım eğrisi.



Şekil 4.7 Tüvenan beyaz sepiyolitinin boyut dağılım eğrisi.

Şekil 4.6 ve 4.7'den kahverengi sepiyolitinin tamamının 85 mm, beyaz sepiyolitinin ise 65 mm altında yer aldığı anlaşılmakta beyaz sepiyolit çok daha ince bir boyut dağılımı sergilemektedir.

Numune bölme işlemleri ile azaltılan sepiyolit numuneleri, zenginleştirme deneyleri ve mekanik lif açma işlemleri için üç kademeli ufalama işlemlerine tabi tutulmuş, tamamı 2 mm altına indirilen numunelerin kuru elek analizi sonuçları Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 Boyult küçültme işlemine tabi tutulan sepiyolit numunelerinin boyut dağılımı.

4.1.3 BET Özgül Yüzey Alanı ve Su Emme

Zenginleştirme öncesi hazırlık işlemlerine tabi tutulan ve kurutulan tüvenan sepiyolit numunelerine ait fiziksel ve fiziko-kimyasal özellikleri Çizelge 4.2’de toplu olarak sunulmuştur.

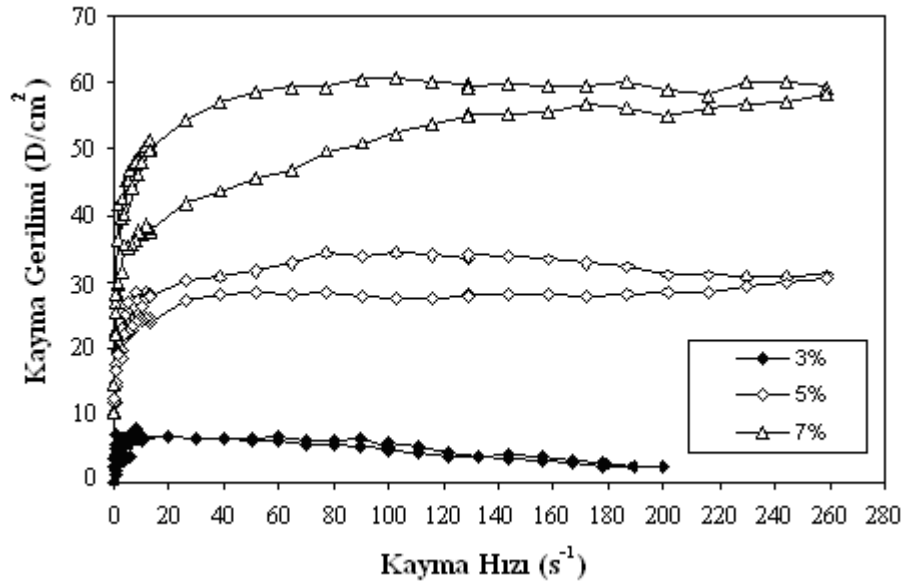
Çizelge 4.2 Çalışmalarda kullanılan sepiyolit örneklerinin fiziksel özellikleri.

Numune	Yoğunluk	Nem	Su Emme Kapasitesi	Özgül Yüzey Alanı		
	gr/cm ³	%	%	BET	Gözenek Çapı	Gözenek Hacmi
				m ² /g	Å	cc/gr
Kahverengi Sepiyolit	2,33	10	150	291,2	1,838	1,239 e ⁻⁰¹
Beyaz Sepiyolit	2,57	7	110,76	137,4	1,838	7,789 e ⁻⁰²

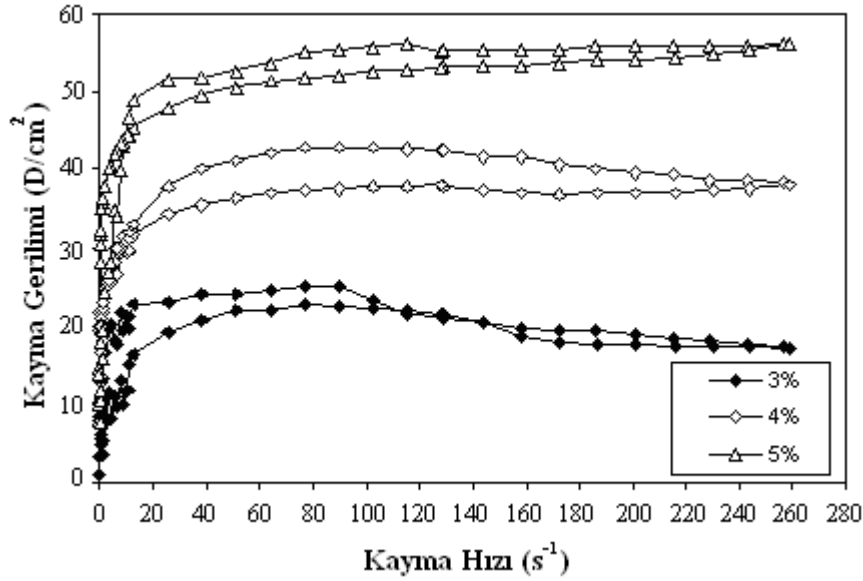
4.2 Tüvenan Sepiyolite Ait Reolojik Ölçümler

4.2.1 CC27 Spindle ile Yapılan Reolojik Ölçümler

Mart vd. (2001), sepiyolit süspansiyonlarının katı oranındaki artışa bağlı olarak farklı viskozite değişimleri sergilediğini belirlemiş, o nedenle değişik katı oranlarında sepiyolit süspansiyonlarını oluşturarak hem katı oranının viskoziteye etkisi hem de CC27 spindle’nin güvenilir viskozite okuduğu aralık araştırılmıştır. Şekil 4.9 ve 4.10, farklı katı oranlarında tüvenan kahverengi ve beyaz sepiyolitle CC27 spindle kullanılarak yapılan reolojik ölçümlerin sonuçlarını göstermektedir.



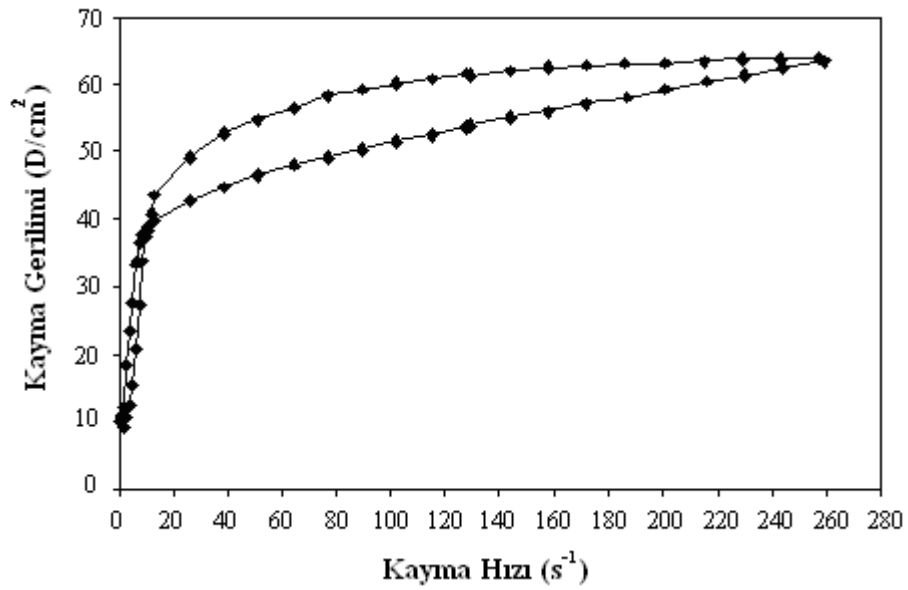
Şekil 4.9 Süspansiyon katı oranının kahverengi sepiyolit reolojisine etkisi.



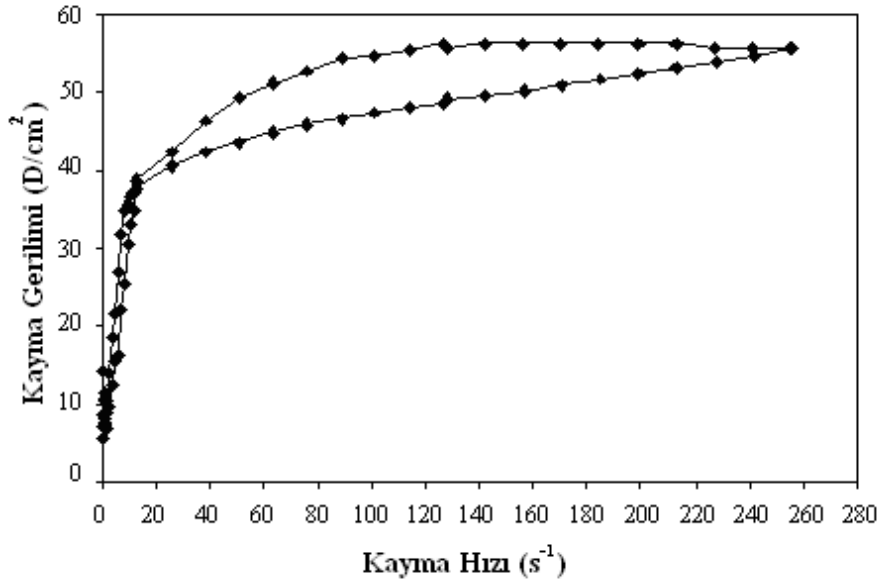
Şekil 4.10 Süspansiyon katı oranının beyaz sepiyolit reolojisine etkisi.

Kahverengi ve beyaz sepiyolit numuneleri ile CC27 spindle kullanılarak yapılan reolojik ölçümlerde, %3 katı oranında spindel'ların güvenilir tork değerlerinde okuma yapamaması nedeniyle stabil kayma hızı – kayma gerilimi reoğraları elde edilememiş, daha yüksek katı oranlarında ise reolojik okumada istenilen stabilite sağlanmıştır. Binaenaleyh, CC27 spindle ile yapılan reolojik ölçümlerde, düşük viskozite veren tüvenan sepiyolit numunelerinin alt sınır ölçüm noktası 20 dyn/cm² olarak tanımlanmıştır.

CC27 ve CC17 spindle'ler ile yapılan reolojik ölçümlerim güvenilirliğini test etmek amacıyla benzer ölçümler daha yüksek sepiyolit konsantrasyonlarında (%15) tekrar edilmiş, CC27 spindle ile görünür viskozite değeri 7600 cP bulunurken (Şekil 4.11) CC17 spinldle ile yapılan ölçümün viskozite değeri 7390 cP olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.12). Bu sonuç, CC27 spindle ile elde edilen viskozite değerini teyit eder mahiyette olduğundan, yüksek viskozite veren sepiyolit süspansiyonlarının reolojik ölçümlerinin CC27 ve CC17 ile yapılmasının daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.



Şekil 4.11 %15 katı oranında kahverengi sepiyolite ait kayma hızı – kayma gerilimi reogramı.



Şekil 4.12 %15 katı oranında kahverengi sepiyolit numunesin reolojisi (CC17 spindle).

4.2.2 CC 39 Spindle ile Yapılan Reolojik Ölçümler

Özellikleri Çizelge 4.3’de verilen CC 39/QC LTD spindle ile yapılan ölçümlerde kahverengi sepiyolit numuneleri, dolomitik beyaz sepiyolit numunelerine kıyasla daha yüksek viskozite verdiğiinden %3’lük kahverengi sepiyolit süspansiyonları ile CC39 spindle kullanılarak gerçekleştirilen reolojik ölçümlerde anlamlı tork değerlerine ulaşılmıştır.

Çizelge 4.3 CC 39/QC Spindle özellikleri.

Spindle	Min. Kesme Direnci	Max. Kesme Direnci	Minimum Kesme Hızı	Maksimum Kesme Hızı	Min. Viskozite	Max. Viskozite
	(cP)	(cP)	(1/s)	(1/s)	(cP)	(cP)
CC39/QC-LTD	0,0015	886	$1,3 \times 10^{-7}$	1549	$8,7 \times 10^{-4}$	$6,26 \times 10^9$

Çizelge 4.4 %3 katı oranında kahverengi sepiyolit süspansiyonlarının CC39 spindle ile elde edilen viskozite değerleri.

Ölçüm Noktası	Zaman	Kayma Gerilimi	Viskozite	Hız	Tork
	[s]	[Pa]	[cP]	[1/min]	[mNm]
1	20	6,18	875	5	1,05
2	40	6,31	893	5	1,07

Çizelge 4.4 (Devam) %3 katı oranında kahverengi sepiyolit süspansiyonlarının CC39 spindlle ile elde edilen viskozite değerleri.

3	60	6,33	896	5	1,07
4	80	6,32	895	5	1,07
5	100	6,32	894	5	1,07

CC39 spindlle'nin yüksek viskozite veren sepiyolit süspansiyonlarındaki etkinliğini belirlemek amacıyla %5 katı oranında kahverengi sepiyolit süspansiyonlarının viskoziteleri ölçülmüş (Çizelge 4.4), sonuç olarak tork değerinin çok fazla yükselmediği (max. 75 mNm), bu durumda daha yüksek viskozite veren süspansiyonların reolojik ölçümlerinin yapılabileceği anlaşılmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 %5'lik Kahverengi sepiyolit viskozite sonuçları (CC39 spindlle ile).

Ölçüm Noktası	Zaman	Kayma Gerilimi	Viskozite	Hız	Tork
	[s]	[Pa]	[cP]	[1/min]	[mNm]
1	20	17,3	2.450	5	2,93
2	40	17,5	2.470	5	2,96
3	60	17,4	2.460	5	2,95
4	80	17,3	2.440	5	2,93
5	100	17,1	2.420	5	2,9

Çizelge 4.6 %3 katı oranında beyaz sepiyolit süspansiyonlarının CC39 spindlle ile elde edilen viskozite değerleri.

Ölçüm Noktası	Zaman	Kayma Gerilimi	Viskozite	Hız	Tork
	[s]	[Pa]	[cP]	[1/min]	[mNm]
1	20	0,994	141	5	-0,168
2	40	1,07	152	5	-0,182
3	60	1,06	150	5	-0,179
4	80	1,08	153	5	-0,183
5	100	1,07	151	5	0,181

%3 katı orana sahip beyaz sepiyolit süspansiyonlarında anlamlı tork değerlerine ulaşamamış, tork değerleri negatif çıktığından güvenilir bulunmamıştır (Çizelge 4.6). Bunun üzerine beyaz sepiyolit katı oranı %5 çıkartılarak CC39 spindlle ile reolojik ölçümler tekrarlanmış pozitif tork değerlerine ulaşılması nedeniyle sonuçlar güvenilir bulunmuştur (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 %5 katı oranında beyaz sepiyolit süspansiyonlarının CC39 spindle ile elde edilen viskozite değerleri.

Ölçüm Noktası	Zaman	Kayma Gerilimi	Viskozite	Hız	Tork
	[s]	[Pa]	[cP]	[1/min]	[mNm]
1	20	2,53	359	5	0,429
2	40	2,61	370	5	0,443
3	60	2,64	373	5	0,447
4	80	2,67	378	5	0,452
5	100	2,67	378	5	0,453

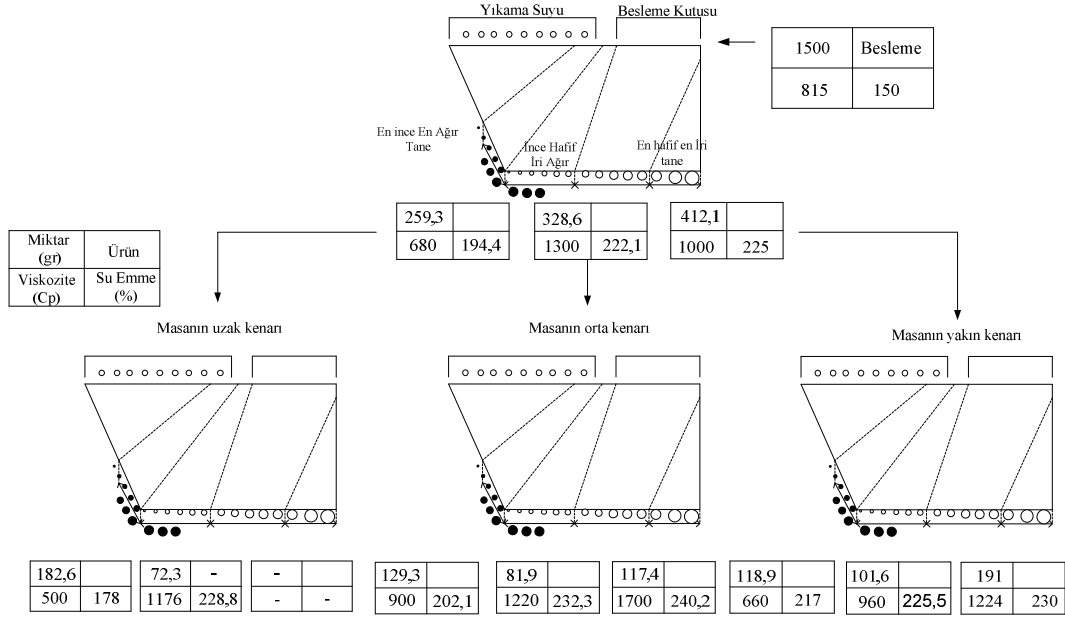
4.3 Zenginleştirme Deneyleri

Kahverengi ve beyaz sepiyolitleri, gravitasyonel yöntemlerle zenginleştirmek amacıyla sallantılı masa kullanılmıştır. Sallantılı masa ile zenginleştirme işleminde sepiyolit ve ona eşlik eden inorganik safsızlıkların birbirinden ayrılması, aralarındaki yoğunluk farkı esasına dayanmaktadır. Deneylerde kullanılan kahverengi ve beyaz sepiyolitlerin yoğunlukları sırasıyla 2,33 ve 2,57 gr/cm³ ve dolomitinki 2,85 g/cm³ olup, birbirine oldukça yakındır. Yoğunluklar dikkate alınarak Taggart konsantrasyon kriteri (k) kahverengi ve beyaz sepiyolit için hesaplandığında, k değeri kahverengi için 1,39, beyaz için 1,18 çıkmaktadır. Bu değerler sarsıntılı masada etkin bir ayırma için gerekli olan değer (1,25), kahverengi sepiyolit için üstünde, beyaz sepiyolit için ise altındadır. Ancak, sepiyolit su ile muamele edildiğinde, su tutma kapasitesi yüksek olduğundan, yoğunluğu değişmekte, sallantılı masada birbirinden ayrılabilir özellik sergilemektedir.

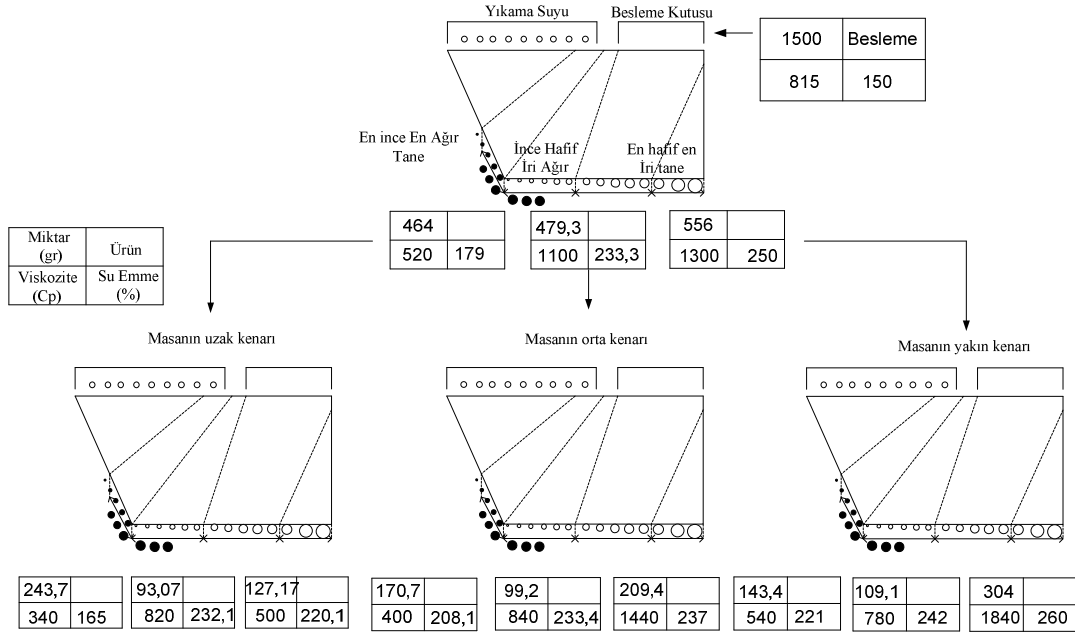
4.3.1 Kahverengi sepiyolit zenginleştirilmesi

Diğer cevherlerle yapılan araştırmalardan elde edilen literatür verileri dikkate alınarak yapılan ön zenginleştirme deneylerinde, -2 + 1 mm, -1 + 0,5 mm ve - 0,5 mm'lik üç ayrı fraksiyonda numunelerle çalışılmış, sallantılı masanın genliği 16 mm, genlik frekansı 10 Hz, besleme suyu miktarı 6 lt/dk ve masa eğimi 3° olacak şekilde sabit tutulmuştur. -2 +1 mm fraksiyonuna uygulanan zenginleştirme işlemine ait materyal balansı Şekil 5.26'da verilmiş ve bu şartlarda yapılan zenginleştirme işlemi sonrasında

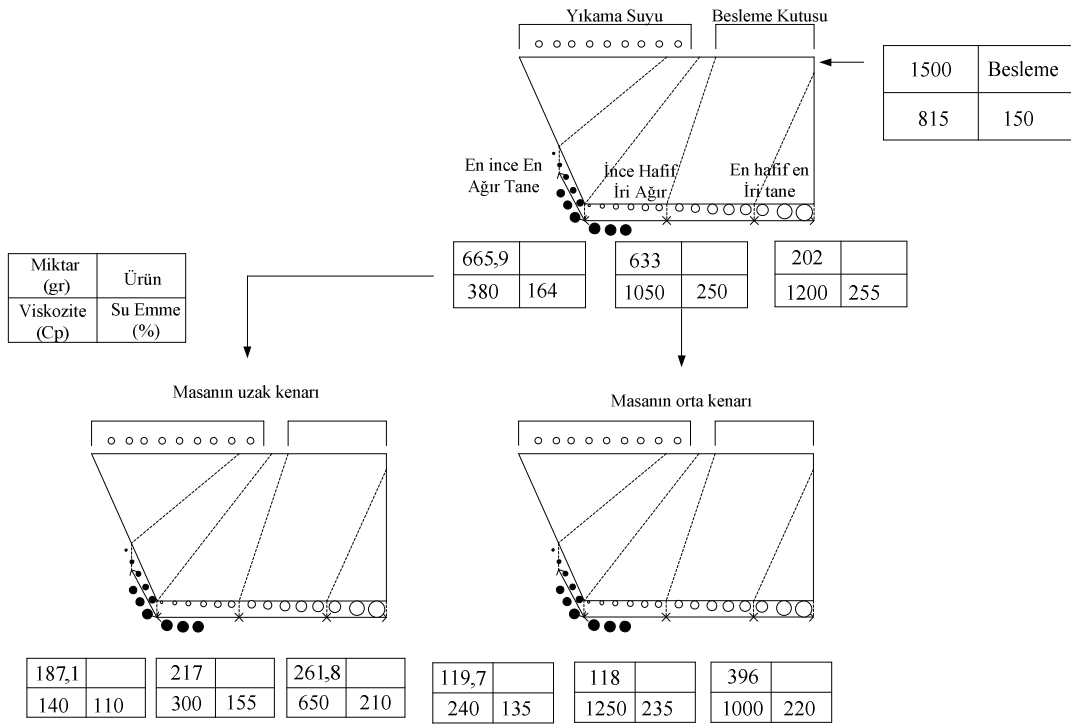
%14,8 verimle 1300 cP'lık viskozite veren kahverengi sepiyolit konsantresi elde edilmiştir. Benzer şekilde, -1 + 0,5 mm fraksiyonuna uygulanan zenginleştirme işlemiyle (Şekil 4.13) %16,6 verimle 1300 cP'lık sepiyolit konsantresi, -0,5 mm fraksiyonda ise (Şekil 4.14) %17 verimle 1200 cP'lık sepiyolit konsantresi kazanılmıştır.



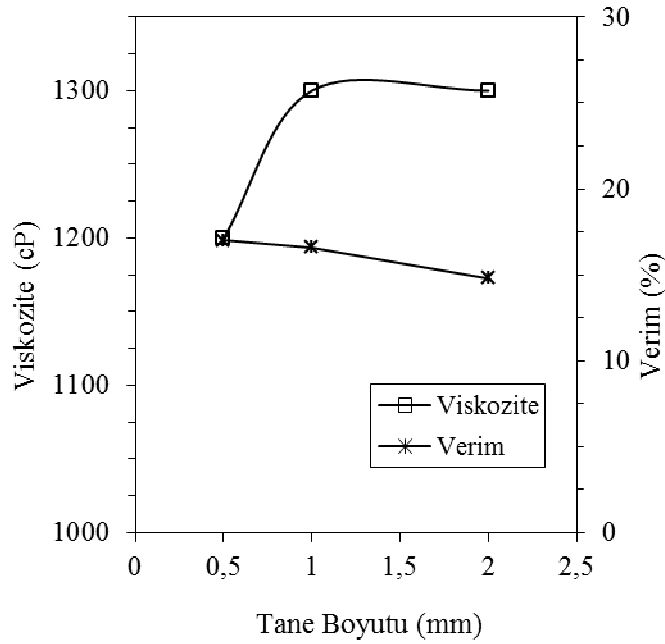
Şekil 4.13 -2 + 1 mm fraksiyonu kahverengi sepiyolit zenginleştirme akım şeması.



Şekil 4.14 -1 + 0,5 mm fraksiyonu kahverengi sepiyolit zenginleştirme akım şeması.



Şekil 4.15 - 0,5 mm fraksiyonu kahverengi sepiyolit zenginleştirme akım şeması.



Şekil 4.16 Farklı fraksiyonlarda zenginleştirmenin viskozite ve verime etkisi.

Şekil 4.16'dan da görüldüğü gibi, çok küçük ve iri tane boyutlarında düşük zenginleştirme verimi elde edilirken iri boyutlarda (1 mm ve üzeri) viskozite yükselmektedir. İnce boyutlu sepiyolit süspansiyonlarında smektit türü killerin varlığı ayırma etkinliğini önemli ölçüde azaltmaktadır.

4.3.1.1 Zenginleştirme İşlemine Tabi Tutulan Kahverengi Sepiyolitin Viskozitesi İçin Regrasyon Modeli

Sallantılı masada zenginleştirilen kahverengi sepiyolitin viskozitesi için hazırlanan regrasyon modeli, SPSS 17.0 paket programı yardımıyla değerlendirilmiş ve modelin özeti Çizelge 4.8’da verilmiştir.

Çizelge 4.8 Viskozite için regrasyon modeli.

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Standart Sapma	Durbin-Watson
1	0,871 ^a	0,759	0,639	117,432	1,992

Viskozite: Bağımlı değişken.

Değişkenler arasındaki ilişkinin bir göstergesi olan $R=0,871$ olup, bu değer +1’e yakın olduğundan bağımlı (viskozite) değişkenle bağımsız değişkenler (tane boyutu, besleme suyu, genlik frekansı, genlik mesafesi, masa eğimi) arasındaki ilişki kuvvetlidir.

Durbin Watson testi sonucunun 2,00’ye yakın olması, teste maruz değerlerin güvenilirliği açısından önemlidir. Durbin-Watson değeri burada 1,99 olarak belirlenmiş olup, bağımlı ve bağımsız değişken sayıları ile deney gözlem sayıları yeterli ve güvenilirirdir.

Modelde $R^2=0,759$ ve düzeltilmiş $R^2=0,639$ olup, bağımsız değişken durumundaki “tane boyutu”, “besleme suyu”, “genlik frekansı”, “genlik mesafesi” ve “eğim”; bağımlı değişken durumundaki viskozite değişkenine ait varyansı %75,9 oranında açıklamaktadır. Buna göre, iyi düzeyde korelasyon bulunmaktadır.

Anova tablosunda (Çizelge 4.9) bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile ilişki gücü incelendiğinde; yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki görülmektedir.

Çizelge 4.9 Viskozite için anova tablosu.

Model		Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareli Ortalama	F	Anlamlılık Düzeyi
1	Regresyon	434743,1		86948,62	6,305	0,007 ^a
	Fark	137901,9	10	13790,19	-	-
	Toplam	572645	15	-	-	-

Çizelge 4.10 Viskozite için regresyon modeli.

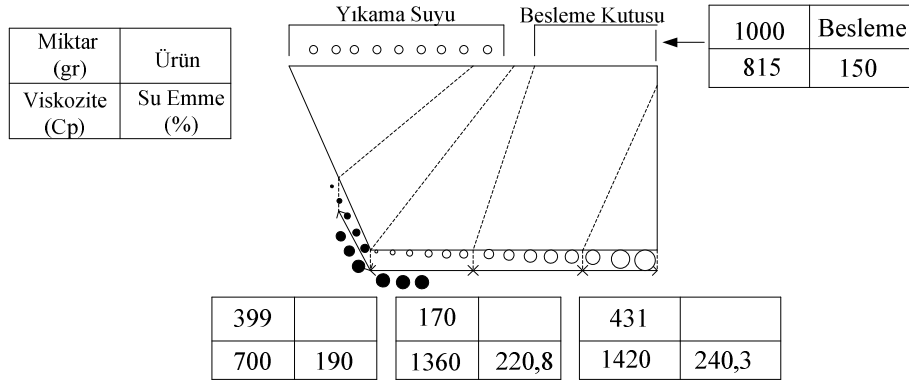
Viskozite				T	Anlamlılık Düzeyi (p)
	Katsayı	Standart Sapma	Beta		
Sabit Sayı	1367,69	222,801	-	6,139	0
Tane Boyut	0,217	0,132	0,254	1,637	0,133
Besleme Suyu	5,029	19,85	0,039	0,253	0,805
Genlik Frekansı	-0,83	0,875	-0,147	0,948	0,365
Genlik Mesafesi	-19,619	9,686	-0,314	-2,026	0,07
Masa Eğimi	-50,031	10,26	-0,757	-4,876	0,001

Viskozite: Bağımlı değişken.

Çizelge 4.10'da yer alan veriler dikkate alınarak regresyon modeli Eşitlik 4.1'de formüle edilmiştir.

$$X_{\text{viskozite}} = 1367,686 + 0,217X_{\text{Tane boyut}} + 5,029X_{\text{Besleme suyu}} - 0,830X_{\text{Genlik frekansı}} - 19,619X_{\text{Genlik mesafesi}} - 50,031X_{\text{Masa eğimi}} \quad (4.1)$$

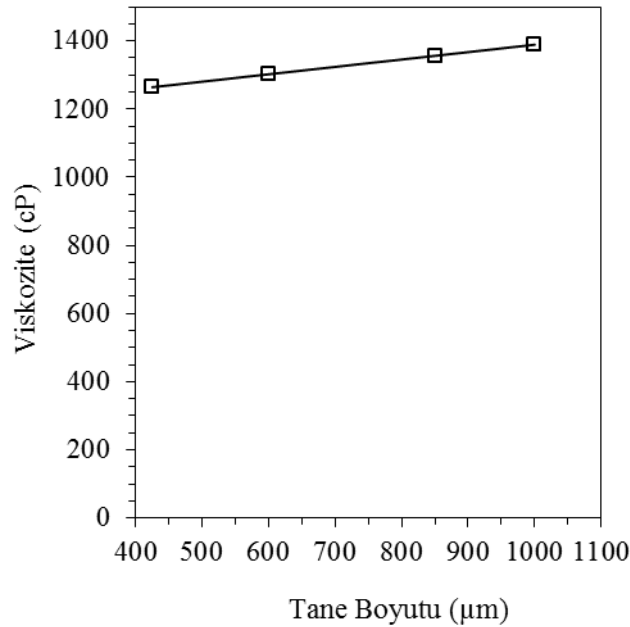
Modelde, sallantılı masa eğiminin viskoziteye etkisi negatif yönlüdür. Yani masa eğiminin artması sepiyolit süspansiyonun viskozitesini düşürmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Sallantılı masa nihai zenginleştirme prosesi materyal balansı.

Sonuç olarak, -2 + 1mm tane boyutu, 10 lt/dk besleme suyu, 10 Hz genlik hızı, 7 mm genlik mesafesi ve 2° sallantılı masa eğiminde 1420 cP viskoziteye sahip %43,1 verimle sepiyolit numunesi elde edilmiştir.

Farklı fraksiyonlarda (-2 + 1 mm, -1 + 0,85 mm, -0,85 + 0,6 mm, -0,6 + 0,425 mm) gerçekleştirilen zenginleştirme deneylerinde tane boyutu artışının viskoziteye etkisi Şekil 4.18’de verilmiştir.

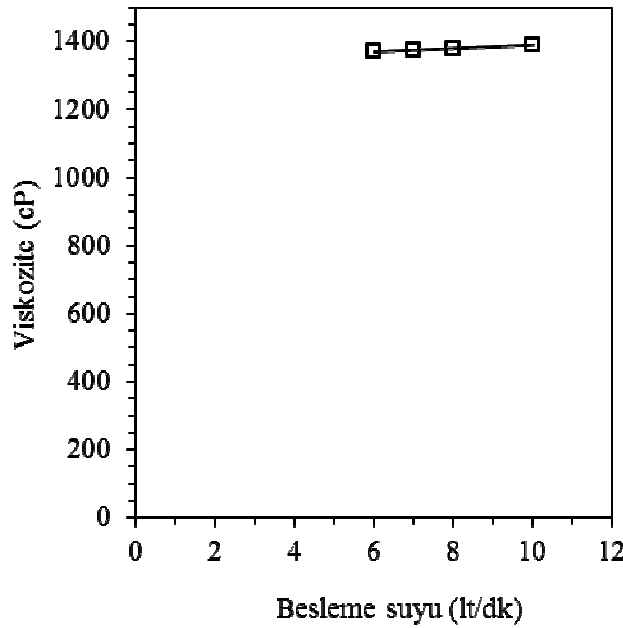


Şekil 4.18 Tane boyutunun viskoziteye etkisi.

Şekil 4.18’de tane boyutu artışı ile viskozite arasında lineer bir ilişki vardır. Kahverengi sepiyolit, sepiyolit oranı beyaz sepiyolite nazaran daha yüksek

olduğundan boyut artışına bağlı olarak sepiyolit partikülleri daha fazla su tutmakta, böylelikle sepiyolit ile dolomit arasındaki yoğunluk farkı artmaktadır. Bu durumda, sepiyolit ile dolomit arasında etkin bir ayırma gerçekleşmektedir. Kahverengi sepiyolitın regresyon denkleminde tane boyutuna ait katsayının, beyaz sepiyolitın regresyon denklemindeki katsayıdan büyük olması bu durumu teyit etmektedir.

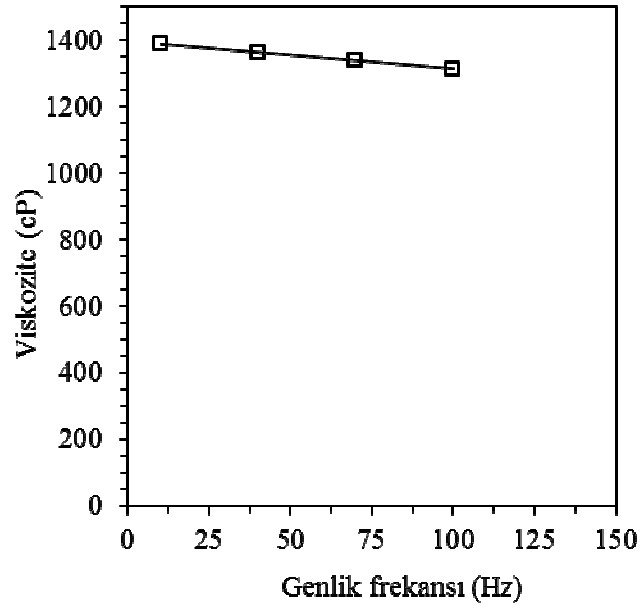
Farklı besleme suyu miktarlarında (10, 8, 7 ve 6 lt/dk) gerçekleştirilen zenginleştirme deneylerinin viskoziteye olan etkileri Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 Besleme suyu miktarının viskoziteye etkisi.

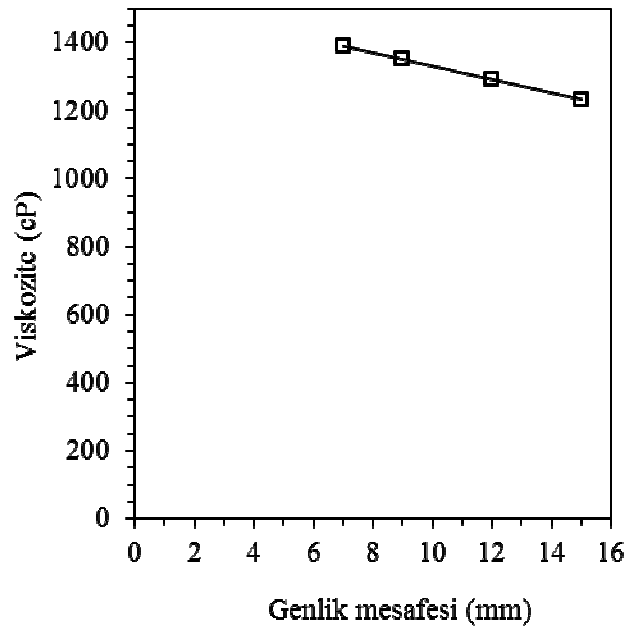
Şekil 4.19’da görüldüğü gibi, besleme suyu miktarındaki artışın viskozite artışına etkisi marjinal olup, kahverengi sepiyolit ile ona eşlik eden safsızlıklar arasındaki yoğunluk farkı dikkate alındığında, zenginleştirme işleminde yoğunluktan ziyade masa hareketinin öneminin arttığı anlaşılmaktadır.

7, 9, 12 ve 15 mm’lik genliklerde gerçekleştirilen zenginleştirmenin deneylerinin viskoziteye etkisi Şekil 4.20’de verilmiştir. Genlik artışının viskozite etkisi negatif olup, genlik mesafesi artıkça konsantreye artık karışmaktadır.



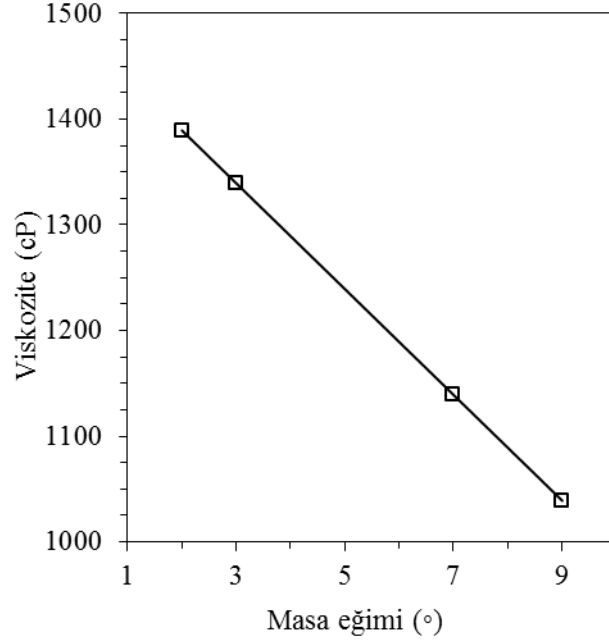
Şekil 4.20 Genlik frekansının viskoziteye etkisi.

Farklı genlik frekanslarında (10 40, 70 ve 100 Hz) gerçekleştirilen zenginleştirme deneylerinin viskoziteye olan etkileri Şekil 4.20’de verilmiştir. Görüldüğü gibi, sallantılı masanın genlik frekansı artıçça viskozitede düşmekte ancak, bu düşüş genlik kadar keskin olmamaktadır (Şekil 4.21).



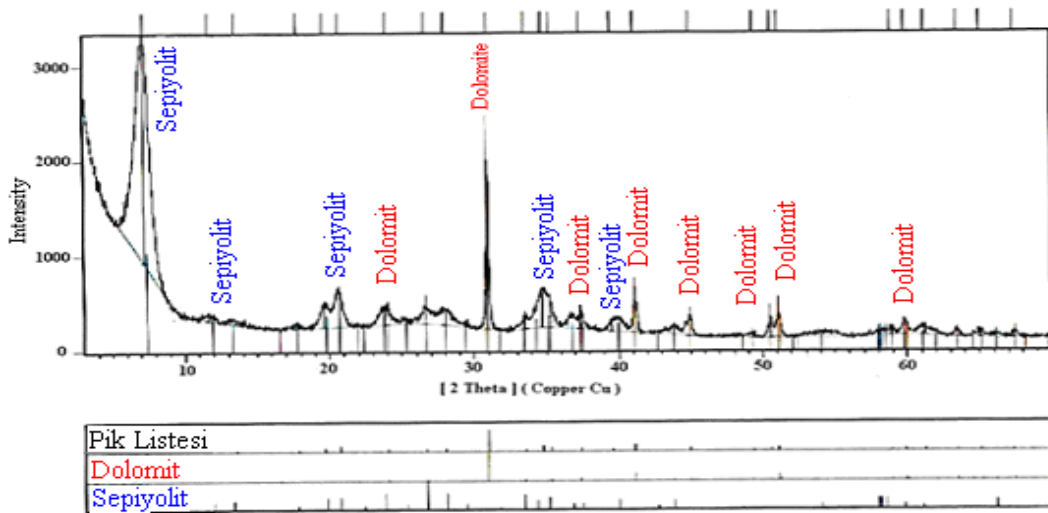
Şekil 4.21 Genliğin viskoziteye etkisi.

Kahverengi sepiyolittin sallantılı masada optimum şartlarda zenginleştirilmesi sonucunda, dolomit pikinin şiddetinde düşüş olmuş (Şekil 4.22), 1420 cP viskozite sahip sepiyolit konsantrresi %43,1 verimle kazanılmıştır.

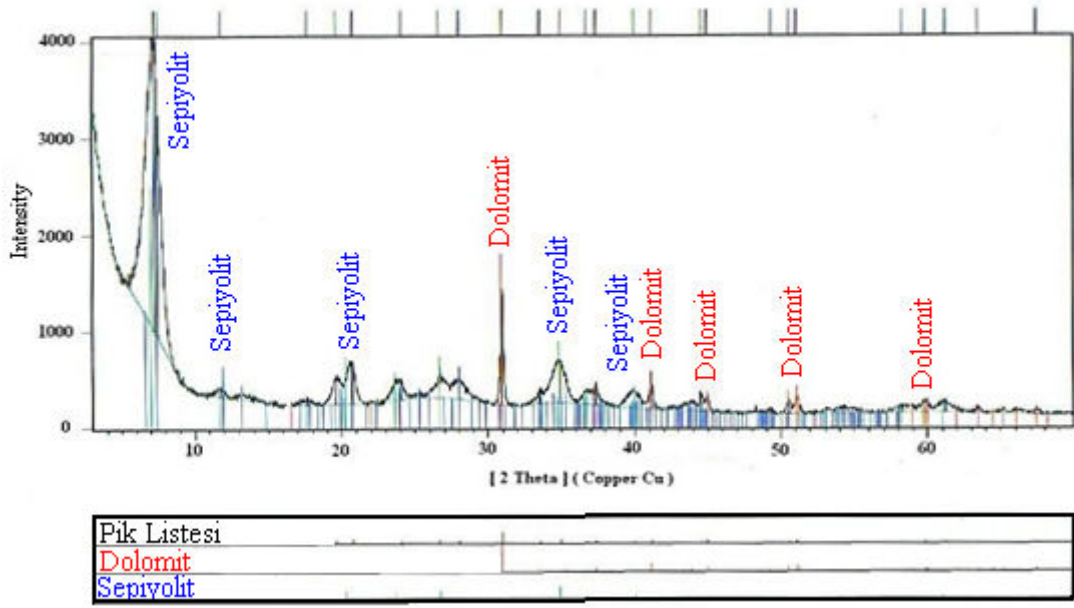


Şekil.4.22 Masa eğiminin viskoziteye etkisi.

Masa eğiminin viskoziteye etkisi negatiftir (Şekil 4.22). Zira regrasyon denklemindeki katsayının değerinin büyük ve negatif olması bu durumu doğrulamaktadır.



(a)



(b)

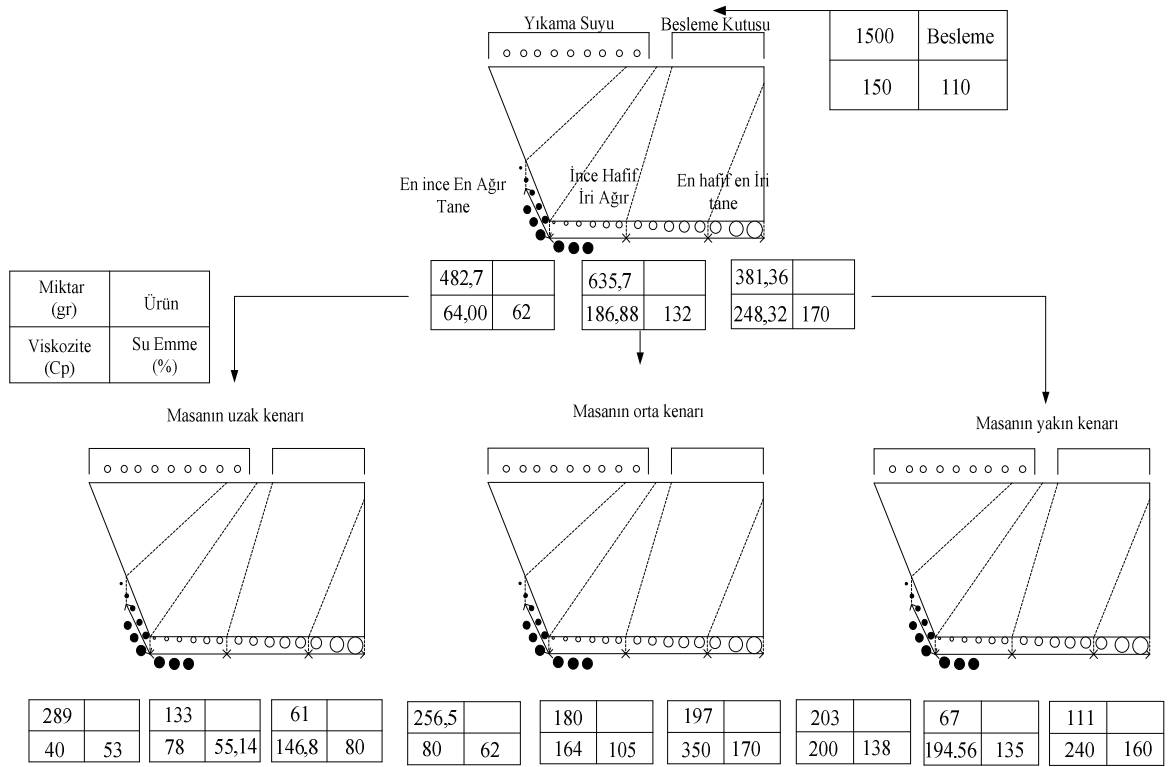
Şekil 4.23 Tüvenan kahverengi sepiyolit (a) ve konsantre kahverengi sepiyolit (b) ait XRD difraktogramı.

Çizelge 4.11 Tüvenan ve Zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolite ait kimyasal analiz sonuçları.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SrO	SO ₃	F	K.K.
Tüvenan	46,4	0,93	0,38	6,01	24,1	0,25	0,54	0,06	0,01	0,08	0,08	1,51	19,67
Konsantre	48,8	1,8	0,34	4,13	22,82	1,16	0,18	0,06					18,47

4.3.2 Beyaz Sepiyolit Zenginleştirilmesi

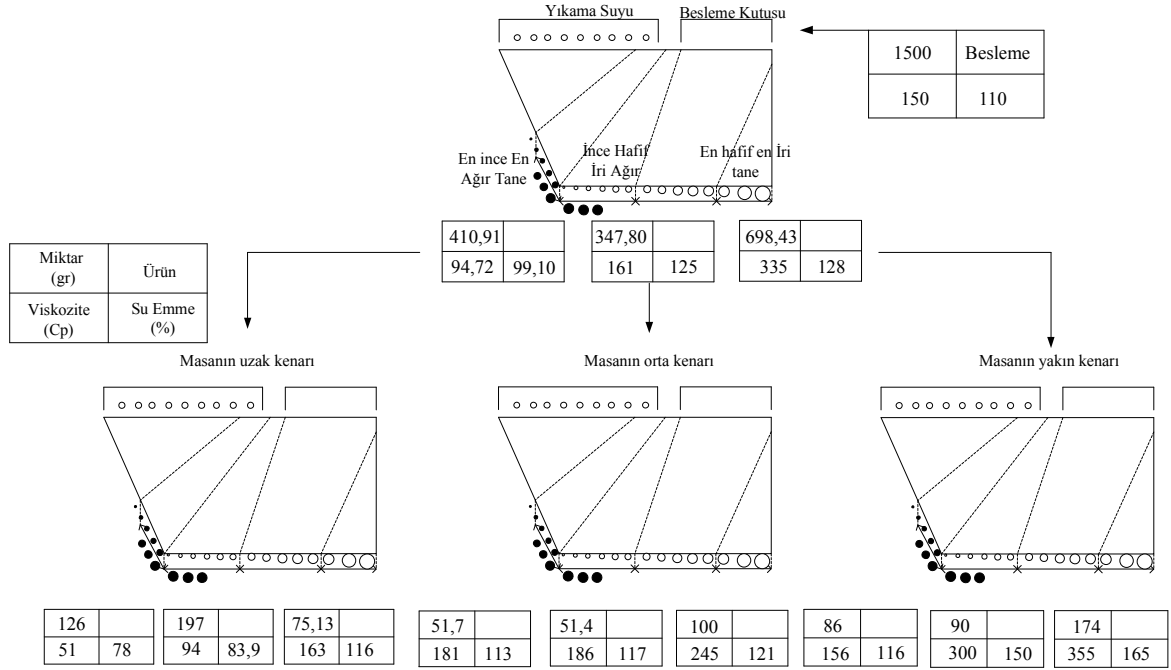
Diğer cevherlerle yapılan çalışmalardan elde edilen literatür verileri dikkate alınarak yapılan ön zenginleştirme deneylerinde, sallantılı masanın genliği 16 mm, frekansı 100 Hz, besleme suyu miktarı 6 lt/dk ve masa eğimi 3° olacak şekilde sabit tutulmuştur. -2 +1 mm beyaz sepiyolit fraksiyonuna yapılan zenginleştirme deneylerine ait materyal balansı Şekil 4.24'de sunulmuş, bu parametrelerde sallantılı masada yapılan ön zenginleştirme işlemi sonrasında 248,32 cP viskozite veren konsantre beyaz sepiyolit %25,44 verimle kazanılmıştır.



Şekil 4.24 -2 +1 mm fraksiyonu beyaz sepiyolit zenginleştirme akım şeması.

Bu sonuçlar; yüksek genlik ve hızın, iri boyutlarda sepiyolit zenginleştirilmesinde etkin olmadığını göstermektedir. Masa ürünlerinin sallantılı masada tekrar zenginleştirme işlemine tabi tutulmuş ve viskozite ancak 350 cP'e yükselmiş, buna karşın verim %13,13'e düşmüştür.

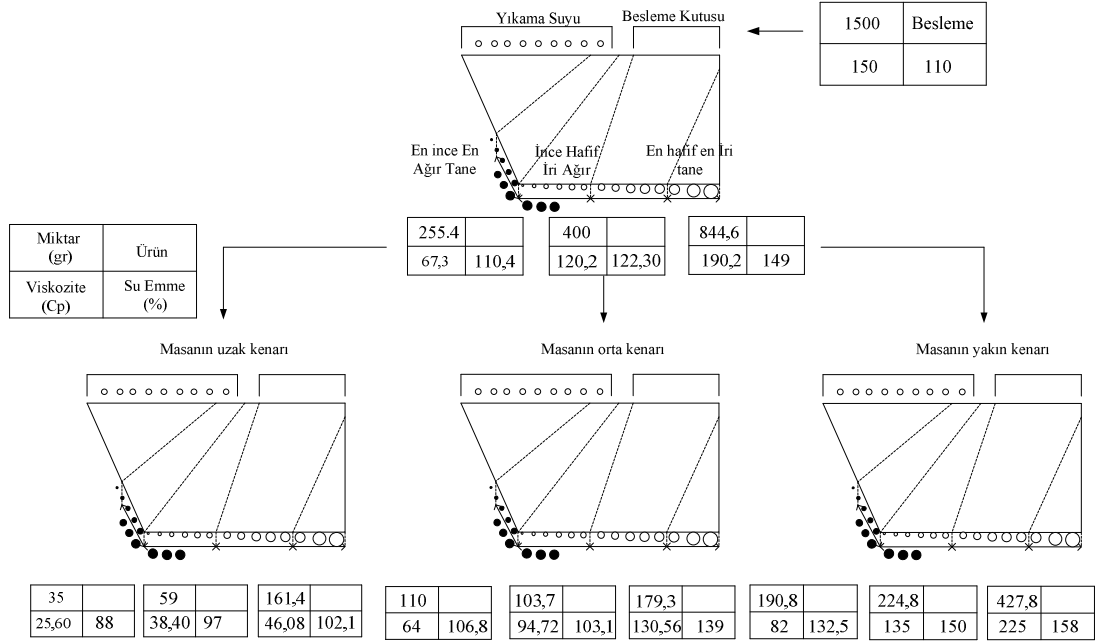
Diğer bir fraksiyonda (-1 +0,5 mm) gerçekleştirilen sarsıntılı masa zenginleştirme deneylerine ait materyal balansı ise Şekil 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.25 -1 + 0,5 mm fraksiyonu beyaz sepiyolit zenginleştirme akım şeması.

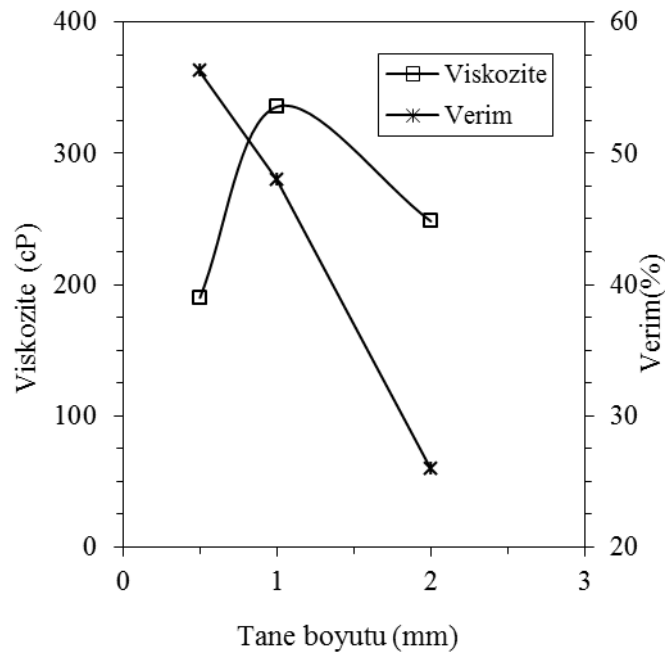
-1 + 0,5 mm fraksiyonuna uygulanan zenginleştirme ile, %47,93 verimle 335,36 cP'lık viskozite veren konsantre sepiyolit elde edilmiştir. Sallantılı masa ürünlerinin tekrar zenginleştirilme işleminin tabii tutulmasının viskoziteye kayda değer bir katkısı olmamıştır.

-0,5 mm fraksiyonu için sarsıntılı masa deneyi materyal balansı, Şekil 4.26'da verilmiştir. -0,5 mm fraksiyonun sallantılı masada zenginleştirilmesi ile 190,2 cP'lık viskozite veren sepiyolit konsantresi %56,30 verimle kazanılmıştır. -0,5 mm fraksiyon ürünlerine (konsantre, araürün, atık) tatbik edilen viskozite ölçümleri, önemli bir farklılığın ve dolayısıyla sallantılı masa deneylerinin saflaştırma üzerine bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Bu durum, özellikle ince fraksiyonlara inildikçe sepiyolit su emme kapasitesinin azalmasına atfedilebilir.



Şekil 4.26 -0,5 mm fraksiyonu zenginleştirme akım şeması.

Beyaz sepiyolite eşlik eden dolomit ile sepiyolit arasında belirgin yoğunluk farkıda olmadığından, ince boyutlarda etkin bir ayırma mümkün olmamakta elde edilen konsantre sepiyolitin viskozitesi düşmektedir (Şekil 4.27). Küçük tane boyutlarında verim artışının nedeni etkin bir ayırma mümkün olmadığı için safsızlıkların konsantre ile birlikte hareket etmesidir. -1 + 0,5 mm fraksiyonunda ise hem yüksek verim hem de yüksek viskozite alınmıştır.



Şekil 4.27 Farklı fraksiyonlardaki zenginleştirmenin viskozite ve verime etkisi.

4.3.2.1 Zenginleştirme İşlemine Tabi Tutulan Beyaz Sepiyolit Viskozitesi için Regresyon Modeli

Sallantılı masada zenginleştirme beyaz, sepiyolit viskozitesi için hazırlanan regresyon modeli, SPSS 17.0 paket programı yardımıyla değerlendirilmiş ve modelin özeti Çizelge 4.12 verilmiştir.

Çizelge 4.12 Viskozite için regresyon modeli.

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Standart Sapma	Durbin-Watson
1	0,760 ^a	0,578	0,367	1,07717	1,927

Viskozite: Bağımlı değişken.

R'nin pozitif olması değişkenlerden biri artarken diğerinin de arttığını; R'nin negatif olması azaldığını; R=0 olması durumu ise değişkenler arasında bir ilişkinin olmadığını göstermektedir. R=0,760 olup, bu değer +1'e yakın olduğundan bağımlı (Viskozite) değişkenle bağımsız değişkenler (tane boyutu, besleme suyu, genlik frekansı, genlik mesafesi, masa eğimi) arasındaki ilişki kuvvetlidir.

Durbin Watson testi sonucunun 2,00'ye yakın olması, güvenilirlik için bir gösterge olup, 1,92 olarak belirlenen Durbin Watson değeri anılan değere yakındır. Modelde bağımlı ve bağımsız değişken sayıları ile deney gözlem sayıları yeterli ve güvenilir görülmektedir.

Modelde $R^2=0,760$; düzeltilmiş $R^2=0,578$ olduğundan bağımsız değişken durumundaki "tane boyutu", "besleme suyu", "genlik frekansı", "genlik mesafesi" ve "eğim", bağımlı değişken viskoziteye ait varyansı %57,8 oranında açıklamaktadır. Buna göre korelasyon düzeyi iyidir.

Anova tablosunda (Çizelge 4.13) bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile ilişki gücü incelendiğinde; yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki görülmektedir.

Çizelge 4.13 Viskozite için anova tablosu.

Model		Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareli Ortalama	F	Anlamlılık Düzeyi
1	Regrasyon	22745,432	5	4549,086	2,654	0,019a
	Fark	17142,006	10	1714,201	-	-
	Toplam	39887,438	15	-	-	-

Çizelge 4.14 Viskozite için regresyon modeli.

Viskozite				T	Anlamlılık Düzeyi (p)
	Katsayı	Standart Sapma	Beta		
Sabit Sayı	202,616	78,553	-	2,579	0,027
Tane Boyut	0,084	0,047	0,375	1,807	0,101
Besleme Suyu	5,036	6,998	0,149	0,72	0,488
Genlik Frekansı	-0,304	0,309	-0,204	-0,986	0,348
Genlik Mesafesi	-1,23	3,415	0,075	-0,36	0,726
Masa Eğimi	-10,475	3,617	-0,6	-2,896	0,016

Viskozite: Bağımlı değişken.

Çizelge 4.14'de yer alan veriler dikkate alınarak regresyon modeli Eşitlik 4.2'de şekilde formüle edilmiştir.

$$X_{\text{viskozite}} = 202,616 + 0,084X_{\text{Tane boyut}} + 5,036X_{\text{Besleme suyu}} - 0,304X_{\text{Genlik frekansı}} - 1,230X_{\text{Genlik mesafesi}} - 10,475X_{\text{Masa eğimi}} \quad (4.2)$$

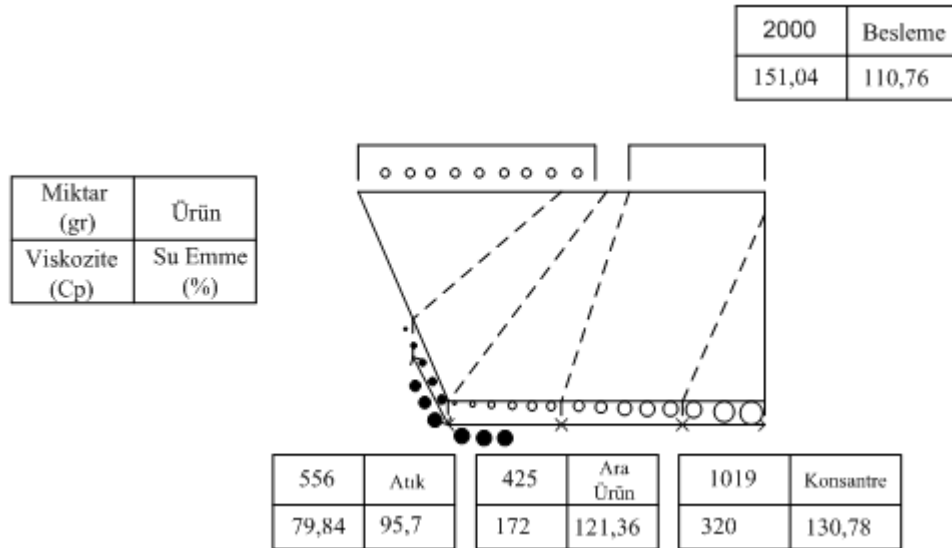
Modelde genlik frekansı, genlik mesafesi ve masa eğimi değişkenlerinin, sonuca katkıları negatif yönlüdür. Yani bu değerlerin artması, viskozite değerinin azalması için önemli bir ipucudur. Modele bağlı kalınarak viskozitenin tahmini değerleri belirlenmiştir. Buna göre; tane boyutu $-2 + 1$ mm, besleme suyu 10 lt/dk, genlik frekansı 10 Hz, genlik 7 mm ve masa eğimi 3° alındığında viskozitesi 293,9 cP olan beyaz sepiyolit süspansiyonu elde edilmektedir. Bu parametrelere bağlı kalınarak çalıştırılan sallantılı masada akışkan yatakta yelpaze formunda bir yayılma

gözlenmediğinden, bir başka ifade ile dolomitlerin sepiyolitden uzaklaşarak atık kenarına gitmesi için asimetrik masa hareketi yetersiz kaldığından, genlik mesafesi yetersiz bulunmuş ve sallantılı masa, Çizelge 4.15’de verilen parametrelerde çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.15 Sallantılı masa optimum zenginleştirme parametreleri.

Parametreler	Değerler
Tane Boyutu (mm)	-2 + 1
Besleme Suyu (lt/dak)	10
Genlik Frekansı (Hz)	10
Genlik (mm)	9
Masa Eğimi (°)	3

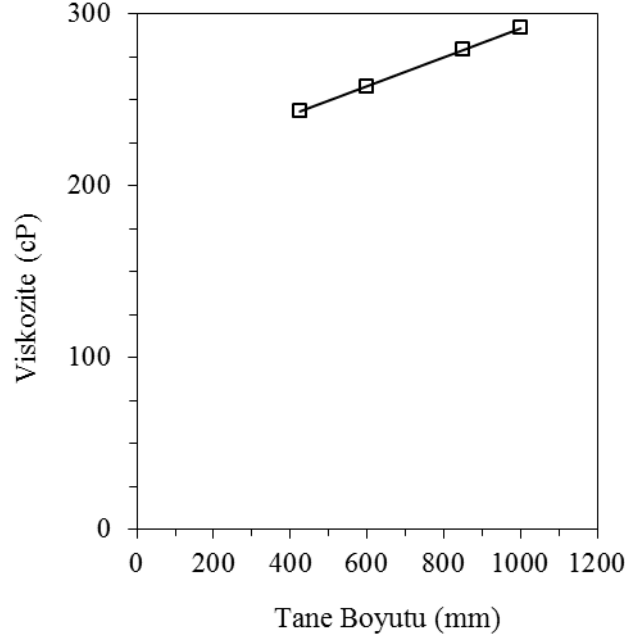
Çizelge 4.15’de verilen parametrelerde çalıştırılan sallantılı masada gerçekleştirilen zenginleştirme işleminden sonra 151,04 cP viskozite veren tüvenan beyaz sepiyolit viskozitesi %51 verimle 320 cP yükseltilmiştir.



Şekil 4.28 Sallantılı masa nihai zenginleştirme prosesi materyal balansı.

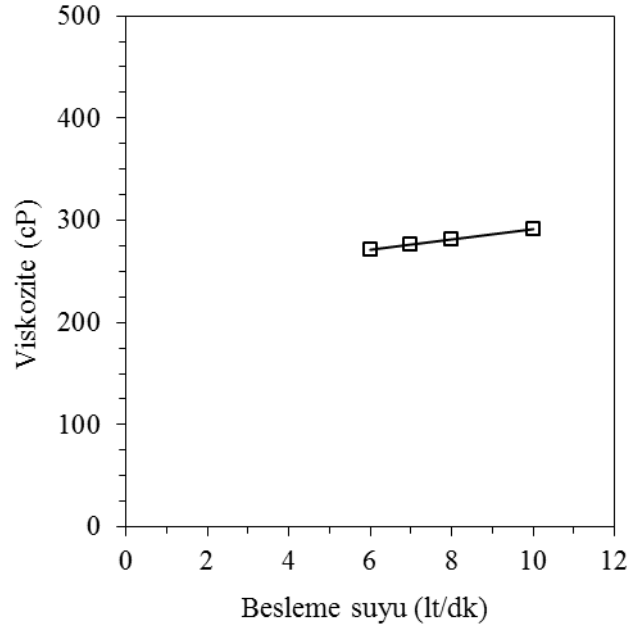
Beyaz sepiyolit tane boyutunun (1000, 850, 600 ve 425 µm) viskoziteye etkisi, Şekil 4.28’de verilmiştir. Tane boyutu küçüldükçe sepiyolit su içinde dağılarak çok daha hızlı bir şekilde ufalandığından, akışkan ortamda çökme yavaşladığından ve su

emme kapasitesi küçük tane boyutlarında düştüğünden sallantılı masada yoğunluk farkına dayalı etkin bir ayırma yapılamamaktadır.



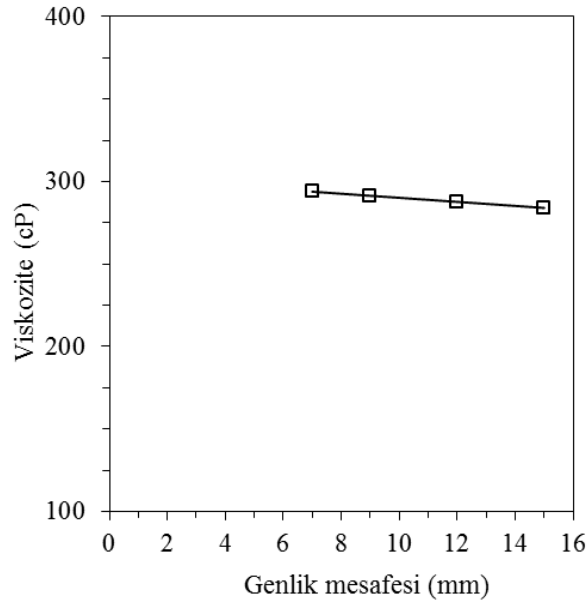
Şekil 4.29 Boyut dağılımının viskoziteye etkisi.

Şekil 4.30, besleme suyu miktarındaki artış ile birlikte viskozitenin doğrusal bir artış trendi izlediğini göstermektedir. En ağır ve en büyük tane (dolomit) dibe çökerek, masanın asimetrik dik hareketi ile en uzun mesafeyi katederken hafif ve iri taneler (sepiyolit) ise besleme suyunun etkisi ile masa üzerinde en kısa mesafeyi almaktadır. Besleme suyu debisindeki artış, sepiyolitın dağılmadan en hızlı şekilde konsantre kenarından alınmasını sağlamakta ve zenginleşme işlemini pozitif olarak etkilemektedir.



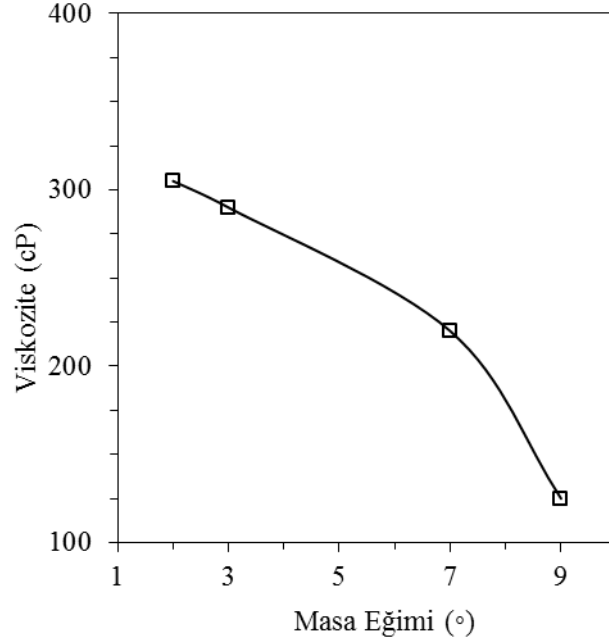
Şekil 4.30 Besleme suyu miktarının viskoziteye etkisi.

Şekil 4.31’de görüldüğü gibi, genlik mesafesi arttıkça viskozitede hızla düşmektedir. Bunun nedeni, genlik mesafesi artışı ile masa üzerinde iri ağır ve iri hafif mineraller birlikte hareket etmesidir. Kısa genlik ile iri ağır mineraller masanın dik hareketi ile yuvarlanarak en uzak kenara doğru giderken, iri hafif mineraller ise suyun akışı ile en kısa mesafeyi katedmektedir.



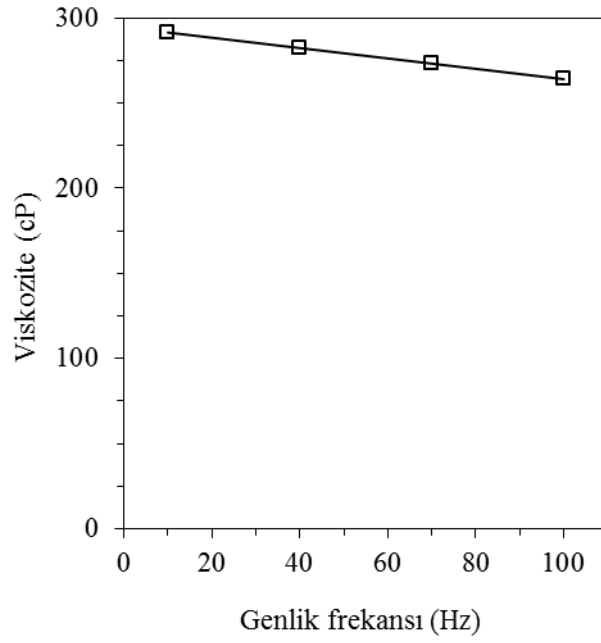
Şekil 4.31 Genliğin viskoziteye etkisi.

Şekil 4.32’de sallantılı masa eğiminin beyaz sepiyolit süspansiyonun viskozitesine etkisi verilmiştir. Masa eğimi arttıkça ayırma için gerekli olan süre kısaltıldığından yoğunluk farkına göre tam bir ayırma gerçekleşmemekte ve konsantreye artıkların karışması ile viskozite hızla düşmektedir. Ayrıca, eğim 5°’yi geçtiğinde masa üzerinde düzgün bir su tabakası oluşmadığından zenginleştirme işlemi olumsuz etkilenmekte, 3° eğimin altında ise, su tabakası masanın en uzak kenarına yönelmektedir.



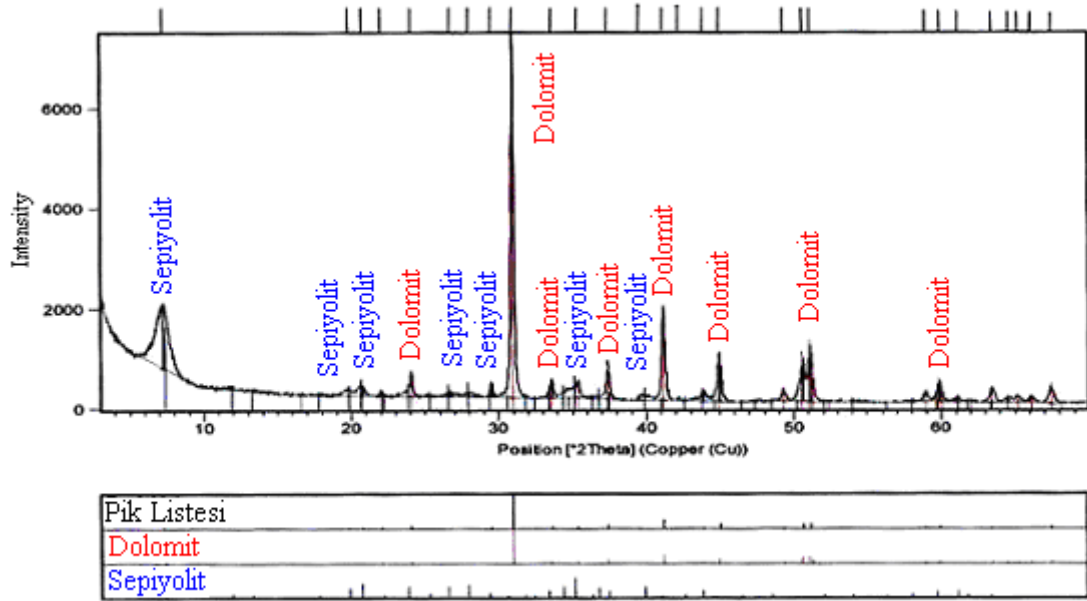
Şekil 4.32 Masa eğiminin viskoziteye etkisi.

Masanın hareketinde; serbest akış, engelli çökme ve asimetric hareket etkili olmaktadır. Sepiyolit ve dolomitin yoğunluğu birbirine yakın olduğundan asimetric hareketin etkisi büyük önem taşımakta, asimetric harekette etkili olan genlik frekansının viskozite değerlerinde bir düşüşe neden olduğu görülmektedir (Şekil 4.33). Genlik frekansı artışına bağlı olarak viskozite değerinin düşmesinde asıl etken, yoğunluğu düşük olan sepiyolit, asimetric masa hareketinin şiddeti ile artığa karışmasıdır.

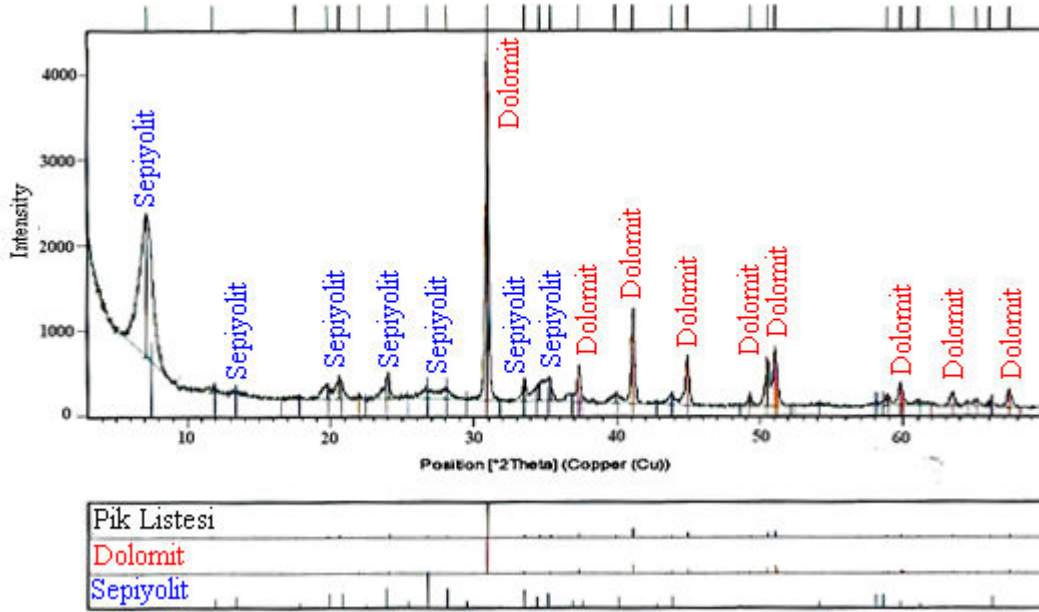


Şekil 4.33 Genlik frekansının viskoziteye etkisi.

Tüvenan beyaz sepiyolit numunesi ile (Şekil 4.34-a) optimum şartlarda elde edilen beyaz sepiyolit konsantresine ait XRD pikleri Şekil 4.34-b’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.34 Tüvenan beyaz sepiyolit (a) ve konsantre beyaz sepiyolite (b) ait XRD difraktogramları.

Şekil 4.34’de görüldüğü gibi, tüvenan beyaz sepiyolitinin sallantılı masada zenginleştirilmesinden sonra dolomit pikinin şiddetinde kayda değer bir azalma görülmemiştir. Bir başka ifadeyle, sallantılı masada etkin bir dolomit-sepiyolit ayrımı gerçekleştirilememiştir. Bunu Çizelge 4.17’de verilen zenginleştirilmiş beyaz sepiyolite ait kimyasal analiz sonuçlarında yeralan MgO, CaO ve kızdırma kaybı yüzdeleri teyit etmektedir.

Çizelge 4.16 Tüvenan ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolite ait kimyasal analiz sonuçları.

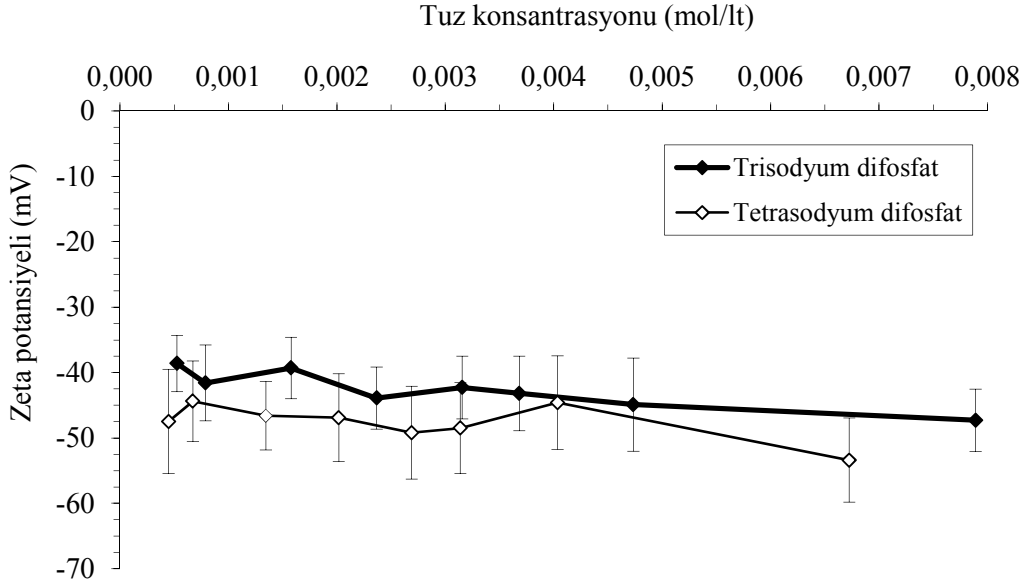
%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	K.K
Tüvenan	21,8	0,59	0,32	20,94	21,6	0,02	0,07	0,04	34,88
Konsantre	27,25	2,04	0,17	17,58	20,97	0,92	0,11	0,08	30,42

4.4 Lif Açma Prosesi

4.4.1 Mekanik Aktivasyon Öncesi Stabil Süspansiyonların Hazırlanması

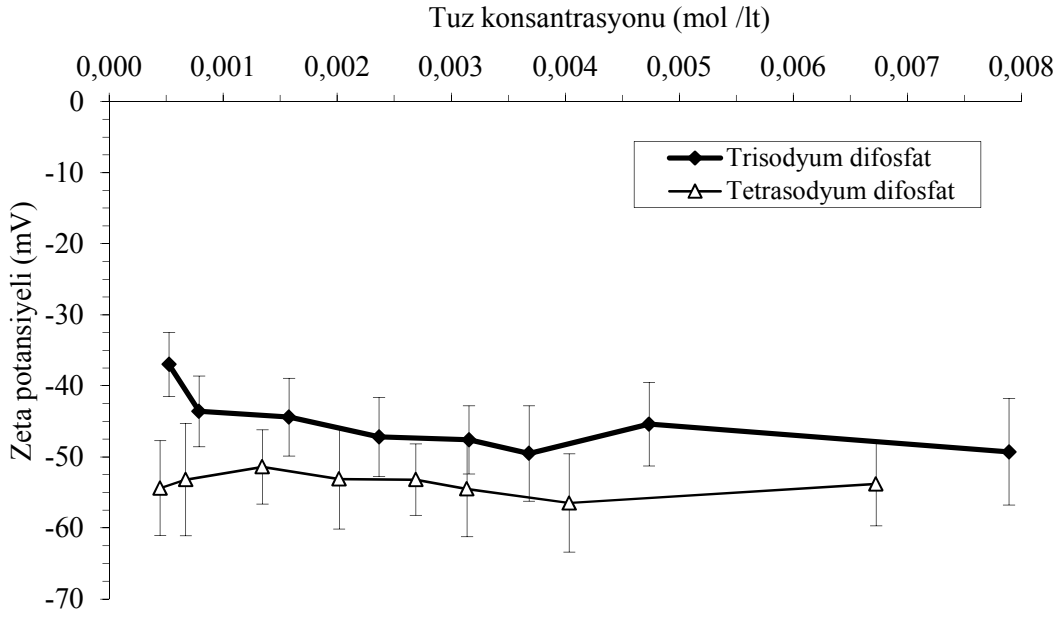
Çalışmanın bu aşamasında %10 katı oranında sepiyolit süspansiyonunun lif açma prosesi öncesinde stabil hale getirilmesi ve bununla daha yüksek sayıda tekil lif elde edilmesi amaçlanmıştır. Disperse sepiyolit süspansiyonlarında serbest hale gelen safsızlıkların,

mekanik aktivasyonu müteakip uygulanan santrifüj ile ayrılması öngörülmüştür. Disperse süspansiyon eldesi için dağıtıcı olarak tetrasodyum difosfat ve trisodyum difosfat kullanılmıştır. Adı geçen dispersan konsantrasyonlarının kahverengi ve beyaz sepiyolitlerin zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.35 ve 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.35 Kahverengi sepiyolit süspansiyonuna dağıtıcı tuzun etkisi.

Şekide 4.35’de, kahverengi sepiyolit yüzey yükünü negatif yönde azaltan tetrasodyum difosfat olduğu belirlenmiştir. 0,0067 mol/l tetrasodyum difosfat konsantrasyonunda en yüksek negatif yüke (-53,4 mV) ulaşılmıştır.

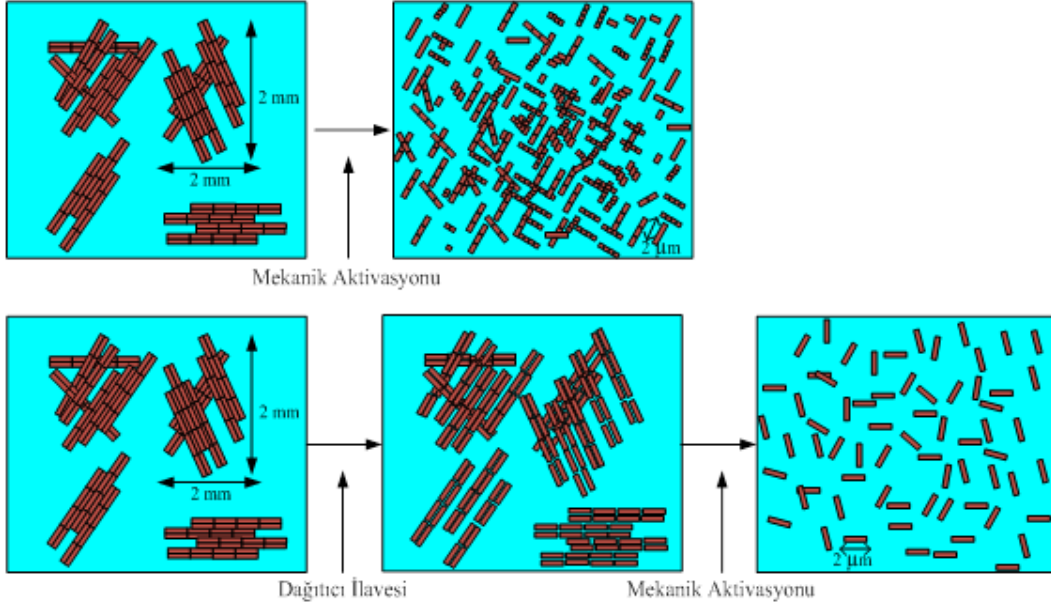


Şekil 4.36 Beyaz sepiyolit süspansiyonuna dağıtıcı tuzun etkisi.

Şekide 4.36, beyaz sepiyolit yüzey elektrik yükünün mutlak değerini tetra sodyum difosfatın artırdığı, ancak konsantrasyon artışının zeta potansiyel etkisinin marjinal olduğunu göstermektedir. Beyaz sepiyolit için 0,004 mol/lt tetrasodyum difosfat dispersan konsantrasyonunda en yüksek negatif yüke (-56,5 mV) ulaşılmıştır. Sepiyolitin yüzey yükündeki artış, debye mesafesinin artmasına neden olmuş ve elektriksel çift tabaka itmesi stabil süspansiyon elde edilmesini sağlamıştır (Colic *et al.* 1997).

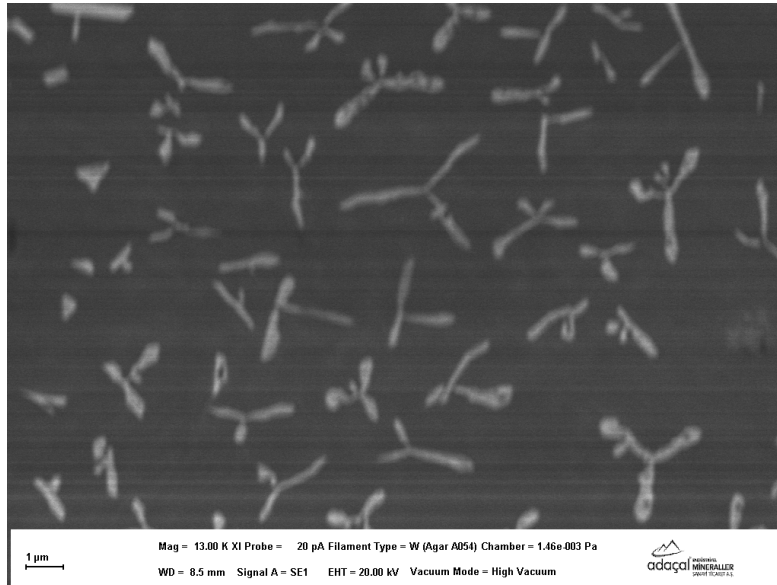
Lif demetlerinin (agregaların) mekanik gerilmelere karşı direnci partiküller arası kuvvetlere dayandığından mekanik aktivasyon öncesi stabil sepiyolit süspansiyonları oluşturularak taneler arasındaki güçlü çekim kuvvetleri zayıflatılmış, böylelikle bir arada bulunan sepiyolit partiküllerinin serbest kalması sağlanmıştır. Şekil 4.37, dispersan ilavesinin mekanik aktivasyonla elde edilen liflerin dağılımına (lif uzunluğu ve genişliğine bağlı) etkisini şematik olarak göstermektedir. Lifsi malzemelerde lif uzunluğunun (L) lif genişliğine (W) oranı (L/W) lif elipsitesi oranı olarak tanımlanmaktadır. Singer ve Neaman (2000), sepiyolit süspansiyonlarının viskozitesini partiküllerin eliptisitesindeki artışa bağlamış, Güven (1992) ise plastik

viskozite, bingham akma gerilimi ve sepiyolit süspansiyonlarının görünür viskozitesinin liflerin eliptisitesiyle doğrusal orantılı olduğunu tespit etmiştir. Nitekim, dispersan varlığında lif boyutları küçülmeden mekanik aktivasyonun da etkisiyle lifleri tekil hale getirmek mümkün olabilmektedir.



Şekil 4.37 Lif açma prosesinde dispersan ilavesinin mekanik aktivasyona etkisi (Can, 2008).

Dispersan kullanılarak elde edilen kahverengi sepiyolite ait SEM görünümünde (Şekil 4.38) mekanik kuvvetin, taneleri ufalamak yerine Si-O-Si bağlarını kırmak suretiyle tekil lifler oluşturduğunu göstermektedir.

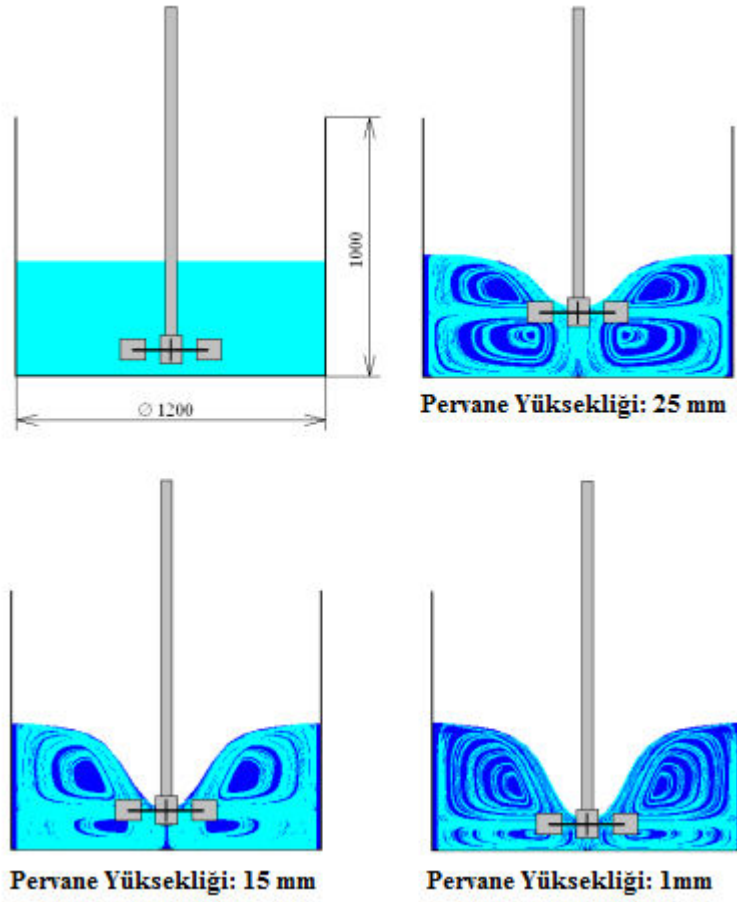


Şekil 4.38 Dispersan varlığında mekanik aktivasyon etkisiyle açılan sepiyolitik liflerin SEM görünümü.

Bu durum, dispersan kullanmadan yapılan mekanik aktivasyonun lif açma prosesine önemli bir katkısının olmadığına işaret etmekte, Çelik vd. (2006)'nın belirttiği gibi, yüksek viskoziteli sepiyolit süspansiyonları için liflerin mümkün olduğunca orijinal yapılarının bozulmadan serbest hale getirilmesi tezini desteklemektedir. Dispersan varlığında gerçekleştirilen mekanik aktivasyonda, serbest hale gelen liflerin sayısı arttıkça bu lifler suda dağıldıklarında uygulanan kesme kuvvetiyle daha fazla ağ yapısı oluşturmakta, elipsite yükselmekte ve daha fazla su lifler arasına hapsolarak (Santaren 1993; Simonton *et al.* 1988) viskozite artmaktadır.

4.4.2 Mekanik Aktivasyon

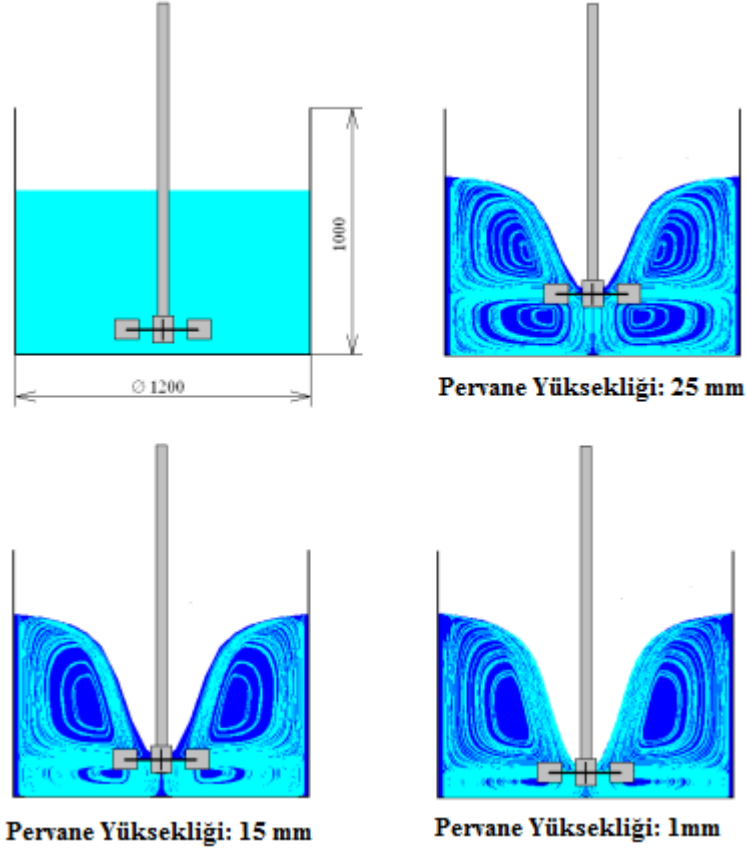
Mekanik aktivasyon şartlarının optimizasyonu için ilk olarak süspansiyon hacmi ve karıştırma pervanesi yüksekliği optimize edilmiş ve 500, 750 ve 1000 ml hacimli karıştırma tankında 1, 15 ve 25 mm pervane yüksekliklerinde gerçekleştirilen mekanik aktivasyonun modellenmesi sırasıyla Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilmiştir. Süspansiyon hacmi ve bıçak yüksekliğinin optimizasyonunda, optimizasyon kriteri olarak sepiyolit süspansiyonlarının viskozitesi esas alınmıştır.



Şekil 4.39 500 ml hacimli süspansiyonda farklı akış rejimleri.

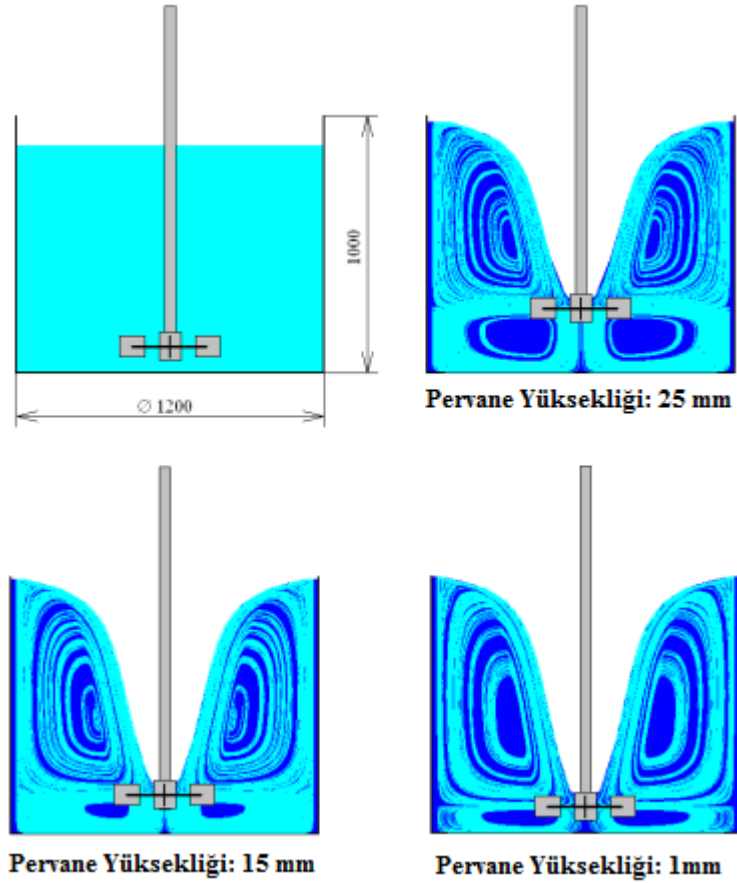
Şekil 4.39’da her üç bıçak yüksekliğindeki durumda da bir akışkan tabakasının yakınındaki bir katı yüzey yada akışkan tabakasından daha yavaş yada daha hızlı hareket etmesi sonucu kayma gerilmeleri oluşmuştur. Oluşan kayma gerilmeleri sepiyolit demetlerinin açılarak tekil liflere dönüşerek türbülans akıştan laminer akışa geçilmesini sağlamıştır. Laminer akışta kayma gerilmeleri akışkanın viskozitesinin ve hız değişiminin ya da kayma oranının çarpımına eşittir. Laminer akış şartları altında akışkandaki kayma kuvvetleri atalet kuvvetlerinden daha büyüktür. Türbülanslı akışta atalet kuvvetleri viskoz kuvvetlerden daha büyüktür. Hareket eden bir akışkan bir katı yüzey yada farklı yöndeki bir başka akışkan ile karşılaşana kadar hareketini koruyarak devam eder. Momentum transferi sırasında kuvvetler açığa çıkar. Pervanelerin üzerinde etkili olan kuvvetler burada oluşan türbülans yoğunluğu ve türbülans skalasına bağlı olarak düzensiz bir şekilde değişir (Baştürk 2004). Şekil 4.39’da 15 mm bıçak yüksekliğinde akış modelinin yüksek kesme kuvveti oluşturduğu ve süspansiyon içerisindeki akış rejiminin homojen olduğu belirlenmiş süspansiyonun

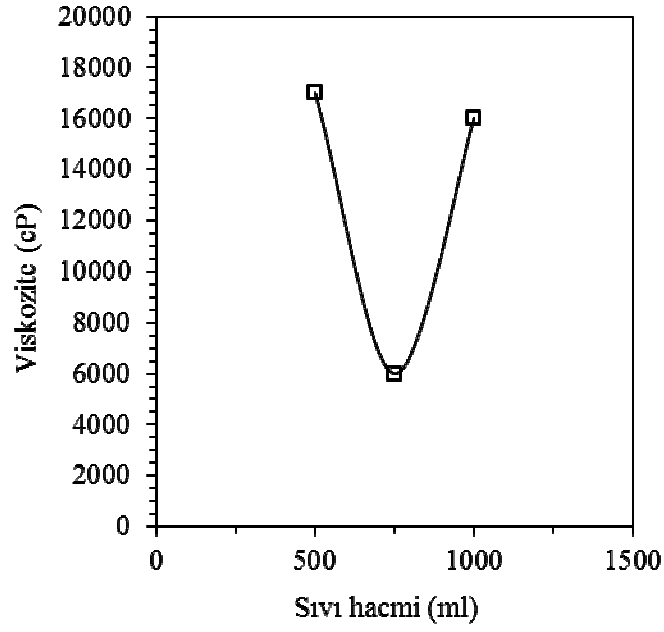
hacmi 750 ml'ye çıkarıldığında oluşan türbülans akımının gücü zayıflamış, artan kütle ile daha büyük bir atalet kuvveti oluşmuştur (Şekil 4.40).



Şekil 4.40 750 ml süspansiyon hacminde farklı akış rejimleri.

Hacmi 1000 ml olan süspansiyonda ise hacim artışı nedeniyle çevresel hızda bir düşüş meydana geldiğinden istenen kesme kuvveti oluşturulamamış, akış rejiminin negatif yönde değiştiği gözlenmiştir (Şekil 4.41).

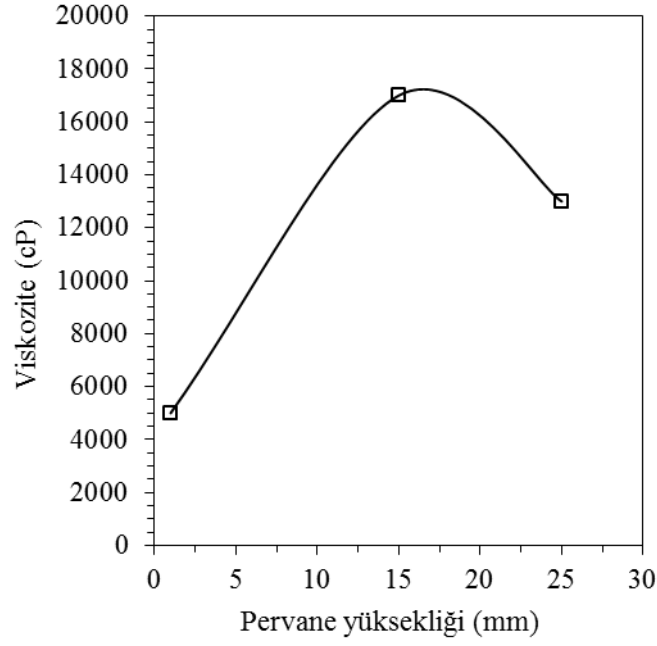




Şekil 4.42 Süspansiyon hacminin viskoziteye etkisi.

Şekil 4.43’de ise, en iyi viskozite veren süspansiyon hacminde (500 ml) pervane yüksekliğinin viskoziteye etkisi verilmiştir. Pervane yüksekliği artışına bağlı olarak viskozitenin arttığı, ancak 15 mm yükseklikten itibaren viskozitenin düştüğü görülmektedir. 1 mm pervane yüksekliğinde süspansiyon çok fazla tank çeperine yapışarak homojenizasyon bozulmakta, 25 mm pervane yüksekliğinde ise yeterli dispersiyon sağlanamamaktadır. En yüksek viskozitenin elde edildiği pervane yüksekliği (15 mm) optimum yükseklik olarak alınmıştır.

Sonuç olarak; en iyi viskoziteyi veren 15 mm bıçak yüksekliği ve 500 ml süspansiyon hacmi optimum olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.43 Pervane yüksekliğinin viskoziteye etkisi.

4.4.3 Lif Açma İçin Regresyon Modeli

Viskozite için hazırlanan regresyon modeli, SPSS 17.0 paket programı yardımıyla değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.17’de modelin özeti görülmektedir.

Çizelge 4.17 Mekanik aktivasyon regresyon modeli.

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Standart Sapma	Durbin-Watson
1	0,933 ^a	0,87	0,823	2973,5	1,899

Viskozite: Bağımlı değişken.

R’nin pozitif olması değişkenlerden birinin artarken diğerinin de arttığını; R’nin negatif olması değişkenlerden birinin artarken diğerinin azaldığını; R=0 olması değişkenler arasında bir ilişkinin olmadığı anlamına gelmektedir.

Tabloda R=0,760 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, +1’e yakın olduğundan bağımlı (Viskozite) değişkenle bağımsız değişken (Kati oranı, Hız 1, Süre 1, Hız 2 ve Süre 2) arasındaki ilişki kuvvetlidir.

Durbin Watson testi sonucunun 2,00'ye yakın olması, teste maruz değerlerin güvenilirliği açısından önemlidir. Durbin-Watson değeri burada 1,899 olarak belirlenmiş olup, anılan değere yakındır. Modelde bağımlı ve bağımsız değişken sayıları ile deney gözlem sayıları yeterli ve güvenilir görülmektedir.

Modelde $R^2=0,870$, düzeltilmiş $R^2=0,823$ olup bağımsız değişken durumundaki “Katı oranı”, “Süre 1”, “Hız 1”, “Süre 2” ve “Hız 2”; bağımlı değişken durumundaki viskozite değişkenine ait varyansı %82,3 oranında açıklamaktadır. Buna göre iyi düzeyde korelasyon bulunmaktadır.

Anova tablosunda (Çizelge 4.18) bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile ilişki gücü incelendiğinde, yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki görülmektedir.

Çizelge 4.18 Mekanik aktivasyon için Anova tablosu.

Model		Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareli Ortalama	F	Anlamlılık Düzeyi
1	Regrasyon	8,263 E ⁸	5	1,653 E ⁸	18,691	0,000 ^a
	Fark	1,238 E ⁸	14	8841765,3	-	-
	Toplam	9,501 E ⁸	19	-	-	-

Çizelge 4.19 Mekanik aktivasyon için regresyon modeli.

Viskozite				T	Anlamlılık Düzeyi (p)
	Katsayı	Standart Sapma	Beta		
Sabit Sayı	-24470	7761,545	-	-3,153	0,007
Katı Oranı	5282,02	594,702	0,857	8,882	0
Süre 1	736,364	381,258	0,23	1,931	0,074
Hız 1	0,164	0,323	0,061	0,51	0,618
Süre 2	1127,83	382,333	0,352	2,95	0,011
Hız 2	-0,72	0,292	-0,03	-0,246	0,809

Viskozite: Bağımlı değişken

Çizelge 4.19’de yer alan veriler dikkate alınarak regresyon modeli Eşitlik 4.3’de formüle edilmiştir.

$$X_{\text{viskozite}} = -24470,3 + 5282,02X_{\text{Katı oranı}} + 736,364X_{\text{Süre 1}} + 0,164X_{\text{Hız 1}} + 1127,83X_{\text{Süre 2}} - 0,72X_{\text{Hız 2}} \quad (4.3)$$

Modelde; katı oranı, süre 1, hız 1, ve süre 2’nin sonuca katkıları pozitif yönlüdür. Yani bu değerlerin artması, viskozite değerinin artması için önemli bir ipucudur.

Farklı iki hızda çalışılmasındaki amaç, süspansiyonun düşük viskoziteden başlaması yani türbülans akış rejimi şartlarından viskozitenin artmasıyla laminar akış şartlarına geçilmesidir. Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranıdır. Reynolds sayısı büyüdükçe akış türbülanslı hale gelir. Atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranının küçük olduğu durumlarda akış laminardır (Ertürk 2012). Çizelge 4.20’de süspansiyonun viskozitede kazanmadan ve viskozite kazandıktan sonraki mekanik aktivasyona bağlı akış rejimlerini göstermektedir.

Çizelge 4.20 Sepiyolit süspansiyonunda mekanik aktivasyonla oluşan akış rejimleri.

Düşük Viskozitede Karıştırma Mekanizması	Yüksek Viskozitede Karıştırma Mekanizması
Türbülans akış şartları	Laminar akış şartları
Taşınım (konvektif) mekanizma hakim	Taşınım (Konvektif) mekanizma zayıf
Tane boyutu –2mm	Tane boyutu -100µm
Viskoz direnç düşük	Viskoz direnç yüksek
Tane hızı yüksek	Tane hızı düşük
Basınç direnci yüksek	Basınç direnci yok
$1000 < Re < 2,5 \times 10^5$	$Re < 1$

Çınar (2005), sepiyolit süspansiyonlarının %3 gibi nispeten düşük katı konsantrasyonlarında, sayısız lif taneciklerinin su içinde dağılması sonucu yüksek katı konsantrasyonlu sistemler gibi davrandığını belirlemiştir. Ancak, %3 katı oranında sepiyolit hacminin düşük olması nedeniyle liflerin açılması için gerekli olan kesme kuvvetleri elde edilememektedir. Alvarez (2011)’in belirlediği %6 katı oranı, regresyon modelinde optimum sonuç olarak elde edilmiştir. Neaman ve Singer

(2000)'in tespit ettiği gibi, yüksek hız artışı ile sepiyolit süspansiyonunun viskozitesi lineer bir şekilde artmış, ancak yüksek hız ve uzun süreli uygulamalarda (Can 2008) liflerin kırılması sonucu viskozitenin düştüğü görülmüştür.

Çizelge 4.21 Regrasyon analizine ait optimum deney sonuçları.

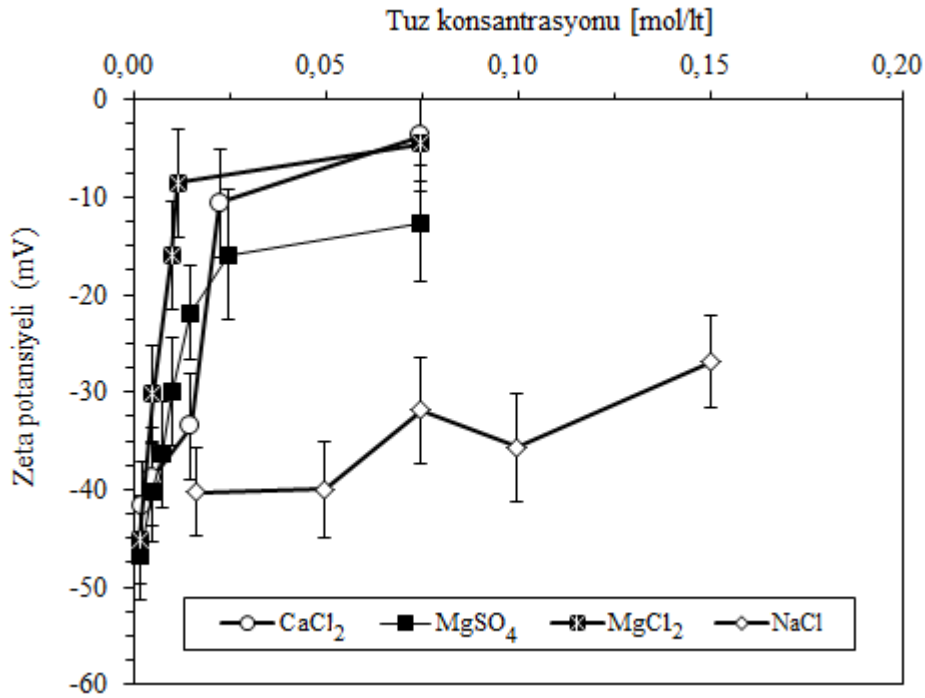
Parametre	Değer
Katı oranı (%)	6
Süre 1 (dk)	2
Karıştırma hızı 1 (D/D)	1.000
Süre 2 (dk)	8
Karıştırma hızı 2 (D/D)	16.000

Değişken devirli yüksek hızlı karıştırıcı Çizelge 4.21'de verilen optimum parametrelerde çalıştırıldığında, tüvenan kahverengi sepiyolit süspansiyonu ile 20.000 cP viskozite elde edilmiştir.

Beyaz sepiyolit süspansiyonlarının lif açma tekniğinde kahverengi sepiyolit süspansiyonlarında elde edilen optimum değerler esas alınmış, beyaz sepiyolit daha düşük sepiyolit içeriği nedeniyle %10 katı oranında çalışılmıştır.

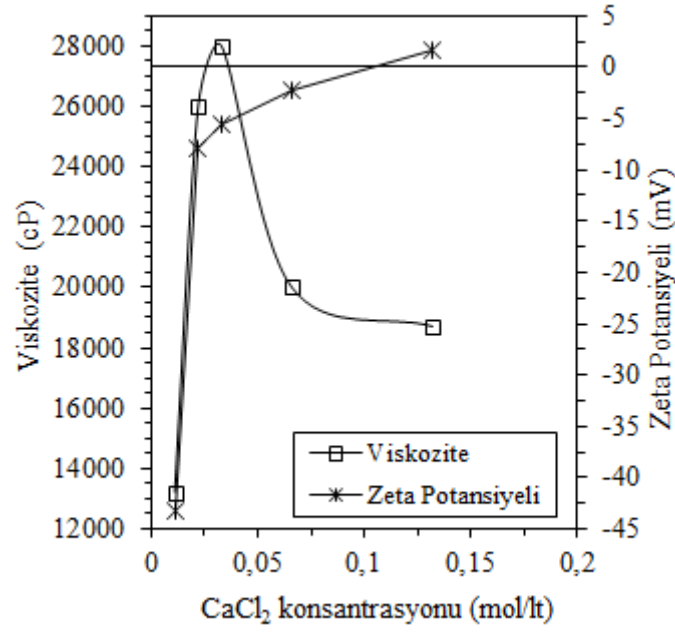
4.4.4 Koagülanların Sepiyolitin Reolojik Özelliklerine Etkisi

Disperse %6'lık sepiyolit süspansiyonun (negatif) yüzey elektrik yükü yüksek olduğundan tekil lifler birbirini itme eğilimindedir. Bu nedenle süspansiyonu hapseden ağ yapı oluşmadığından bireysel fiberler akış altında özgürce hareket ederek düşük viskozite vermektedir (Neaman and Singer 2011). Dispersan etkisiyle yüksek stabilite sergileyen sepiyolit süspansiyonlarına tek ve çift değerlikli metal tuzların (NaCl, CaCl₂, MgCl₂ ve MgSO₄) etkisi araştırılmış, en yüksek viskozite veren koagülan tipi ve konsantrasyonu optimum olarak kabul edilmiştir.



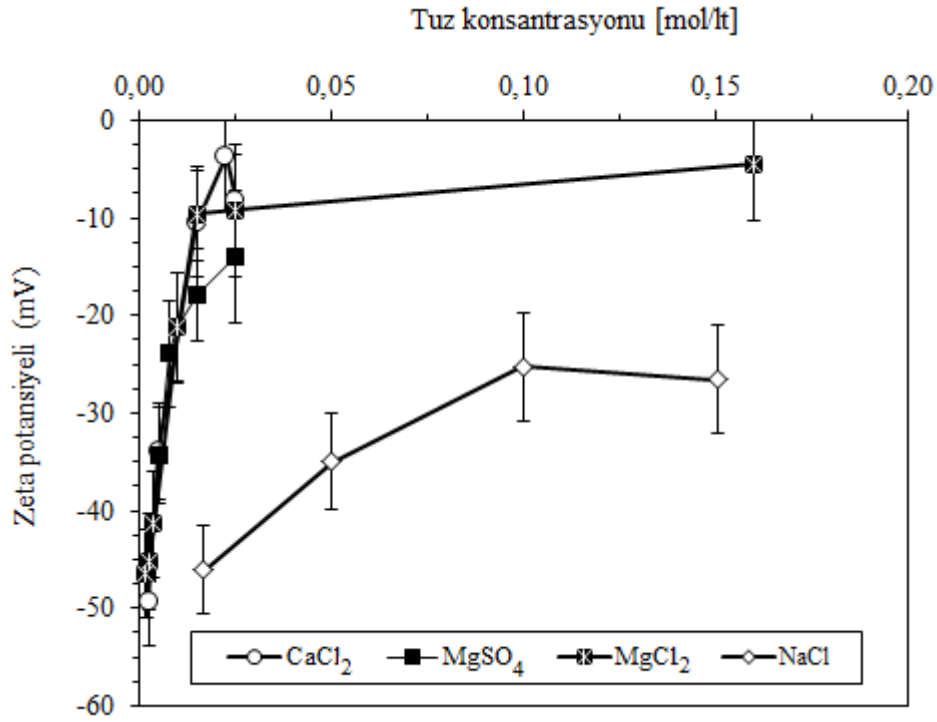
Şekil 4.44 Kahverengi sepiyolit süspansiyonuna iki ve tek değerlikli metal tuzların etkisi.

Kahverengi sepiyolit süspansiyonun optimum koagülasyon için düşük negatif yüzey yükü veren elektrolit konsantrasyonu seçilmiştir. Kullanılan Na^+ , Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonlarının kristal çapları sırasıyla 0,98, 0,65 ve 0,94 Å olup, bu iyonların hidrate çapları 3,58, 4,28 ve 4,12 Å'dur (Mart vd. 2001). İyonik çapları ne kadar büyük olursa olsun, elektronegativitesi en az olan iyonlar çift tabakaya daha kolay girebilmektedir. Ayrıca sepiyolit yüzey yükü, düşük konsantrasyonlardaki iyon miktarı ve türü ile değişmemekte; katyonların elektriksel çift tabakayı bastırıcı etkisi belirli bir iyon konsantrasyonundan sonra başlamaktadır. Bu etki en belirgin olarak Ca^{+2} varlığında görülmektedir. Çelik (2006), sepiyolit süspansiyonuna Ca^{+2} ilavesinin sepiyolit yüzey elektrik yükünü daha pozitif yaptığı, hatta koagülasyon şartlarının oluştuğunu belirlemiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da, düşük konsantrasyonlarda Ca^{+2} iyonu ile düşük negatif yük veren sepiyolit süspansiyonları elde edilmiştir. Şekil 4.44'de 0,075 mol/l CaCl_2 konsantrasyonunda kahverengi sepiyolit yüzey elektrik yükü -3,68 mV bulunmuş, bu konsantrasyonda optimum viskoziteye ulaşmak için farklı CaCl_2 konsantrasyonlarında yapılan viskozite testi sonuçları Şekil 4.45'de verilmiştir.



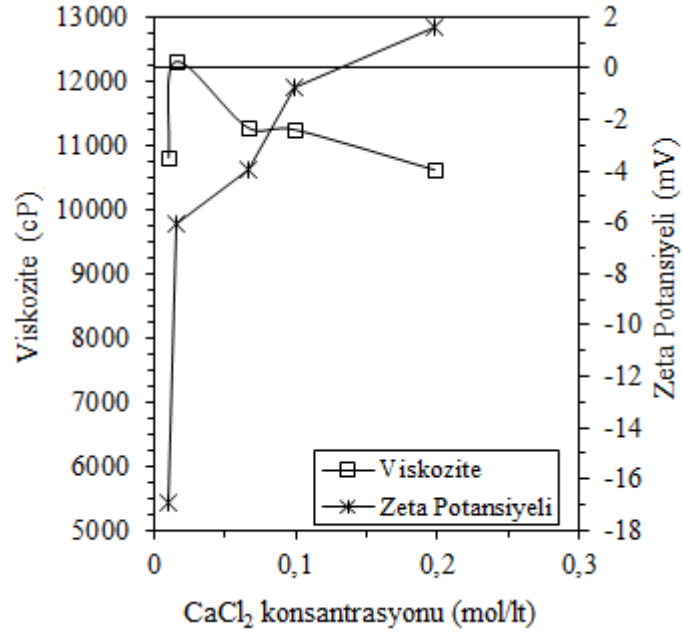
Şekil 4.45 Kahverengi sepiyolit süspansiyonunun viskozitesine CaCl₂'ün etkisi.

0,033 mol/lit CaCl₂ konsantrasyonunda kahverengi sepiyolit en yüksek viskozite (28.000 cP) verdiği noktada kahverengi sepiyolit zeta potansiyeli -5,6 mV'dur (Şekil 4.45). Bu durum, CaCl₂ katkısıyla sepiyolit partikülerine ait elektriksel şarjları düşürdüğünü ve/veya çift tabakanın sıkıştırıldığını göstermekte ve plastik viskoziteyi ve Bingham sünme değerini arttırmaktadır. Böylece elektrostatik itme kuvvetleri etkinliğini yitirip yerini van der Waals çekim kuvvetlerine bırakmakta ve sepiyolit fiberleri mikro agrega formunda bir araya gelerek süspansiyonu hapseden bir ağ yapı (network) oluşturmaktadır (Neaman and Singer 2000, Mart vd. 2003). CaCl₂ konsantrasyonunda artış sepiyolit zeta potansiyelini daha da düşürmekte, bu durum tekil liflerin çok fazla aglomera olmasına neden olduğundan viskozite azalmaktadır.



Şekil 4.46 Beyaz sepiyolit süspansiyonuna iki ve tek değerlikli metal tuzların etkisi.

Şekil 4.46’da, tek ve çift değerlikli metal tuzların (NaCl, CaCl₂, MgCl₂ ve MgSO₄) beyaz sepiyolit zeta potansiyeline etkisi incelenmiş ve 0,022 mol/l CaCl₂ konsantrasyonunda en düşük zeta potansiyeli değerine (-3,68 mV) ulaşılmış, CaCl₂’nin sepiyolit viskozitesine olan etkisi ise Şekil 4.47’de verilmiştir. En yüksek viskozite (12.306 cp), 0,015 mol/l CaCl₂ konsantrasyonu ve -6,03 mV’luk yüzey elektrik yükünde elde edilmiştir. Beyaz sepiyolit kahverengi sepiyolite nazaran daha düşük viskozite vermesi içerisindeki safsızlık oranına atfedilir. Bu safsızlıkların dolomit kökenli olması nedeniyle, yüksek viskozite veren beyaz sepiyolit için ihtiyaç duyulan CaCl₂ konsantrasyonu kahverengi sepiyolit yarı kadardır.



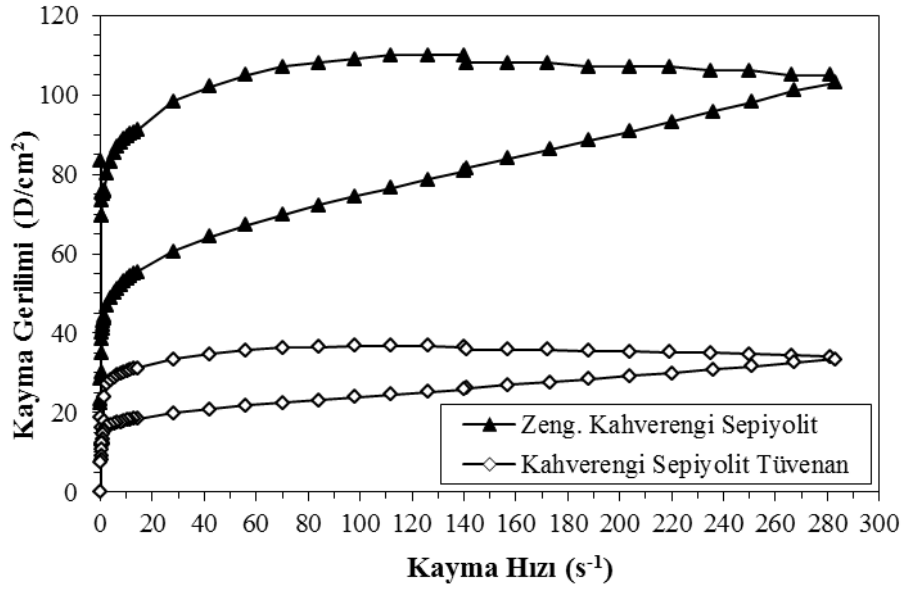
Şekil 4.47 Beyaz sepiyolit süspansiyonun viskozitesine CaCl₂'ün etkisi.

4.4.5 Lifleri Açılmış Sepiyolitlerle Oluşturulan Süspansiyonların Reolojisi

Lifleri açılmış sepiyolit, sallantılı masa konsantrasyonlarının mekanik aktivasyona tabi tutulmasıyla elde edilen üründür. Bu ürünlerin verdiği yüksek viskoziteli süspansiyonların reolojik özellikleri aşağıda sunulmuştur:

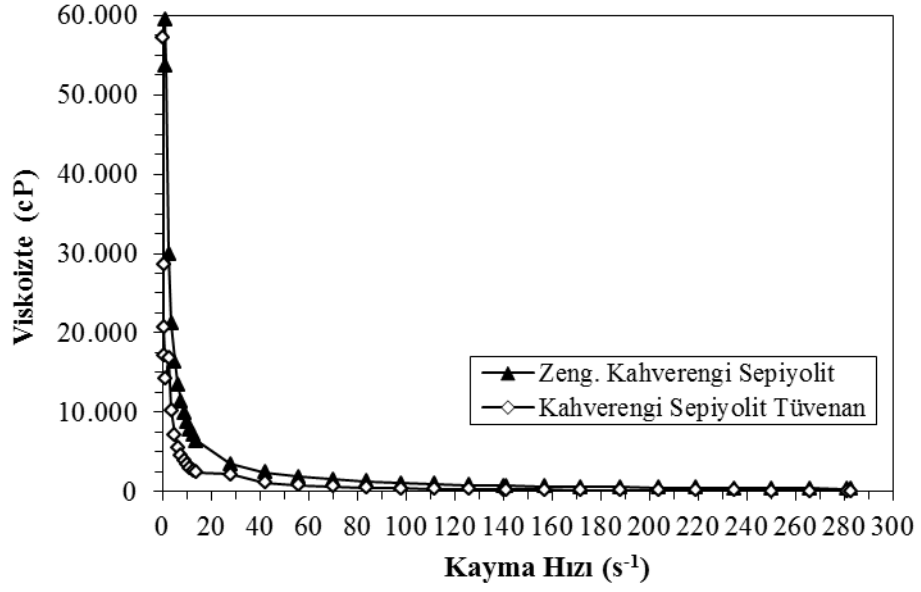
4.4.5.1 Kahverengi Sepiyolit Süspansiyonlarının Reolojik Özellikleri

%6 katı oranındaki tüvenan ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolit numunesinin DDYH karıştırıcısı ile reolojisi geliştirildikten sonra viskozite ölçümleri yapılmış ve kayma hızına bağlı kayma gerilimi reogramı Şekil 4.48'de verilmiştir.



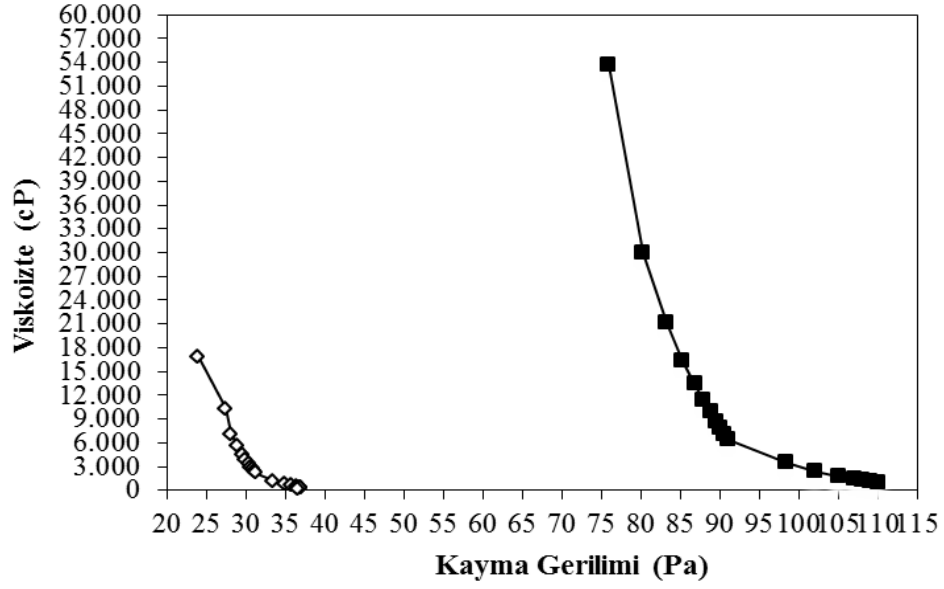
Şekil 4.48 Kahverengi sepiyolit süspansiyonlarının kayma gerilimi-kayma hızı reogramı ve tiksotropisi.

Kahverengi sepiyolitın kimyasal ve mineralojik analizlerinden hareketle, beyaz sepiyolite nazaran daha yüksek sepiyolit oranına sahip olduğu bilinmekle birlikte, Şekil 4.48'de gösterilen reogramda, zenginleştirilmiş sepiyolitın tüvenan sepiyolite göre daha iyi bir reolojik özellik sergilediği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, zenginleştirme işleminin kahverengi sepiyolitte daha etkili olduğu ve sepiyolit oranındaki artışla birlikte artan ve azalan kayma hızları arasındaki alanın büyüdüğü görülmektedir. Bu durum aynı zamanda, sepiyolitın tiksotropiklik özelliğinin tipik bir göstergesidir. Nitekim, Şekil 4.49'da kayma gerilimine karşı elde edilen viskozite değerleri; kahverengi sepiyolitın tiksotropik özelliğinin yüksek olduğuna ve zenginleşme işlemi sayesinde her kayma gerilimi değerinde tüvenan sepiyolite göre daha yüksek viskozite değerlerine ulaşabildiğine işaret etmektedir.



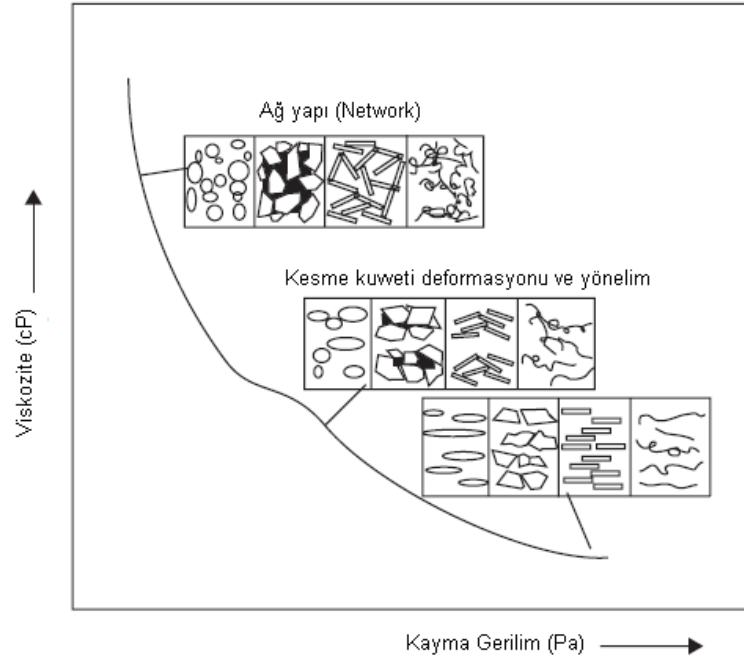
Şekil 4.49 Kahverengi sepiyolit süspansiyonun görünür viskozite-kayma hızı reogramı.

Sepiyolit içeren koloidal sistemler, düzensiz morfoloji ve farklı boyutlarda partiküller içerir. Sistem dengeye ulaştığında, bu yapılar minimum enerji düzeyine geçip rastgele yerleşirler. Haricen uygulanan düşük kuvvetlerde, sistem deformasyona karşı yüksek viskozite ve kayma direnciyle karşı koymaya çalışır. Kayma geriliminin aşamalı olarak artırılmasıyla koloidal sistemdeki partiküller, uygulanan kuvvete kendilerini hizalayarak veya akış yönü boyunca deforme olarak cevap verir (Chhabra and Rhicharson 2008). Süspansiyonu hapseden ağ yapı bozulur ve lifler kuvvet doğrultusunda paralel dizilir. Bütün bu mikro yapısal değişimler sistemdeki toplu akışı kolaylaştırır. Bu durum, artan kayma gerilimine viskozitedeki düşüğe işaret eder (Şekil 4.50).

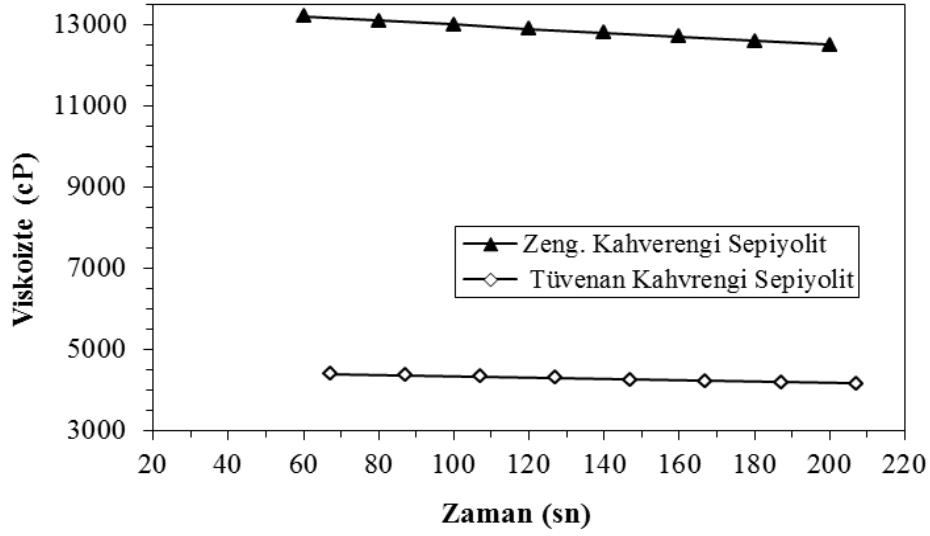


Şekil 4.50 Tüvenan ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolit süspansiyonunda kayma gerilimine bağlı viskozite reogramı.

Şekil 4.51, kompleks sistemlerin kayma gerilimi etkisinde karşılaşılabilecek farklı mikro yapıları ve kayma/akma durumlarında modifiye durumları göstermektedir. Zamana bağlı viskozite değişimleri ise Şekil 4.52’de gösterilmiştir.



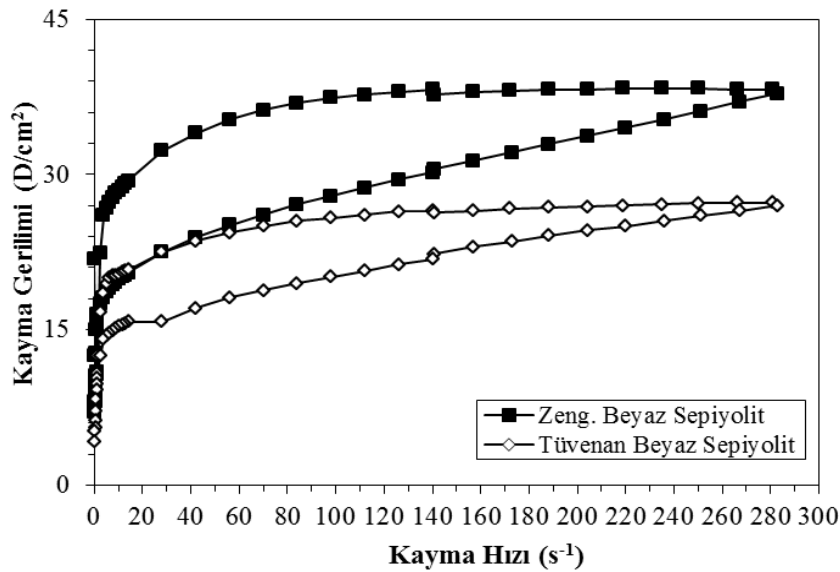
Şekil 4.51 Farklı morfolojideki partiküllerin viskozite – kayma gerilimi.



Şekil 4.52 Tüvenan ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolit süspansiyonlarının zaman bağılı viskozite değişimleri.

4.4.5.2 Beyaz Sepiyolit Süspansiyonlarının Reolojik Özellikleri

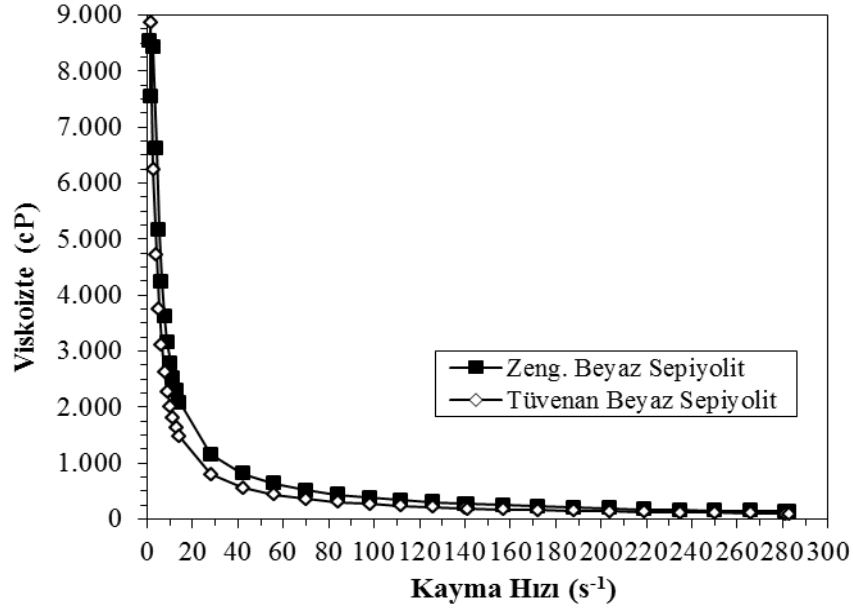
%10 katı oranındaki tüvenan ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolit numunesinin değişken devirli yüksek hızlı karıştırıcı (DDYH) ile reolojisi geliştirildikten sonra viskozite ölçümleri yapılmış ve kayma geriliminin kayma hızına bağlı reogramı Şekil 4.53’de sunulmuştur.



Şekil 4.53 Beyaz sepiyolit süspansiyonunun kayma gerilimi-kayma hızı reogramı ve tiksotropiklik derecesi.

Şekil 4.53’de görüldüğü gibi, tüvenan beyaz sepiyolit tiktotropi derecesi düşüktür. Bunun nedeni, bünyede bulunan organik ve inorganik safsızlıklardır. Nitekim, zenginleştirme ile sepiyolit saflık derecesi arttığında, yani söz konusu safsızlıklar bünyeden uzaklaştırıldığında, zenginleştirilmiş beyaz sepiyolit tiktotropi özelliğinde pozitif bir gelişme olduğu görülmektedir. Sepiyolit süspansiyonlarının reolojik özellikleri partikül- partikül etkileşimlerine bağlı olup, bu etkileşimler non-newtonian akışa neden olurken süspansiyonun viskozitesi de akış hızına bağlı olarak değişir (Galan and Singer 2011) ve kil süspansiyonları genellikle tiktotropi adı verilen zamana bağlı bir akış davranışı gösterirler (Çelik 2006). Süspansiyonun karıştırılmasıyla akma gerilimi ve viskozite düşer, fakat bir süre bekletildiğinde yine eski haline döner. Yoğun kil süspansiyonlarında bu etkinin görülmesinin sebebi, partiküllerin oluşturduğu ağ yapının uygulanan kuvvet altında bozulmasıdır. Yeniden partiküllerin birleşerek üç boyutlu ağ yapının oluşması için belirli bir zamana ihtiyaç vardır (Mart 2002, Lucham and Rossi 1999, Barnes 1997, Murray 1975).

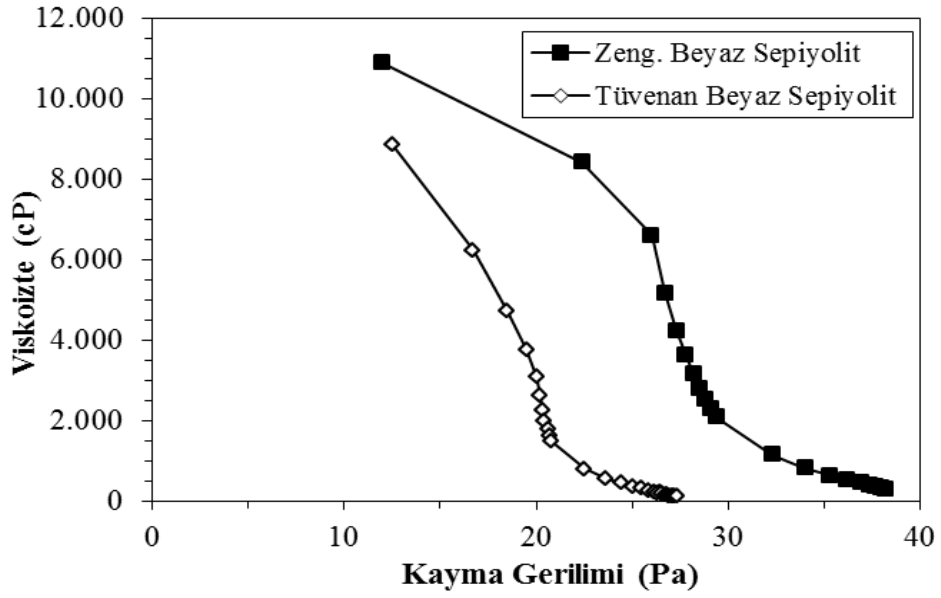
Şekil 4.54’de, beyaz sepiyolit ile oluşturulan süspansiyonun görünür viskozite değerlerinin düşük kayma hızlarında yüksek, yüksek kayma hızlarında düştüğü ve nispeten yüksek kayma hızlarında ($15s^{-1}$) ise stabil kaldığı görülmektedir. Diğer yandan, zamana bağlı viskozite değerleri de kısa sürede dengeye ulaşmaktadır. Viskozitenin zamana bağlı olarak azalması, beyaz sepiyolit tiktotropi özelliğinin olduğuna işaret etmekte, zenginleştirilmiş sepiyolit süspansiyonun viskozitesindeki artış ise zenginleştirme işleminin başarısını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.54 Beyaz sepiyolit süspansiyonlarının görünür viskozite-kayma hızı reogramı.

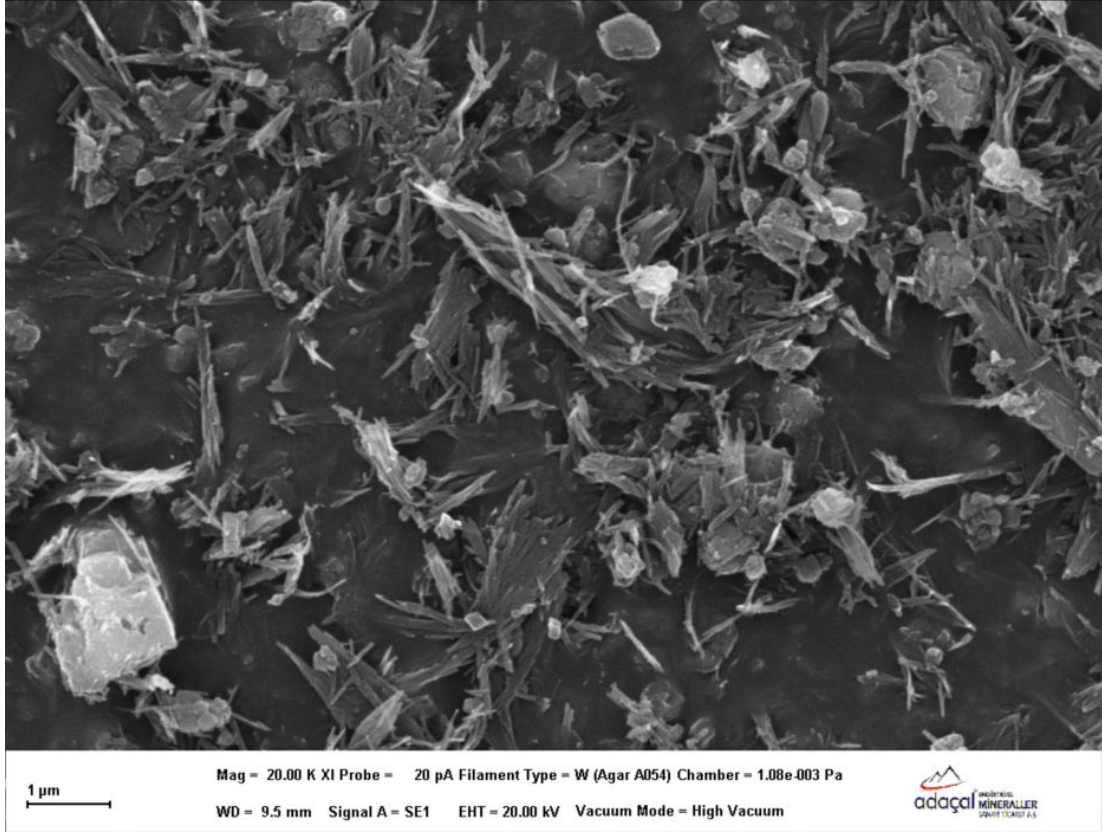
Şekil 4.54’de, beyaz sepiyolit süspansiyonun pseudoplastiklik özelliğinin bir sonucu olarak; kayma hızı oranındaki artış, viskozitede aşamalı bir düşüşe neden olmuştur (Olphen 1977). Koloidal süspansiyonların pseudoplastik akışı Bingham modeli ile tanımlanabilir (Güven 1992). Bu modele göre, akış eğrisinin lineer kısmının eğimi “plastik viskozite “olarak anılır ve eğrinin lineer kısmının gerilme ile kesişim noktası “Bingham sünmesi” olarak adlandırılır (Galan and Singer 2011).

Süspansiyonun düşük viskozite ve kayma gerilimi sergilemesi nedeniyle tüvenan sepiyolit süspansiyonu içerisindeki liflerin kuvvetli ağ yapı (network) oluşturamadığı tespit edilmiştir. Zenginleştirilmiş sepiyolit süspansiyonun viskozite ve kayma gerilimi, tüvenan sepiyolit süspansiyonundan daha yüksektir (Şekil 4.55).



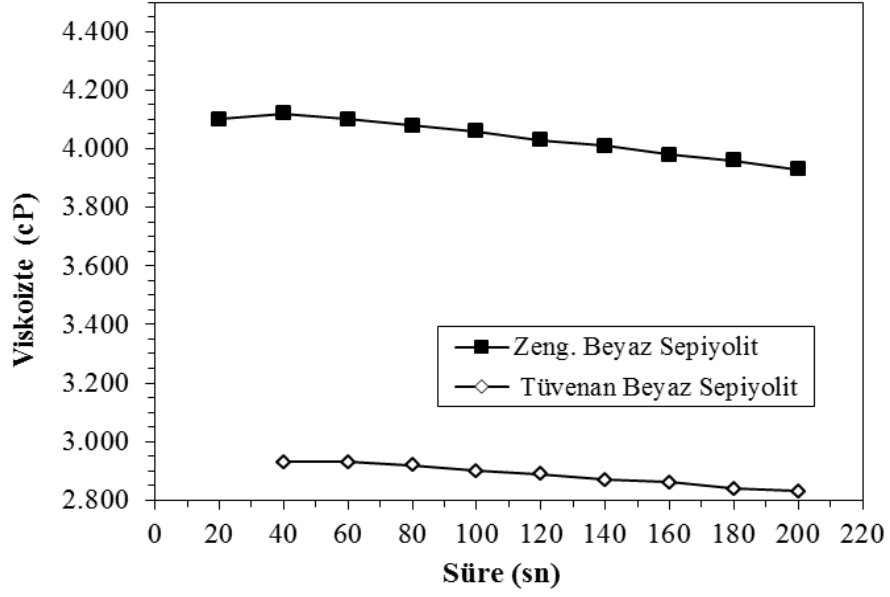
Şekil 4.55 Tüvenan ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolit süspansiyonunda artan kayma gerilimine bağlı viskozite reogramı.

Karıştırma esnasında mekanik enerjinin bir bölümü safsızlıkların ufalanmasına harcadığından tüvenan sepiyolit süspansiyonun bünyesindeki safsızlıkların, mekanik aktivasyon işlemi olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Bu durumda liflerin açılması için gerekli olan enerjide kayıplar yaşandığından, lif açma prosesinin verimi düşmekte ve etkin bir lif açma işlemi gerçekleştirilememektedir. Nitekim, yeterli enerjinin süspansiyona aktarılması için gerekli olan süre tanındığında, liflerin açıldığı gözlenmektedir (Şekil 4.56). Ancak, hazırlanan süspansiyonun hacimce belirli kısmını safsızlıklar oluşturulduğundan viskozitedeki artış sınırlı kalmaktadır.



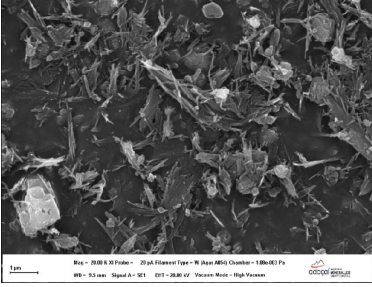
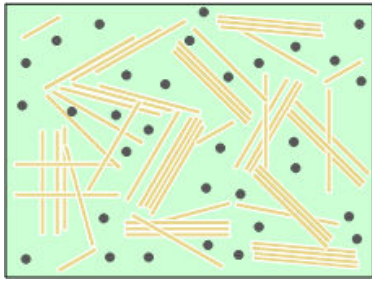
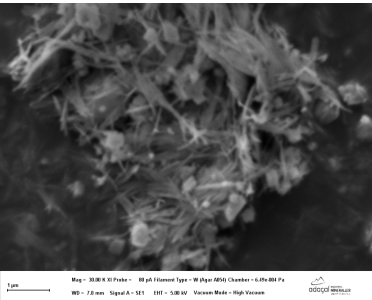
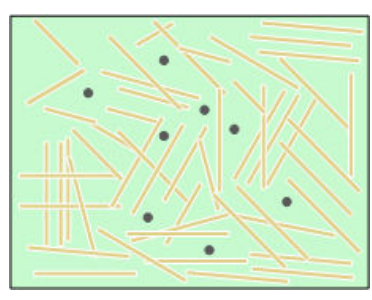
Şekil 4.56 Tüvenan beyaz sepiyolit.

Görünür viskozite değerlerinin düşük kayma hızlarında ani düşüşü ve zamanla viskozitenin azalması (Şekil 4.57), sepiyolit süspansiyonlarının tiksotropi özelliğine sahip olduğuna işaret etmektedir. Reogramlarda gözlenen alanların büyüklüğü tiksotropiklik derecesi için bir indikatördür. Çizelge 4.22’de tüvenan ve lifleri açılmış konsantre sepiyolit ürünlerine ait viskozite değerleri, SEM görünümü ve sepiyolitik liflerin şematik görünümüne yer verilmiştir.

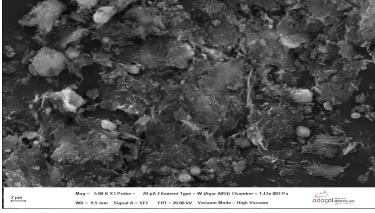
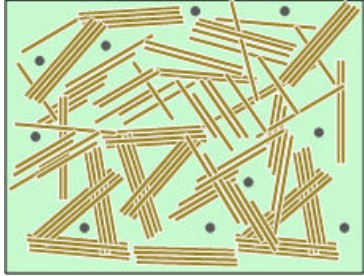
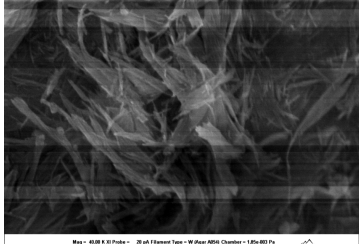



Şekil 4.57 Tüvenan ve zenginleştirilmiş beyaz sepiyolit süspansiyonlarının zamana bağlı viskozite değişimleri.

Çizelge 4.22 Tüvenan ve lifleri açılmış konsantre sepiyolit ürünleri.

Ürünler	Viskozite R3 (cP)	SEM Görünümü	Şematik Görünüm
Tüvenan Beyaz Sepiyolit	10.000		
Zeng. Beyaz Sepiyolit	19.000		

Çizelge 4.22 (Devam) Tüvenan ve lifleri açılmış konsantre sepiyolit ürünleri.

<p>Tüvenan Kahverengi Sepiyolit</p>	<p>20.000</p>		
<p>Zeng. Kahverengi Sepiyolit</p>	<p>52.000</p>		

4.5 Beton Testleri

4.5.1 Agregaya Uygulanan Karakterizasyon Testleri

4.5.1.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı (Granülometrik birleşimi)

Agreganın tane boyut dağılımı belirlenmek amacıyla elek analizi yapılmış, iri, ince ve çok ince agregaların boyut dağılımları sırasıyla (Çizelge 4.23, 4.24 ve 4.25).

Çizelge 4.23 22,4/11,2 mm tane boyutlarında kırmataş agregasının tane büyüklüğü dağılımı değeri.

Elek Boyutu	Numune Adı: 22,4/11,2 mm		
Elek No	Küm. Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
31,50 mm	-	-	100
22,40 mm	158,8	1,99	100
16,00 mm	4198,1	52,8	98,1
11,20 mm	3550,2	44,65	45,21
8,00 mm	44,4	0,56	0,56
Toplam	7951,5	100	

Çizelge 4.24 11,2/4 mm tane boyutlarında kırmataş agregasının tane büyüklüğü dağılımı değeri.

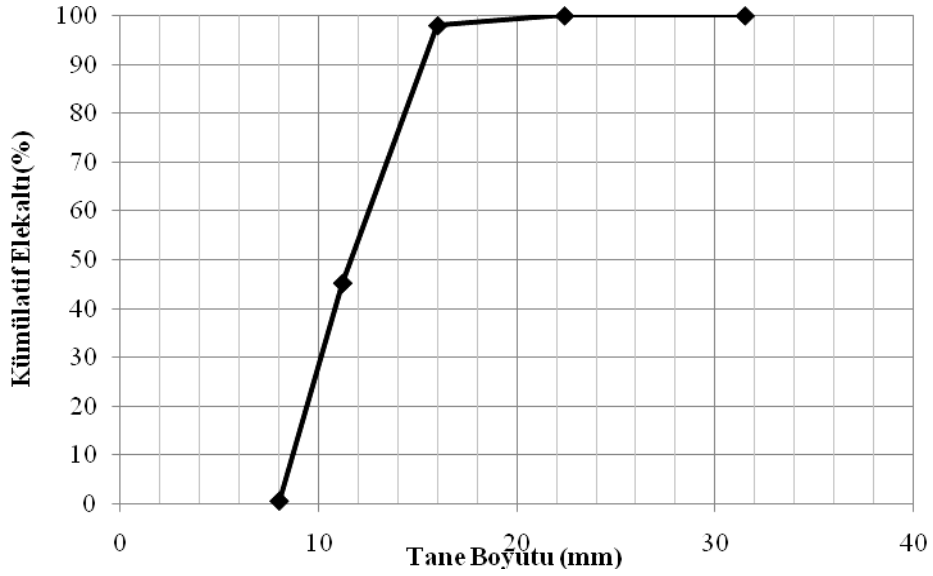
Elek Boyutu	Numune Adı: 11,2/4 mm		
Elek No	Küm. Kalan	Kalan	Geçen
	(gr)	(%)	(%)
22,40 mm	-	0	100
16,00 mm	-	0	100
11,20 mm	336,3	8,48	100
8,00 mm	1023,7	25,82	91,52
5,60 mm	1516,1	38,23	65,7
4,00 mm	992,4	25,03	27,47
2,00 mm	79,4	2	2,44
1,00 mm	1,3	0,03	0,44
0,50 mm	0,8	0,02	0,41
0,25 mm	0,6	0,01	0,39
0,063 mm	2,4	0,06	0,38
-0,063 mm	12,50	0,32	0,32
Toplam	3965,50	100,00	0

Çizelge 4.25 0/4 mm tane boyutlarında kırmataş agregasının tane büyüklüğü dağılımı değeri.

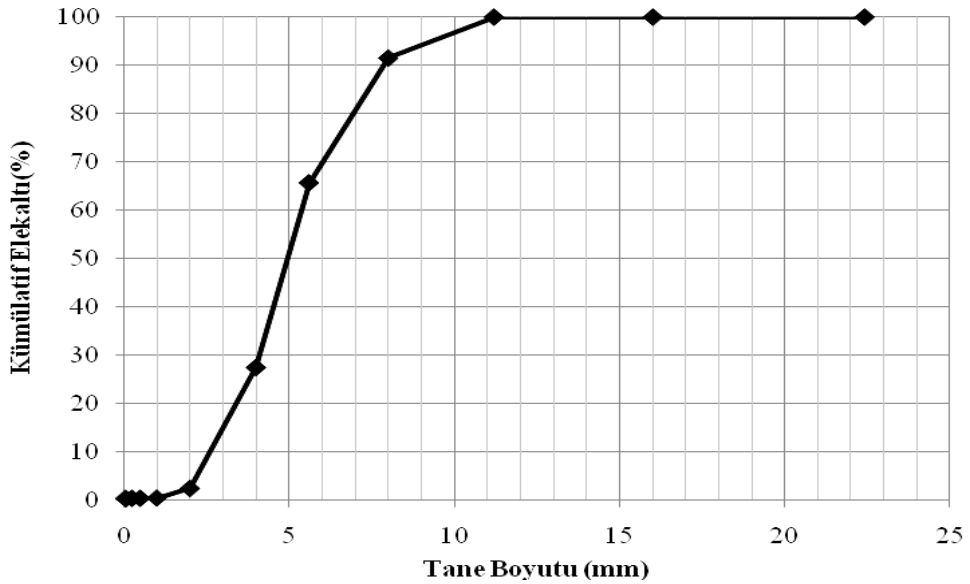
Elek Boyutu	Numune Adı: 4/0 mm		
Elek No	Küm. Kalan	Kalan	Geçen
	(gr)	(%)	(%)
5,60 mm	-	-	100
4,00 mm	310	12,54	100
2,00 mm	1275,9	51,13	87,6
1,00 mm	392,5	15,73	36,45
0,50 mm	148,9	5,97	20,72
0,25 mm	80,9	3,24	14,75
0,063 mm	147,9	5,93	11,51
-0,063 mm	139,20	5,58	5,58
Toplam	2495,30	100,00	

Elek analizi sonucu hazırlanan Çizelgelerden hareketle betonda kullanılacak agreganın en büyük tane boyutu ve her elekten geçen agrega yüzdesi saptanarak granülometri eğrileri çizilmiş ve Şekil 4.58, Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'de verilmiştir.

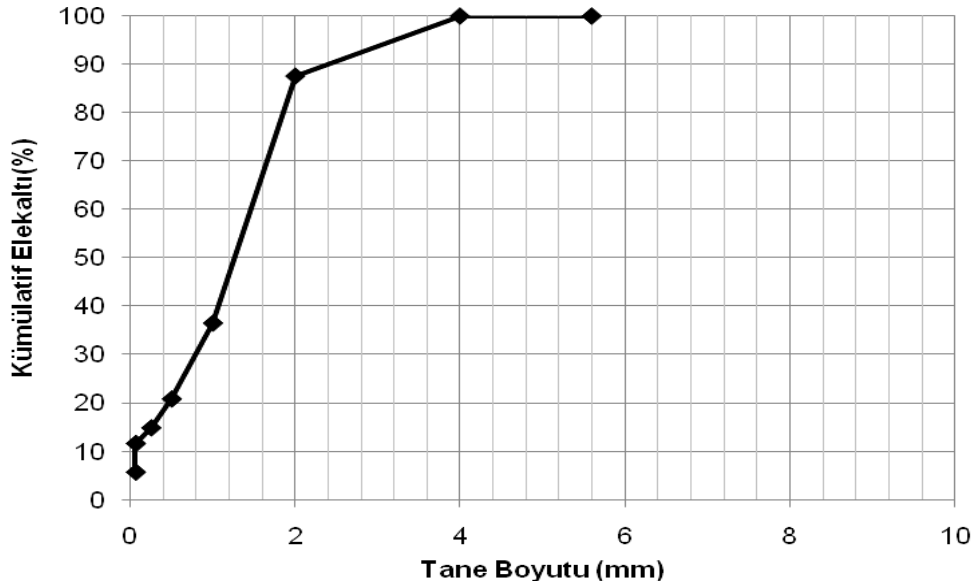
Elek analizi sayesinde agreganın en büyük tane boyutu (d_{mak}) belirlenir. d_{mak} büyük agreganın kullanılması betonun kompasitesini artırır. Aynı zamanda aynı işlenebilme için daha az su kullanılmasını sağlar. Böylece yüksek dayanımlı betonlar üretimi daha ekonomik olacaktır. Agregaların tane büyüklüğünün tayini için yapılan testlerin sonuçlarına göre, çalışma alanından alınan agregalarının betonda kullanılabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 4.58 Kırmetaş agregasına (22,4/11,2 mm) ait granülometri eğrisi.



Şekil 4.59 Kırmetaş agregasına (11,2/4 mm) ait granülometri eğrisi.



Şekil 4.60 Kırmataş agregasına (4/0 mm) ait granülometri eğrisi.

4.5.1.2 İncelik Modülü

Birbirini iki kat olarak takip eden elek setlerinden, elek üzerinde kalan malzemelerin kümülatif %'leri toplamının yüze bölünmesi ile elde edilen değerdir. İncelik modülü hiçbir zaman agreganın granülometrik değerini ifade etmez. Çünkü birçok agrega granülometrisinden elde edilebilecek incelik modülü değerleri aynı olabilir. İncelik modülü, ince agreganın birbirini sarma kabiliyetini gösterir. İncelik modülü azaldıkça kumdaki ince malzemenin miktarı artar. Birim hacimdeki ince malzeme miktarı artacağından çakılı sarma kabiliyeti artar. İncelik modülü arttıkça ince malzeme azalır çakıl artacağından, kumun çakılı sarma oranı artmaktadır. İncelik modülü, $I = 3,29$ olarak bulunmuştur.

4.5.1.3 Çok İnce Malzeme Muhtevası

Kırmataş agregalarının çok ince malzeme muhtevası değeri Çizelge 4.26' da verilmiştir. Deney sonucu, % 3' ten az çıktığı için TS 706 EN 12620' ya göre uygun kabul edilmiştir.

Çizelge 4.26 Kırmataş agregalarının çok ince malzeme muhtevası değeri.

Agrega sınıfı	Tane boyutu (mm)	Sonuç (%)	Kategori
İri agrega	22,4/11,2	0,56	F ₁₀
İri agrega	11,2/4	0,31	F _{1,5}
İnce agrega	4/0	5,58	F _{1,5}

TS 706 EN 12620' ya göre çok ince malzeme, metilen mavisi (MB) deneyine göre de baz alınmıştır.

Çizelge 4.27 Metilen mavisi değerinin tayini.

Açıklama	Sonuç	Birim
0-2 mm' lik deney numunesi kısmının kuru kütlesi	200,3	gr
Kaolinit tarafından (eğer kullanılmışsa) adsorplanan çözelti hacmi	-	ml
İlave edilen boya çözeltisinin toplam miktarı	20	ml
MB değeri	0,99	%

Metilen mavisi değeri Çizelge 4.27'de verilmiştir. İnce maddeler, betonda birçok olumsuzluğa neden olmaktadır. Ancak, son yapılan çalışmalarda ince madde taş tozu ise bu maddenin betonun dayanımını artırdığı eğer kil kökenli ise betonun dayanımını azalttığı belirlenmiştir. Kil mineralleri agrega tanelerinin etrafını sardıklarından dolayı, agrega ile çimento hamuru arasında kalarak aderansı azaltma, betonun prizine veya sertleşmesine etki etme, betonun mukavemetini düşürme, çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açabilme ve donatının korozyona karşı korunmasını (oksitleyici etkisi) azaltma vs. gibi etkilere sahiptir (Baradan 1991). Çizelge 4.27'de metilen mavisi değeri 1,5'ün altında olması nedeniyle TS 706 EN 12620' ya göre kabul edilebilir sınır içerisinde. Özellikle bu çalışmada kullanılacak agreganın metilen mavisi değerinin daha düşük olması, kullanılan sepiyolit çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansın etkisinin belirlenmesinde önemi büyüktür.

4.5.1.4 Tane Şekli Tayini

Agrega araştırmalarında, agrega tanelerinin şeklinin bilinmesi son derece önemlidir. Agregatanelerinin şekli (Çizelge 4.28), beton üretiminde iri agregalar için söz konusu olup, daha çok betonun mukavemeti üzerinde etkisi vardır (Baradan 1991).

Çizelge 4.28 Kırmataş agregalarının şekil indisi değeri.

Di ≤ 2di iken tane büyüklüğü aralığı di/Di	Kütle M₁	Kütle M₂	Şekil indisi % SI= (M₂/M₁)*100	Kategori
(mm)	(g)	(g)	(En yakın tam sayıya)	
4/11,2	1000	147	14,7	SI ₁₅
11,2/22,4	1000	134	13,4	SI ₁₅

Beton karışımında fazlaca bulunan biçimsiz agrega taneleri, güç pompalanma ve sıkıştırma işleminin daha zor gerçekleşmesine neden olmaktadır. Taze betonun en önemli özelliği sayılan işlenebilmeyi; agreganın gradasyonu, en büyük tane boyu, tane şekli ve tanelerin yüzey pürüzlülüğü etkilemektedir (Fookes 1980).

TS 3814 EN 933-4'e uygun olarak tayin edilmiş iri agregaların şekil indisi SI (Şekil indeksi değeri) SI₁₅ kategorisi uygun olduğu gözlenmiştir.

4.5.1.5 Los Angeles Metodu

Bu deney agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığını tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

Çizelge 4.29 Agregaların Los-Angeles katsayısı.

Açıklama	Sonuç	Kategori
1,6 mm'lik elek üzerinde kalan fraksiyon	3.600 gr	LA ₃₀
Los Angeles kat sayısı	30%	

Agregalarda basınç dayanımının tayini için yapılan Los Angeles deneyi sonucundaki parçalanma değeri, tane dayanımı hakkında bilgi vermektedir (Çizelge 4.29). Aşınma dayanımı değeri ne kadar az ise, tanelerin mekanik etkilere karşı dayanımının o derece

yüksek olduğu kabul edilir. İri agregalarda parçalanma direncinin tayini için kullanılan Los Angeles katsayısının %50'den daha az olması istenmektedir.

Parçalanmaya karşı direnç TS EN 1097-2 Los Angeles katsayısı cinsinden LA₃₀ kategorisine uygun olduğu gözlenmiştir

4.5.1.6. Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Testi

Özgül ağırlık, agreganın hacmine karşılık gelen ağırlığıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılmaktadır. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Betonda özgül ağırlığı 2,55 kgf/dm³' ten küçük agreganın seçilmesinde dayanım ve dayanıklılık açısından yarar vardır. Normal agreganın özgül ağırlığının 2,50–2,70 kgf /dm³ arasında olması gerekir. TS EN 1097-6' ya göre uygun olarak hazırlanan deney numunelerinde gerçekleştirilen deneylerde ince ve iri agregalar için özgül ağırlık ve su emme değerleri bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.30, Çizelge 4.31 ve Çizelge 4.32' de sunulmuştur.

Çizelge 4.30 İri agrega (22,4/11,2 mm) özgül ağırlık ve su emme oranı.

Açıklama	Sonuç	Birim
M ₁ : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi	1006,4	gr
M ₂ : Doygun agrega numunesi ihtiva eden, sepetin sudaki görünür kütlesi	1194,6	gr
M ₃ : Boş sepetin sudaki görünür kütlesi	561,7	gr
M ₄ : Etüvde kurumuş malzemenin değişmez kuru ağırlığı	1005,1	gr
δ _w : M ₂ tayin edildiğinde sıcaklıktaki su yoğunluğu	0,9982	Mg/m ³
Görünür tane yoğunluğu	2,69	Mg/m ³
δ _a = δ _w *[M ₄ /[M ₄ -(M ₂ -M ₃)]]		
Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,68	Mg/m ³
δ _{rd} = δ _w * [M ₄ /[M ₁ - (M ₂ -M ₃)]]		
Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,68	Mg/m ³
δ _{ssd} = δ _w * [M ₁ /[M ₁ -(M ₂ -M ₃)]]		
Su emme oranı	0,13	%
WA ₂₄ = [100*(M ₁ -M ₄) / M ₄		

Çizelge 4.31 İri agregası (11,2/4 mm) özgül ağırlık ve su emme oranı.

Açıklama	Sonuç	Birim
M ₁ : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi	986,2	gr
M ₂ : Doygun agregası numunesi ihtiva eden, sepetin sudaki görünür kütlesi	1179,7	gr
M ₃ : Boş sepetin sudaki görünür kütlesi	561,6	gr
M ₄ : Etüvde kurumuş malzemenin değişmez kuru ağırlığı	983,4	gr
δ _w : M ₂ tayin edildiğinde sıcaklıktaki su yoğunluğu	0,9982	Mg/m ³
Görünür tane yoğunluğu	2,68	Mg/m ³
δ _a = δ _w *[M ₄ /[M ₄ -(M ₂ -M ₃)]]		
Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,66	Mg/m ³
δ _{rd} = δ _w * [M ₄ /[M ₁ -(M ₂ -M ₃)]] (Mg/m ³)		
Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,66	Mg/m ³
δ _{ssd} = δ _w * [M ₁ /[M ₁ -(M ₂ -M ₃)]]		
Su emme oranı	0,28	%
WA ₂₄ = [100*(M ₁ -M ₄) / M ₄		

Çizelge 4.32 İnce agregası (4/0 mm) özgül ağırlık ve su emme oranı.

Açıklama	Sonuç	Birim
M ₁ : Doymuş ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi	477,2	gr
M ₂ : Doymuş agregası numunesi ihtiva eden, piknometrenin kütlesi	922,1	gr
M ₃ : Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi	621,5	gr
M ₄ : Etüvde kurumuş malzemenin değişmez kuru ağırlığı	472,8	gr
Görünür tane yoğunluğu	2,75	Mg/m ³
$\delta_a = M_4 / [M_4 - (M_2 - M_3)]$		
Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,68	Mg/m ³
$\delta_{rd} = M_4 / [M_1 - (M_2 - M_3)]$		
Doymuş ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu	2,7	Mg/m ³
$\delta_{ssd} = M_1 / [M_1 - (M_2 - M_3)]$		
Su emme oranı	0,93	%
$WA_{24} = [100 * (M_1 - M_4)] / M_4$		

Agregası tane yoğunluğuna göre agreganın kökeni hakkında da bilgi sağlanabilmektedir. Agregası su emme değeri, başlıca tane yoğunluğu, dona karşı mukavemeti ve dayanımı etkilemektedir. Agreganın tane yoğunluğu ve su emme oranı, esas olarak beton karışım hesaplarında kullanılmaktadır.

Agregaların su emme değeri, don etkilerinin belirlenmesinde etkin bir değerlendirme ölçütü olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca beton karışımlarında karma suyunun oranını etkilemesi ve betonun dayanımını düşürmesi nedeniyle de önem kazanmaktadır. Bu nedenle su emme oranının, %3' den daha az olması istenmektedir (TS 706 EN 12620).

4.5.1.7 Gevşek Yığın Yoğunluk Testi

Kireçtaşlarında, TS EN 1097-3' de belirtilen yöntemle göre, gevşek yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi için deneyler yapılmıştır. Deneyler, laboratuvar ortamında en az üç

numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.33 ve Çizelge 4.34' de sunulmuştur.

Çizelge 4.33 Agregalarda gevşek yığın yoğunluğu.

Agrega sınıfı	Tane boyutu (mm)	Sonuç (Mg/m³)
İri Agreg	22,4/11,2	1,41
İri Agreg	11,2/4	1,41
İnce Agreg	4/0	1,73

Gevşek yığın yoğunluğu, agreganın tane şekli ve tane yoğunluğuyla yakından ilgilidir. Agreg

Çizelge 4.34 Agregalarda boşluk hacmi.

Agrega sınıfı	Tane boyutu (mm)	Sonuç (%)
İri Agreg	22,4/11,2	48%
İri Agreg	11,2/4	47%
İnce Agreg	4/0	36%

Agrega tanelerinin boşluklu olması ile bunlardan yapılan betonun dış etkenlere karşı korunmasında, olumsuzluklar gözlenmektedir. Agreg

Agregalarda bulunan mikro ölçekteki boşluklar, tane özgül yüzey alanını arttırmalarından dolayı çimento ile agreg

4.5.1.8 Sıkışık Yiğın Yoğunluk Testi

Sıkışık yiğın yoğunluğu, sıkışmış kuru agreganın kütlesinin ölçü kabının hacmine bölünmesiyle elde edilen değerdir.

Kireçtaşlarında, TS EN 1097-3’de belirtilen yöntemle göre, sıkışık yiğın yoğunluğu için deneyler yapılmıştır. Deneyler, laboratuvar ortamında en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.35’de sunulmuştur.

Çizelge 4.35 Agregalarda sıkışık yiğın yoğunluğu.

Agrega sınıfı	Tane boyutu (mm)	Sonuç (Mg/m ³)
İri Agrega	22,4/11,2	1,6
İri Agrega	11,2/4	1,59
İnce Agrega	4/0	1,87

4.5.1.9 Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direnç Testi

Deney sonucunda donma ve çözölme sonrası kütlece yüzde kayıp %0,45 bulunmuştur. Donma ve çözölmeye maruz kalan bir ortamda kullanılacak betonlar için donmaya dirençli agregaya ihtiyaç duyulması TS EN 1367-1 uygun olarak tayin edilmiş olan donma direnci F₁ kategorisine uygun olduğu gözlenmiştir.

4.5.1.10 Hava Dolaşımli Etüvde Kurutma ile Su Muhtevası Testi

Kireçtaşlarında, TS EN 1097-5’de belirtilen yöntemle göre, hava dolaşımli etüvde kurutma ile su muhtevası tayini için deneyler yapılmıştır. Deneyler, laboratuvar ortamında en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.36’de sunulmuştur.

Çizelge 4.36 Agregalarda su muhtevası.

Agrega sınıfı	Tane boyutu	Sonuç
	(mm)	(%)
İri Agregata	22,4/11,2	0,021
İri Agregata	11,2/4	0,009
İnce Agregata	4/0	0,03

4.5.1.11 Asitte Çözünebilen Sülfat Testi

TÇMB deney laboratuvarında hazırlanan deney numunesi TS EN 1744-1 madde 12'ye uygun olarak üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda bulunan, agreganın içerdiği asitte çözünebilen sülfat değeri %0,08 olup TS standartlarına göre AS_{0,2} kategorisine uygun olduğu görülmüştür.

4.5.1.12 Toplam Kükürt

TÇMB deney laboratuvarında hazırlanan deney numunesi TS EN 1744-1 madde 11'e uygun olarak tayin edilmiş olup toplam kükürt muhtevası %0,03 olup;

- Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu için kütlece %2'yi,
- Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu dışındaki agregalar için %1'i, aşmadığı açıkça görülmektedir (TS 706 EN 12620).

4.5.1.13 Ateş Zayıatı

Ateş zayıatının tayini TS EN 1744-1 madde 17'ye göre uygun olarak bir oksitleyici atmosferde (hava) tayin edilir. Deney numunesine gerçekleştirilen deney sonucunda ateş zayıatı %2,0 değeri bulunmuştur.

4.5.1.14 Humus Muhtevası

Humus muhtevasının tayini TS EN 1744-1 madde 15.1'e göre uygun olarak, bir deney numunesi parçası sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinde çalkalandığında oluşan renkten tayin edilir. Deney numunesine gerçekleştirilen deney sonucunda çözeltinin renginin standart renkten açık olması, bu kireçtaşlarının organik madde içermediğini göstermektedir.

4.5.1.15 Agregalarının Kimyasal İçeriği

Agregaların XRF yöntemiyle belirlenen kimyasal analiz sonucu Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37 Kırmataş agregalarının kimyasal içerikleri.

Bileşim	% M
SiO ₂	0,68
Al ₂ O ₃	0,25
Fe ₂ O ₃	0,12
MgO	0,31
CaO	55,16
Na ₂ O	< 0,01
K ₂ O	0,01
TiO ₂	00:01
P ₂ O ₅	< 0,01
MnO	< 0,01
Cr ₂ O ₃	0,002

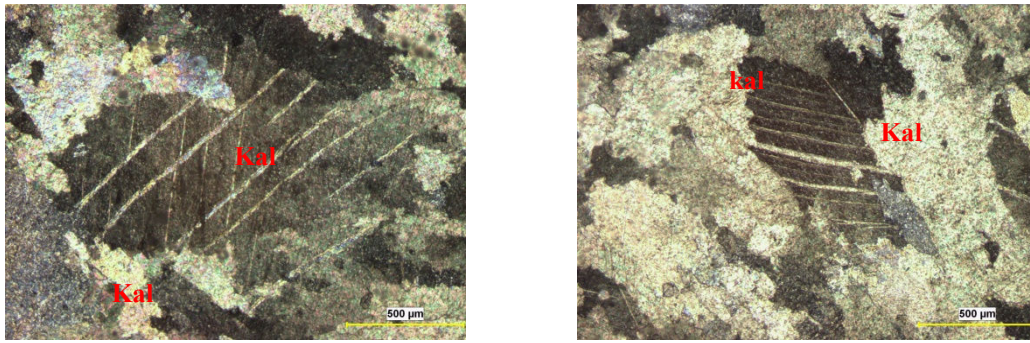
CaO miktarı %55 ve üzeri ise saf kireçtaşı olarak değerlendirilmektedir. CaO miktarının %55'in altında olması, kireçtaşında az da olsa yabancı madde bulunduğuna işaret etmektedir. Agreganın içerdiği MgO oranı %3'ün altında olması, hazır beton agregası olarak kullanılmasında sakınca yaratacak bir durum olmadığını göstermektedir.

4.5.1.16 Petrografik Analiz

Taş ocağından alınan ana kaya ve kırılmış agrega örnekleri, polarizan mikroskopta incelenmiş, elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- i. Ana kaya ve kırmataş agregası dış görünüşü itibari ile koyu gri renge sahip olduğu saptanmıştır. Kayaç kalsit minerallerinden oluşmakta olup ışık altında kolayca seçildiği ve parladığı belirtilmiştir. Gerek ana kayada ve gerekse kırılmış agrega üzerinde yapılan %10' luk HCl testinde çıplak gözle görülen hızlı bir köpürme hâkimdir olduğu gözlenmiştir.
- ii. Polarizan mikroskop altında yapılan incelemelerde kayacın esas olarak %99 kalsitten oluştuğu ve granoblastik dokuda olduğu görülmüştür. Tane boyutu minimum 65 µm, maksimum 1976,4 µm ve ortalama 394,2 µm' dir. Çatlak, gözenek ve makro fosil içermediği görülmüştür.
- iii. Ana kaya tamamen kireçtaşından meydana gelmiştir. Kalsit, kayacın %99'unu oluşturmaktadır. Buna göre, kireçtaşından türetilen kırmataş olarak adlandırılmıştır.

Kayaçla ilgili ince kesit görüntüsü Şekil 4.61'de verilmiştir. Kayacı oluşturan kalsit mineralleri, polisentetik ikizlenmeler göstermektedir.



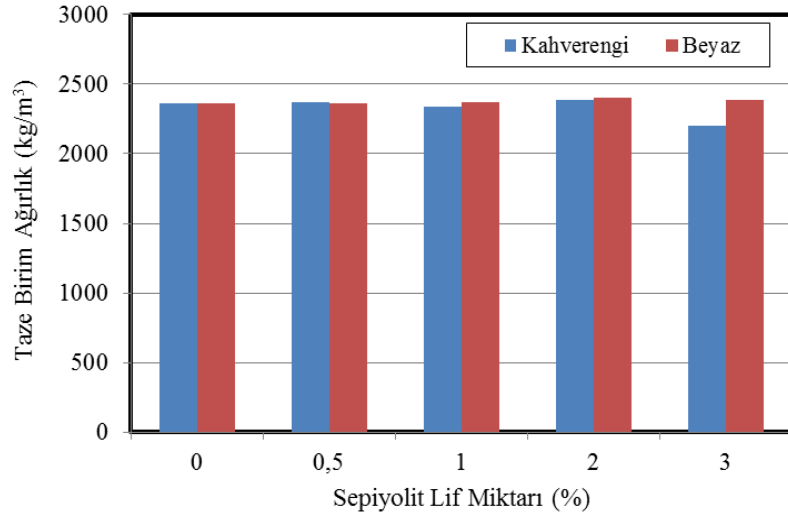
Şekil 4.61 Kayaç içerisinde gözlenen kalsit (Kal) mineralleri.

4.5.2 Sepiyolit Lif Katkılı Beton Testleri

Normal betona %0,5, %1, %2, %3 sepiyolitik lif ilavesiyle elde edilen lif katkıli betonlar; lif içeriğine göre sırasıyla SEP0, SEP0,5, SEP1, SEP2, SEP3 olarak adlandırılmış, kullanılan sepiyolit türüne göre beyaz sepiyolitte BSEP, kahverengi sepiyolitte ise KSEP olarak kodlanmıştır.

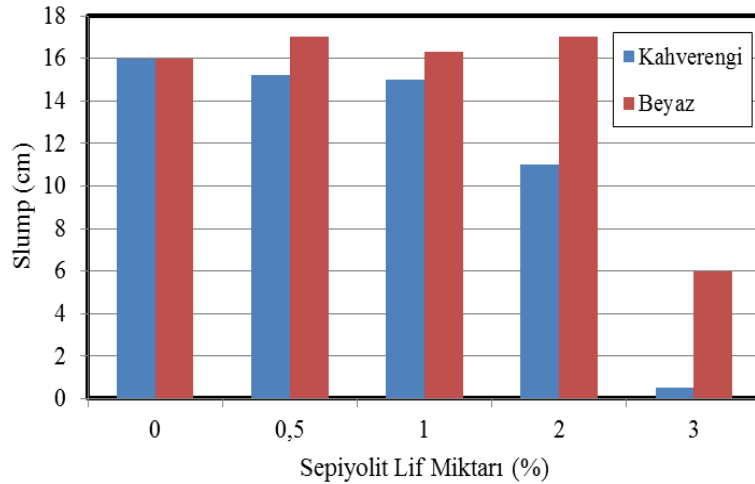
4.5.2.1 Sepiyolitik Lif Katkılı Taze Beton Testleri

Taze beton kıvamının kontrolünü kolay ve sağlıklı bir şekilde belirleme imkânını sağlayan yöntem, çökme (slump) deneyidir. Kahverengi sepiyolitli betonlarda (KSEP) sepiyolit lif miktarının artışına bağlı olarak sepiyolit su tutma yeteneğinden dolayı beton karışımındaki su, sepiyolit tarafından tutulmuş ve betonun işlenebilirliği ve çökmesi fark edilir derecede azalmıştır. Referans betonunun (%0 sepiyolit) çökme değeri 16 cm iken, 0,5, %1,0, %2,0 ve %3,0 KSEP lif katkıli betonun çökme değerleri sırasıyla 15,2, 15,0, 11,0 ve 0,5 cm olmuştur. Referans karışımına göre %0,5, %1, %2 ve %3 oranında SEP ilavesiyle taze betonun kıvamı sırasıyla %5,2, %6,2, %31 ve %81,3 oranında azalmıştır. Bu azalmanın en büyük sebebi sepiyolit liflerinin büyük yüzey alanlarından dolayı su taneciklerini tutma yeteneklerinden dolayıdır (Wang *et al.* 2006). Dolayısıyla, %3 oranında sepiyolit içeren beton neredeyse hiç kıvama sahip olmayıp, işlenemez hale gelmiştir. Binaenaleyh, çökme değeri açısından da TS EN 206-1 standardında belirtilen limit değerlerin dışında yer almaktadır. Daha düşük sepiyolit katkı oranlarında ise, çökme değerleri beton üretimi için kabul edilir sınırlar arasındadır. Örneğin, kontrol serileri çökme değerleri açısından TS EN 206-1 standardına göre S4 sınıfında yer alırken, %0,5, %1,0 ve %2,0 sepiyolit katkıli betonlar S3 sınıfındadırlar. Beyaz sepiyolitli lif katkıli betonlarda (BSEP) %2 oranında lif kullanımına kadar betonların işlenebilirliği artarak çökme değerleri kontrol serilere göre yaklaşık %6 oranında artmıştır. Ancak lif miktarının daha da artmasıyla çökme değeri önemli derecede azalmıştır. Kontrol serileri ve %2 lif ilavesine kadar BSEP'ler çökme değerleri açısından TS EN 206-1 standardına göre S4 sınıfında olup, son seri de S1 sınıfında yer almaktadır.



Şekil 4.62 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonda taze birim ağırlık.

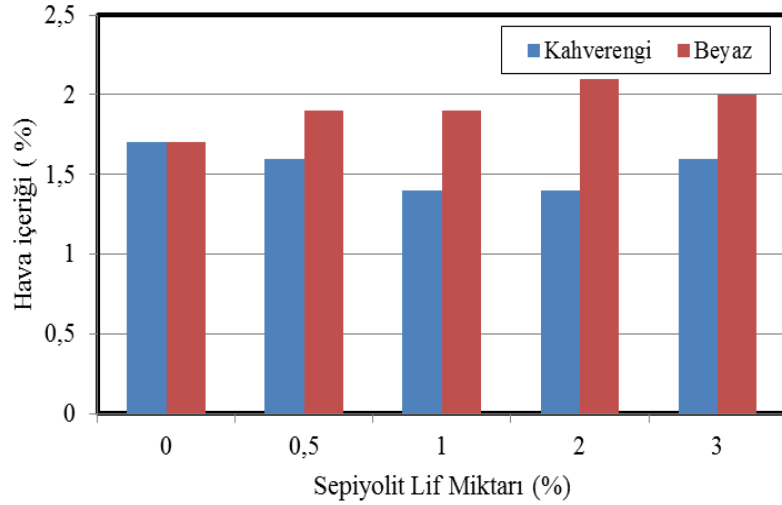
KSEP ve BSEP'lerin taze haldeki birim ağırlıkları Şekil 4.62'de sunulmuştur. Betona ilave edilen sepiyolit oranlarındaki artışa bağlı olarak her iki tip betonun taze birim ağırlık değerlerinde herhangi bir değişim olmamakta ve bu değerler 2360 kg/m^3 civarında yer almaktadır. Ancak, sepiyolit katkı oranının %3 olması durumunda özellikle KSEP'li net su miktarının azalması ile betonun işlenebilirliği azaldığından kalıba daha zor yerleşmekte ve birim ağırlık da düşmektedir (2200 kg/m^3). İçeriğinde %3 oranında sepiyolit bulunan KSEP'li taze betonların birim ağırlık değeri kontrol serilere göre %6,8 oranında azalmıştır. BSEP'li serilerin taze birim ağırlığında dikkate değer bir değişim görülmemiştir.



Şekil 4.63 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonda slump.

Şekil 4.63’de betona %1 oranında sepiyolit lif katkısına ulaşınca kadar çökme değerinde etkin (+2,5 cm) artış vardır. KSEP 1 betonunda işlenebilirliğin, SEP 0’a ve BSEP serilerine göre çok daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum kahverengi sepiyolit süspansiyonun daha yüksek viskozite vermesi, yani liflerin beton içerisinde daha homojen dağılmasını teyit etmektedir. İşlenebilirliği artırılmış taze beton; düşük enerji ile ayrışmaya uğramadan, taşınması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması mümkündür.

Betonların kalıbına yerleştirilmeleri sırasında taze beton içerisinde mutlaka bir miktar boşluk kalmaktadır. Betonların vibrasyonla veya diğer başka yöntemlerle kalıbına sıkıştırılarak yerleştirilmeleriyle bu boşluklar en aza indirilir. Beton içerisinde hapsolmuş boşluklar hem betonun dayanımını düşürmekte hem de betonun sertleşmiş duruma geçerken daha fazla boşluk içermesine ve bunun sonucundada dış ortamdan kaynaklanan çevresel etkilere daha dayanıksız hale gelmesine neden olmaktadır. Şekil 4.64’de Kahverengi ve beyaz sepiyolitik lif katkıli betonda hava içeriği verilmiştir.



Şekil 4.64 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkıli betonda hava içeriği.

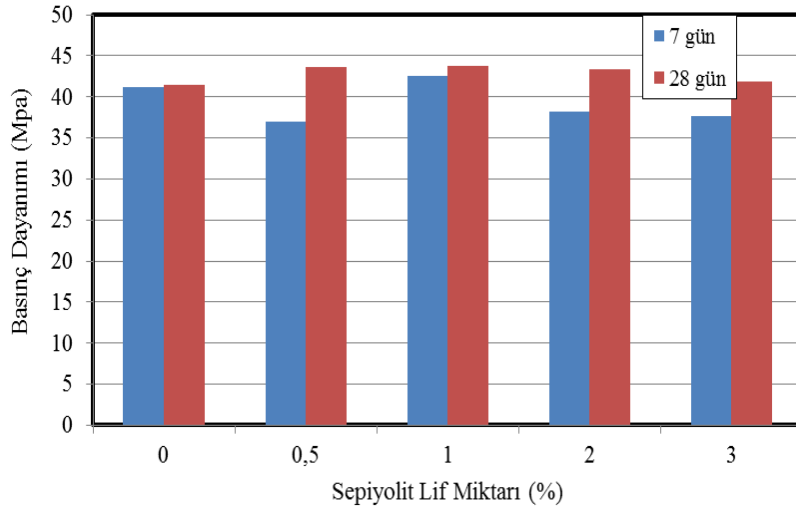
Özel durumlar haricinde (donma-çözölmeye maruz betonlar gibi) taze beton içerisinde %2-3 arasında; sertleşmiş betonda da %6-8 oranlarından daha fazla boşluk içermesi önerilmez. KSEP lif katkıli betonların hava içerikleri incelendiğinde (Şekil 4.64), hapsolmuş hava içeriğinin %1,7 ile %1,4 arasında yer aldığı görülmektedir. Diğer yandan aynı şekilde BSEP lifli betonların hava içeriğinin de %1,5 ile %2,1 arasında

yer aldığı görülebilir. Dolayısıyla hem KSEP'li hem de BSEP'li betonların hava içeriği önerilen aralıklar içerisinde.

4.5.2.2 Sepiyolitik Lif Katkılı Sertleşmiş Beton Testleri

Basınç Dayanım Testleri:

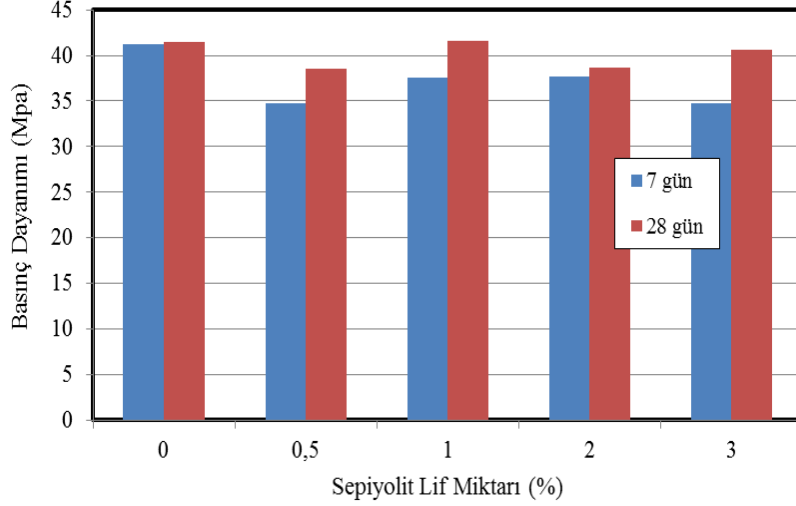
Sepiyolitik katkıli betonlarda üretilen 150 mm'lik küp numuneler basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuşlardır. Numunelerin zamana bağlı dayanımları için 7 ve 28 günlük, dayanımları belirlenmiştir. Dayanım gelişmesine bağlı olarak tüm serilerde numune yaşının ilerlemesiyle birlikte hidrasyon ürünlerinin gelişmesine bağlı olarak basınç dayanımları artmıştır. Kontrol serisinde dayanım gelişimi oldukça hızlı olduğu görülmektedir. Bunun üzerinde kullanılan kimyasal katkının çimento tanelerini dağıtması ve su ile daha iyi reaksiyona girmesi oldukça etkilidir.



Şekil 4.65 Kahverengi sepiyolitik lif katkıli betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım yükleri.

Sepiyolitik lif takviye oranı arttıkça, karışımın topaklandığı ve homojen bir dağılım göstermediği, hatta basınç dayanımının normal betonun basınç dayanımına oranla düşük olduğu gözlenmiştir. Basınç dayanımındaki bu düşmenin topaklaşmadan dolayı beton içerisinde meydana gelen zayıf bölgelerin ve hava boşluklarının sebep olduğu söylenebilir (Haktanır ve Altun 2004). Şekil 5.65'de KSEP 1 betonun, SEP 0 betona

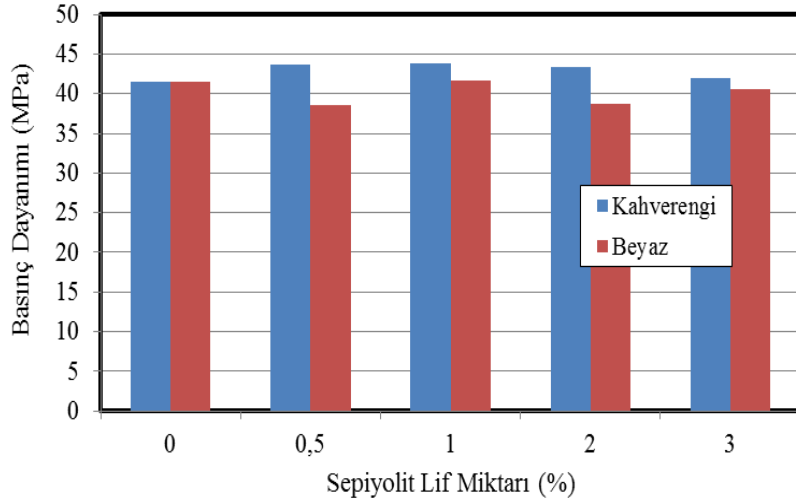
göre 7 ve 28 günlük kür sürelerinden daha yüksek basınç dayanımı verdiği, diğer betonların ise basınç dayanımlarında marjinal bir düşüş olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.66 Beyaz sepiyolit lif katkılı betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım gerilmeleri.

BSEP numunelerinde 7. günde basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkisi görülmemiştir, ancak 28. günde basınç mukavemetinde artış sağlamıştır.

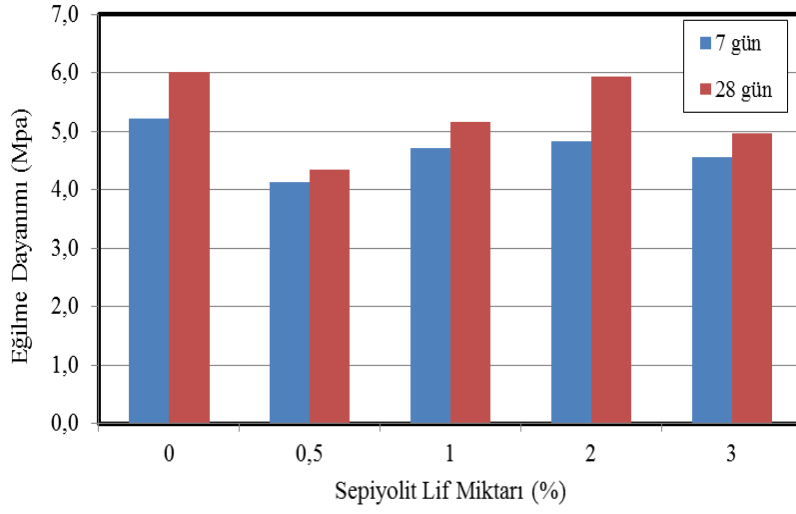
Yalçınkaya'nın (2009) yapmış olduğu çalışmada, basınç dayanımı tayini sonrasında lif içermeyen kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) gözlenirken, kendiliğinden yerleşen çelik lifli betonların (KYÇLB) hala bir miktar yük taşıyacak kadar bütünlük içerisinde olduğu görülmüştür. Şekil 4.66'de sepiyolitik katkıli küp numunelere ait basınç dayanımı tayini sonrası gözlemlerde, betonların kendilerini bırakmadığı ve dağılmadığı tespit edilmiştir. Yalçınkaya (2009) bu durumu, mikro liflerin dağılmayı engellediğini ve makro liflere göre matrisin her tarafında dağılmayı önleyici rol oynamasına bağlamıştır.



Şekil 4.67 Farklı lif türlerinin basınç dayanımına etkisi.

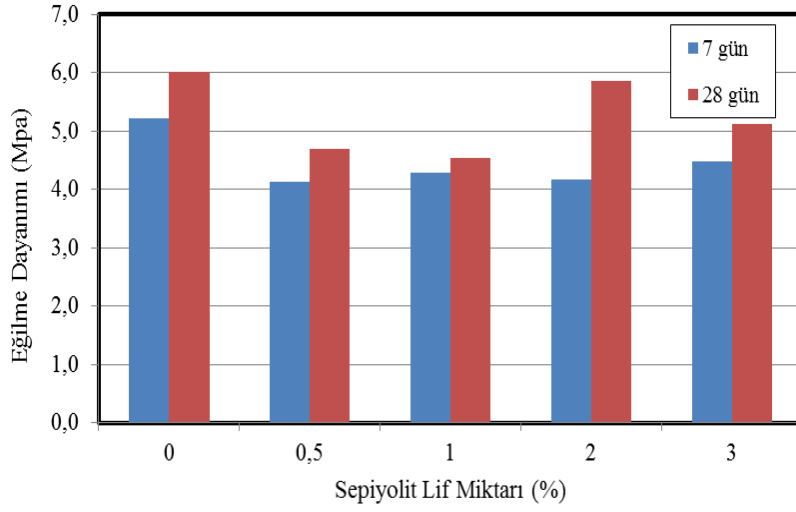
Lif tipinin etkisi incelendiğinde (4.67), kahverengi lifin kullanılması durumunda tüm lif içeriklerinde basınç dayanımı artışı görülmüştür. Lif miktarının %0,5, %1, %2 ve %3 oranında kullanılması durumunda basınç dayanımı referans serisine göre sırasıyla yaklaşık %5, %5, %5 ve %1,2 oranlarında artış elde edilmiştir. Beyaz liflerin %0,5 ve %2 oranlarında kullanılması durumunda ise, dayanım %5 oranında azalırken, %1 ve %3 oranlarında kullanıldığında dayanım referans serileriyle aynı kalmıştır. Betonda kullanılan mikrofiller malzemeler, etrafındaki çimento ürünleriyle reaksiyona girmediği sürece betonda mikro boşluklarda filler etkisi oluşturarak dayanımın bir miktar artmasını sağlayabilir. Bu durum tersine de olabilir. Diğer bir ifadeyle betonda kullanılan filler malzemeler betonun basınç dayanımını arttırdığı gibi azaltma etkisi de gösterebilir (Taşdemir ve Atahan 1996).

Eğilme Dayanım Testleri



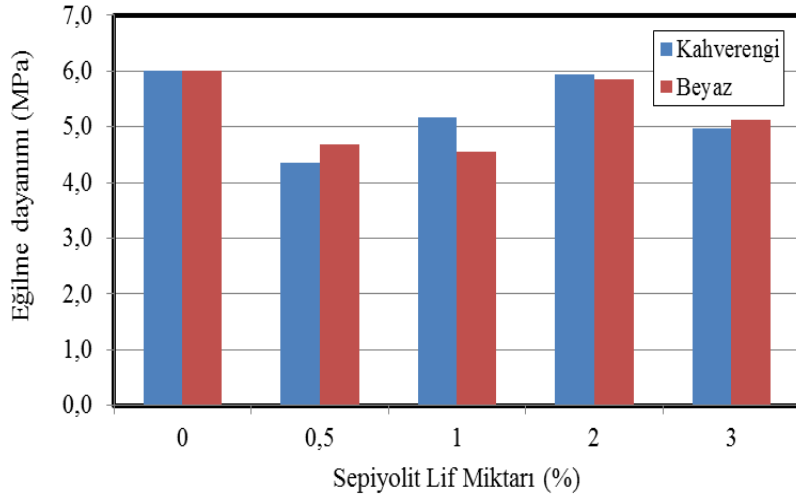
Şekil 4.68 Kahverengi sepiyolit lif katkılı betonların 7 - 28 günlük eğilme dayanımı.

SEP'li betonların eğilme dayanımları incelendiğinde, KSEP serilerinde referans betona lif ilave edilmesiyle ilk oranlarda azalma gösteren eğilme dayanımı, SEP miktarının %2 oranına kadar çıkartılmasıyla artmıştır (Şekil 4.68). İçerisine %2 lif ilave edilen betonların 28 günlük eğilme dayanımları referans betonlarıyla yaklaşık aynıdır. Ancak daha yüksek oranlarda kullanıldığında tekrar azalmıştır. Azalma oranı ise referans serilerine göre yaklaşık %17 oranındadır. Benzer sonuçlar BSEP betonlarında da görülmüştür (Şekil 4.69).



Şekil 4.69 Beyaz sepiyolit lif katkılı betonların 7 - 28 günlük eğilme dayanımı.

BSEP’li serilerde referans serilerine en yakın (%1,5 daha düşük) sonuçlar %2 BSEP katkılı betonlarda elde edilmiştir. Lif ilavesinin %3 olmasıyla tekrar eğilme dayanımı değerleri yaklaşık %15 oranında azalmıştır. Tüm serilerde dayanım gelişimine bağlı olarak beton yaşının ilerlemesiyle basınç dayanımları da artmıştır. Betona lif ilavesinin artmasıyla agrega-çimento hamuru ara-yüzeyi dayanımı sepiyolit lifli yapısı sayesinde güçlendirilmiş ve böylece betonun kesme dayanımını gösteren eğilme dayanımı artmıştır (Kavas ve Sabah 2001). Ancak %3 sepiyolit lif katkılı betonun karıştırılması ve kalıba yerleştirilmesi güçleştiğinden dolayı betonların eğilme dayanımları %15-17 oranlarında azalmıştır. Betona sepiyolit ilavesiyle sepiyolit fazla su tutma özelliğinden dolayı işlenebilirliği azaltarak eğilme ve basınç dayanımlarında azalma görülmesi Emiroğlu (2008) tarafından da rapor edilmiştir.

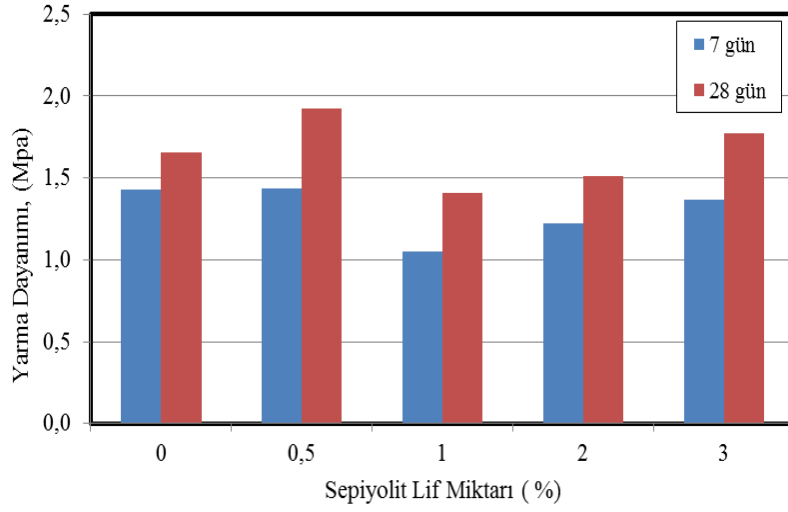


Şekil 4.70 Farklı lif türlerinin eğilme dayanımına etkisi.

Her iki tipteki liflerle üretilen betonların 28 günlük eğilme dayanımları Şekil 4.70’te karşılaştırılmıştır. Her iki beton tipi için %2 ve %3 lif ilaveli betonların eğilme dayanımları arasında önemli derecede bir farklılık (yaklaşık %2) görülmemiştir. Dolayısıyla eğilme dayanımları açısından kontrol betona %2 lif ilavesi ile eğilme dayanımları değişmeden diğer mekanik özellikler arttırılabilir.

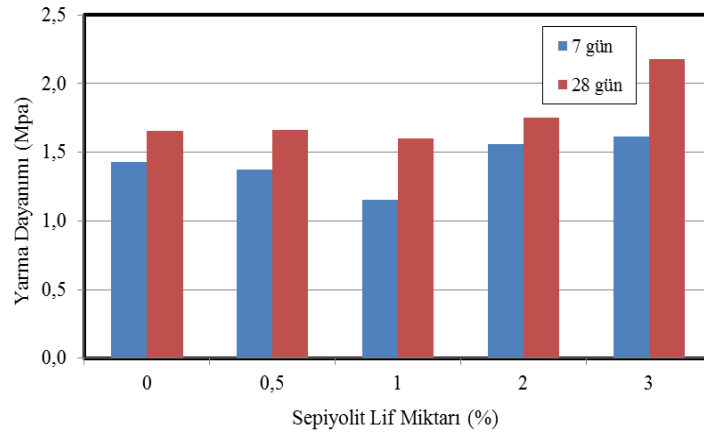
Yarma Dayanımı Testleri

Çimento esaslı beton gibi yapı malzemelerinin en zayıf özellikleri çekme dayanımlarının oldukça düşük olmasıdır. Bu nedenle beton içerisine çekme dayanımını arttıracak veya iyileştirecek farklı tipte ve özellikte lifler ilave edilmektedir. Çekme dayanımının belirlendiği testlerden birisi, dolaylı olarak çekme dayanımını gerçeğe yakın olarak veren yarma dayanımıdır.



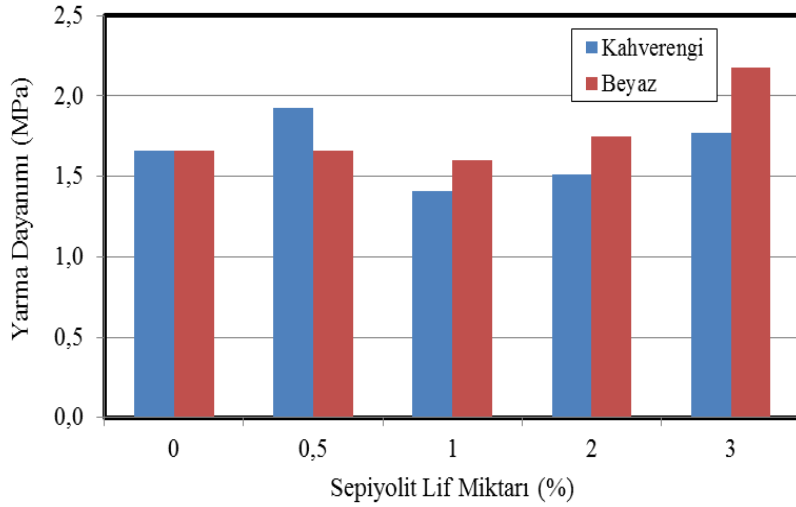
Şekil 4.71 Kahverengi sepiyolit lif katkıli betonların 7 - 28 günlük yarma dayanımı.

%0,5 ve %3 lif katkıli KSEP'li betonların yarma dayanımları, 28 günlük betonlarda sırasıyla referans betona göre %15 ve %6 oranlarında artmıştır (Şekil 4.71). Bunun nedeni beton içerisindeki agrega-çimento hamuru ara yüzeyi dayanımının sepiyolit lifleriyle artırılmış olmasıdır. %0,5 lif katkıli betonun işlenebilirliği diğer lif katkılarına göre daha iyi olup, betonun kalıba daha boşluksuz yerleşmesi sonucunda betonun çekme dayanımı artmıştır. Lif ilavesinin artmasıyla beton karışım suyu sepiyolit lifler tarafından tutulmuş ve betonun işlenebilirliği azalmıştır. %0,5'den daha fazla oranda lif katkısı ile çekme dayanımı düşük oranda (%15) azalmış, liflerin ara-yüzeyde daha fazla yer almasıyla -işlenebilirlik azalmasına rağmen- ara-yüzey aderansı artarak çekme dayanımları yükselmiştir.



Şekil 4.72 Beyaz sepiyolit lif katkıli betonların 7 - 28 günlük yarma dayanımı.

Yüksek yarma dayanımı veren BSEP3 numunesinin beton içerisinde agrega dağılımı homojendir (Şekil 4.72). Ayrıca, betonun yarma testinde uygulanan kuvvet sırasında agregalar, beton matrisinden sıyrılmasından ziyade kırılarak ikiye ayrılmıştır. Bu durumun nedeni matrisin ve agrega – matris ara yüzeyinin çatlak için agregalardan daha zorlu bir yol olmasıdır (Yalçınkaya 2009). Düşük yarma dayanımı veren beton numunelerinde ise agrega kırılmamakta, çimento hamuru ile agrega ara yüzeyinin zayıf olmasından dolayı çimento hamurundan ayrılmaktadır. Sepiyolit liflerin agrega ile çimento hamuru aderansını artırarak betonun yarma dayanımını yükselttiği belirlenmiştir. BSEP’li serilerde taze beton özellikleri KSEP’li serilere göre daha iyi olduğundan kalıba daha iyi yerleşmiş ve lif içeriğinin artmasıyla düzenli olarak çekme dayanımları da artmıştır. BSEP’li serilerde %0,5 ve %1 oranında lif katkısıyla çekme dayanımları önemli derecede değişmezken, %2 ve %3 lif ilavesiyle yarmada-çekme dayanımları sırasıyla %6 ve %33 oranında artış göstermiştir.



Şekil 4.73 Farklı lif türlerinin yarma dayanımına etkisi.

Şekil 4.73’de, referans beton ile 28 günlük BSEP ve KSEP serilerine ait yarma dayanımı sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yarmada-çekme dayanımlarının, özellikle %1 lif ilavesiyle beyaz sepiyolitlerin çekme dayanımı üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Genel olarak ele alındığında, yarmada çekme dayanımı üzerinde her iki lif tipi için %2 ve üzeri oranlarda sepiyolit ilavesi çekme dayanımını

arttırmaktadır. Betonun işlenebilirliği de dikkate alındığında çekme dayanımı açısından %0,5 ve %2 oranında lif ilavesi olumlu sonuçlar verecektir.

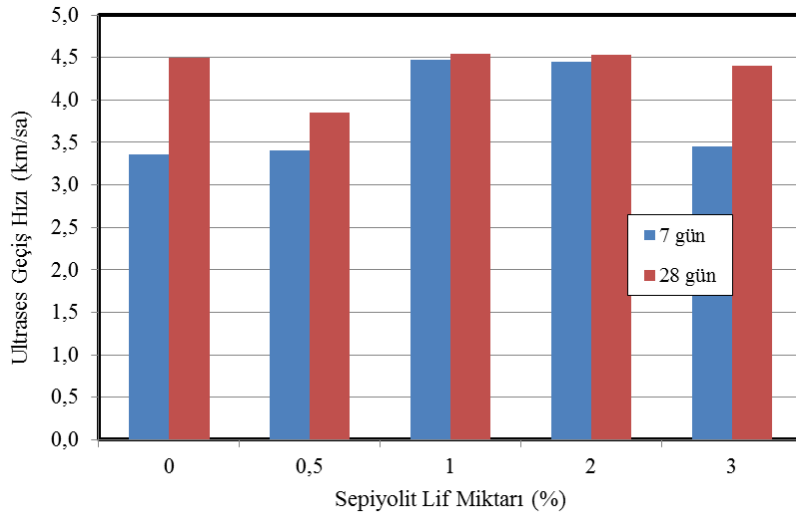
Küp beton numunelerine uygulanan ultrasonik hız testleri

Ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir beton içerisinde geçen sesüstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı (ve yoğunluğu) ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen sesüstü hızı ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurabilmek mümkün olabilmektedir. Yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m³ olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda, sesüstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar Çizelge 4.38’de gösterilmektedir (Erdoğan 2007).

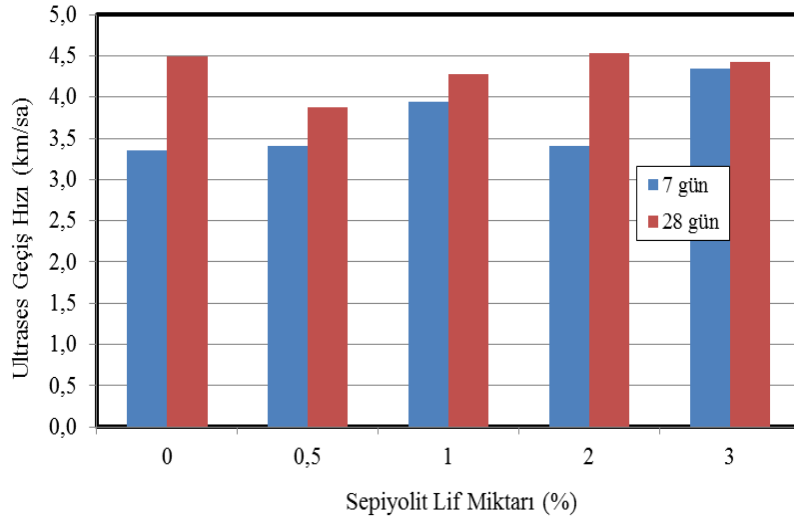
Çizelge 4.38 Ultrasonik testle beton kalitesinin değerlendirilmesi (Erdoğan 2007).

Dalga hızı, (km/sn)	Beton Kalitesi
> 4,5	Mükemmel
3,5 – 4,5	İyi
3,0 – 3,5	Şüpheli
2,0 – 3,0	Zayıf
< 2,0	Çok zayıf

Ultrasonik hız deneyleri 7 ve 28 günlük 150 mm’lik küp beton numunelerin üzerinde yapılmış ve ultrasonik hızlar Şekil 4.74 ve Şekil 4.75’de verilmiştir.



Şekil 4.74 Kahverengi sepiyolit lif katkıli küp betonların 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızı.

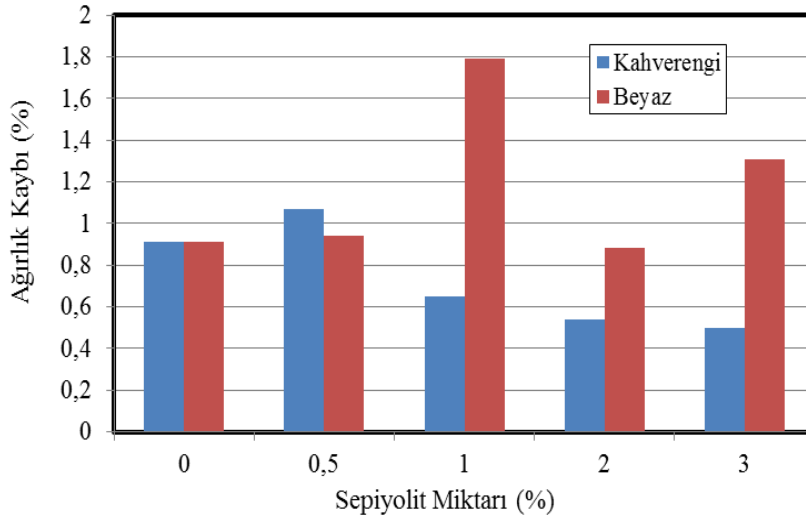


Şekil 4.75 Beyaz sepiyolitik lif katkıli küp betonların 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızı.

BSEP ve KSEP'li betonların ultrases geçiş hızları incelendiğinde (Şekil 4.74 ve Şekil 4.75), genel olarak kahverengi ve beyaz renkli sepiyolitlerin kullanıldığı betonlar (%1 lifli olanlar hariç) çok benzer sonuçlar göstermiştir. Dolayısıyla her iki lif tipiyle de benzer kalitede betonlar üretilebilmiştir. Diğer yandan ultrases geçiş hızları açısından kontrol serileri ile karşılaştırıldığında %1 üzeri her iki lif tipinde yaklaşık aynı değerler elde edilmiştir. Ultrases geçiş hızları açısından 4,5 km/sn değerine çok yakın olduğundan betonlar iyi ve kaliteli beton sınıfında yer almaktadırlar. Lif içeriği %0,5 olan seriler de iyi beton sınıfında bulunmaktadır. Ultrases geçiş hızı açısından kaliteli beton üretimini için %2 ve daha yüksek oranlarda lif kullanımı önerilmektedir.

Donma Çözünme Testleri

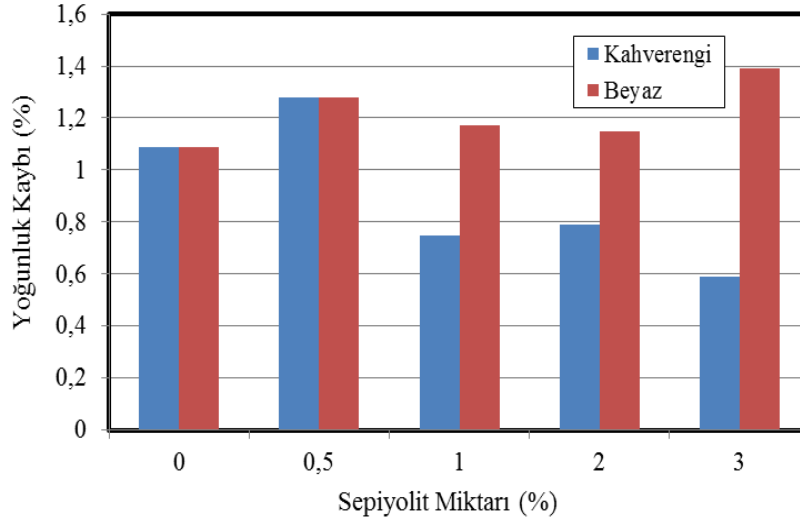
Sepiyolit lif katkılı betonların maruz kalabilecekleri donma-çözülme şartlarında gösterecekleri durabilite özelliklerinin ortaya konması amacıyla 30 periyotluk hızlandırılmış donma-çözülme deneyi sonrasında ağırlık kaybı, yoğunluk kaybı, su emme yüzdelerindeki değişim ve basınç dayanımları belirlenmiştir.



Şekil 4.76 Kahverengi ve beyaz sepiyolit lif katkılı betonların donma çözünme sonrası ağırlık kaybı.

Şekil 4.76'da, %1 ve %3 katkılı beyaz sepiyolitik lif içeren betonun ağırlık kaybı, referans betona göre artış gösterirken kahverengi sepiyolitik lif katkılı betonların %0,5 katkı oranı dışındaki tüm beton numunelerinde ağırlık kaybı, referans betona kıyasla düşük çıkmıştır. Referans betona göre %0,5 kahverengi lif içeriğinde ağırlık kaybında %18 oranında artış görülürken, %1, %2 ve %3 oranında liflerin kullanılması durumunda sırasıyla %29, %41 ve %45 daha az ağırlık kaybı görülmüştür. Beyaz liflerin %0,5, %1 ve %3 oranında kullanılmasıyla referans betona göre %3, %97 ve %44 oranında artış görülürken, %2 lif içeriğinde %3 azalma olmuştur. Bu durum donma çözünme sonucunda kahverengi sepiyolitik lif katkılı betonların parçalanarak kopmalara neden olmadığı, beyaz sepiyolitik lif katkılı betonda ise dağılmanın daha fazla olduğunu göstermektedir. Kahverengi sepiyolitik lif katkılı betonlarda lif

miktarının daha fazla olması nedeniyle agrega-çimento arayüzeyindeki aderans kuvvetlidir. Bu durum, kahverengi sepiyolitik lif katkıli betonların ağırlık kaybının referans betona göre daha düşük çıkmasını doğrulamaktadır.



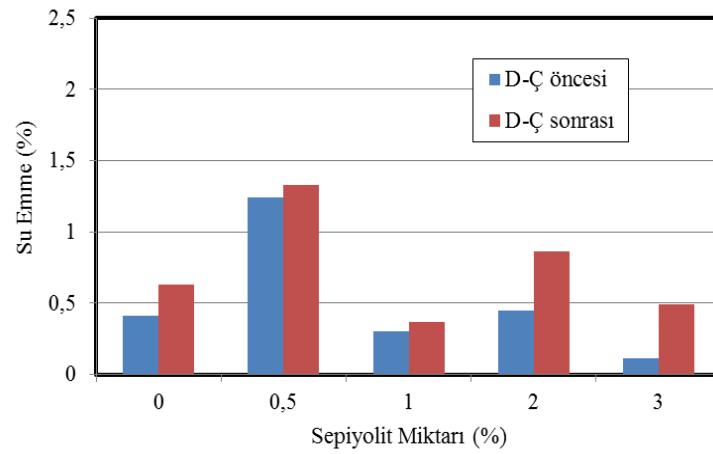
Şekil 4.77 Kahverengi ve beyaz sepiyolitik lif katkıli betonların donma çözünme sonrası yoğunluk kaybı.

Şekil 4.77’de referans betona kıyasla beyaz sepiyolitik lif katkıli betonun yoğunluk kaybında ciddi bir değişim yok iken, kahverengi sepiyolitik lif katkıli betonda yoğunluk kaybında bir düşüşüne neden olmuştur. Her iki lifin kullanılmasıyla betonların yoğunluklarında ağırlık kayıplarına benzer gözlemler yapılmıştır. Her iki seride %0,5 lif katkı oranında referans betona göre %17 artış görülmüştür. Kahverengi liflerde lif miktarının artışıyla yoğunluk kayıplarında azalmalar görülürken, beyaz liflerde tam tersine referans betona göre artış olduğu görülmüştür. Bu artış oranları %1, %2 ve %3 lif katkısı için sırasıyla %7, %6 ve %28’dir. Kahverengi serilerdeki azalma ise sırasıyla %31, %28 ve %46’dır. Ağırlık kaybı ve yoğunluk kaybında azalma olması donma-çözülme etkilerine karşı daha dayanıklı beton olduğunu göstermektedir.

Cisimler boşluklu bir yapıya sahiptirler. Cisimlerin gözeneklerinde bulunan su, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesiyle donarak malzemenin mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Bu etki, suyun donmasına bağlı hacim artışından ileri gelmektedir (Postacıoğlu 1987). Su donduğunda hacminde %9

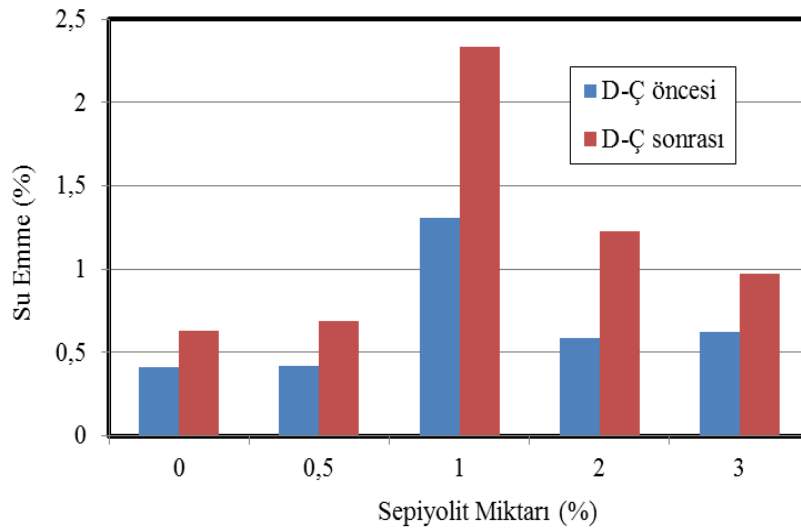
oranında bir artış meydana gelir. Bu ifadeden de anlaşıldığı üzere donma olayı cisimlerde belirgin bir ölçüde genişleme meydana getirmektedir. Bu genişlemenin sonunda ise cisimlerin boşluk yapısında önemli değişimler olmaktadır. Donma-çözülme olayının birkaç sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar biraz daha genişlemekte ve bunun sonucunda cismin yüzeyinde önemli derecelerde çatlaklar ve hatta döküntüler meydana gelmektedir (Neville 1987). Bilindiği gibi beton da boşluklu bir malzemedir. Bu boşluklarda ya betonun üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu ya da betonun geçirimsizliği nedeniyle dışarıdan içeriye girmiş su bulunmaktadır. Bu nedenle beton donma olayının etkisi altında kalmaya ve bunun sonucu olarakta hasar görmeye elverişli bir malzemedir. Betonun donmaya dayanıklı olması üzerinde yörenin iklim şartlarının etkisi oldukça büyüktür (Ünal 2004). En elverişsiz koşullar geceleri donma olayının meydana gelmesi, gündüzleri de sıcaklığın sıfırın üstüne çıkması durumudur. Böyle bir durumda donma ve çözülme olayları yıl içerisinde birçok defa tekrarlanacak ve birkaç yıl sonra beton parçalanacaktır.

Donma olayı zararlı etkisini, betonun bileşenlerinden olan agrega taneleri ve çimento hamuru fazlarının her ikisinde de gösterir. Bu bileşenlerden agrega diğer bileşenler içerisinde en yüksek dayanıma sahiptir. Dolayısıyla suyun donmasıyla genişmeler çimento hamurundaki boşluklarda gösterir. Özellikle nano boyutta kahverengi sepiyolit lifleri, buzun oluşturduğu iç gerilmelerin aşılmasını sağlayarak çimento hamurunun dayanıklılığını arttırmıştır.

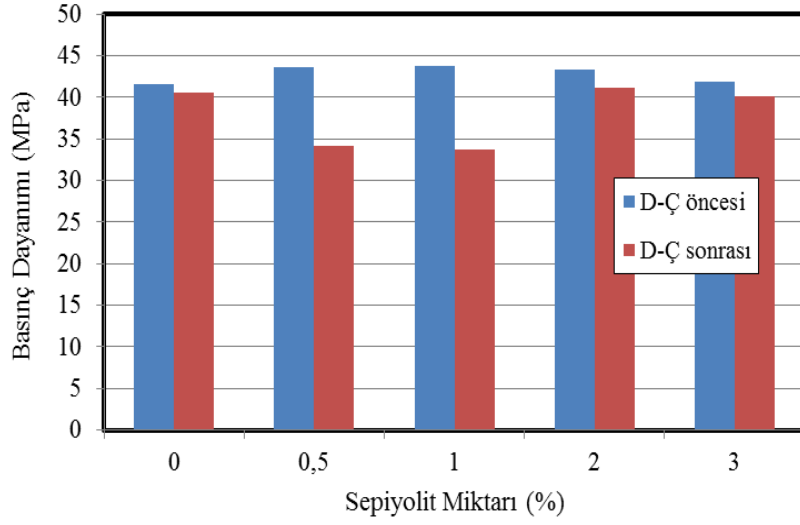


Şekil 4.78 Kahverengi sepiyolit lif katkılı betonların donma çözünme öncesi ve sonrası su emme yüzdesi.

Kahverengi sepiyolitik lif katkılı betonlardan %3 katkılı betonun donma çözünme sonrası su emme değişimi referans betondaki su emme değişiminden daha düşük çıkmış ve donma çözünmeye karşı lif katkısının etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 4.78). Beton gibi boşluklu yapı malzemeleri içerdiği açık ve yarı açık boşluklar kadar su emme yeteneğine sahip olurlar. Donma-çözülme öncesi ve sonrasında betonun boşluklarında donan suyun etrafına yaptığı iç gerilmeler sonrasında boşluk çapları artarsa buna bağlı olarak da su emme yetenekleri artacaktır. KSEP ve BSEP serilerin donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrası su emme değerleri incelendiğinde (Şekil 4.78 ve Şekil 4.79), KSEP'li serilerde kontrol ve %0,5 lif içeriklerinde betonlarda su emme oranları arasındaki fark en düşüktür. BSEP'li serilerde ise kontrol ve %0,5 lif içeriklerinde diğerlerine göre su emme değerleri arasında daha az artış görülmüştür. Her iki beton tipinde lif içeriğinin %2 üzerinde kullanımıyla betonların karışımı ve kalıba yerleştirilmesi güçleştiğinden diğer lif oranlarına göre daha fazla boşluk içermekte ve bunun sonucu olarak da donma-çözülme çevrimlerinde boşluklardaki serbest suyun donarak hacminin genişlemesinden dolayı beton içerisindeki boşluklar artarak daha fazla su emmesine neden olmuştur.

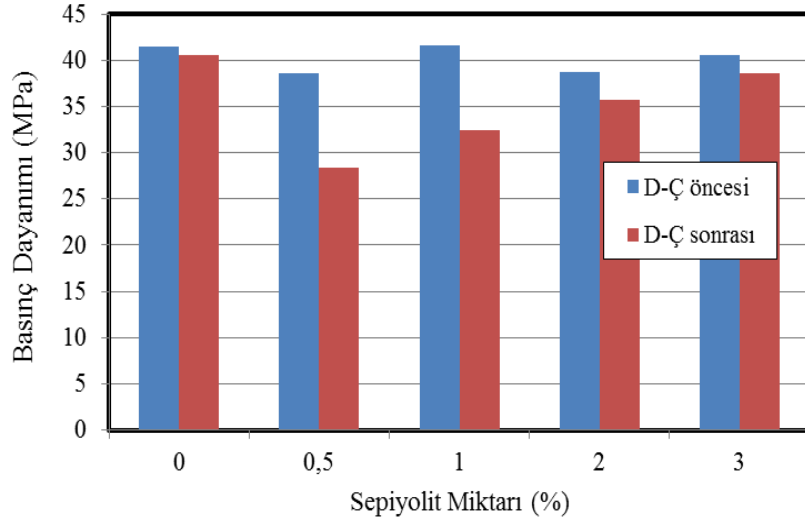


Şekil 4.79 Beyaz sepiyolitik lif katkılı betonların donma çözünme öncesi ve sonrası su emme yüzdesi.



Şekil 4.80 Kahverengi sepiyolit lif katkıli betonların donma çözünme öncesi ve sonrası basınç dayanımı.

Kahverengi sepiyolit lif katkıli betonlardan %2 katkıli beton numunesine ait basınç dayanımının, donma çözünme öncesi ve sonrası referans betona göre yüksek çıkması bu katkı oranının optimum olduğunu ve betonun donma çözünmeye dayanımını artırdığını göstermektedir (Şekil 4.80).



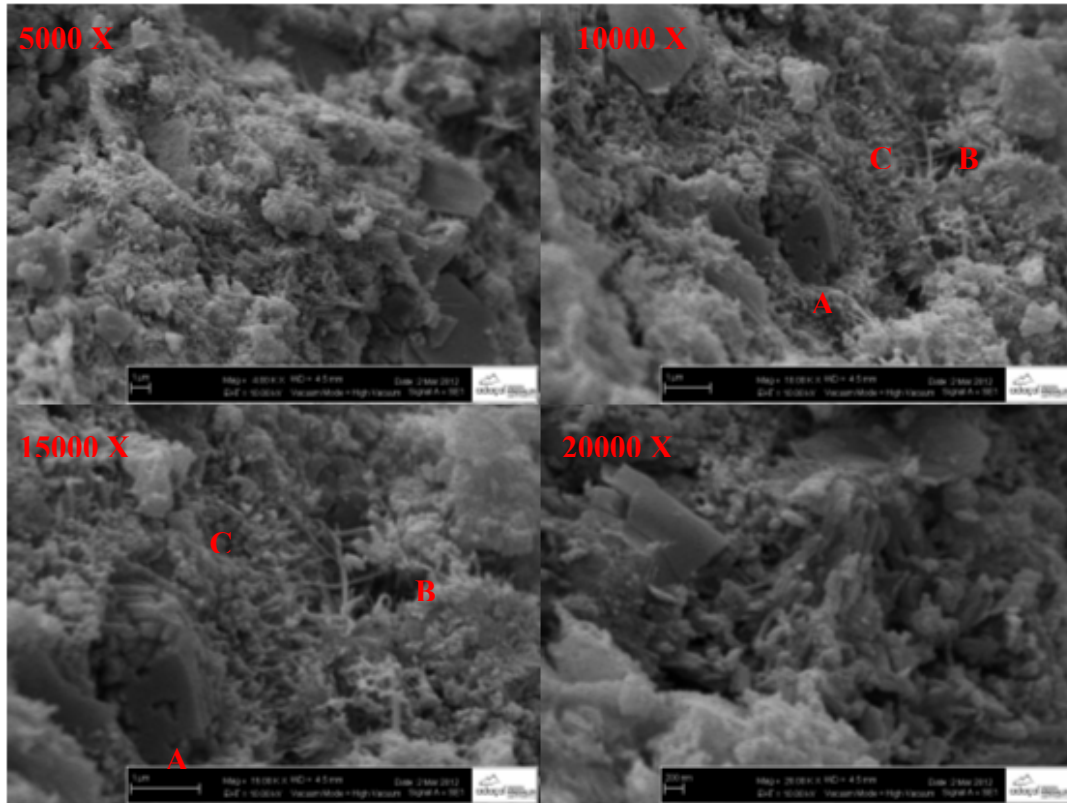
Şekil 4.81 Beyaz sepiyolit lif katkıli betonların donma çözünme öncesi ve sonrası basınç dayanımı.

Şekil 4.81’de beyaz sepiyolit lif katkıli betonlardan %3 katkıli beton numunesine ait basınç dayanımının donma çözünme öncesi ve sonrası referans betona çok yakın olduğu, ancak kahverengi sepiyolit lif katkıli betonlar kadar etkili olmadığı belirlenmiştir. Sepiyolitli betonlarda %0,5 ve %1 lif ilavesiyle basınç dayanımları

arasında referans serilerine göre en fazla fark elde edilmiştir. Her iki lif tipiyle %2 ve %3 gibi yüksek oranda lif kullanılarak üretilen betonların agrega-çimento hamuru arayüzeyinin ve ayrıca çimento hamurunun gerilmeler altında dayanımının artırılmasıyla betonların donma-çözülme etkisinde dayanım kayıpları kontrol serilerine benzer olmuştur. Kontrol serilerinde dayanım kaybı %2 olarak elde edilmiştir. KSEP'li serilerde %2 ve %3 lif kullanılan serilerde dayanım kaybı sırasıyla % 5 ve %4 iken, BESP'li serilerde aynı lif içeriklerindeki dayanım kayıpları %8 ve %5 olarak belirlenmiştir. Burada yine kahverengi liflerin beyaz liflerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

4.5.3 Lif Takviyeli Betonların Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri

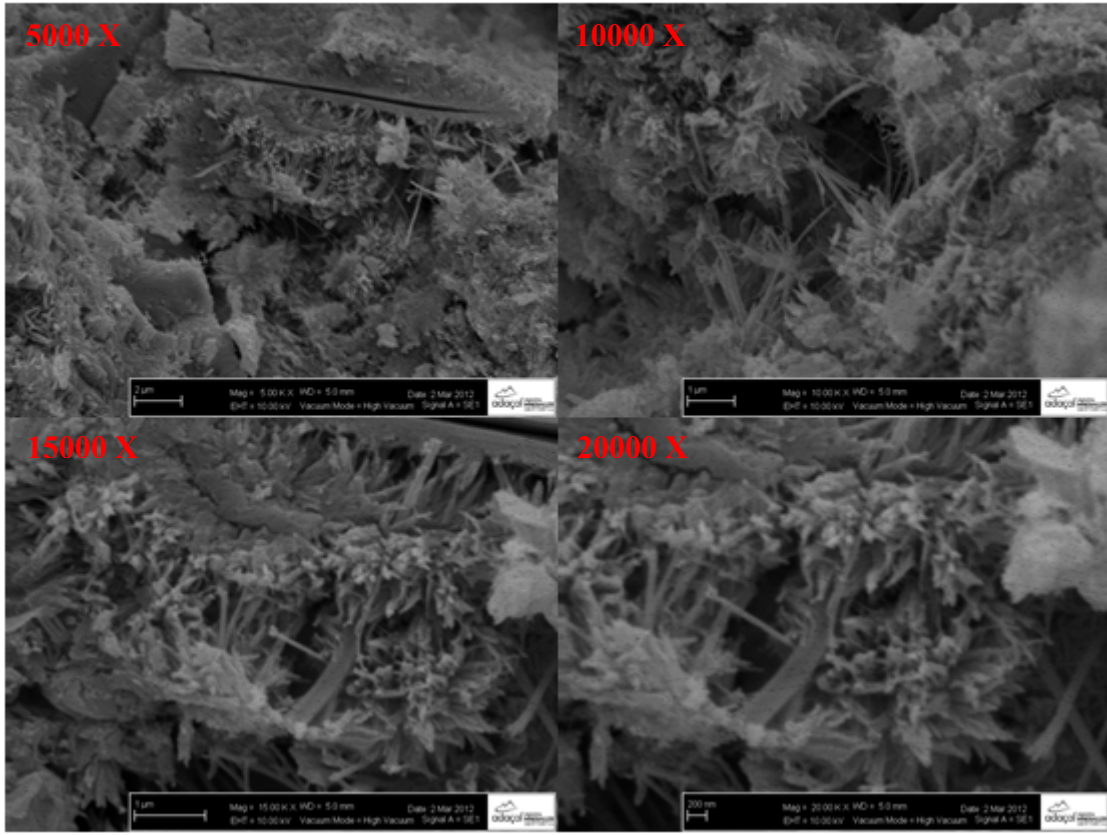
Mikroyapı incelemesinde genel olarak serilerdeki agrega çimento hamuru arayüzeyleri incelenmiştir. Çünkü betonlarda agrega çimento hamuru arayüzeyleri, betonun mekanik özellikleri üzerinde bileşen özellikleri kadar önemli derecede etkiye sahiptir (Uygunoğlu 2008).



Şekil 4.82 Katkısız betonun SEM görüntüleri.

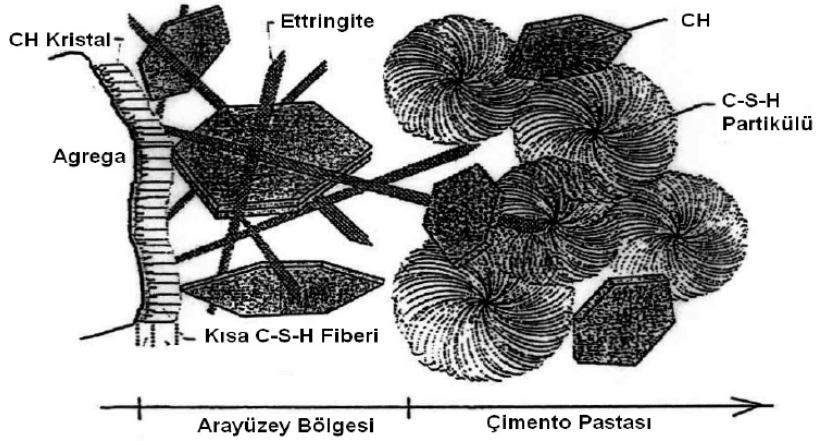
Şekil 4.82’da belirtilen A: kalsiyum hidroksiti (CH), B: C–S–H jelini ve C: etrenjit iğnelerini göstermektedir

Betonda C–S–H jeli bağlayıcı son ürün olduğu için önemli bir bileşendir ve bunun sonucu olarak dayanıma en büyük katkıyı sağlamaktadır. Sınırlar içerisinde bir miktar başkalaşabilen C–S–H jelinin kimyasal bileşeni ve element özelliklerinin belirlenmesinde SEM son derece yararlıdır. Yüksek sıcaklıklarda C–S–H jeli zayıf bir şekilde sıralanmaktadır. SEM altında, zamanla ve normal sıcaklıkta C–S–H jelinin genel lif tipinden düzensiz taneli bir ağ örgüsüne dönüşümü Şekil 4.82’de görülmektedir (Kırgız 2011). Kompozit malzeme anlayışı açısından betona yaklaşıldığında kaba olarak, betonun agrega ve çimento hamuru gibi iki fazdan meydana gelmiş olduğu; daha yakın incelemede ise harç fazının hidrate çimento matrisi içerisine gömülmüş kum taneciklerinden meydana geldiği görülecektir. Mikroskopik düzeyde yapılan incelemede, hidrate çimento pastasının kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum hidroksitten (CH) meydana geldiği, bu fazın ise (içi su ile dolu yada boş) kılcal boşluklar ve hidrate olmamış çimento taneciklerini içerdiği görülecektir. Daha alt ölçekte yapılan İncelemede ise kalsiyum-silikat-hidrat jellerinin değişik şekil ve kimyasal yapıda kriztalize olmuş zayıf partiküller ile sürekli ve kesikli jel boşluklarından ibaret olduğu tesbit edilmiştir. Keza agregaların da bir kompozit olarak farklı minerallerin belirli bir porozite ile bir araya toplanmış bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Uğurlu 1999).

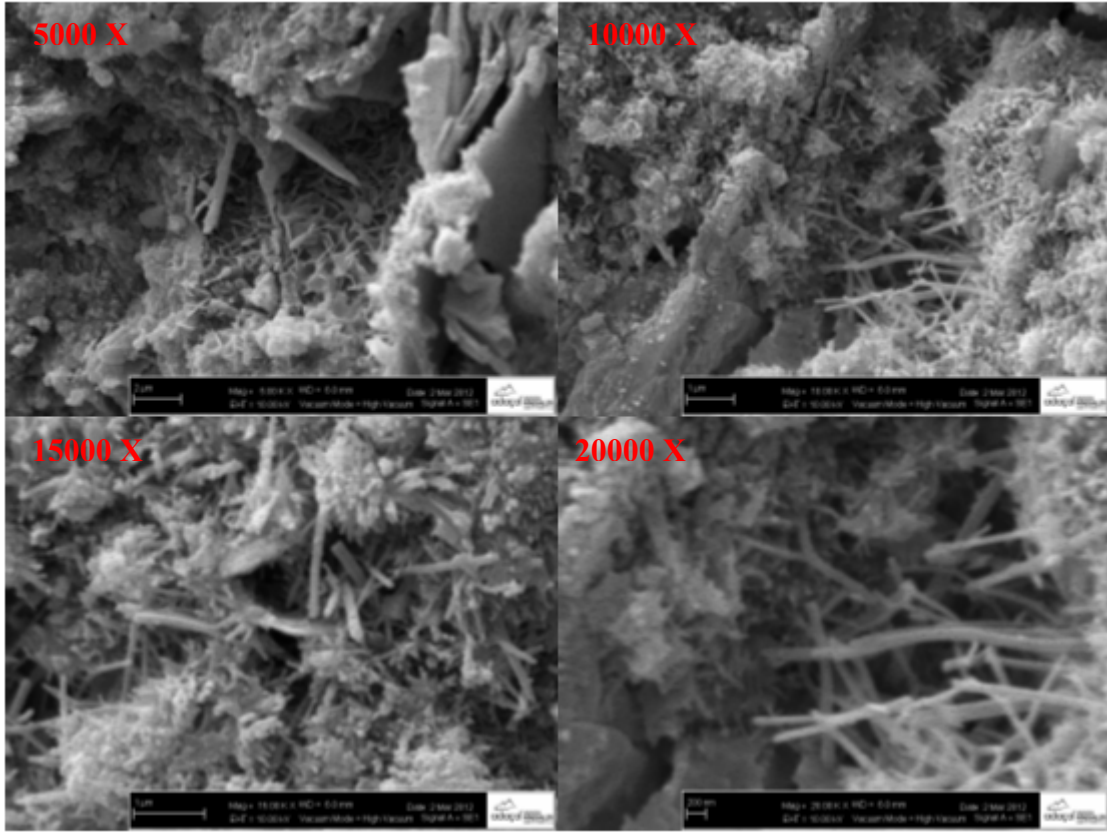


Şekil 4.83 KSEP0,5 kodlu betonun SEM görünümleri.

Kahverengi sepiyolit katkıli betonda (Şekil 4.83) sepiyolitik liflerin daha yoğun bir şekilde agrega ve çimento hamuru matris arayüzeyinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.84)

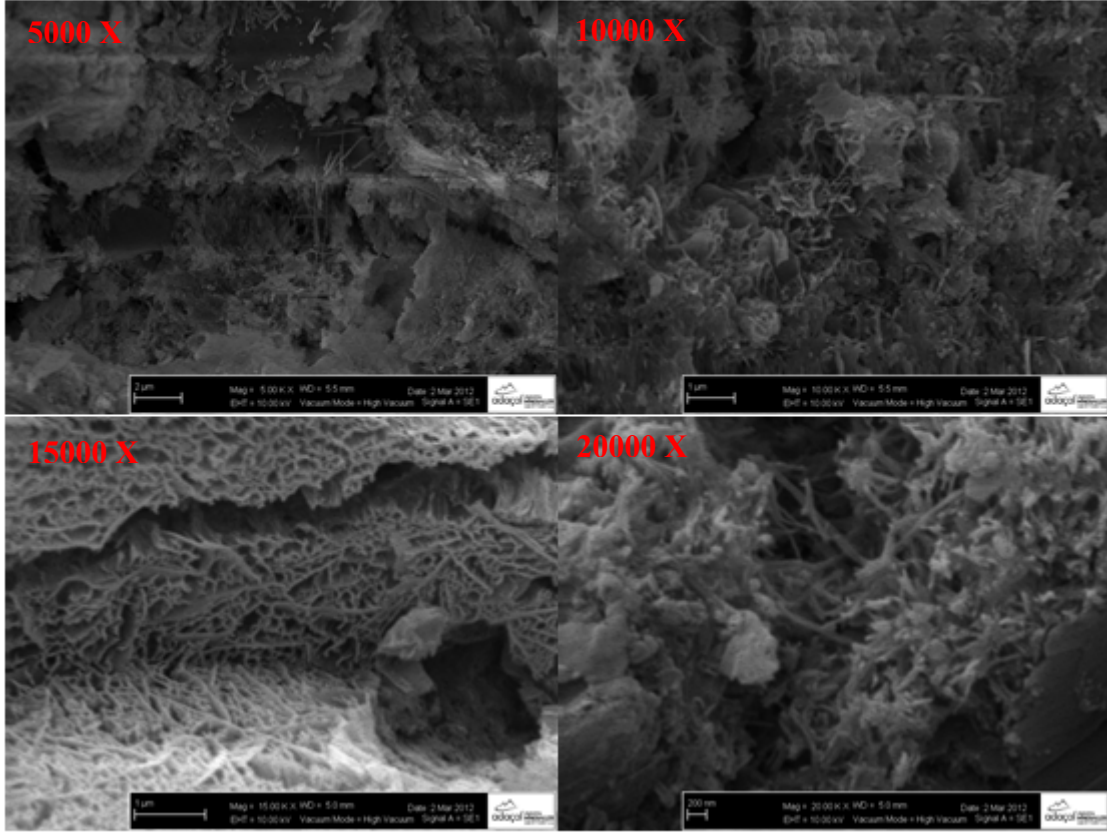


Şekil 4.84 Agreg – çimento arayüzey bölgesi.



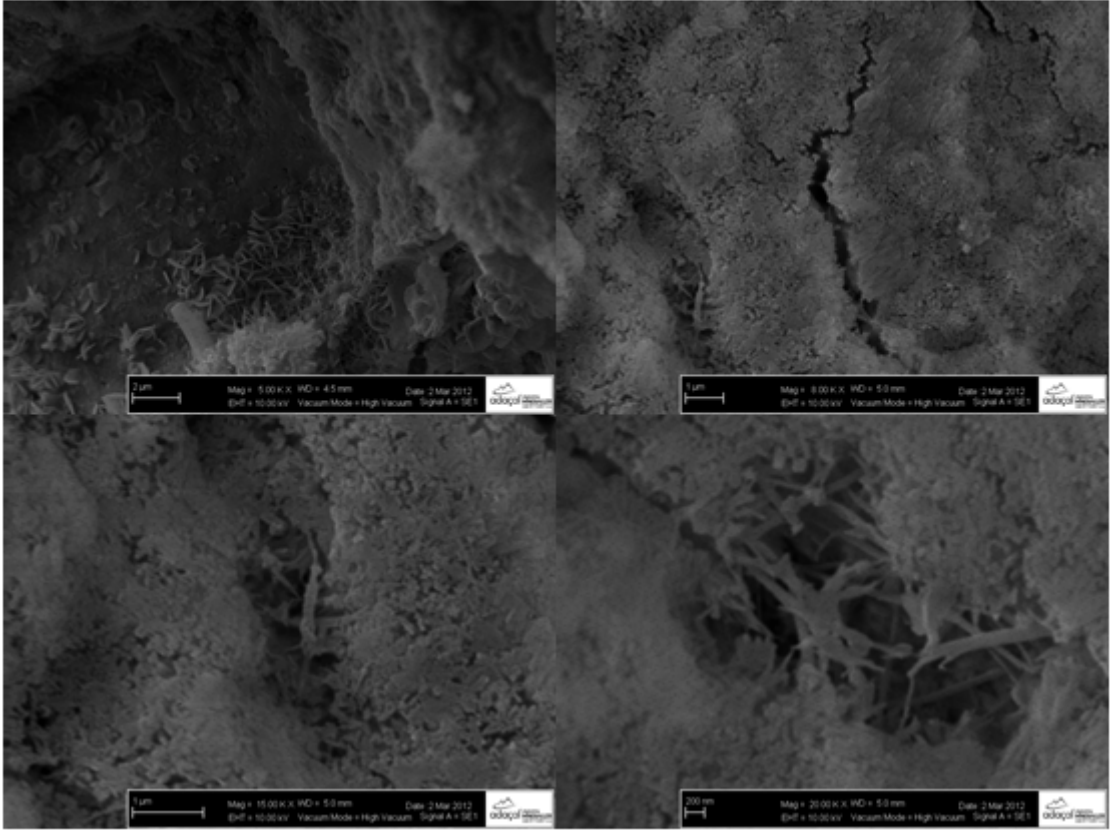
Şekil 4.85 KSEP1 kodlu betonun SEM görüntüleri.

Şekil 4.85’de KSEP1 betonun içerisindeki sepiyolit liflerinin çimento hamurunda homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir.



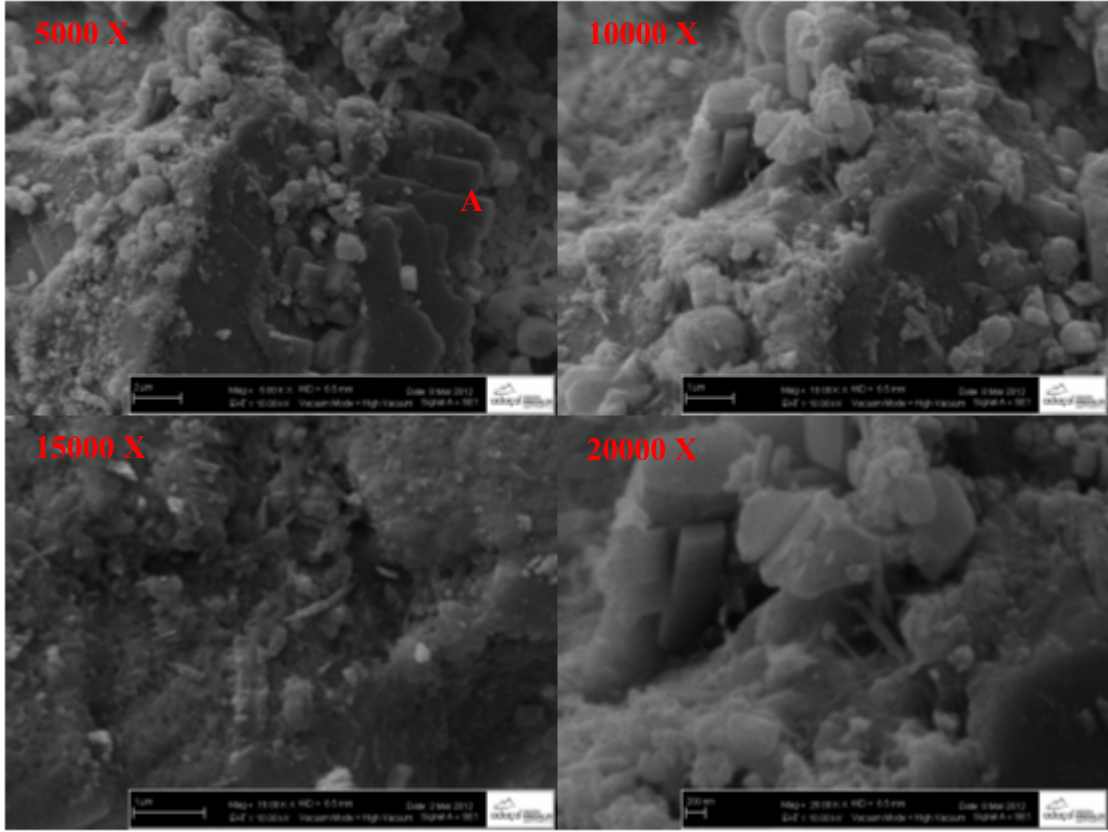
Şekil 4.86 KSEP2 kodlu betonun SEM görüntüleri.

Sepiyolitik katkı oranı artıkça beton içerisindeki boşluklarda eterjinit oluşumunun arttığı gözlenirken sepiyolit lifleri bu zayıflıklarda yer almadığı gözlenmiştir (Şekil 4.86).



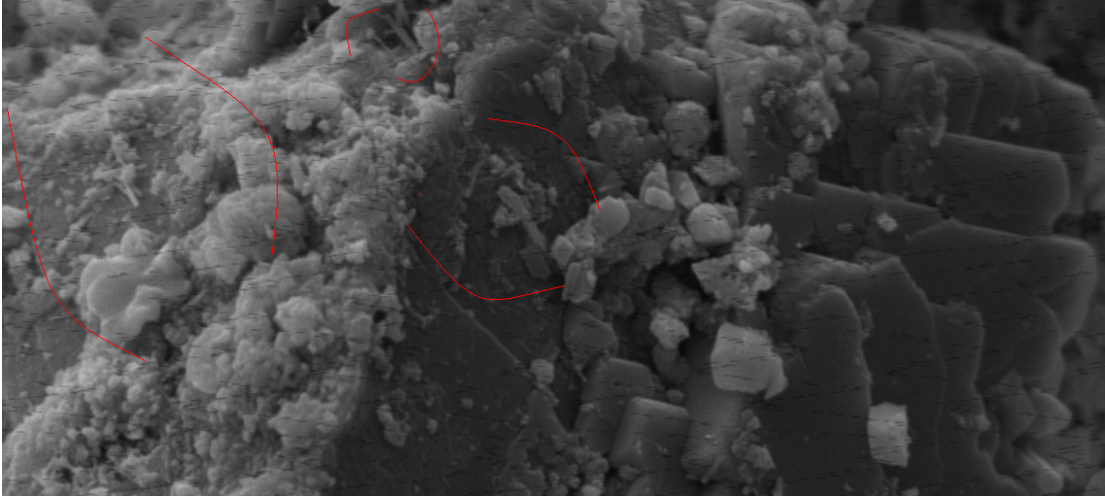
Şekil 4.87 KSEP3 kodlu betonun SEM görünümleri.

KSEP3 betonunda (Şekil 4.87) yapılan mikro yapı incelenmesinde çimento matsindeki çatlaklarda sepiyolitik liflerin çatlaklar arasında rejenarasyonu (çimento hidratasyonuna), sağladığı düşünülmektedir.

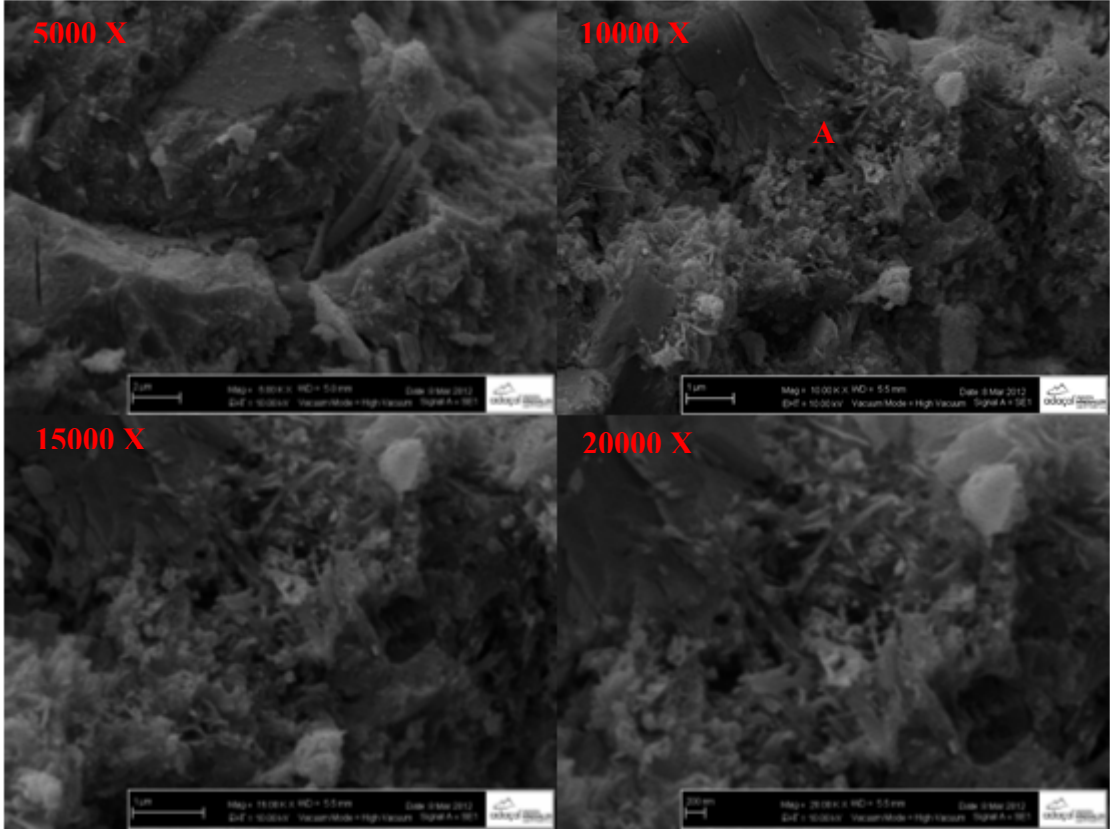


Şekil 4.88 BSEP0,5 kodlu SEM görüntüleri.

Şekil 4.88’de Sepiyolitin yüksek yüzey alanına sahip olması ve lifsi yapısı ile agrega ara yüzeylerinin (A) aderansına katkı sağlamıştır. Hatta düz yüzeyli agregaların yüzeyindeki nano boyuttaki lifler agrega çimento hamuru arayüzeyindeki zayıflıklarda iyileştirme sağlamıştır (Şekil 4.89). Geçiş bölgesi ile temas eden agrega yüzeyi üzerinde kalsiyum hidroksitten müteşekkil bir film tabakası olduğu ve filimin ince bir kalsiyum silikat hidrat (tobermorit) formunda başka bir tabaka ile kaplı olduğu tespit edilmiştir. Bu çift kat film tabakasının da ara yüzeydeki kalsiyum hidroksit formundaki bir tabakayla kaplı olduğu görülmüştür (Uğurlu 1999).

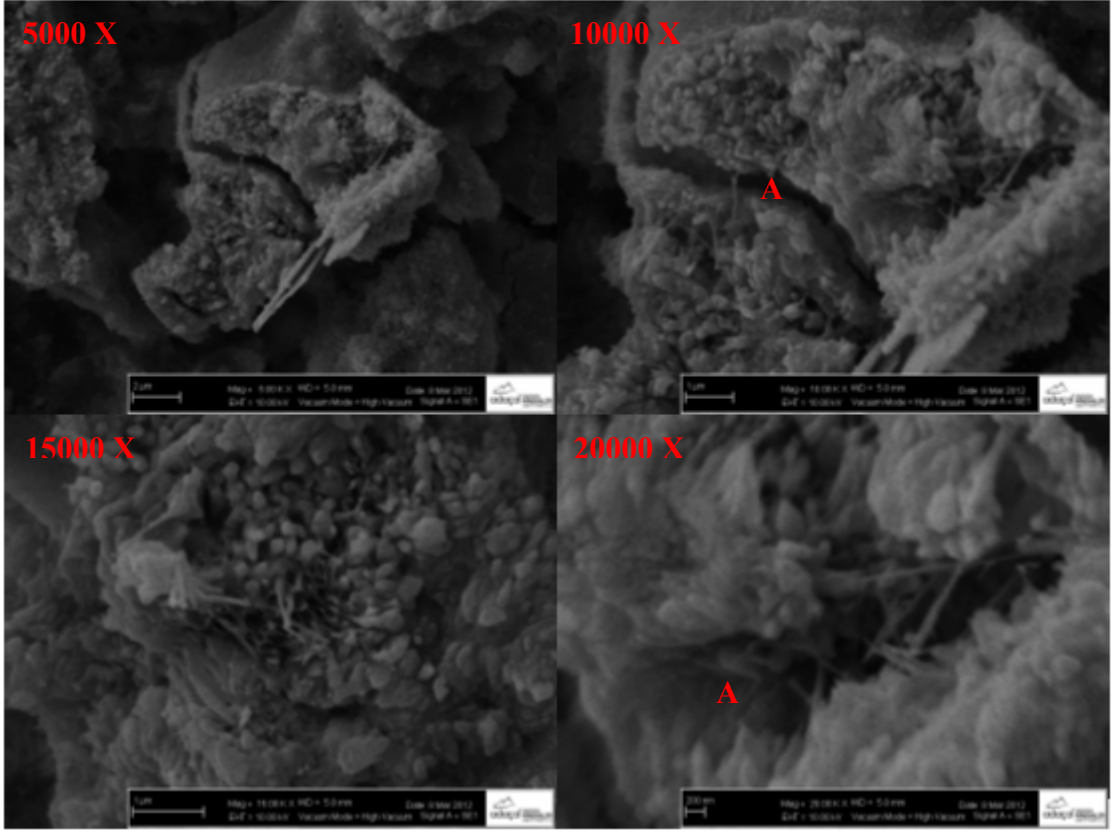


Şekil 4.89 Agregada yüzeyinde nano lifler.



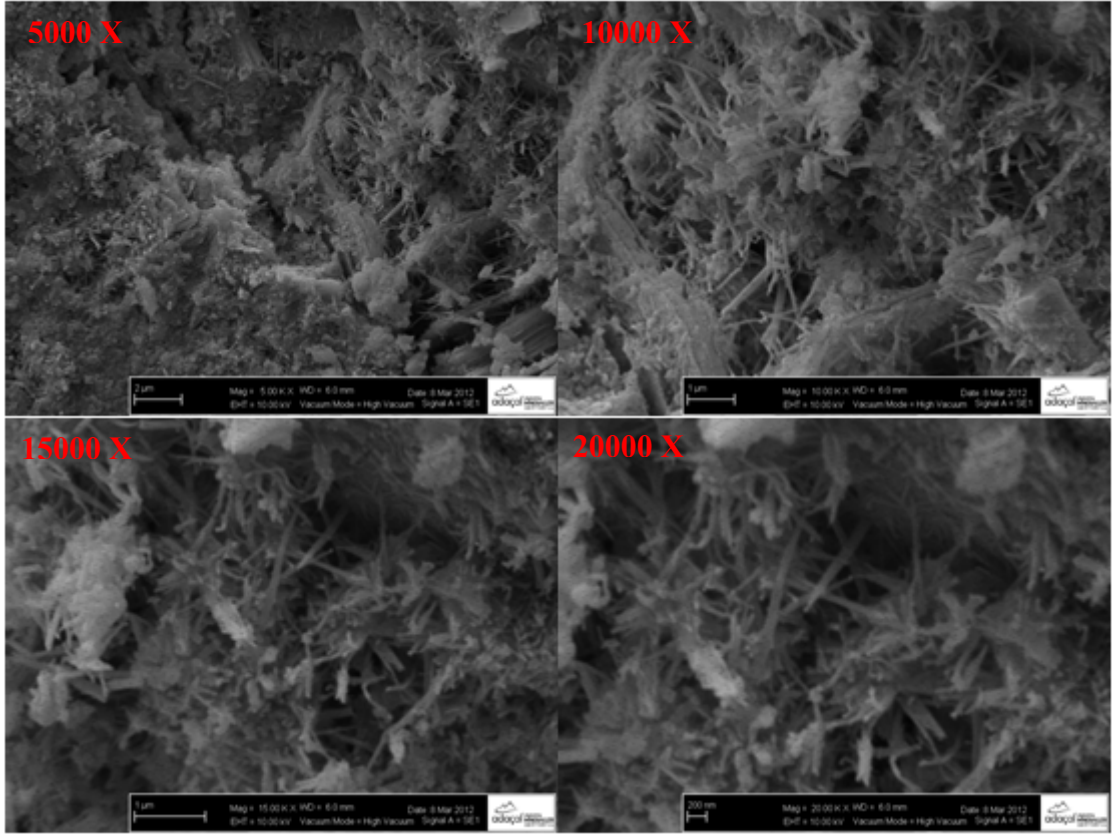
Şekil 4.90 BSEP1 kodlu betonun SEM görüntüleri.

Sepiyolitik lif katkısı %1 iken mikro yapıda çok sayıda iğnemsiz sepiyolitik liflerinin matris ile agregalar arasında yayıldığı (A) tespit edilmiştir (Şekil 4.90). BSEP1 betonlarının işlenebilirliğindeki artışı mikroyapıdaki homojeniteyi doğrulamaktadır. Bu durum sepiyolitik liflerin eğilme dayanımlarını artırmadan ziyade kırılma davranışı üzerindeki etkileri daha belirgindir.



Şekil 4.91 BSEP2 kodlu betonun SEM görünümleri.

Şekil 4.91’de BSEP2 beton numunesinin 50000 ve 10000 büyütmede hidrate çimento matrisi ile agrega arayüzeyinin oldukça yoğun yapıda olduğu görülmüştür. Bu agregadaki çatlığa 20000 büyütme ile bakıldığında sepiyolitik liflerin (A) çatlak üzerindeki bütünleştirici etkisi net olarak görülmektedir.



Şekil 4.92 BSEP3 kodlu betonun SEM görünümleri.

Sepiyolitik lif miktarının artması ile çimento hamurunun daha dayanıklı olması ve beton içerisindeki boşlukların azalması açısından olumlu katkı sağlamıştır. Beton içerisindeki boşluğun azalması betonu daha yoğun hale getirerek dayanımının artmasını sağlamıştır (Şekil 4.92).

5. SONUÇLAR

Bu, çalışmada AEM (Eskişehir-Sivrihisar) firmasından alınan kahverengi ve beyaz sepiyolit minerallerinin, XRF, XRD, TGA-DTA, viskozite ve SEM görüntüleriyle karakterizasyonları sağlanmıştır. Aynı zamanda, sepiyolitler beton içerisinde belirli oranlarda kullanılarak betonların taze ve sertleşmiş haldeki bazı karakteristik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Kimyasal analiz sonuçlarına göre; kahverengi ve beyaz sepiyolit içerdikleri %6,01 ve %20,94 CaO içeriği ile beyaz sepiyolit daha düşük kalitede olduğu belirlenmiştir.

XRD analizlerinden; kahverengi ve beyaz sepiyolit numunelerinin gang mineralleri olarak kuvars, dolomit ve kalsit içerdiği tespit edilmiştir. Beyaz sepiyolit yüksek kalsit ve manyezit içeriğini kimyasal analiz sonuçları da doğrulanmaktadır. Ayrıca; BET özgül yüzey analizinde kahverengi sepiyolit yüzey alanı 291,2 m²/gr, beyaz sepiyolit 137,4 m²/gr olarak bulunması sepiyolit minerallerin kalitesinin belirlenmesinde indikatör olmuştur. Diğer ve en önemli indikatör ise kaliteli sepiyolit süspansiyonlarının iyi reolojik özellik sergilemesidir. Bu durumda, kahverengi ve beyaz sepiyolitlerden, reolojik kalitede viskozite verecek süspansiyonlar elde edilmesi amacıyla içerisindeki safsızlıkların elimine edilmesi hedeflenmiştir.

Sepiyolit içerdiği safsızlıkları uzaklaştırmak için fiziksel zenginleştirme yöntemlerinden sallantılı masa kullanılmıştır. Sepiyolit ve çeşitli empüriteler (dolomit, kuvars, kalsit ve feldspat) arasındaki yoğunluk ve boyut farkından yararlanılarak safsızlıkların ağır ürün, sepiyolit ise hafif ürün olarak birbirinden ayrılmasını sağlamaktır. Yapılan kör deneylerde sallantılı masada, -2 + 1mm ve -1 + 0,5 mm tane boyutlarının başarılı olunduğu -0,5 mm tane boyutunun ise şlam olarak konsantreyi kirlettiği tespit edildiğinden bir başarı yakalanamamıştır.

Sallantılı masada; -2 +1 mm boyut aralığındaki 151,04 cP'lık beyaz sepiyolit mineralli %51 verimle 320 cP'lık ürün haline getirilmiştir. Kahverengi sepiyolit ise -2 +1mm boyut aralığında 815 cP'dan %43,1 verimle 1420 cP'lı ürün elde edilmiştir.

Yüksek viskoziteye sahip süspansiyonların reolojisinin belirlenmesinde R3 spindle 5 rpm değerleri ve CC39 spindle kayma hızı – kayma gerilimi reogramlarının okunması güvenilir bulunmuştur. Zira, diğer spindleler (CC17, CC27, DG 42) reometrenin güvenilir reoloji tespit etme aralığının dışında kalmıştır.

Sepiyolitin reolojik özelliklerinin belirlenmesinde fiziksel ve kimyasal faktörler etkili olmaktadır. Fiziksel faktörler katı konsantrasyonu ve uygulanan dağıtma enerjisinin büyüklüğü reolojik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Katı konsantrasyonuna göre yapılan görünür viskozite ölçümlerinde kahverengi ve beyaz sepiyolitin viskozitelerinin katı konsantrasyonuna bağlı olarak polinomial arttığı görülmüştür. Viskozitedeki artış ortamda bulunan tanecik sayısına ve buna bağlı olarak da ortamda bulunan serbest lif sayısı ile ilişkilidir. Viskozitesi yüksek sepiyolit süspansiyonlarına yapılan SEM analizlerinde serbest liflerin sayısı dikkat çekicidir. Sepiyolitlerin reolojik özellikleri arasındaki fark, içerdikleri safsızlıklardan ve morfolojik farklılaşmalardan kaynaklanmaktadır; reolojik özellikleri etkileyen en önemli parametrelerden biriside tatbik edilen dağıtma enerjisinin büyüklüğüdür.

Tüvenan kahverengi ve beyaz sepiyolit süspansiyonları, mekanik aktivasyon optimizasyonunda; 1000 D/D karıştırma hızı ile 2 dakika ve 16000 D/D karıştırma hızıyla 8 dakika olarak tespit edilmiştir. Tüvenan kahverengi (%6 PKO) ve beyaz sepiyolit (%10 PKO) süspansiyonları mekanik aktivasyon ile sırasıyla, 20.000 cP, 10.000 cP viskozite vermişlerdir.

Sallantılı masadan elde edilen sepiyolitlere fiziko-kimyasal özelliklerini değiştirmek amacıyla dağıtıcı ve kogulantlar kullanılmıştır. Sepiyolit süspansiyonlarının dağıtılması için tetrasodyum difosfat ve trisodyum difosfat kullanılmıştır. Kahverengi sepiyolitin yüzey yükünü 0,006 mol/lit konsantrasyonda tetrasodyum difosfat ile -53,4 mV olarak belirlenirken, beyaz sepiyolitin yüzey yükü 0,004 mol/lit konsantrasyonda

tetrasodyum difosfat ile -56,5 mV olarak tespit edilmiştir. Sepiyolitlere yapılan zeta potansiyel ölçümlerinde ortaya çıkan farklılıkların, içerdikleri safsızlık oranlarından kaynaklanmaktadır.

Zenginleştirilmiş kahverengi ve beyaz sepiyolitler, dağıtıcı ile stabil süspansiyon haline getirilerek viskozitesi ve reolojisi yüksek sepiyolit süspansiyonları elde etmek amacıyla mekanik aktivasyonda; 1000 D/D karıştırma hızı ile 2 dakika süren bir ön karıştırma ve 16000 D/D'lık 8 dakika süren bir nihai karıştırma işlemi uygulanmıştır. Mekanik aktivasyonla lifleri açılmış stabil süspansiyonların iyi reolojik özellik sergilemesi amacıyla inorganik elektrolitlerin etkisi araştırılmıştır.

Sepiyolitin reolojik özellikleri üzereinde inorganik elektrolitlerin etkisinin araştırılmasında, yapılan zeta potansiyel ölçümlerine göre, sistemde iyon değiştirme ve adsorpsiyonun birlikte gerçekleştiği anlaşılmıştır. İyonların elektronegativite özelliklerine göre bir etki gösterdiği; dolayısıyla, iyonik çaplarından bağımsız olarak, Ca^{+2} iyonun zeta potansiyeli daha etkin olarak değiştirdiği belirlenmiştir. Tüvenan kahverengi sepiyolitin 0,033 mol/lit konsantrasyonda yüzey yükünün -5,6 mV olduğu değerde 28.000 cP, beyaz sepiyolit ise 0,015 mol/lit konsantrasyonda yüzey yükünün -6,03 mV ve 12.306,4 cP olduğu görülmüştür.

Modern lif açma teknolojisi ile kahverengi sepiyolit 52.000 cP viskoziteye ulaşırken beyaz sepiyolit ise 19.000 cP'ye ulaşmıştır. Tüvenan sepiyolit süspansiyonları ile geliştirilmiş sepiyolit süspansiyonlarının tekil fiberleri SEM vasıtasıyla kıyaslandığında, geliştirilmiş sepiyolit fiberlerinin elipsoitliğinde artış tespit edilmiştir. Bu durum, viskoiztedeki artışı teyit eder mahiyettedir.

Numunelerin kayma hızı – kayma gerilimi incelendiğinde beyaz sepiyolit için 15 D/cm^2 , zenginleştirilmiş beyaz sepiyolittin 23 D/cm^2 ; kahverengi sepiyolit, 20 D/cm^2 ve zenginleştirilmiş kahverengi sepiyolittin 70 D/cm^2 'dir. Kayma hızı-kayma gerilimi reogramlarından yola çıkarak, sepiyolit süspansiyonlarının Üs modeline (Power law) yakınlık gösterdiği ve akışkanların südoplastik olduğu söylenebilir. Yüksek konsantrasyonlu kil-su süspansiyonlarının ise südoplastik (sanal plastik) davranış

gösterdiği bilinmektedir. Nitekim, sepiyolit süspansiyonları, %6 gibi nispeten düşük bir konsantrasyonda hazırlanmasına rağmen, sayısız lif taneciklerinin su içinde dağılması sonucu, yüksek konsantrasyonlu sistemler gibi davranarak plastik akış davranışı göstermekte ve genelleştirilmiş Bingham plastik akış modeline uymaktadır.

Sepiyolit katkılı lif takviyeli beton üretiminde, her iki lif tipi çimentonun ağırlığınca %0,5, %1, %2 ve %3 katkı oranlarında betona ilave edilmiştir. Yapılan beton testlerinde, taze haldeki betonun çökmesi üzerinde beyaz sepiyolitik liflerin, kahverengi sepiyolitik liflere göre daha etkili olup, betonun işlenebilmesini arttırarak daha fazla çökme elde edilmesini sağlamışlardır. Ayrıca beyaz sepiyolitik lifler beton içerisine daha fazla hava hapsolmesine neden olmuşsada bu miktar (yaklaşık %0,5) kabul edilebilir sınır içerisinde. Betonun taze haldeki birim ağırlığı üzerinde her iki lif tipi de etkili olmamıştır. Sertleşmiş beton deneylerinde, basınç dayanımı üzerinde hem referans hem de beyaz sepiyolitik liflere göre kahverengi sepiyolitik liflerin daha etkili olduğu görülmüştür. Kahverengi sepiyolitik liflerin %0,5-%2 oranları arasında kullanımıyla 28 günlük basınç dayanımı kontrol serilerine göre %7 artış sağlarken Beyaz sepiyolitik liflerin %1 ve %3 oranında betona ilavesiyle 28 günlük referans serileriyle benzer dayanım göstermiştir. Kahverengi ve beyaz sepiyolitik liflerin %2 katkı oranındaki eğilme dayanımı; 28 günlük referans betonların eğilme dayanımlarına oldukça yakındır. Ancak, %0,5, %1 ve %3 katkı oranlarında eğilme dayanımı azalmıştır.

Donma çözülmeye kahverengi sepiyolitik lif katkısının etkisi beyaz sepiyolitik lif katkılı betonlara göre daha iyi olduğu, lif miktarı artıkça donma çözülmeye dayanımının arttığı %2 üzerinde kahverengi sepiyolitik lif katkısı kullanıldığında sepiyolitik liflerin betonun işlenebilirliğini azaltması nedeniyle betonun homojenitesini bozduğundan dayanımı düşürmektedir.

%0,5 ve %3 kahverengi sepiyolitik lif katkısı yarma dayanımını artırırken beyaz sepiyolitik liflerde tüm katkı oranları yarma dayanımını arttırmıştır. Özellikle %3 beyaz sepiyolitik lif katkısında yarma dayanımı agrega- çimento hamuru ara-yüzeyinin daha dayanıklı hale gelmesi sonucu %29 artmıştır.

Ultrases geçiş hızlarına göre her iki lif tipiyle üretilen 28 günlük betonlar kaliteli beton sınıfı içerisinde yer almışlardır. SEM incelemelerinden, her iki tipteki sepiyolit liflerinin beton içerisinde homojen dağılarak özelikle agrega-imento hamuru arayüzeyini güçlendirdiği görülmüştür.

Genel olarak betonun taze haldeki özellikleri üzerinde beyaz sepiyolitik liflerin daha etkili olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sertleşmiş beton özelliklerinde, basınc dayanımlarında %0,5 üzerindeki kahverengi sepiyolitik liflerin kullanımı etkili olurken çekme dayanımlarında %2 beyaz sepiyolitik lif katkısı üzerindeki oranların daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Beton karışımlarında %3 lif ilavesinin kimyasal katkı kullanılmasına rağmen karıştırmada güçlükler çıkarması nedeniyle her iki lif tipinin de kimyasal katkıyla birlikte %2 oranına kadar betonda kullanılması önerilmektedir. Özellikle soğuk hava depolarında %2 kahverengi sepiyolitik lif katkılı betonların kullanılması uygun bulunmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- ACI 544.3R-93. (1998). Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Committee 544, American Concrete Institute, Detroit, MI.
- ACI 544.1R-96. (1997). *State-of-the-art Report on Fiber Reinforced Concrete*, American Concrete Institute, ACI.
- Alvarez, A. (1984). Sepiolite: properties and uses. Palygorskite-Sepiolite: Occurrences, Genesis and Uses. In: Singer, A., Galan, E., (Eds.), Elsevier, New York, 253–287.
- Alvarez, A. (1985). A rheological grade sepiolite product and processes for its manufacture. European Patent Application, 86/6.
- Alvarez A., Santaren J., Esteban-Cubillo A and Aparicio P. (2011). Current Industrial Applications of Palygorskite and Sepiolite. In: Singer, A., Galan, E., (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 281 – 298.
- Altun, G., Osgouei, A.E., Çelik, M. ve Serpen, N. (2011). Aktif Katı ile Kirlenmiş Sepiyolit Çamurlarında Reoloji ve Su Kaybı Özelliklerinin Kontrolü. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İzmir, 13-16 Nisan, 163-174.
- Alyamaç, K.E. ve İnce, R. (2008). Çelik lif katkılı karo mozaik döşeme kaplama plaklarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *BAÜ FBE Dergisi*, **10**: 31-45.
- Arslan, A. (1993). Çelik lifli betonların özellikleri ve kullanım potansiyeli, *Türkiye Mühendislik Haberleri*. **369**: 29-33.
- ASTM C293M-10, Standart Test Method for Flexural Strength of Concrete.
- ASTM C78/C78M-10. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- ASTM C597-02. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- ASTM C 1018-97, (1997). Standart Test Method for Flexural Toughness and First - Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete. American Society of Testing and Materials, USA.

- Avar, D. (2006). Karma Lifli Betonların Mekanik Davranışına Buhar Kürünün Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baştürk, G. (2004). Bir Akışkan Karıştırma Kabında Karıştırma ve Isıtma Proseslerinin CFD Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri, Kayseri.
- Baradan B. (1991). Yapı Malzemesi 2. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, İzmir.
- Barnes, H.A. (1997). Thixotropy – a review, *J.Non-Newtonien Fluid Mech.*, **70**: 1-33.
- Bekaert, (1998). Duomix Hakkında Genel Bilgiler Klavuzu. Bekaert, Belgium.
- Beddar, M. (2004). Fibre-reinforced concrete – Past, present and future. *Concrete*, April, *ABI/INFORM Trade & Industry* **38**: 47-49.
- Caillere, S. (1951). Sepiolite. X-Ray Identification and Structures of Clay Minerals, , In: Brindley, G.W. (Eds.), Mineral Society, London, 224-233.
- Can, M.F. (2008). Sepiyolit/Epoksi Nano Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri, İstanbul.
- Colic, M., Franks, G.V., Fisher, M.L. and Lange, F.F. (1997). Effect of counterion size on short range repulsive forces at high ionic strenghts, *Langmuir*, **13**, 3129-3135.
- Chhabra, R.P. and Rhichardson J.F. (2008). Non-Newtonian Flow and Appiled Rheology, Engineering Application, 2. edition, 523.
- Çelik, M.S., Çınar, M. ve Can, M.F. (2006). Sepiyolit İçeren Su Bazlı Yüksek Viskoziteli Malzeme Üretimi. TÜBİTAK Projesi No: 104M179, İstanbul, 160.
- Çınar, M. (2005). Determined the rheological properties of sepiolite and production of water based sepiolite. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri, İstanbul.
- DPT, 1996. Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1996-2003). Yayın No:2421, Ankara.
- Emiroğlu, M. (2008). Sepiyolitin Harç ve Beton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Ertürk, S.N. (2012). Akışkanlar Mekaniği; Boyut Analiz ve Benzerlik. Ders Notu, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İTÜ.
- Erdoğan, T. Y. (2007). Beton, Mayıs, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Erbaş, M. (1999). Lif Donatılı Betonlar, *Hazır Beton Dergisi*, 68-71.

- Fookes, P.G. (1980). An Introduction to the Influence of Natural Aggregates on the Performance and Durability of Concrete, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **123**: 207-229.
- Galan, S. ve Singer A. (2011). Developments in Polygorskite – Sepiolite Research. 3. edition, Amsterdam, Netherlands.
- Güven N. (1992). Rheological aspects of aqueous smektite suspensions, in Clay-water interface and its implications, In: Güven, N. And Pollastro (Eds.), CMS Workshop Lectures, *Clay Minerals Soc.*, Boulder, CO. **4**: 81-125.
- Haktanır T. ve Altun, F. (2004). A comparative experimental investigation of steel fiber added reinforced concrete beams materials de construccıon, **54**: 5-15,
- Jones, B.F. and Galan, E. (1988). Sepiolite and palygorskite, in Hydrous Phyllosilicates. Reviews in Mineralogy, In: Bailey, S.W., (Eds), *Mineralogical Soc. America*, Michigan, 631-667.
- JCI-SF4. (1984). Method of Tests for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete. Japan Concrete Institute.
- Kavas, T. ve Sabah, E. (2001). Sepiyolitın Lif Takviyeli Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 18-19 Ekim, İzmir, 194-199.
- Kara, M. (1999). Toksik Ağır Metal İyonlarının Sepiyolit Üzerine Adsorpsiyon Mekanizması, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, O. (2006). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Adana.
- Keith, K.S. and Murray, H.H. (1994). Clay liners and barriers. Chapter in Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition. In: Carr, D.D., (Eds), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, CO, 435–462.
- Kırgız, M.S. (2011). İkameli ve katkılı çimento pastalarının hidratasyon bileşiklerinin taramalı elektron mikrosbu kullanılarak belirlemesine ilişkin literatür araştırmaları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, **24**: 73-90.

- Luckham, P.F. and Rossi, S. (1999). The colloidal and rheological properties of bentonite dispersions. *Advances in Colloid and Interface Science*, **82**: 43-92.
- Mart, U. (2002). Sepiyolitin Reoljik Özelliklerinin İnorganik Elektrolitler Varlığında İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mart, U., Yüzer, H., Sabah, E. ve Çelik, M.S. (2001). Sepiyolitin Su Bazlı Sistemlerde Viskozite Davranışı. 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, 19-22 Eylül, 121-128.
- Mart, U., Çınar, M., Ersoy, B. ve Çelik, M.S. (2003). Sepiyolitin Reolojik Özellikleri Üzerinde İnorganik Elektrolitlerin Etkisi, XI. Ulusal Kil Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir, 3-6 Eylül, 191-197.
- Mehta, P.K ve Monteiro, P.J.M. (1986). Concrete Structure, Properties and Materials, Prentice Hall Inc., Second Edition, New Jersey-USA.
- Murray, H.H. (1975). Applied rheology, Proceedings of the Porcelain Enamel Institute, Technical Forum, **37**: 1-9.
- Murray, H.H. (2007). Applied clay mineralogy: Occurrences, processing and applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskite Sepiolite, and common clays. *Developments in Clay Science*, 2. edition, Amsterdam, 188.
- Naaman, A.E. (1985). Fiber Reinforcement for Concrete. Concrete International, Mart, 21-25.
- Neville, A. M. and Brooks, J.J. (1987). Concrete Technolog, Longman Scientific and Technical, 285.
- Neaman, A. and Singer, A., (2000). Rheological properties of aqueous suspensions of palygorskite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **64**, 427-436.
- Ören, M. (2006). Karıştırma ve Karıştırıcılar, Kullanım Alanları ve Hesaplama Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Perry, R.H. (1997). Perry's Chemical Engineers Handbook. Seventh Edition, The Mc Grow-Hill Co. Inc, Singapur.
- Postacıoğlu, B. (1987). Beton, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt 2, İstanbul.
- Ross G.K., Scales, P J. and Boger, D.V. (1997). Surface Chemistry-Rheology İnter-Relationships in Clay Suspensions. *Colloids and Surfaces*, **137**: 307-318.

- Romualdi, J. P., and Batson, G. B. (1963). Mechanics of crack arrest in concrete. *J. Eng. Mech. Div.*, **89**: 147-168.
- Sabah, E. (1998). Çeşitli Amin Türleri Kullanılarak Sepiyolit AdSORPSİYON Mekanizmasının Açıklanması, Doktora Tezi, O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sabah, E. ve Çelik M.S. (1998). Sepiyolit. İnci Ofset, Konya, Türkiye.
- Santaren, J. (1993). Sepiolite: a mineral thickener and rheology additive. *Modern Paint And Coatings*, 98-72.
- Serna, C.J., Scoyoc, V.G.E. and Ahldrich J.L. (1977). American Mineralogy. **62**: 784.
- Sumner, M.E. (1993). Sodic soils: new perspectives. *Aust. J. Soil Res.* **31**: 683–750.
- Simonton, T.C., Komarneni, S. and Roy, R. (1988). Gelling properties of sepiolite versus montmorillonite. *Applied Clay Science*, **3**: 165-176.
- Singer, A. and Neaman, N. (2011). The Effects of Palygoroksite on Chemical and Physico – Chemaical Properties of Soils. In: Galan, S. ve Singer A. (Eds), Deveploptions in Polygorskite – Sepiolite Research, Amsterdam, 345 – 349.
- Taşdemir, C., Atahan, H.N. (1996). Filler malzemelerin betonun Mekanik özelliklerine ve Dürabilitesine etkisi, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., İlki, A. ve Yerlikaya, M. (2002). Prefabrik elemanlar için çelik tel donatılı betonlar. *Beton Prefabrikasyon*, **63**: 5-12.
- Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F. (2002). Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. *İTÜ Dergisi/ Mühendislik*, **2**: 1-11.
- TS 10515, (1992). Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 12131, (1997). Sepiyolit – Kedi Kumu Üretiminde Kullanılan. Türk Stadartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-6, (2010) Beton-Taze Beton Deneyleri – Bölüm 6: Yoğunluk Deneyi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-7, (2010). Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 7: Hava İçeriğinin Tayini- Basınç Metotları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1, (2010). Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 12350-2, (2002). Beton-Taze Beton DeneYleri-Bölüm 2: Çökme (Slump) DeneYi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802, (1985). Beton Karışım Hesapları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10513, (1992). Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620, (2003). Türk Standartları, Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 707, (1980). Beton Agregalarında Numune Alma ve DeneY Numunesi Hazırlama Yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 932-2, (1999). Agregaların Genel Özellikleri için DeneYler Bölüm 2: Laboratuvar Numunelerin Azaltılması Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 933-8, (2001). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin DeneYler-İnce Tanelerin Tayini-Kum Eşdeğer Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 933-9, (2001). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin DeneYler-İnce Tanelerin Tayini-Metilen Mavisi DeneYi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1097-2, (2000). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin DeneYler-Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1097-3, (1999). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin DeneYler-Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayin. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-5, (2001). Hava Dolaşımı Etüvde Kurutma ile Su Muhtevasının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1097-6, (2002). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin DeneYler-Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-1, (1999). Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için DeneYler-Bölüm 1: Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, (1999). Magnezyum Sülfat DeneYi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1744-1, (2000). Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin DeneYler- Kimyasal Analiz. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 3530 EN 933-1, (1999). Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3814 EN 933-4, (2001). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Tane Şeklinin Tayini-Şekil İndisi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3114, (1990). Beton Basınç Mukaveneti Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3129, (1998). Beton-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 9582 EN 933-3, (1999). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3, (1997). Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminaloji. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uygunoğlu, T. (2008). Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uğur, A. (2007). Lif Donatıların Yüksek Dayanımlı Betonlarda Yarma Dayanımı – Basınç Dayanımı İlişkisine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uğurlu, A. (1999). Agregâ – Çimento Bağı Üzerine. 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu. 213-228.
- Uğurlu, A. (1994). Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara,175.
- Ünal, O. (1994). Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. (2004). Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, İMO, 17. Teknik Kongre, 15-17 Nisan, İstanbul.
- Van Olphen, H. (1977). An Introduction to Clay Colloid Chemistry, Interscience, New York.
- Yaprak, H., Şimşek, O. ve Öneş, A. (2004). Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7: 353-358.

- Yalçınkaya, Ç. (2009). Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir,
- Yardımcı, M. Y. (2007). Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yazıcı, Ş. ve Sezer, G. İ. (2008). Çelik lifli betonların darbe direncine agrega maksimum boyutunun etkisi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **3**: 237 – 245.
- Yiğiter, H. (2002). Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yerlikaya, M. (2003). Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları ve Kökenin Etkisi, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Tübitak 1002 Hızlı Destek Projesi, 106M523, İzmir, 43.
- Yıldız, N. (2010). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme. Ertem Basım Yayın Dağıtım, Eskişehir, 690.
- Wang F., Liang J., Tang Q., Meng J., Wu Z. and Li G. (2006). Microstructure of sepiolite and its adsorbing properties to dodecanol, *Trans. Nonferrous Met, SOC., China*, 16, 406-410.

İnternet Kaynakları

- 1- www.oyakcimento.com, 21.11.2011
- 2- IMA, (2012). www.ima-eu.org, 18.02.2012
- 3- www.polyfibers.com 23.11.2011
- 4- Raf Dergisi (2012). <http://www.raf.com.tr/images/pdf/1370.pdf> 1 23.03.2012

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selçuk KOLTKA
Doğum Yeri ve Tarihi : Ceyhan, 14/12/1984
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0536 614 33 67 / selcukkoltka@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İzmir Eşrefpaşa Lisesi
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Adaçal Ensütriyel Mineraller San. Tic. A.Ş. /
2010-2012

