

SEPIYOLİTTEN NEM ALICI
(DESİKANT) KİL ÜRETİMİ
Gafure ERSEVER
Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak - 2009

SEPIYOLİTTEN NEM ALICI (DESİKANT) KİL ÜRETİMİ

Gafure ERSEVER

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR
Yardımcı Danışman : Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK

Ocak - 2009

KABUL ve ONAY SAYFASI

Gafure ERSEVER'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “SEPIYOLİTTEN NEM ALICI (DESİKANT) KİL ÜRETİMİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

(Sınav tarihi)

Üye : Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK (Yardımcı Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Feridun BOYLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.M.SabriÖZYURT.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

SEPIYOLİTTEN NEM ALICI(DESİKANT) KİL ÜRETİMİ

Gafure ERSEVER

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

Yardımcı Tez Danışmanı: Mehmet Sabri ÇELİK

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, Sivrihisar bölgesinden temin edilen farklı fizikokimyasal özelliklere sahip sepiyolit örneklerinin desikant amaçlı olarak kullanılabilirliği ve onların desikant özelliklerinin farklı işlemlerle geliştirilmesi araştırılmıştır. Seçilen beş farklı sepiyolitten ikisinin sepiyolit içeriği düşük olmasından dolayı araştırmalar daha çok sepiyolit içeriği yüksek diğer üç farklı sepiyolit (Kurtşeyh, Sığırcık, TTB) üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Çalışmalar öncelikle desikant boyutunun belirlenmesi amacıyla örneklerin boyuta bağlı olarak nem tutma kapasitelerine bakılmıştır. Örneklerin nem tutma kapasitelerinde büyük bir değişim görülmemiştir. Daha sonra örneklerin nem tutma kapasitesi üzerine ısı aktivasyonunun etkisi araştırılmıştır. Isıl aktivasyon deneyleri 90-105-150-200-250-300-350-400-500 °C’de yapılmıştır. Sepiyolitin ısı işleme maruz bırakılmasının nedeni onun yüzey alanındaki artışa paralel olarak nem tutma kapasitesinin artırılmak istenmesidir. 300 °C ye kadar sepiyolitin nem tutma kapasitesi artmış bu sıcaklığın üzerinde ise nem tutma kapasitesinde düşüş gözlemlenmiştir. Sepiyolitin 200 °C’ye kadar yapısındaki bağlı ve zeolitik suyun uzaklaştırılmasının bir sonucu olarak yüzey alanındaki artışa paralel olarak nem adsorpsiyon kapasitesinde bir artış olmaktadır. Fakat bu sıcaklık 300 °C’nin üzerine çıkarıldığında ise mikrogözeneklerin bozulmasına paralel olarak yüzey alanındaki azalmayla nem tutma kapasitesinde de azalma olmaktadır. Bundan dolayı örneklerimizde en iyi nem tutma kapasitesi 200 °C civarında olduğu için aktivasyon sıcaklığı 200 °C olarak alınmıştır.

Sepiyolitin nem alma kapasitesinin artırılması amacıyla zenginleştirme çalışmalarında sepiyolit ve safsızlıklarının birbirinden ayrılması amacıyla hidrosiklonlarda deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen ürünlere uygulanan nem adsorpsiyon testlerinde sepiyolitin nem tutma kapasitesinde bir artış olmuş fakat bu artış istenilen seviyelerde olmamıştır.

Sepiyolitin USA ve Japon standartlarına göre iyi bir nem tutucu (desikant malzeme) olması için % 20, % 50 ve % 90 nemde 25 °C’de belirli bir nem tutma kapasitesine sahip olması

gerekmektedir. Bundan dolayı sepiyolitın nem adsorpsiyon kapasitesini artırmak amacıyla CaCl_2 , MgCl_2 , LiCl ve NaSO_4 gibi tuz ve reaktiflerden ağırlıkça %1-10 aralığında sepiyolite ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Bu tuzların $\text{LiCl} > \text{CaCl}_2 > \text{MgCl}_2 > \text{NaSO}_4$ sıralaması şeklinde sepiyolitın nem adsorpsiyon kapasitesini artırdığı görülmüştür. Buna karşılık NaSO_4 ise sepiyolitın nem adsorplama kapasitesini azaltmıştır. Sonuç olarak, %3 LiCl , % 5 CaCl_2 ve %7 MgCl_2 ilavesi ile kalsiyum klorür ilavesi ile standartlara uygun sepiyolit desikant elde edilmiştir. Bunların dışında, sepiyolitın nem tutma kapasitesi üzerine ortam sıcaklığındaki değişimin nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Artan ortam sıcaklığına bağlı olarak sepiyolitın nem tutma kapasitesinin 40 °C'den sonra düştüğü görülmüştür. Bu düşüş CaCl_2 katkılı sepiyolitler de artan CaCl_2 miktarına bağlı olarak azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bağlı nem, Desikant, Sepiyolit, Sıcaklık, İnorganik tuz,

THE DESICANT PRODUCTION FROM SEPIOLITE

Gafure ERSEVER

Master of Science Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

Thesis Supervisor Assist: Prof. Dr. Mehmet Sabri Çelik

SUMMARY

Within the context of this study, the sepiolite samples with different physico chemical properties obtained from Sivrihisar area were investigated for their usability as desiccant and also for enhancing their desiccant feature with various tests. Five samples were selected for this test but the investigations were major on three of these samples because of their higher sepiolite content than the other two.

Firstly, to determine the desiccant size, the samples were examined for their humidity absorb capacity according to size aperture. After that, thermal activation effect on samples for their humidity absorb capacity was investigated. Thermal activation tests were done under 90-105-150-200-250-300-350-400-500 °C. The reason for exposing sepiolite under thermal process is to increase their humidity absorb capacity in parallel with the increase of specific surface area. The humidity absorb capacity was increased to 300 °C but over this temperature decreases for humidity absorb capacity were observed. As a result of removing structural and zeolitic water the specific surface area was increased and in parallel with these increment the humidity absorbance capacity was increased until 200 °C. But when that temperature became over 300 °C the humidity absorbance capacity was decreased in parallel with souring of micropores. Therefore, 200 °C was accepted as activation degree as the best humidity absorbance capacity was observed about 200 °C.

For, increasing the humidity absorbance capacity of sepiolite, firstly the impurities were removed with hydrocyclone tests. an increase was observed on humidity adsorbance property of products obtained from tests, but that increase was not accepted as sufficient.

In USA and Japan standards, to be used as humidity adsorbance (a desiccant material) ,sepiolites should to adsorb at 25 °C at 20,50 and 90 % humidity . Therefore, to increase the humidity adsorbtion capacity of sepiolites ,mixtures were prepared by adding CaCl₂,MgCl₂,

LiCl, NaSO₄, similar salts and reactives to the sepiolite samples at 10%w. It was observed that these salts increase humidity adsorbance degree in this order LiCl > CaCl₂ > MgCl₂ > NaSO₄. On the other hand NaSO₄ decreases the humidity adsorbtion of sepiolite. As a result sepiolite suitable for standars was obtained by adding %3 LiCl, %5 CaCl₂ and %7 MgCl₂. Also the effect of temperature on humidity adsorbance of sepiolites was investigated. It was found that sepiolite humidity adsorbance capacity was in paralel with increasing temperature but after 40 °C it started to decrease. That situation decrease by increasing the CaCl₂ for CaCl₂ added sepiolite samples.

Keywords: Sepiolite, Desicant, Temperature, Inorganic salt, Relative humidity.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışma konusunu bana öneren, çalışmalarımın başlangıcından sonuna kadar bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, hiç bir zaman desteğini esirgemeyen ve sürekli teşvik eden saygıdeğer hocam ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez yardımcı danışmanlığımı yapan ve aynı zamanda İ.T.Ü Cevher Hazırlama Mühendisliği laboratuvarlarını ve yüzey kimyası laboratuvarlarını bana açarak çalışmalarında beni yönlendiren, sonsuz bilgi ve deneyiminden istifade ettiğim Sayın Hocam Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, D. P. Ü'den saygı değer hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL, Arş. Gör. Oktay ŞAHBAZ ve bölümde görev yapan diğer hocalarıma, İ.T.Ü.'den Yrd. Doç. Dr. Feridun BOYLU, Doç. Dr. Gülay BULUT, Dr. Kenan ÇINKU ve Dr. Fatih CAN'a ve aynı zamanda bölümde görev yapan diğer hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım esnasında bana destek olan laboratuvar arkadaşlarım, Arş. Gör. İlker ERKAN, Yüksek Mühendis Tan ÇETİNEL, Maden Mühendisi Günser GÜLDAN, Tekniker Ömer KURULU, Maden Mühendisi Buket ÇOBANKUYU ve Arş. Gör. Onur GÜVEN'e teşekkür ederim.

107M263 No'lu TÜBİTAK projesi kapsamında yapılan bu tez çalışmasına verdiği desteklerden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Bütün Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen, benim bugünlere gelmemi sağlayan saygıdeğer aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Tanımı ve sınıflama.....	2
2.2. Sepiyolit Özellikleri.....	3
2.2.1. Mineralojik Özellikleri.....	3
2.2.2. Kristal Yapısı.....	4
2.2.3. Kimyası.....	8
2.2.4. Fiziksel Özellikleri.....	9
2.2.5. Fiziko-Kimyasal Özellikleri.....	10
2.2.5.1 Sorptif Özellikleri.....	10
2.2.5.2 Yüzey alanı.....	12
2.2.6. Termal Özellikleri.....	13
2.2.7. Katalitik Özelliği.....	13
2.2.8. Porozite.....	14
2.2.9. Reolojik özellikleri.....	15
2.3. Kullanım Alanları.....	15
2.3.1. Sorptif Amaçlı Kullanım Alanları.....	15
2.3.1.1. Hayvan atlığı(Pet-Litter) olarak kullanımı.....	16
2.3.1.2. Renk Giderici madde olarak kullanımı.....	16
2.3.1.3. Tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak kullanımı.....	16
2.3.1.4. İlaç sanayiinde kullanımı.....	16
2.3.1.5. Sigara filtrelerinde kullanımı.....	17
2.3.1.6. Karbonsuz kopya kağıdı ve deodorant etkili kağıt yapımında Kullanımı.....	17
2.3.1.7. Deterjan ve temizlik maddelerinde kullanımı.....	17
2.3.2. Katalitik amaçlı kullanım alanları.....	18
2.3.2.1. Katalizör taşıyıcı olarak kullanımı.....	18
2.3.3. Reolojik özelliklere dayalı kullanım alanları.....	19

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.3.1. Polyester.....	19
2.3.3.2. Boyalar.....	19
2.3.3.3. Asfalt kaplamalar.....	20
2.3.3.4. Gres kalınlaştırıcı olarak kullanımı.....	20
2.3.3.5. Kozmetiklerde kullanımı.....	20
2.3.3.6. Plastisollerde kullanımı.....	21
2.3.3.7. Tarımda kullanımı.....	21
2.3.3.7. Sondaj çamuru olarak kullanımı.....	22
2.3.3.8. Besicilikte kullanımı.....	23
2.3.3.9. Kauçuk sanayinde kullanımı.....	25
2.3.4. Diğer kullanım alanları.....	25
2.3.4.1. Seramik üretiminde kullanım.....	25
2.3.4.2. Fren balatalarında asbest yerine kullanımı.....	26
2.3.4.3. Nem alıcı kil üretiminde.....	26
2.3.5. Tüketim miktar ve değerleri.....	26
2.4. Türkiye’de Durum.....	27
2.4.1. Sepiyolitin Türkiye’de bulunuş şekilleri.....	27
2.4.2. Rezervler.....	27
2.4.3. Üretim.....	28
2.4.4. Tüketim.....	28
2.4.5. Dış ticert.....	28
2.5. Dünyada Durum.....	29
2.6. Çevre Sorunları.....	30
2.7. Sepiyolitin İnsan Sağlığı Üzerinde Etkileri.....	30
3. SEPIYOLİTİN NEM ALICI(DESİKANT) OLARAK KULLANILMASI.....	32
3.1. Nem Hakkında Genel Bilgi.....	32
3.2. Nem Alıcılar ve Genel Özellikler.....	35
3.3. Nem Alıcıların Kullanım Alanları.....	37
3.4. Nem Alıcı Çeşitlei.....	37
4.4.1. Sentetik Nem Alıcılar.....	37
4.4.2. Doğal Nem Alıcılar.....	41
3.5. Nem Alıcılı Seçimi.....	47
3.5.1. Seçime Etki Eden Faktörler.....	47
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	49
4.1. Çalışmalara Esas Olan Malzemeler.....	49
4.1.1. Sepiyolit Örnekleri.....	49

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2. Çalışmalarda İzlenen Yöntemler.....	50
4.2. 1. Tuvenan sepiyolit örneklerin hazırlanması ve karakterizasyonu çalışmaları esnasında izlenen yöntemler.....	51
4.2.1.1. Hazırlık çalışmaları.....	51
4.2.1.2. Karakterizasyon çalışmaları.....	51
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	59
5.1. Numune Özelliklerin Belirlenmesi.....	59
5.1.1. Kimyasal analiz sonuçlar.....	59
5.1.2. Fiziksel özelliklerin tespitinde alınan sonuçlar.....	60
5.1.2.1. Boyut dağılımı sonuçları.....	60
5.1.2.2. Örneklerin diğer fiziksel özellikleri.....	60
5.1.3. TG ve DTA analizler.....	61
5.1.4. Mineralojik analizler.....	62
5.1.5. Sepiyolit süspansiyonlarının reolojik özellikleri.....	63
5.2. Desikant Kil Üretimine Yönelik Deneyler.....	64
5.2.1. Desikant kil üretimi deney metodu.....	65
5.2.2. Ham numune üzerinde yapılan desikant kil çalışmaları.....	68
5.2.2.1. Isı aktivasyonu.....	68
5.2.2.2. Kurutma sıcaklığına bağlı numunelerin yüzey alanı değişimi.....	73
5.2.2.3. Byutun nem alma kapasitesi üzerine etkisi.....	74
5.2.2.4. Hidrosiklon ile Zenginleştirme çalışmaları.....	78
5.2.3. Katkı madde ilavesinin(değişik reaktiflerle muamele) sepiyolit nem alma Kapasitesi üzerine etkisi.....	93
5.2.3.1. CaCl ₂ 'ün Nem alma kapasitesi üzerine olan etkisi.....	93
5.2.3.2. MgCl ₂ 'ün Nem alma kapasitesi üzerine olan etkisi.....	95
5.2.3.3. LiCl'ün Nem alma kapasitesi üzerine olan etkisi.....	98
5.2.3.4. Na ₂ SO ₄ 'ün nem alma kapasitesi üzerine olan etkisi.....	98
5.2.3.5. MgO'ün nem alma kapasitesi üzerine olan etkisi.....	100
5.2.3.6. Al ₂ O ₃ 'ün nem alma kapasitesi üzerine olan etkisi.....	101
5.2.4. İklimlendirme Koşulunun Etkisi.....	103
5.2.4.1. Katkısız Sepiyolit Sabit Sıcaklık ve Farklı Relatif Nemlerde Nem Alma Kapasitesinin İncelenmesi.....	103
5.2.4.2. CaCl ₂ Katkılı Sepiyolit Sabit Sıcaklık Farklı Bağıl Nemlerde Nem Alma Kapasitesinin İncelenmesi.....	108
5.2.4.3. CaCl ₂ Katkılı Sepiyolit Sabit Bağıl Nem Farklı Ortam Sıcaklığın Nem Alma Kapasitesinin İncelenmesi.....	112
5.3. Sepiyolit Desikant Ürünlerin Nem Alma Davranışının Modellenmesi.....	118
5.3.1. Zamana Bağlı Adsorpsiyon Ve Desorpsiyon Modeller.....	118

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3.1.1. Kurtşeyh Zamana Bağlı Nem Adsorpsiyon.....	118
5.3.1.2. Sığircık Zamana Bağlı Nem Adsorpsiyon.....	119
5.3.1.3. TTB Zamana Bağlı Nem Adsorpsiyon.....	120
5.3.1.4. Kurtşeyh Zamana Bağlı Nem Desorpsiyon.....	122
5.3.1.5. Sığircık Zamana Bağlı Nem Desorpsiyon.....	122
5.3.1.6. TTB Zamana Bağlı Nem Desorpsiyon.....	123
5.3.2. Relatif Neme Bağlı Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Modeller.....	126
5.3.2.1. Relatif Neme Bağlı Kurtşeyh Nem Adsorpsiyonu.....	126
5.3.2.2. Relatif Neme Bağlı Sığircık Nem Adsorpsiyonu.....	127
5.3.2.3. Relatif Neme Bağlı TTB Nem Adsorpsiyonu.....	127
5.3.2.4. Relatif Neme Bağlı Kurtşeyh Nem Desorpsiyonu.....	128
5.3.2.5. Relatif Neme Bağlı Sığircık Nem Desorpsiyonu.....	128
5.3.2.6. Relatif Neme Bağlı TTB Nem Desorpsiyonu.....	129
6.GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	131
KAYNAKLAR.....	133
EKLER.....	137
EK A : XRD Analiz Grafikleri.....	137
EK B : DTA- TG Analiz Grafikleri.....	140

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sepiyolit kristalinin şematik görünüşü(Jones ve Galen, 1988).....	5
2.2. Poligorskitin (Bradley sonrası, 1940) ve sepiyolit (Brauner vePreisinger sonrası,1956) 001 birim hücre yüzeyine paralel yapısal şeması(Jones ve Galen, 1988)	7
3.1. Maddelerin nem alıp bozulması.....	33
3.2. Normal silika jel.....	38
3.3. Mavi indikatörlü silika jel.....	38
3.4. Turuncu indikatörlü silika jel.....	39
3.5. Aktif alümina.....	40
3.6. Moleküler elek.....	41
3.7. Desikant elek.....	42
3.8. Topsorb firması üretim akım şeması.....	46
4.1. Tüvenan sepiyolit örneklerinin hazırlanması ve karakterizasyonu çalışmalarının akım şeması	50
4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan Fritsch marka boyut ölçüm cihazı.....	52
4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan Precisa marka nem ölçüm cihazı.....	53
4.4. Su emme testinin yapıldığı düzenek.....	54
4.5. Quanto chroma monosorb yüzey alan ölçüm cihazı.....	55
4.6. Çalışmalarda kullanılan brookfield RVDV –II + model viskozimetre.....	57
4.7. Çalışmalarda kullanılan mekanik karıştırıcılar(Waring Co tarafından üretilen Waring karıştırıcı, Arçelik tarafından üretilen arçelik karıştırıcı	58
5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan sepiyolit örneklerinin iki kademeli kıрма işlemi sonrasındaki boyut dağılım sonuçları.....	60
5.2. %PKO’da hazırlanan sepiyolit süspansiyonların zamana bağlı viskozite değişimi.....	64
5.3. Desikant kil üretimi deneyleri genel akım şeması.....	66
5.4. Deneylerde kullanılan iklimlendirme dolabı.....	67
5.5. Kurtşeyh numunesi ısıtma işlem sıcaklığına ve sürelerine göre nem alma kapasitesi... ..	69
5.6. Sığırcık numunesi ısıtma işlem sıcaklığına ve sürelerine göre nem alma kapasitesi.....	71
5.7. TTB numunesi ısıtma işlem sıcaklığına ve sürelerine göre nem alma kapasitesi.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.8. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı yüzey alan değişimi	74
5.9. Sepiyolit numunelerinin tane boyut dağılımları	76
5.10. Sepiyolit numuneleri boyuta göre nem alma kapasiteleri	77
5.11. Hidrosiklon çalışmalarında kullanılan laboratuvar tipi mozley marka hidrosiklonun görünüşü	80
5.12. TTB hidrosiklon deneyi akım şeması.....	81
5.13. TTB hidrosiklon ürünlerin boyut dağılımları.....	82
5.14. TTB hidrosiklon ürünlerin 5Rpm'deki görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi	83
5.15. Ahiler Cat hidrosiklon deney akım şeması	85
5.16. Ahiler Cat hidrosiklon ürünlerin boyut dağılımları.....	86
5.17. Ahiler Cat hidrosiklon ürünlerin 5 Rpm'deki görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi	86
5.18. Kurtşeyh Cat hidrosiklon deney akım şeması.....	88
5.19. Kurtşeyh Cat hidrosiklon ürünlerin boyut dağılımı.....	89
5.20. Kurtşeyh Cat hidrosiklon ürünlerin 5 Rpm'deki görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi.....	89
5.21. Sığırcık hidrosiklon deney akım şeması.....	92
5.22. Sığırcık hidrosiklon ürünlerin boyut dağılımı.....	92
5.23. Sığırcık hidrosiklon ürünlerin 5 Rpm'deki görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi.....	92
5.24. CaCl ₂ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	95
5.25. MgCl ₂ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	97
5.26. LiCl miktarına göre nem alma kapasitesi	98
5.27. NaSO ₄ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	100
5.28. MgO miktarına göre nem alma kapasitesi.....	101
5.29. Al ₂ O ₃ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	103
5.30. Kurtşeyh sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi.....	105
5.31. Sığırcık sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi.....	106
5.32. TTB sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi.....	108
5.33. CaCl ₂ Katkılı kurtşeyh sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi.....	109

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.34. CaCl ₂ Katkılı sığircık sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi.....	110
5.35. CaCl ₂ Katkılı TTB sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi...	112
5.36. CaCl ₂ Katkılı kurtşeyh numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıkta nem alma kapasitesi.....	113
5.37. CaCl ₂ Katkılı sığircık numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıkta nem alma kapasitesi.....	114
5.38. CaCl ₂ Katkılı TTB numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıkta nem alma kapasitesi.....	115
5.39. Kurtşeyh zamana bağıl nem adsorpsiyonu.....	119
5.40. Sığircık zamana bağıl nem adsorpsiyonu.....	119
5.41. TTB zamana bağıl nem adsorpsiyonu.....	120
5.42. Kurtşeyh zamana bağıl nem desorpsiyonu.....	122
5.43. Sığircık zamana bağıl nem desorpsiyonu.....	123
5.44. TTB zamana bağıl nem desorpsiyonu.....	124
5.45. Relatif neme bağıl kurtşeyh nem adsorpsiyonu.....	126
5.46. Relatif neme bağıl sığircık nem adsorpsiyonu.....	127
5.47. Relatif neme bağıl TTB nem adsorpsiyonu.....	127
5.48. Relatif neme bağıl kurtşeyh nem desorpsiyonu.....	128
5.49. Relatif neme bağıl sığircık nem desorpsiyonu.....	128
5.50. Relatif neme bağıl TTB Nem desorpsiyonu.....	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Tabakalı sepiyolit'in(sanayi sepiyoliti) fiziksel özellikleri.....	10
2.2. Sepiyolit'in değişik adsorbatlar ile belirlenmiş yüzey alan değerleri.....	12
3.1. Aktive edilmiş killerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	43
4.1. Tüvenan örneklerin sepiyolit içerikleri	49
5.1. Deneylerde kullanılan farklı sepiyolitlerin kimyasal analizleri.....	59
5.2. Çalışmalarda kullanılan sepiyolit örneklerinin fiziksel özellikleri	60
5.3. TG analizlerine göre kritik sıcaklıklarda meydana gelen toplam kütle kayıpları.....	61
5.4. Sepiyolit örneklerinin mineralojik analiz sonuçları.....	62
5.5. Waring ve Arçelik karıştırıcılarda hazırlanmış süspansiyonların vizkozite değerleri, 30g katı/L	63
5.6. Kurtseyh numunesinin nem alma kapasitesi	69
5.7. Sığırcık numunesinin nem alma kapasitesi.....	70
5.8. TTB numunesinin nem alma kapasitesi.....	72
5.9. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak yüzey alan değişimi.....	73
5.10. Kurtseyh sepiyolitinin boyut dağılımı(Kuru elek analizi).....	75
5.11. Sığırcık sepiyolitinin boyut dağılımı(Kuru elek analizi).....	75
5.12. TTB sepiyolitinin boyut dağılımı(Kuru elek analizi).....	76
5.13. Sepiyolit numunelerinin boyuta göre nem alma kapasiteleri	77
5.14. TTB sepiyolitinin hidrosiklon alt akım ürünlerinin boyut dağılımları.....	81
5.15. TTB numunesi zenginleştirme ürünlerinin nem alma kapasite değerleri.....	83
5.16. Ahiler Cat sepiyolitinin alt akım ürünlerinin boyut dağılımları.....	84
5.17. Ahiler Cat numunesi hidrosiklon zenginleştirme ürünlerin nem alma kapasitesi değerleri.....	87
5.18. Kurtseyh Cat hidrosiklon alt akım ürünlerin boyut dağılımı.....	88
5.19. Kurtseyh Cat numunesi zenginleştirme ürünlerinin nem alma kapasiteleri.....	90
5.20. Sığırcık hidrosiklon alt akım ürünlerinin boyut dağılımı.....	90
5.21. Sığırcık numunesi zenginleştirme ürünlerinin nem alma kapasitesi değerleri	93
5.22. CaCl ₂ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	95
5.23. MgCl ₂ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	96
5.24. LiCl miktarına göre nem alma kapasitesi.....	98

ÇİZELGE DİZİNİ(devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.25. NaSO ₄ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	99
5.26. MgO miktarına göre nem alma kapasitesi.....	101
5.27. Al ₂ O ₃ miktarına göre nem alma kapasitesi.....	102
5.28. Kurtşeyh sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi	104
5.29 Sığırcık sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi.....	106
5.30. TTB sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi.....	107
5.31. Kurtşeyh numunesinin farklı bağıl nemlerde sabit sıcaklıkta nem alma kapasitesi.....	109
5.32. Sığırcık numunesinin farklı bağıl nemlerde sabit sıcaklıkta nem alma kapasitesi.....	110
5.33. TTB numunesinin farklı bağıl nemlerde sabit sıcaklıkta nem alma kapasitesi.....	111
5.34. Kurtşeyh numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi.....	113
5.35. Sığırcık numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi.....	114
5.36. TTB numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi.....	115
5.37. Rejenerasyon Test Sonuçları.....	116
5.38. Tekrarlanabilirlik testi.....	117
5.39. Zamana bağlı adsorpsiyon değerleri.....	121
5.40. Zamana bağlı desorpsiyon değerleri.....	125
5.41. Relatif neme bağlı adsorpsiyon ve desorpsiyon modelleri.....	130

1. GİRİŞ

Hidrate magnezyum silikat olan sepiyolit, mikrofiber yapılı yüksek yüzey alanına sahip doğal bir kil mineralidir. Yarım hücre formülü $\text{Si}_{12}\text{O}_{30}\text{Mg}_8(\text{OH},\text{F})_{48}\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Tetrahedral ve oktohedral düzenlenmiş oksitlerin istiflenmesi sonucu oluşan lifsi bir yapısı vardır ve lif boyunca devam eden kanal boşluklarına sahiptir. Günümüzde sepiyolit, yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli duraylı süspansiyonlar oluşturması vb. gibi teknolojik uygulamalara baz teşkil eden sorptif, katalitik ve reolojik özeklerinden dolayı sayısız kullanım alanına sahip bulunmaktadır. Sepiyolitin yapısı ısı işlemlere karşı duyarlıdır. Zeolitik ve adsorbe su molekülleri ısı derecesi yükseldikçe kaybedilir.

Bu çalışmada ülkemizdeki morfolojik, yapısal ve dokusal özellikleri farklı olan sepiyolitlerin özellikleri ortaya konarak desikant kil olarak kullanılması, proses akım şemalarının geliştirilmesine yönelik kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda bilimsel katkılara ilave olarak teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda sağlanacak faydalarla Türk ekonomisine katkıda bulunması hedeflenmektedir.

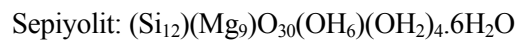
Sepiyolit nem alıcı (desikant) malzeme olarak su buharını mükemmel adsorblama yeteneklerinden dolayı tavsiye edilmektedir. Bu proses desikant malzemeyi yüksek bağıl neme maruz bırakarak, ortamdaki nemin emilmesini hedeflemektedir. Bu şartlarda su buharının bir kısmı desikant tarafından uzaklaştırılır. Sepiyolitler üzerine suyun emilme mekanizması, killerin yapısal ve fiziko-kimyasal özelliklerinden dolayı oldukça karmaşık bir süreçtir.

Su buharı gazlardan ayırma işlemi; bir çok katı malzemelerde (silika jel, aktive edilmiş alümina, aktive edilmiş kil, moleküler elek vb.) adsorbsiyon ile bazıları için gerçek kimyasal reaksiyonlarla, diğerlerinde hidrate olmuş bileşenlerin kaybolması vasıtasıyla meydana gelir. Katı desikantın dehidrasyonu bir adsorbsiyon prosesi olup, su molekülleri desikant malzemeye yüzey kuvvetleri ile bağlıdır. Bundan dolayı da su buharının adsorbsiyon kinetiği üzerine araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu araştırmalar özellikle, katı desikant malzemesinin tekrarlı kullanımı için gerekmektedir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 Tanım ve Sınıflama

Sepiyolit ve paligorskit, fillosilikat grubuna dahil doğal bir kil mineralidir. Bu mineral grubunun tanımına uygun olarak (Brindley ve Pedro, 1972), T_2O_5 (T = Si, Al, Be, ...) bileşimli, iki yönlü sürekli bir tetrahedral tabaka ve kesikli oktahedral tabakalardan oluşurlar. Bu minerallerin kristal yapısı, 2:1 fillosilikat yapısına ait zincirlerin birbirine bağlanmasından meydana gelmiştir. Her bir zincir, diğerine ters ardanmalı SiO_4 tetrahedronları vasıtasıyla Si-O-Si bağları ile tutturulmuştur. Zincir şeklindeki yapı, X-eksenine paralel uzanır ve Y-ekseni boyunca genişliği, sepiyolitte üç adet bağlı piroksen-tipi zincir genişliği kadardır. Buna göre, 2:1 tabaka yapısı X-ekseni boyunca sürekli, buna karşılık Y-ekseni boyunca kesiklidir. Basit olarak sepiyolit sulu magnezyum silikat, atapulgit (paligorskit) ise sulu magnezyum-aluminyum silikat bileşimli kil mineralleridir [1]. İdeal teorik bileşimleri, [2]. göre şu şekildedir;



Sepiyolit mineralinin dokusu, yüzey alanı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, bu mineralin teknolojik uygulamalarına baz teşkil eden fiziko-kimyasal özellikleri ile yakından ilişkilidir. Sepiyolit yapısı, ısı işlemlere karşı hassastır. Zeolitik ve bağlı su molekülleri, ısı derecesi yükseldikçe kristal yapısından uzaklaşır. Mineral ayrıca asitle muameleye karşı da duyarlı olup bu işlem sonucu kristal yapısı kısmen tahrip olmaktadır. Hem ısı hem de asit muameleleri, sepiyolitın yüzey özellikleri ve porozitesini değiştirdiğinden dolayı sepiyolitın en faydalı özellikleri, örneğin adsorptif, koloidal ve katalitik özelliklerini bu işlemlerle değiştirmek mümkün olabilmektedir. Levha yapısına sahip diğer kil minerallerine göre daha nadir bulunmaları, çok özel şartlarda yataklanmalar göstermeleri, dokusal özellikleri, kristal yapılarındaki süresizliklere bağlı kanallar tarafından sağlanan yüksek özgül yüzey alanları ile absorpsiyon özelliği, porozitesi, kristal morfolojisi ile kompozisyonun bağlı uygun nitelikli fizikokimyasal özellikleri, anılan mineralleri tüm dünyada kıymeti gittikçe artan bir hammadde konumuna getirmişlerdir.

Sepiyolit terimi ilk defa 1847 yılında Glocker tarafından kullanılmış olup Yunanca "mürekkap balığı" anlamındaki kelimelerden türetilmiştir. Tabiatta sepiyolit zenginleşmeleri, kabaca iki farklı tipte bulunmaktadır. Bunlardan birinci tip sepiyolit oluşumu, ülkemizde

özellikle Eskişehir yöresinde ve Konya-Yunak civarında bulunan "**lületaşı (meerschaum)**" dur. Bir diğer önemli sepiyolit oluşumu ise, "**sanayi sepiyoliti**" veya "**tabakalı sepiyolit**" olarak da adlandırılan "**sedimanter sepiyolit**" lerdir. Bunlara daha çok Eskişehir-Sivrihisar ve Mihalıççık-Yunusemre yörelerinde rastlanmaktadır. Ayrıca volkanosedimanter kökenli malzemelerin (vitrik tuf-kül tufü) diyajenetik süreçler içerisinde, yeraltı ve yerüstü sularının da etkisi ile değişimi sonucu oluşmuş sepiyolit, özellikle Na-sepiyolit (loughlinit) yataklanmaları da önemli bir yer tutar (Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağlı). Bunlardan başka ekonomik yataklanmalar oluşturmamasına rağmen, dünyada ve ülkemizde tanımlanmış pekçok farklı oluşum şekillerine sahip sepiyolit türleri mevcuttur. Bunlardan bazıları; Fe-sepiyolit, ksilotil, Ni-sepiyolit, Mn-sepiyolit, Al-sepiyolit ve volkanosedimanter malzemelerin hidrotermal alterasyon ürünü olan Al, Fe-sepiyolittir (Bolu-Kıbrısık, Çankırı-Orta).

Paligorskit-atapulgit, ifade ettikleri kil türü itibariyle eşdeğerdir. Paligorskit ismi ilk defa 1862 yılında Von Ssaftschenkar tarafından, ilk bulunduğu yer olan Rusya'nın Paligorsk yöresinin ismine izafeten kullanılmıştır. Atapulgit ismi ise, ilk defa [3]. tarafından ABD'nin Georgia-Attapulguş yöresine göre adlandırılmıştır. Bugün atapulgit terimi daha çok ticari alanda kullanılırken, bilimsel çalışmalarda paligorskit terimi tercih edilmektedir. Atapulgit-paligorskit türleri arasında Mn-paligorskit, Mn-ferropaligorskit, yofortierit ve taperssuatsiait sayılabilir [4].

2.2 Sepiyolitın Özellikleri

2.2.1 Mineralojik özellikleri

Sedimanter tabakalar halinde çökelen sepiyolitler, genellikle toprağimsı, ince taneli ve kaygan görünümlüdür. Bu tip sepiyolitlerde, sepiyolit minerali, bileşimde % 90'ı aşan oranlarda bulunur ve buna eşlik eden mineraller de; genelde dolomit ve smektit grubu killer ile manyezit, paligorskit ve detritik minerallerdir. Bunların haricinde kil dışı karbonat mineralleri, kuvars, feldspat ve fosfatlar da olabilmektedir. Ayrıca, hemen her zaman organik maddeler de bu tipteki sepiyolit kilinin bileşiminde yer alır. Ancak, sepiyolit kiline koyu renk veren organik maddenin oranı % 10'u aşmaz. Masif yapıli sepiyolit kilinde ise gerek intraklastlar, gerekse hamur maddesi sepiyolit mineralinden meydana gelir. Genellikle organik madde içermeyen bu tipteki sepiyolit içeriği % 90'dan fazladır.

Dolomitli sepiyolitler çoğunlukla % 50 ve daha fazla oranlarda sepiyolit içerirler. Sepiyolit dışındaki başlıca bileşen, dolomit mineralidir; yer yer değişik oranlarda illit, detritik

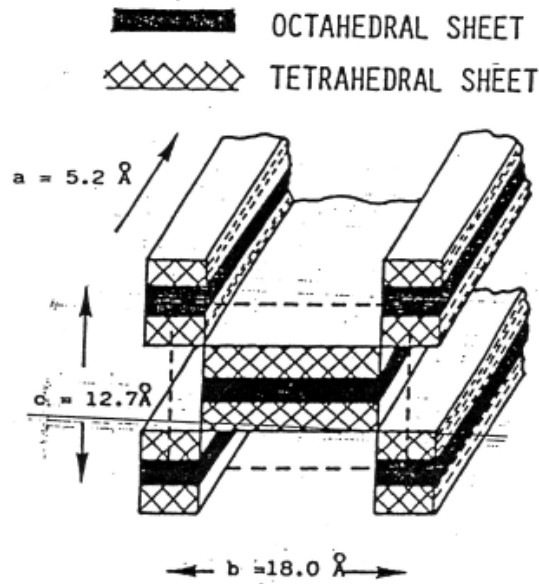
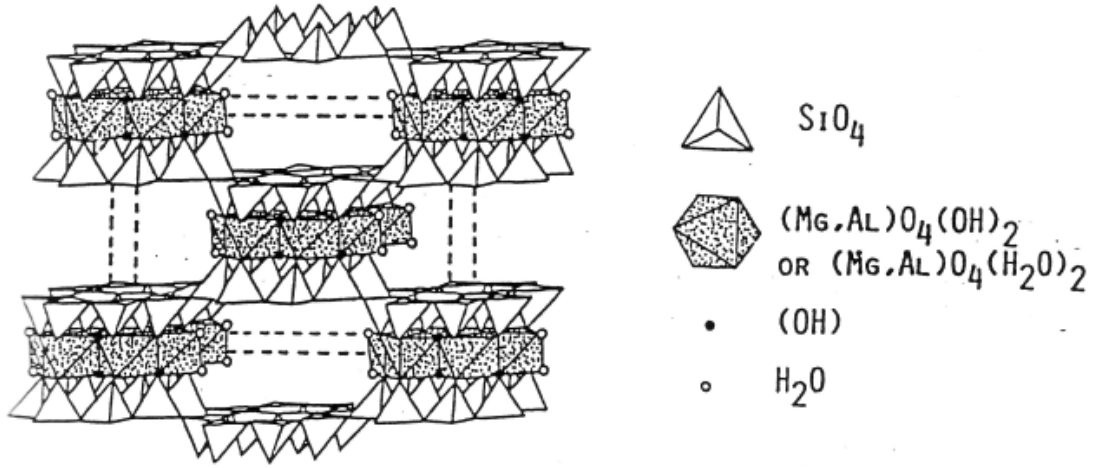
kuvars ve volkanik cam da bulunur. Sepiyolit içeriğinin % 50'nin altına düştüğü durumlarda, malzeme sepiyolitli dolomit niteliğini kazanır. Ancak, ana sepiyolit seviyesindeki malzemede sepiyolit hemen her zaman % 10 ve daha fazla oranlarda bileşimde yer alır.[5].

2.2.2 Kristal yapısı

Sepiyolit, kristalize olmuş kil mineralleri arasında yaygın ve önemli bir yere sahip olan fillosilikatler grubuna ait bir kil mineralidir; ancak, amfibol tipi çift zincir yapısının oluşturduğu zincir kafes tipi (lifsî 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 tetrahedronları ile brüst benzeri oktehdral (sekiz yüzlü) tabakalardan oluşan bir kristal yapısına 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, paligorskite ise iki piroksen zincirinin birbirine bağlanmasıyla oluşan genişlikleri vardır. Şeritler arasındaki dikdörtken kanallarda, Ca ve Mg iyonları ile değişen miktarlarda zeolitik su bulunur. Yapı formülünde (OH₂) olarak gösterilen su molekülleri ise şerit kenarlarındaki oktehdral Mg'a koordine olurlar.

Sepiyolit, iki değişik poliformik yapıda çökelmektedir.[6]. Bunlardan birincisi; uzun lif demetleri şeklinde bulunan α - ya da parasepiyolit, ikincisi; küçük, yassı, yuvarlak partiküller veya amorf (şekilsiz) agregalar halinde oluşan β -sepiyolit dir [7].



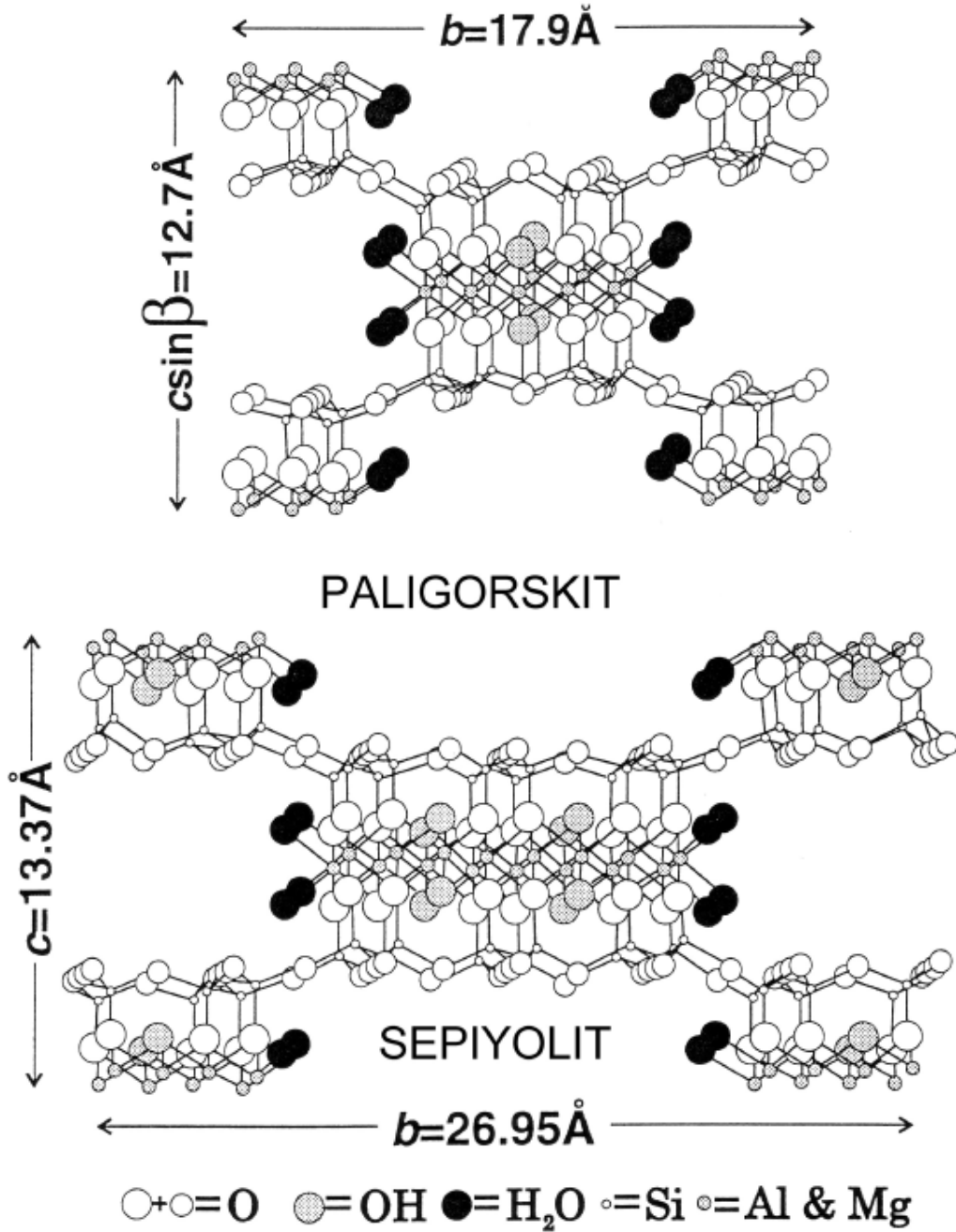
Şekil 2.1 Sepiyolit kristalinin şematik görünüşü [4].

Tabiatta ortorombik yapıda kristallenen sepiyoliti bir kil minerali olarak tanımlayan Fersman (1913)' dan sonra onun yapısını belirlemeye yönelik ilk çalışmalar, sırasıyla Migeon (1936), Longchambon (1937) ve Caillere (1951) tarafından yapılmış, bunları takiben [2]. iki pirok-sen zinciriyle bir amfibol zinciri oluşturacak şekilde bağlanmış ekstra tetrahedrer silisin her bir yüzeye düzenli aralıklarla eklenmesinden meydana gelen ilk yapısal modeli oluşturmuşlardır. Kısa bir süre sonra Brauner ve Preisinger (1956), üç piroksen zincirinin birleşerek iki amfibol zinciri oluşturduğu modeli geliştirmişlerdir. Bu iki model, kristal boyutu

yönüyle aynı olmasına karşılık, oktahedral katyon sayısı yönüyle farklılık arzeder. Buna göre katyon sayısı Brauner ve Preisinger modelinde 8, Nagy ve Bradley modelinde ise 9' dur. Bunun yanında, Brauner ve Preisinger modelinde hidroksil sayısı altıya karşı dört, zeolitik su molekülü sayısı da sekize karşılık altıdır. Buna göre sepiyolit lifsi yapısı, talk ve benzeri zincirlerden ileri gelmekte olup, iki tabaka silika tetrahedral birimi, oksijen atomları vasıtasıyla, merkezi olarak bulunan bir magnezyumlu oktahedral tabakaya bağlanmaktadır. Böylece tetradedral silika tabakalar süreklilik gösterirken, her altı tetrahedral birimden sonra bu tabakaların apiksel (tepe oluşturan) yönelimleri tersine dönmektedir. Bu dizilim, lif eksenini boyunca kanal yapısının oluşmasına neden olmaktadır. Su ve diğer sıvı ve gazların absorp ya da adsorplanmasına uygun olan bu kanalların kesiti $3,6 \times 10,6 \text{ \AA}$ dur [7].

Brindley ve Pedro (1972) ise, fillosilikat mineral grubunun tanımına uygun olarak T_2O_5 (T= Si, Al, Be,...) bileşimli, iki yönlü sürekli bir tetrahedral tabaka ve buna karşılık diğer tabaka silikatlerinden farklı süreksiz oktahedral tabakalardan oluşan bir yapıdan bahsetmişlerdir. Yine onlara göre bu minerallerin kristal yapısı, 2:1 fillosilikat yapısına ait zincirlerin birbirlerine bağlanmasından meydana gelir. Herbir zincir, bir diğerine ters ardalanmalı SiO_4 tetrahedronları vasıtasıyla Si-O-Si bağları ile tutturulmuştur. Zincir şeklindeki yapı, X-eksenine paralel uzanır ve Y-ekseni boyunca genişliği, sepiyolitte üç adet bağlı piroksen tipi zincir genişliği kadardır. Buna göre, 2:1 tabaka yapısı X-ekseni boyunca sürekli, buna karşılık Y-ekseni boyunca kesiklidir [4]

Sepiyolitinin 001 birim hücre yüzeyine paralel projeksiyonu Şekil 2.2' de Nagy ve Bradley (1955), Brauner ve Preisinger (1956) modeline uygun olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Paligorskitin (Bradley sonrası, 1940) ve sepiyolitın (Brauner ve Preisinger sonrası, 1956) 001 birim hücre yüzeyine paralel yapısal şeması [4].

Değişik kimyasal konumlarda olmak üzere, sepiyolitın yapısında mevcut dört çeşit su molekülü tanımlanmıştır. Bunlar :

- I. **Higroskopik su** : Sepiyolit yüzeyine adsorplanmış su molekülü (kaba nem).

- II. **Zeolitik su** : Kendi aralarında ve bağlı su molekülleri ile hidrojen bağı yaparak kanal içlerinde veya yüzeyde yerleşmiş su molekülü.
- III. **Bağlı su** : Talk benzeri zincirlerin kenarlarında bulunan, yapıdaki oktahedral tabakanın uç magnezyum koordinasyonunda yer alan su molekülü (kristal suyu).
- IV. **Hidroksil suyu** : Yapıdaki oktahedral tabakanın ortasında magnezyum koordinasyonunda yer alan hidroksil gruplarının bozunması sonucu oluşan su molekülü (bünye suyu).

2.2.3. Kimyası

Sepiyolit kimyasal yapısının belirlenmesi için yapılan çalışmaların kronolojisi, [8]. Türkiye' den gelen lületaşından yapılmış bir pıponun kimyasal analizini yapmaya teşebbüs etmesiyle başlamış ve aynı yüzyılın sonlarına doğru [9]. Eskişehir yöresi sepiyolitinin kimyasal analizini daha doğru bir şekilde yapmayı başarmıştır. Bu sonuçlar, günümüze kadar güncelliğini koruması nedeniyle, yayımlanan bir çok çalışmada halen dikkate alınmaktadır.

[2]. modeline göre sepiyolit yarı hücre formülü :



Brauner ve Preisinger (1956) modeline göre formül :



Çeşitli sepiyolitler için hesaplanmış kimyasal formüllerin birçoğu, tetrahedral tabakada Si^{+4} 'in, Al^{+3} ve Fe^{+3} tarafından az miktarda ornatıldığını göstermektedir. Magnezyum ise, oktahedral Fe^{+3} pozisyonların % 90 ile % 100' ünü doldurmaktadır. Brauner ve Preisinger analiz sonuçlarına göre katyonların yaklaşık 8'i oktehdrali doldurur; oysa Nagy ve Bradley modeline göre 9 pozisyon doldurulmaktadır [10].

Sepiyolit teorik SiO_2/MgO oranı 2,33 olup, $\text{SiO}_2 = \% 55,60$ ve $\text{MgO} = \% 24,99$ dur.

Susuz bazda bu oranlar, $\text{SiO}_2 = \% 61,70$ ve $\text{MgO} = \% 27,60$ dır.

Genelde ise, $\text{SiO}_2 = \% 53,90 \pm 1,9$ ve $\text{MgO} = \% 21-25$ arasında değişmektedir.

Sepiyolit katyon değişim kapasitesi (KDK) ile ilgili literatür verileri oldukça değişken olup çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda bu değer 3 meq/100 ile 45 meq/100 arasında değişen değerler olduğu saptanmıştır. Verilerdeki bu değişiklikler, farklı

sepiyolitlerin değişen kristal kompozisyonlarına bağlı olabilir. Katyon değişim kapasitesi, Si⁺⁴'in trivalent katyonlarla yer değiştirmesi sonucu açığa çıkan ve büyük lde kristal içi yer değiştirmelerle dengelenmeye çalışılan elektriksel yükün kompanse edilmesi ihtiyacına ve lif kenarlarındaki kırılmış bağların varlığına dayalıdır. Söz konusu kırılmış kimyasal bağlar, özellikle daha iyi kristalin formlar gösteren sepiyolitlerde, katyon değişim kapasitesinin en önemli etkenidir [11, 4].

2.2.4. Fiziksel zellikleri

Kaygan görünümlü, ince taneli, toprağımsı bir yapıya sahip tabakalı sepiyolit, genellikle beyaz, krem, gri veya pembe renkli olabilmektedir; organik madde içeriğine bağlı olarak, Sivrihisar güneyi Neojen havzasındaki bazı türlerde olduğu gibi, koyu kahverengi ve siyahımsı da olabilir. 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 μ m, 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 [4]. Polatlı (Ankara) güneyindeki Türktaciri bölgesinden alınan orijinal kahverengi sepiyolitinin lif uzunluğu da 5-10 μ m olarak belirlenmiştir. Sepiyolitinin sahip olduğu fiziksel özellikler, izelge 2.1 de topluca verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tabakalı sepiyolit (sanayî sepiyoliti) fiziksel özellikleri.

YAPI	Lifsi, toprağımsı
GÖRÜNÜM	Kaygan
RENK	Beyaz, krem, kahverengi, gri veya pempe, açık sarı
LİF BOYUTLAR	
uzunluk	100 Å-3 ile 4 µm
genişlik	100-300 Å
kalınlık	50-100 Å
GÖZENEK BOYUTLARI	
mikropor çapı	15 Å
mezopor yarıçapı	15-45 Å
YOĞUNLUK	2-2,3 g/cm ³
SERTLİK (Mohs'a göre)	2-2,5
KIRILMA İNDEKSİ	1,50
KURUMA SICAKLIĞI	40 °C
ERİME SICAKLIĞI	1400-1450 °C

2.2.5. Fiziko-kimyasal özellikleri

Fiziko-Kimyasal özellikler, kil minerallerinin mikroyapısına ve joteknik özelliklerine etki etmektedir. Bu özelliklerin bilinmesi, kil minerallerinin değişik çevre şartları altındaki davranışlarının tahmininde önemli bir rol oynamakta ve teknolojik uygulamalara baz teşkil etmektedir. Bu amaçla; sepiyolit sorptif davranışı, yüzey alanı modifikasyonları vs. gibi özellikleri, ayrı başlıklar altında incelenmiş ve detayları aşağıda verilmiştir.

2.2.5.1. Sorptif özellikleri

Kil minerallerinin iç yapıları ve kimyasal bileşimleri baz alınarak yapılan sınıflamaya göre sepiyolit, kristalin killerin zincir yapılı olan grubuna aittir. Zincir yapısına sahip minerallerin kristal yapılarında üç tür aktif soğurma merkezi mevcuttur [12]. Bunlar :

- I. Tetrahedral silika tabakasındaki oksijen atomları. Bu minerallerin tetrahedral tabakalarındaki düşük izomorf değişim derecelerinden dolayı oksijen atomları zayıf elektron taşıyıcısıdır ve bunların adsorbe türlerle etkileşimi de zayıf olacaktır.
 - II. Yapıdaki zincirlerin kenarlarında magnezyum iyonları ile koordine olmuş su molekülleri (her Mg^{+2} iyonu için iki H_2O -molekülü). Bunlar, sorplanan türlerle hidrojen bağları oluşturabilir.
- III. Lif eksenini boyunca uzanan Si-OH gruplarıdır. Bunlar tetrahedral tabakanın dış yüzeylerinde Si-O-Si bağlarının kırılması sonucu oluşurlar. Söz konusu kırılmadan doğan artık yük, bir proton veya bir hidroksil molekülü ile bağlanarak kompanse edilir. Bu gruplar, lif eksenini boyunca 5 Å aralıklarla dizilim gösterir ve bunların sıklığı, kristalin doğal yapısı ile liflerin boyutları ile ilişkilidir. Bu Si-OH grupları, sepiyolitın dış yüzeyinde adsorplanan moleküllerle etkileşime girebilir ve belirli organik reaktifler ile kovalent bağ oluşturma yeteneğine sahiptir.

Sepiyolit kendine has yapısı itibarıyla son derece yüksek bir sorpsiyon özelliğine sahiptir ve kendi ağırlığının 200-250 katı kadar su tutabilir. 300 °C'nin üzerine ısıldığında, yapısal değişikliklere ve gözeneklerin tahrip olmasına bağlı olarak, sorpsiyon kapasitesi azalır; sepiyolitın genleşme özelliği yoktur. Zeolitik su, yapısal zincirlerin kenarlarında magnezyum iyonlarına koordine olmuş su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturur. Bu koordinasyon ve zeolitik su molekülleri, yüksek polariteli küçük moleküller ile yer değiştirebilir. Örneğin kısa zincirli primer alkoller, kanalların içine yayılarak zeolitik su moleküllerinin ve hatta koordinasyon suyu moleküllerinin yerini alabilirler. Daha fazla zincir uzunluğuna sahip alkollerde ise, sadece dış yüzeylerdeki açık kanallarda zeolitik su ve koordinasyon suyu molekülleri ile yer değiştirilebilir.

Sepiyolit, genellikle su ve amonyum gibi polar moleküller ile polar olmayan bileşikleri ve nispeten daha az miktarda metil ve etil alkollerini adsorplayabilmektedir. Ancak, polar olmayan bileşiklerin adsorpsiyonu dış yüzeylerle sınırlı olup tutulan molekülün boyutuna ve şekline bağlıdır. Lineer ve dallı-budaklı parafin zincirlerinin adsorpsiyonu için serbest enerji ve entropi değişimleri üzerine yapılan çalışmalar, bu moleküllerin dış yüzeylerdeki açık kanallara yerleştiniğini ortaya koymuştur [7].

2.2.5.2. Yüzey alanı

Sepiyolitin tanımlanmış yapısal modeli dikkate alındığında, kristal yapılarındaki süreksizliklere bağlı kanalların $3,6 \times 10,6 \text{ \AA}$ 'luk bir kesiti için belirlenen yüzey alanı, yaklaşık olarak $800\text{-}900 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dır. Teorik olarak bunun $400 \text{ m}^2/\text{g}$ 'si dış yüzey, $500 \text{ m}^2/\text{g}$ 'si de iç yüzey alanıdır [7, 13].

Çizelge 2.2. Sepiyolitin değişik absorbatlar ile belirlenmiş yüzey alanı değerleri.

YÜZEY ALANI (m^2/g)	ABSORBAT (gaz veya sıvı)
60	Setilpiridinyum bromür
275	Piridin
276	BET
330	Hekzan
470	Etilen glikol

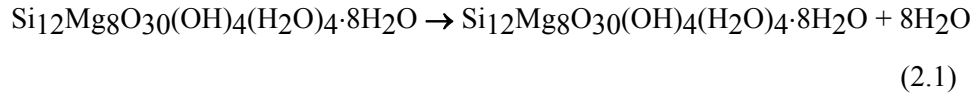
Diğer killerde olduğu gibi, sepiyolitin yüzey alanı ve gözenekliliği ısı aktivasyon, asit aktivasyon veya her ikisi de uygulanarak değiştirilebilmektedir. Buna göre; $100\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda zeolitik suyunun % 10'unu kaybeden sepiyolit, $320\text{-}400 \text{ m}^2/\text{g}$ arasında değişen maksimum BET yüzey alanı değerine ulaştığı ve bunun üzerindeki sıcaklıklarda ise ($200\text{-}400 \text{ }^\circ\text{C}$), yine aynı yöntemle hesaplanan, yüzey alanı değerlerinde keskin bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak gözlemlenen yüzey alanındaki bu keskin düşüş, mikroporların çoğunun bozulmasıyla açıklanmaktadır.

Asit aktivasyon ile sepiyolitin yüzey alanını artırma işlemi, aslında bu tür mineralleri amorf hale getirme işlemidir. Yüksek asitlik derecelerinde yapılan asit ile aktivasyon, pratikte sepiyolitin yapısını bozmaktadır. Çünkü bu tür mineraller özellikle hidrojen iyonu saldırısına karşı çok hassastır. Asit muamelesi ayrıca sepiyolitin termal stabilitesini artırır [14, 15, 7]. % 5'lik HCl çözeltisi ile sepiyoliti muameleye tabi tutmuş ve sepiyolitin yüzey dokusunda 10 \AA 'den küçük porların tahrip olarak $10\text{-}50 \text{ \AA}$ arasındaki por yüzdesinin arttığını ve buna bağlı olarak da sepiyolitin yüzey alanında belirgin bir artış olduğunu tespit etmiştir [7]. Yine bir diğer araştırmacı grubu, [16, 17]. sepiyoliti 6N HCl ile aktive ederek bütün magnezyum iyonlarını çözeltiye almışlar ve bu yolla; yüzey alanı $500 \text{ m}^2/\text{g}$ civarında olan, lifsi bir morfolojiye sahip, gözenekli amorf ürünler elde etmişlerdir [4].

2.2.6. Termal özellikleri

Doğal sepiyolit; fiziksel adsorplanmış higroskopik su, kimyasal adsorplanmış zeolitik su, kristal yapıda bulunan bağıl su ve hidroksil suyu olmak üzere dört çeşit su içermektedir. Sepiyolite ısı işlem uygulandığında, adı geçen su molekülleri nedeniyle, değişik termal davranışlar göstererek yapısal ve morfolojik değişimlere uğramaktadır. Diferansiyel Termik Analiz (DTA) ve Termo Gravimetrik Analiz (TGA) yöntemleri ile simultane olarak belirlenebilen bu değişimlerin, farklı sıcaklık bölgeleri dikkate alınarak söz konusu bölgelerdeki faz değişimlerine ait kimyasal formüller aşağıda verilmiştir [18].

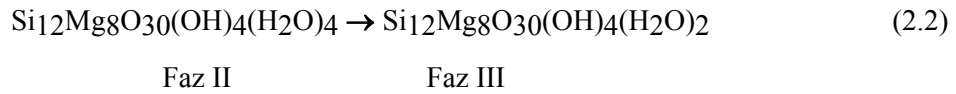
- **20-200 °C (higroskopik ve zeolitik su kaybı)**



Faz I

Faz II

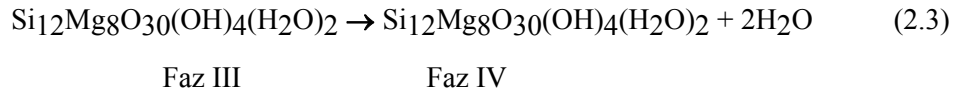
- **200-400 °C (kristal suyun yarısının kaybı)**



Faz II

Faz III

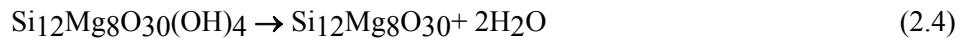
- **400-500 °C (kristal suyun diğer yarısının kaybı)**



Faz III

Faz IV

- **550-875 °C (dehidroksilasyon)**



Sepiyolitin yapısında değişmelere neden olan bu sıcaklıklar ile bu değişmelere ait başlangıç ve bitiş sıcaklıkları dikkate alınarak belirlenen sıcaklık bölgeleri, DTA diyagramlarından; bu sıcaklık bölgelerinde sepiyolitin yapısında meydana gelen ağırlık kayıpları ise TGA diyagramlarından hesaplanmaktadır.

2.2.7. Katalitik özelliği

Kil minerallerinin katalitik aktivitesi, bunların yüzey aktivitelerinin bir fonksiyonudur. Toprak alkali metal silikatler hem asidik hem de bazik merkezleri içermeleri nedeniyle asit-baz çift fonksiyonlu katalizör olarak bilinmektedirler Silikatlerdeki asidik merkezler, dehidratasyon; bazik merkezler ise dehidrojenasyon mekanizmalarında aktif merkezler olarak etkin olmaktadır [19].

Heterojen katalizörlerin etkinlik, seçicilik, büyük yüzey alanı, mekanik sağlamlık ve termal duraylılık gibi önemli özellikleri, katalizör taşıyıcının gözenekli yapısı ile yakından ilgilidir. Bu ve buna benzer özelliklerinden dolayı sepiyolit minerali, son zamanlarda katalizör taşıyıcı olarak simektit ve kaolin grubu minerallere tercih edilmektedir. Sepiyolit partiküllerinin yüzeyinde lif eksenli boyuyunca 5 Å ara ile sıralanan Si-OH grupları, belirli derecede asit özelliğe sahiptir ve katalizör ya da reaksiyon merkezi olarak davranabilir. Doğal sepiyolitte SiO₂ mol oranının daha yüksek olması asidik özelliğin daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Isıl aktivasyon sıcaklığı ile sepiyolitin asidik karakteri daha da artmakta ve buna paralel olarak asit katalizli reaksiyonlardaki katalizör etkinliği de fazlaşmaktadır. Katalizör etkinliğinin en yüksek olduğu ısı aktivasyon sıcaklığı 500-600 °C'dir. Sepiyolit hem asidik hem de bazik merkeze sahip olması nedeniyle, asit-baz çift fonksiyonlu bir katalizördür [19].

2.2.8. Porozite

Azot absorpsiyonu verilerinin Mikhails analiz, metodu kullanılarak genişliği 16-20 Å'dan küçük porların yüzey alanının saptanmasına imkan tanımaktadır. Pierce metodu ise, çapı 15 Å'dan büyük (mezo ve makro porlar) gözeneklerin yüzey alanının saptanmasında kullanılabilir. Her iki metodun Vallecas sepiyolitine uygulanması sonucunda, kıvrımlanma oluşmadan önce, mikroporların yüzey alanının % 60-70'ini oluşturduğu ve 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bunların parçalanması sonucu yüzey alanında ani bir düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Azot moleküllerinin kristal içi kanallara ulaşamadığı kabul edildiğinde kristal kıvrımlanmasının dış yüzeydeki kabarıkları düzleştirdiği söylenebilir [13, 20].

Sepiyolit mineralinin yüzey alanı ve porozitesi, çeşitli asit veya ısı muamelesi ile modifiye edilebilir. Sepiyolitin 100-150 °C'de ısıtılması, adsorbe ve zeolitik suyun uzaklaştırmasına bağlı olarak yüzey alanında belirgin artış meydana getirmektedir. Buna karşılık 300 °C'ın üzerindeki sıcaklık derecelerine ısıtma, 10 Å'den küçük por sayısının azalmasından dolayı, yüzey alanında düşüşe neden olmaktadır. 500 °C'nin üzerinde, sepiyolitin yüzey alanı daha da düşmektedir. Bunun nedeni, sinterleşmenin yanısıra liflerin daha sıkı paketlenmesi ve bundan dolayı porların hacmi ve ortalama yarıçaplarının azalmasıdır. Sepiyolit, % 5'lik HCl çözeltisi ile muamele edildiğinde, yüzey dokusunda 10 Å'den küçük porların tahrip olarak 10-50 Å arasındaki por yüzdesinin artmasına bağlı olarak yüzey alanı artar [21, 22].

2.2.9. Reolojik özellikleri

Sepiyolit yapıyı teşkil eden, çalı-ot yığınlarına benzer, iğne şeklindeki ve aglomera yapıdaki geniş lif kümelerinin, suda veya yüksek-düşük polariteli diğer çözücülerde kolayca dağılması sonucu sıvıyı bünyelerine hapsederek süspansiyonun viskozitesini artırır. Bu özellikleri nedeniyle sepiyolit ve paligorskit, jel oluşturma özelliğine sahip en önemli iki kil mineralidir. Bunlar, diğer killere nazaran, nispi olarak düşük konsantrasyonlarda, su veya yüksek-düşük polariteye sahip diğer organik çözücüler ile yüksek viskoziteli ve duraylı süspansiyonlar oluşturabilirler. Sepiyolit, polar olmayan çözücülerle de duraylı süspansiyonlar oluşturabilmekte; ancak, bunun için, sepiyolit hidrofili yüzeyinin, yüzey aktif bir madde ile değiştirilmesi gerekmektedir. [7].

Çalışmamızın ileriki kısımlarında, sepiyolit reolojik özellikleri ile ilgili ayrıntılı bilgi verilecektir.

2.3. Kullanım Alanları

Sepiyolit, yüksek yüzey alanı, lifsi ve gözenekli yapısı, fiziko-kimyasal aktivitesi vs. gibi özelliklerinden dolayı adsorban killer arasında yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Sepiyolit mineralinin teknolojik uygulamaları, onun sahip olduğu üç temel özelliğe dayanmaktadır [23]. Bunlar;

- Sorptif özelliğine dayalı sorptif amaçlı uygulamalar,
- Katalitik özelliğine dayalı katalitik amaçlı uygulamalar,
- Reolojik özelliğine dayalı reolojik amaçlı uygulamalar.

2.3.1. Sorptif amaçlı kullanım alanları

Yüksek yüzey alanı ve iç yapıyı teşkil eden mikro gözenek ve zeolitik kanallar, sepiyolit adsorpsiyon ve/veya absorpsiyona dayalı uygulamalarında önemli rol oynarlar. Bu özellikler ısı ve/veya asit aktivasyon ve mekanik olarak değiştirilebilir özelliklerdir. Sepiyolit adsorpsiyon kapasitesi, diğer killere nazaran daha yüksektir. Mekanik direnç ile birlikte bu özellik, su ve yağ adsorbanı olarak çok çeşitli alanlarda kullanımına imkân verir [23].

2.3.1.1. Hayvan altlığı (Pet-Litter) olarak kullanımı

İstenmeyen kokuları absorbe etme konusunda büyük bir kapasiteye sahip olan sepiyolit en büyük tüketim alanı, evcil ve ahır hayvanlarının artıklarının emilmesinde hayvan altlığı (pet-litter) olarak kullanılmaktadır.

2.3.1.2. Renk giderici madde olarak kullanımı

Parafin, gres yağları, mineral yağları ve nebati yağların renginin giderilmesinde killer yaygın olarak kullanılmaktadır. Renk giderici olarak kullanılacak bir kilin, doğal olarak uygulama açısından düşük yağ tutma ve çok yüksek filtrasyon özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Sepiyolit, poroz bir yapıya sahip olması, yüzey alanının yüksek olması ve sorpsiyon özelliği, çok iyi bir renk ve koku giderme özelliğine sahip olmasını sağlar. Ayrıca, düşük oranda sepiyolit katkısının normal ağartma killerinin renk gidermedeki etkinliğini artırmaktadır. Ağartma toprağı olarak sepiyolit, uygulamalarda, yağ cinsine bağlı olarak genellikle % 1-2 oranında kullanılmaktadır.

2.3.1.3. Tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak kullanımı

Geniş alanlara uygulanan, tarımsal mücadele ilaçları (pestisid), yüksek aktiviteye sahip kimyasal maddelerdir ve bunların atıklarının zararsız hale getirilmesi veya yok edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, taşıyıcı ve seyreltici katkı maddesi olarak, ilacın taşınmasında ve uygulanmasında kolaylıklar sağlayan granüler malzemeler kullanılmaktadır.

Sepiyolit, 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. Sepiyolit bir diğer faydalı özelliği, sulu ortamda aktif kiolaylıkla bırakabilmesidir [23].

2.3.1.4. İlaç sanayiinde kullanımı

Sepiyolit, geniş aktif yüzey alanından dolayı, ilaç sanayisinde, ilaç aktif maddesini tutması açısından dolgu maddesi olarak ve yüksek sorpsiyon özelliği nedeniyle, gastrointestinal sistemle ilgili diyare (ishal) tedavisinde toksin, bakteri ve sıvı emici olarak kullanılmaktadır. Sepiyolit jel yapıcı özelliği, mide ve bağırsak duvarlarındaki mukoz membranın korunmasını

sağlamaktadır. pH kontrol edebilme özelliği, gastrik asidite tedavisinde anti asit ürünlerde kullanım imkânı sağlar [23, 7].

2.3.1.5. Sigara filtrelerinde kullanımı

Sigara dumanı, bir gaz fazı üzerinde süspansiyon halinde bulunan 0,1-1 μ çapındaki damlacıklardan oluşmakta ve yaklaşık 2500 kimyasal madde içermektedir. Sigara filtreleri mekanik olarak etki gösterir. Örneğin, selüloz asetat filtreler, gaz fazına etkimeksizin damlacıkları tutar. Filtre olarak kullanılan diğer bir madde, aktif karbon, geniş yüzey alanından dolayı, dumanın gaz fazındaki bileşenlerini de seçimsiz olarak absorbe eder Sepiyolit ve aktif karbon kullanımı, sigara dumanındaki gazları yoğun bir şekilde absorbe etmesinin yanısıra seçimli absorpsiyon özelliğine de sahip olmaktadır [7, 23].

2.3.1.6. Karbonsuz kopya kâğıdı ve deodorant etkili kâğıt yapımında kullanımı

Karbonsuz kopya kâğıtları, karbon içeren kopya kâğıdı olmaksızın, yüksek basınç uygulanması gerektirmeden kopya çıkaran kâğıtlardır. İki veya üç yapraktan oluşan bu tür kâğıtlar, arka yüzeylerinde yer alan mikrokapsüller içindeki renk verici elemanların baskı sırasında dışarı çıkması ile kopya işlemini gerçekleştirir. Bu kâğıtların ikinci nüshaları, pigment geliştirici bir tabaka ile kaplıdır ve bu tabaka, fenolik reçine gibi organik veya kil gibi inorganik bir madde olabilir.

Sepiyolit, üç değerlikli atomların tetrahedral tabakadaki Si atomlarının yerini almasıyla oluşan Lewis-asit merkezleri sayesinde film yıkayıcı (developer) olarak kullanılabilir. Sepiyolitin geniş yüzey alanı, renk oluşumundan sonra, renk verici moleküllerin sepiyolit yüzeyine absorplanarak kalıcı olmasını sağlar [7].

Toyota Merkez Ar-Ge Laboratuvarlarında, otomobillerde ve diğer ortamlarda, sigara dumanı, tuvalet ve mutfaklardan kaynaklanan kötü kokuların giderilmesi amacıyla yönelik olarak, absorban kâğıt imali konusunda çalışmalar yapılmış ve bunun için Sivrihisar yöresine ait saf kahverengi ve beyaz dolomitli sepiyolit kullanılmıştır. Sepiyolit ve kâğıt hamuru, özel bir bağlayıcı ile birleştirilerek hazırlanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır [23].

2.3.1.7. Deterjan ve temizlik maddelerinde kullanımı

Yüksek iyon değiştirme kapasitesine sahip killerin, son yıllarda deterjan ve temizlik maddelerinde kullanımı ve sert suların yumuşatılması işlemlerinde uygulama alanı bulmaktadır. Bu tür proseslerde, sudaki sertliği oluşturan Ca ve Mg iyonları kilin kendi değişebilir katyonları ile yer değiştirmektedir. Düşük iyon değiştirme kapasitesine sahip olan killer ise serbest akış elamanı olarak kullanılmakta ve iyonik olmayan yüzey aktif maddelerle yüzey özellikleri değiştirilerek bunlardan doku yumuşatıcı olarak yararlanılabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu, sepiyolit, montmorillonit ve kaolinitten daha yüksek deterjan etkisine sahip olduğunu anlaşılmıştır. % 30'a kadar değişen oranlarda sepiyolit kullanılması durumunda, yıkama deneylerinde sabunun etkisinin arttığı belirlenmiş ve nihai beyazlığın da 1-2 birim nispetinde arttırdığı ortaya konmuştur [7].

2.3.2. Katalitik amaçlı kullanım alanları

Kil minerallerinin katalitik aktivitesi, bunların yüzey aktivitelerinin bir fonksiyonudur. Katı asit ve bazların yüzey asit-baz gücü, asit-baz merkezlerinin türü ve yüzey asit-baz miktarları ile maddenin katalitik aktivite ve seçimliliği arasında yakın ilişkiler mevcuttur [19]. Sepiyolitın yüzeyindeki silanol (Si-OH) grupları, belirli derecede asit özelliğe sahiptir ve katalizör veya reaksiyon merkezi olarak davranabilir. Bu gruplar, lif eksenini boyunca 5 Å ara ile sıralanmışlardır.

Sepiyolitın katalitik etkinliği, katalizör hazırlama sıcaklığı (kalsinasyon) ve tane boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Sepiyolit hem asidik hem de bazik merkezlere sahip olması nedeniyle asit-baz çift merkezli katalizördür [19]. Büyük yüzey alanı, mekanik dayanım ve termel duraylılığından dolayı son zamanlarda sepiyolit granülleri, katalizör taşıyıcı olarak smektit ve kaolin grubu minerallere tercih edilmektedir.

2.3.2.1. Katalizör taşıyıcı olarak kullanımı

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 yanısıra, 350-400 m²/g'a ulaşan bir yüzey alanına sahiptir [23].

Bu tür proseslerde katalizör, bir başka metal tuzu pH=7 civarında muameleye tabi tutularak sepiyolit yüzeyine yedirilir ve 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} iyonunun, katalitik açıdan önem arzeden Ni^{+2} , Pt^{+2} , Pd_m^n , Zn^{+2} , Co^{+2} , Cu^{+2} ve Ba^{+2} gibi iyonlar ile yer değiştirmesiyle artar [4].

2.3.3. Reolojik özelliklere dayalı kullanım alanları

Sepiyolit partikülleri anizometrik ve iğne şekilli olup lif kümeleri oluşturan aglomeralar halinde bulunur. Bu kümeler, suda veya diğer polar çözücülerde dağıldığı zaman iğne şeklindeki lifler açılarak çözücüyü hapseden dağınık ağ şeklinde bir yapı oluştururlar. Bu durumda, nispeten düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli ve duraylı süspansiyonlar elde edilir [7].

Sepiyolit bu özelliklerinin yanı sıra tiksotropik davranış (sabit kayma gerilimi altında zamanla viskozitenin azalması ve gerilimin kaldırılması durumunda tekrar eski durumuna geri dönebilmesi) göstermesi ve diğer killere göre tuzlu ortamlarda daha duraylı olmasından dolayı bu alanda da yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.3.1. Polyesterler

Sepiyolit likit polyester reçinelerinde kalınlaştırıcı (thickener) ve tiksotropi sağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılır. Böylece pigmentlerin çökmesi ve uygulamadan sonra eğilmesi önlenmektedir. Sepiyolit bu tür organik ortamlarda kullanılabilmesi için hidrofil yüzeylerinin polyester ile uyumlu hale getirilmesi gerekir. Bunun için, reçinenin polimerizasyonunda kullanılan katalizör veya aktifleştirciler ile etkileşime girmeyecek yüzey aktif bir reaktif kullanılabilir [23].

2.3.3.2. Boyalar

Boyalar, temel olarak su, yağ, latex, veya diğer çeşitli organik kimyasallardan oluşan bir sıvı ortam içinde bir dizi katı üründen oluşur. Katı kısım pigmentlerden ibaret olup bunun, renk sağlamak, zemini örtmek, film direnci ve dış etkilere karşı direnç sağlamak gibi fonksiyonları vardır. Boyaya, selüloz gibi organik ve kil gibi inorganik katkıları ilave edilerek belirli özellikler kazandırılabilir.

Sepiyolitin, boyalarda bir süspansiyon elemanı gibi davranması ve depolama esnasında pigmentin çökmesini önlemesinden dolayı boyalarda katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, kalınlaştırıcı (thickener) ve tiksotropik özelliğinden dolayı uygun bir viskozite temin eder, fırça, merdane, havalı ve havasız püskürtme (sprey) uygulamalarında kolaylık sağlar. Boyanın zemin örtme özelliğini geliştirir; parlaklık, pas giderme, sürtünme direnci, bükülme direnci, ısı duraylılığı gibi özellikler kazandırır. Organik katkıya kıyasla sağladığı bir diğer avantaj, mantar gelişimi için uygun bir ortam oluşturmamasıdır. Viskozitesi, sert su veya ısdan etkilenmez. Akrilik veya polivinil asetat latex boyalar kullanılarak yapılan deneylerde, ticari Amerikan paligorskitleri ile karşılaştırıldığında, bunların uygulamalarda kullanılan konsantrasyonun yarısı kadar sepiyolit kullanımı ile benzer sonuçlar elde edilmiştir [7, 23].

2.3.3.3. Asfalt Kaplamalar

Yollar ve çatılarda döşeme altı malzemesi olarak kullanılan asfalt kaplamalar, % 50 ile % 70 oranında katı madde içeren ve en ağır ham petrol fraksiyonlarından oluşan kısım ve asbest olmak üzere başlıca iki bileşenden oluşur. Asbest, yeterli direnç duraylılık, film tabakasının kuvvetlendirilmesi ve yalıtımın sağlanması için kullanılmaktadır. Ancak, asbestin sağlığa zararlı etkilerinin bulunmasından dolayı, bunun yerine ikame edilecek malzemeler üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda, kalınlaştırıcı ve tiksotropik özelliklerinin yanı sıra sağlığa zararlı hemen hemen hiç etkisi olmayan en uygun maddenin sepiyolit olduğu tespit edilmiştir [7].

2.3.3.4. Gres kalınlaştırıcı olarak kullanımı

Yüzey aktif maddelerle yüzeyi hidrofobik hale getirilen ve bu sayede madeni yağlarda iyi bir dağılma özelliği gösteren sepiyolitten yüksek viskoziteli gres yağı elde edilebilir. Bunun için, alkildimetilbenzilamonyumkromit ile modifiye edilmiş sepiyolit, % 15 diizooktil Adipat, Silikon 500 ve % 50 polibütenli madeni yağ içerisinde dağıtılarak üretim gerçekleştirilebilir [7, 23].

2.3.3.5. Kozmetiklerde kullanımı

Sepiyolit, kozmetik ürünlerinde kalınlaştırıcı ve tiksotropik elemanı olarak kullanılır. Bu özellikleri ile krem ve merhemlerde uygun viskozite sağlar. Bu tür uygulamalarda, reolojik özelliklerinin geliştirilmesi için ön jelleştirme işlemlerine gerek duyulmaması sepiyolite önemli bir avantaj sağlar. Propilen-glikol, sorbitol, gliserol veya etil alkol, sepiyolit süspansiyonlarının

viskozitesini etkilemeksizin koruyucu özelliklerin gelişmesine yardımcı olur. Bu sektörde, sepiyolit kullanıldığı bir çok ürün ve kullanım nedenleri şu şekildedir [7, 23].

Akışkan Emülsiyonlar: Sıvı faza sepiyolit ilavesiyle artan kıvam.

Maskeler : Yağlı ciltlerin ve aknenin tedavisinde aktif madde olarak.

Diş Macunu : Sepiyolit, diş macunu formülasyonunda uygun kıvamın sağlanmasında faydalıdır. Ayrıca bakterilerin absorpsiyonunda aktif görev yapar ve aşındırıcı bileşenlerden birini oluşturur.

Krem Rujlar : Sepiyolit, yağ fazında daha iyi pigment dağılımını sağlamak amacıyla süspansiyon maddesi olarak kullanılır.

Kuru Şampuanlar : Sepiyolit, yağ ve kiri absorbe eder.

2.3.3.6. Plastisollerde kullanımı

Plastisoller, bir veya farklı plastik madde içinde pigmentler, dolgular ve stabilizörlerle birlikte dağılmış halde bulunan ince PVC (polivinil klorür) partiküllerdir. Plastik malzeme, nihaî ürünün fonksiyonel özelliklerine göre belirlenir. Örneğin parafinler veya klorine difeniller tutuşmayı geciktirir; dioktil fitalat ve klorine parafinler elektriksel ve mekanik özellikleri artırır.

Plastisoller, daldırılıp ıslatma uygulamalarında ve spreylerde de kullanılabilir. Plastik yapıcı maddeler, 160-180 °C arası sıcaklıklarda işlenir ve daha yüksek sıcaklıklarda ise PVC partikülleri şişer ve plastik yapıcı maddelerin tamamı absorbe edilir. Eğer ısıtılmaya devam edilirse, PVC, plastik yapıcı içinde homojen bir faza ulaşıncaya kadar erir. Eğer sıcaklık düşürülürse, sağlam, dirençli ve esnek bir ürün elde edilir. Elde edilen bu ürün çok geniş bir alanda uygulama alanı bulabilir [7, 23].

2.3.3.7. Tarımda kullanımı

Son yıllarda yapılan araştırmalar, adsorpsiyon kapasitesi ve duraylı süspansiyonlar oluşturabilme yeteneğinden dolayı, sepiyolit tarımsal alanda kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Tarım sektöründeki başlıca kullanım alanları şunlardır [7, 23].

- Toprak düzenleyici olarak,
- Ekimden önce çimlendirilen tohumların taşınmasında akışkan taşıyıcı olarak,
- Tohum kaplama malzemesi olarak,
- Gübre süspansiyonlarında.

A. Toprak düzenleyici olarak kullanımı : Tarıma elverişli topraklar özellikle iyi havalandırılmış olmalıdır. Bu durum daha ziyade toprağın makro porozitesi ile ilgilidir. Bunların yanında, toprak ayrıca su, besin, gübre vs. tutma yeteneğine de sahip olmalıdır.

ASTM standartlarına göre -6+15 mesh ve -30+60 mesh arası boyut grubundaki sepiyolit, toprakla homojenlik sağlanana kadar kolay bir biçimde karıştırılabilir ve böylelikle toprak için gerekli olan gözeneklilik temin edilmiş olur. Sepiyolitin sahip olduğu yüksek makro gözeneklilik, bitkiler için gerekli olan su ve besinlerin tutulmasını sağlar. Ancak bunun için, sepiyolitin ısı aktivasyon (kalsinasyon) işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu sayede, su ve basınç etkisi altında dağılmaya karşı mekanik direnç ve sorpsiyon kapasitesi artırılmış olur.

B. Akışkan taşıyıcı olarak kullanımı : Klasik tohumlama ve ekim yönteminde % 40'lara varan bir ürün zayıyatı sözkonusudur. Akışkan sistemle tohumlamada ise, tohumlar tanklarda uygun besin ortamı ve sıcaklık altında ön çimlendirmeye tabi tutulmakta ve böylelikle % 8'lere varan bir verim artışı elde edilmektedir. Bu tip tohumlama, tohumları geçici olarak sulu ortamda tutma prensibine dayanır.

% 4-5 oranında sepiyolit ilavesi ile hazırlanan kararlı süspansiyonlar, ekime kadar geçen süre içinde, önceden yeşertilmiş tohumlara hem besin sağlar hem de uygun bir ortam hazırlar. Sepiyolit süspansiyonlarındaki mevcut su, kökleşme esnasında kolayca kullanılabilir.

C. Tohum kaplama maddesi olarak kullanımı: Diğer bir tohumlama sistemi de, içerisine haşere ilacı ve gübre konulan bir kapsüle tohumların ilave edilmesi prensibine dayanan kapsülleme yöntemidir. Bunun için 5 µm tane boyutunda sepiyolit kullanılabilir. Kapsül, su ile temas ettiğinde ayrışır ve tohum serbest hale gelir. Kapsül içindeki mevcut bileşenler, daha sonra tohum tarafından kullanılır.

D. Gübre süspansiyonlarında kullanımı: Süspansiyon halindeki gübreler, gübre çözeltilerine göre daha avantajlıdır. Bu tür gübreler, çözünmeyen maddeleri süspansiyonda tutacak bir katkı maddesine ihtiyaç duyarlar. Sepiyolitin reolojik özellikleri ve düşük pH değerlerinde sahip olduğu yüksek viskozite, gübre süspansiyonlarında kalınlaştırıcı olarak kullanılabilme imkânı sağlar.

2.3.3.8. Sondaj çamuru olarak kullanımı

Düz dolaşimli döner sondajlarda, sondaj kuyusunda delme sırasında oluşan kırıntıların yüzeye alınması ve matkabın soğutulması amacıyla kuyuya sürekli olarak sirkülasyon sıvısı beslenir. Sondaj çamuru adı verilen ve çamur tankı veya havuzundan tij içine basılan bu sıvı, tabandaki kırıntıları aldıktan sonra tij ile kuyu duvarı arasından tekrar yüzeye döner. Düz dolaşimli döner sondajlarda sondaj çamurunun üç değişik görevi vardır. Bunlar;

- Matkap tarafından kuyu dibinde kırılıp öğütülen parçaları beraberinde taşıyarak kuyu dışına çıkartmak,

- Matkap ve tijleri soğutmak,
- Formasyondan kuyuya veya kuyudan formasyona olası su kaçağını önlemek üzere kuyu cidarında çok ince, elastik ve geçirimsiz bir film tabakası oluşturarak boşlukları sıvamak şeklinde özetlenebilir.

Kullanılan çamurun bu görevleri yerine getirebilmesi için jel dayanıklılığı, tiksotropi, viskozite, filtrasyon gibi belirli reolojik özelliklere sahip olması gerekir.

Sondaj çamuru, pompalama geçici olarak durdurulduğu ve çamur hareketsiz halde kaldığı durumlarda, içerdiği kırıntıların çökmesini geciktirecek tiksotropik özellik ve belirli bir jel direncine sahip bulunmalıdır. Bunun yanında kolay pompalanabilir de olmalıdır. Ayrıca, derin sondajlarda ortaya çıkan yüksek basınç ve farklı ortamlardaki değişken elektrolit konsantrasyonlarından mümkün olduğunca az etkilenmelidir.

Günümüzde sondaj çamuru olarak genellikle bentonit süspansiyonları kullanılmaktadır. Sepiyolit elektrolit varlığına karşı minimum hassasiyet gösterdiğinden, tuzlu ortamlarda, diğer killere göre daha duraylıdır ve bu özelliğiyle, petrol sondajlarında kullanılan sondaj çamurlarında tercih edilen bir kil mineralidir [7, 24]. pH=8'e kadar faydalı özelliklerini muhafaza eder; pH=9 olduğu durumlarda peptizasyon viskozitede ani bir düşüşe neden olur. Böylece, sondaj çamurunun reolojik davranışı Newton yasasına uygun (Newtoniyen) hale gelir. [7, 23].

2.3.3.9. Besicilikte kullanımı

Sepiyolit, soğurma özellikleri, serbest akış, antikekleşme, kimyasal inertlik ve toksik olmama gibi özelliklerinden dolayı çeşitli tane boyutlarında hazırlanarak besicikte kullanılabilir [7, 23]. Başlıca uygulama alanları şunlardır;

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

A. Gelişimi Hızlandırıcı Olarak Kullanımı: Yapılan çalışmalar, yemlere %0.5-3 arasında sepiyolit ilavesi ile domuzlarda %7, kümes hayvanları ve tavşanlarda %10'a kadar ulaşan bir gelişme hızı sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca,

aynı süre içinde beslenen tavşan ağırlığında da %6-7 civarında bir artış sağlanmıştır. Verilen örneklerden de anlaşıldığı gibi, katı yemlerde bağlayıcı olarak sepiyolit kullanımı, verimin artmasını sağlamaktadır. Sözkonusu verim artışı, bağırsaklarda jel oluşumu dolayısıyla daha yavaş bir akış temin edilerek proteinlerin daha iyi sindirilmesine bağlıdır. Sepiyolit, sorptif özellikleri dolayısıyla amonyum dengesini de kontrol eder ve amonyak nedeniyle oluşabilecek muhtemel zehirlenme ve kronik rahatsızlıkları önler. Aynı şekilde sepiyolit, toksinler veya belirli aminler tarafından oluşturulan ishali kontrol altına alarak dışkıların kötü kokularının önlenmesine yardımcı olur.

B. İlave Katkıları Taşıyıcı Olarak: Yemlere mineral, vitamin, antibiyotik vs. eklenmesi, bu sektörde yağın olarak kullanılan bir tekniktir. Ancak, bu katkı maddelerinin dozajının doğru bir biçimde ayarlanamaması problem doğurur. - 60+120 mesh tane boyutu aralığında kullanılan sepiyolit, katkı maddelerinin çok iyi bir biçimde homojenleştirilmesini sağlar. Süspansiyon yoğunluğu, tozlanma, boyut, tane şekli, yüzey ve elektrostatik yük gibi faktörler, bileşenlerin aglomerasyonunu önlemek açısından gereklidir. Bunların mikro katkılarla kimyasal uyum sağlayabilmesi de önemli bir konudur. Sepiyolit, fazla higroskopik olmaması ve su ile temas ettiğinde yüksek pH oluşturmamasından dolayı bileşenlerin duraylılığını sağlar. Ayrıca, sepiyolitin serbest akış ve anti-kek özellikleri, yemlerin paketlenme, nakliye ve depolanmasında önemli avantajlar sağlar.

C. Katı Yemlerde Bağlayıcı Olarak Kullanımı: Sepiyolitin, diğer bağlayıcılara göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle balık, kümes hayvanları ve küçük baş hayvan yemlerinin peletlenmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlamış ve bir çok farklı türde yemlerin peletlenmesinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sepiyolit kullanılarak üretilen peletler %95 oranında bir duraylılığa sahiptir. Kilin akışkan özelliği, diğer bağlayıcılara göre daha düşük sıcaklık ve basınç kullanılması avantajını sağlar.

Sepiyolitin sorpsiyon ve jel yapma özellikleri, basınç uygulandığında belirgin bir hal alır ve pelete yüksek duraylılık ve sertlik kazandırır. Hayvan yeminde yüksek oranda hayvanî ve bitkisel yağ içeriği istenmesi durumunda, bağlayıcı olarak sepiyolit kullanımının avantajları büyüktür. Sepiyolit, pelet kalitesini bozmadan daha fazla miktarlarda yağ içeriği teminine imkân tanır. Ayrıca sorpsiyon kapasitesi, koloidal özdeklilikleri ve düşük katyon değişim kapasitesinden dolayı besi hayvanlarının erken gelişimine yardımcı olur.

2.3.3.10. Kauçuk sanayinde kullanımı

Kauçuk sanayinde, organik ve inorganik bileşimli dolgu maddeleri kullanılır. Halen kullanılan inorganik dolgu maddesi iki tiptir. Bunlar; silika gibi, kimyasal olarak çöktürülmüş malzemeler ile sepiyolit gibi mikronize doğal malzemelerdir. Dolgu maddeleri ayrıca,

kuvvetlendirici, yarı kuvvetlendirici ve seyrelticiler olarak da gruplandırılabilirler. Sepiyolit, çok geniş yüzey alanı, siloksan ve silanol grupları içermesi nedeniyle, elastik özelliğe sahip plastik maddelerin varlığında belirli bir aktivite gösterebilir ve yarı kuvvetlendirici bir dolgu maddesi gibi davranır.

Böylece sepiyolit, ucuz bir canlandırıcı ile birlikte, diğer dolgu maddelerine nazaran çok daha iyi mekanik özelliklere sahip, vulkanize kauçuk üretimine son derece elverişli bir katkı maddesi olmaktadır [7, 23].

2.3.4. Diğer kullanım alanları

2.3.4.1. Seramik üretiminde kullanımı

Sepiyolitin seramik sektöründe kullanımına yönelik uygulamalar yok denecek kadar azdır. Ancak son yıllarda, özellikle ülkemizde, MTA Enstitüsünün ortak proje kapsamında yürüttüğü çalışmalar sayesinde, bu amaca yönelik araştırmaların sayısında belirgin bir artış olmuştur. Bu çerçevede, MTA-GIRIN işbirliği ile bazı sepiyolitlerin pişme özellikleri incelenmiş ve bununla kordiyerit seramik üretimi hedeflenmiştir.

Kordiyerit seramikler, bulk veya kâğıt formunda olmak üzere iki şekilde üretilmektedir. Bunlar, absorpsiyon ve mekanik mukavemetin önemli olduğu katalitik konvertörler, motor blokları gibi otomotiv ve uzay sanayinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır.

Yine kahverengi sepiyolit kullanılarak yapılan bir çalışmada, sepiyolitin seramik bünyelerde kullanım imkânları araştırılmış ve elde edilen seramik malzemelerin karakterizasyonu için yapılan fiziksel ve mekanik testler sonucunda, sepiyolitin, seramik bünyelerin özelliklerini iyileştiren, alternatif bir hammadde olduğu tespit edilmiştir [25].

2.3.4.2. Fren balatalarında asbest yerine kullanımı

Asbestli sürtünme malzemeleri, motorlu araçların fren sistemlerinde kullanılan tipik malzemelerdir. Ancak, asbestin insan sağlığı üzerindeki kansorejen etkisi nedeniyle, gelişmiş

ülkelerde, alternatif olarak kullanılabilen birçok doğal ve sentetik malzeme üzerinde araştırmalar yoğunlaştırılmış, lifsi yapıda olması ve buna karşılık kansorejen etkisinin asbeste kıyasla son derece düşük olması dolayısıyla, sepiyolit asbest yerine kullanılması gündeme gelmiştir.

Asbestli sürtünme malzemeleri ile karşılaştırıldığında, sepiyolitli sürtünme malzemelerinin daha iyi ısıl direnç, düşük sürtünme, düşük özgül ağırlık ve presle daha iyi şekillendirme özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Üretim maliyeti asbestli malzemelere göre biraz yüksek olmasına karşın, malzemenin kullanım ömrü gözönüne alındığında sepiyolitli malzeme daha ucuza gelmektedir [23].

2.3.4.3. Nem Alıcı Kil Üretiminde

Killer, özellikle smektit ve sepiyolit grubunda yer alan killer nem alıcı (desikant) kil üretiminde kullanılmaktadır. Bu amaçla killer çeşitli yöntemler ile modifiye edilmekte ve nem adsorblama kapasiteleri arttırılmaktadır. Bu modifiye işleminde çeşitli nem alıcı bileşikler kile ilave edilmektedir. Nem alıcı bu bileşikler, $CaCl_2$, CaO , $CaSO_4$, $MgCl_2$, Na_2SO_4 , $LiCl$, aktif Al_2O_3 ve odun talaşı olabilmektedir.

Desikant kil nakliye ve depolama işlemleri sırasında özellikle elektronik ve neme hassas (elektrik devreleri, elektronik eşyalar, askeri destek ekipmanları, makina parçaları, motorlar, ilaç ve tıbbi malzemeler, deri ürünler ve spor malzemeleri) malzemelerin paketlerinde nem kontrolü için kullanılır.

2.3.5. Tüketim miktar ve değerleri

Sepiyolit ve atapulgit'in önemli yer tuttuğu absorban kil endüstrisinde en büyük tüketim alanı cat-litter (kedi toprağı) olarak kullanımındır. Halen bu alandaki Avrupa pazarı 1 milyon ton civarında olup bunun içinde ağır killer olarak tanımlanan fuller's earth ve bentonit; hafif killer olarak adlandırılan sepiyolit ve atapulgit ile diyatomit silisli mineraller ve talaş ya da sentetik malzemeler bulunmaktadır. Bu pazar, her yıl istikrarlı bir biçimde büyümektedir.

Hayvan besiciliği alanında ise, Avrupa'da yıllık 120,000 ton sepiyolit tüketimi söz konusudur. Bu alandaki toplam kil tüketimi ise 300,000 tondur [26].

2.4. Türkiye'de Durum

2.4.1. Sepiyolit Türkiye'de bulunuş şekilleri

Ülkemizde ekonomik olarak değerdendirilen sepiyolit oluşumları, Eskişehir yöresinde yoğunlaşmaktadır. Lületaşı tipi sepiyolit yatakları, Eskişehir-Margı, Sarısu, Sepetçi, Gökçeoğlu, Başören, Türkmentokat ve Nemli yörelerinde ikiyüz yıldan beri işletilmektedir. Konya-Yunak yöresinde bulunan lületaşı oluşumları ise henüz işletmeye alınmamıştır.

Eskişehir-Sivrihisar'ın güneyinde, yukarı Sakarya neojen alanında pliyosen çökellerinin evaporitik dönemlerine ait birimleri içerisinde, çok değışik boyutlarda merccekler şeklinde bulunur. Saf ve safa yakın, organik maddece zengin kahverengi sepiyolitler, bataklık ortamında Mg'ca zengin sularınan itibaren kimyasal çökelim yoluyla oluşmuşlardır. Beyaz renkli, masif, çok değışken 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 merccekler 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 merccekler halinde Na-sepiyolit oluşumlarına rastlanmaktadır. Yine bu bölgede, havzaya Al getiriminin fazla olmasına bağlı olarak genelde paligorskit konsantrasyonu, yukarı Sakarya havzasına göre artmaktadır [26].

2.4.2. Rezervler

Sedimanter sepiyolit oluşumları karbonat istifleri içinde yer almakta ve cevher kalitesi, sedimantasyon şartlarına bağlı olarak değışimler göstermektedir. Sepiyolitli dolomitler ile saf sepiyolit oluşumları arasında keskin veya geçişler gösteren cevherleşme, Türktaciri, İlyaspaşa, Tatar (Yenidoğan) Kurtşeyh ve Oğlakçı köyleri civarlarında ekonomik zenginleşmeler şeklindedir. MTA tarafından yapılan çalışmalarda 1. 2. ve 3. kalite sepiyolit ayrımları gerçekleştirilmiş olup bu sınıfların sepiyolit minerali içerikleri sırasıyla > %90, %70-89 ve % 50-69 arasındadır. Bunların dışında, sepiyolit içeriği %50'nin altında olan ve dokusal özellikleri itibariyle pet-litter malzemesi olarak kullanılabilereği saptanan oluşumlar tespit edilmiştir. %50 nin üzerinde sepiyolitli cevher rezervi, görünür rezerv bazında 1.5 milyon ton civarındadır. Pet-litter rezervi ise birkaç milyon ton mertebesindedir.

2.4.3 Üretim

Ülkemizde lületaşı ve sedimanter sepiyolit üretimi özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir. Sivrihisar güneyi neojen havzasında sedimanter sepiyolit üretimi, İlyaspaşa ve Yenidoğan (Tatar) köyleri civarındaki ocaklarda yürütülmektedir. Ayrıca, Günyüzü-Kayakent civarında sepiyolitli dolomit üretimi yapılmaktadır. İlyaspaşa ve Yenidoğan ocaklarında üretilen kahverengi sepiyolit, %40 civarında rutubet içerikli olup güneşte kurutma ile bu rakam %22'ye düşürülmektedir. Daha sonra taşınarak öğütme tesisine getirilen sepiyolit granüle edilir ve tekrar 700 °C civarında kurutulurken nem içeriği % 10 düzeyine indirilir. Ürün sınıflandırılarak 1-1.2 tonluk big-bag'ler içinde ambalajlanıp yurtdışına ihraç edilmektedir. Cat-litter amaçlı üretim ise genel olarak yığın (dökme) şeklinde gönderilmektedir.

2.4.4. Tüketim

Sanayi sepiyoliti olarak da adlandırılan sedimanter tipi sepiyolitın yurtiçi tüketimi henüz olmamakla birlikte pet-litter kullanımı için yurt içi piyasa oluşmaya başlamıştır. Bu, piyasada önemli bir yer tutacağı muhakkaktır. Ayrıca endüstriyel baca gazlarının absorpsiyonu ve petrokimya sanayiinde atık tutulması ve proseslerde deneysel uygulamalarında başarılı sonuçlar vermiştir. Avrupa Topluluğuna girme çalışmalarının yürütüldüğü bugünlerde, otomotiv endüstrisine yönelik olarak, çevre problemleri nedeniyle katalitik ekzost kullanımının bir zorunluluk olarak ortaya çıkacağı düşünüldüğünde, bu uygulama için sepiyolitten mamul kordiyerit seramik kullanımının gerekeceği açıktır [27]. Türkiye’de bugün için atapulgit tüketimi yoktur.

2.4.5. Dış ticaret

Sedimanter sepiyolit konusunda az da olsa ihracat yapılmaktadır. 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, korozyona dayanıklı otomobil boyası üretimi ile otomobil iç döşemelerinde kullanılmaktadır. Toyota Central Research Laboratory’de Türk sepiyoliti üzerine çok ayrıntılı araştırmalar halen yürütülmekte olup yeni bulunan uygulama alanları arasında katalitik ekzost filtreleri, çeşitli özel kağıtlar, biyoreaktörler vb. sayılabilir. % 3 civarında organik madde içeren sepiyolitler ise reolojik katkı maddesi, sondaj çamuru maddesi ve gübre katkısı olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca şirket, İtalya’da Laviosa Chimica Mineraria firmasına %97 saflıkta sepiyolit temin etmiş ve bir İngiliz firması ile lisans anlaşması yaparak 1993 yılında 8000 ton civarında cat-litter malzemesi ihraç etmiştir.

Yenidoğan sepiyolit sahasında ise, 1993 yılında yaklaşık 10 bin ton civarında kahverengi ve beyaz sepiyolit üretimi yapıldığı belirtilmiştir. Bunun bir bölümünün petrol sondajlarında kullanılmak üzere katkı malzemesi olarak, bir bölümünün de cat-litter amaçlı ihraç edildiği belirtilmektedir. Ham lületaşı, sedimanter sepiyolit ve atapulgit konusunda ithalat söz konusu değildir.

2.5. Dünyada Durum

Sepiyolit alanında faaliyet gösteren şirketler sınırlı sayıdadır. Başlıcaları [23]. İspanya ABD, Çin ve Türkiye'deki az miktarda üretim dışında, İspanya dünyanın en büyük sepiyolit üreticisidir. 1988 yılında 507782 ton sepiyolit ve 43585 ton atapulgit üretimi yapmıştır. 1989 ve 1990 yıllarında da aynı düzeydeki üretimi korumuştur. Bu alanda tekel durumundadır. Faaliyet gösteren firmaların üretim kapasitelerinin bugün 1 milyon tonun üzerinde olduğu tahmin edilmekte, üretimin %90'ı ise ihraç edilmektedir.

Önde gelen firmalardan biri olan TOLSA SA. ülkenin değişik yörelerinde sepiyolit ve atapulgit üretimi konusunda faaliyet gösteren en büyük kuruluştur. Madrid-Vicalvaro-Vallecas ve Toledo-Yunclillos'da sepiyolit yataklarına sahiptir. Caceres'de Torrejon el Rubio'da atapulgit, Sevilla-Lebrija'da diğer killerle karışık sepiyolit ve atapulgit de üretmektedir. Tolsa'nın 250 tip endüstriyel uygulamaya yönelik 45 ayrı ürünü vardır ve ürettiği sepiyolit %70'i pet-litter olarak Avrupa'da tüketilmektedir. Yaklaşık 850 bin tonluk Avrupa sepiyolit esaslı pet-litter ticaret hacminin %40'ı Tolsa'nın elindedir. Hayvan yemi sektörü için 80000 ton/yıllık sepiyolit satışı vardır. Şirket, hayvan ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak kullanılan hammadde ile de ilgilenmektedir.

Diğer önemli bir kuruluş olan SEPIOLSA Madrid-Toledo havzasında sepiyolit işletmektedir. Guadalajara'daki 130000 ton/yıl kapasiteli tesisi besleyecek 200000 ton/yıl üretim yapmaktadır. Şirket 4 ile -400 mesh arası ürünler üretmektedir. Genel olarak, Sepiolsa'nın üretiminin %70'i pet-litter malzemesi olarak batı Avrupa'ya ihraç edilmektedir.

MYTA isimli şirket ise Zaragoza-Orera'da sepiyolit üretimi yapmaktadır ve kapasitesi 170000 ton/yıldır. 1989 yılında 55000 ton olan satışları 1990 yılında 75000 tona ulaşmıştır. 1991 yılında ise 100000 ton civarında üretim gerçekleşmiştir. Şirket ürünlerini pet-litter pazarına sunmakla birlikte, diğer uygulamalar için de satış yapmaktadır. Satışın %75'i AT ülkelerine, %10'u da diğer ülkelere yapılmaktadır.

VOLCAN ve BENESA isimli şirketler Almeria'daki yataklardan 25000 ton/yıl atapulgit üretmekte, Benesa ise Madrid havzasından sepiyolit ve Almeria'da atapulgit üretmektedir. Sepiyolit

üretimi 60000 ton/yıl, atapulgit üretimi ise 5000 ton/yıldır. Üretimin %75'i AT ülkelerinde, çoğunluğu pet-litter kullanımına sunulmaktadır.

Diğer bir şirket olan MIPSAs, 120000 ton/yıl kapasiteli tesislerinde sepiyolit ve atapulgit üretmektedir. 1991 yılı üretimleri 100000 ton olmuştur. Bu ürünün hemen hemen tamamı pet-litter olarak ihraç edilmiştir.

AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ: Bu ülkedeki tek sepiyolit üreticisi FLORIDIN Corp. olup 1989 yılında Industrail Mineral Ventures'in işletmelerini satın almıştır. Tesisleri, Nevada/Kaliforniya sınırı üzerinde, Las Vegas'ın 100 mil kuzeybatısında bulunmaktadır. Şirketin üretim kapasitesi 40000 ton/yıl olup bunun % 80'i sepiyolit ve %20'si saponittir. Esas tüketim alanı sıvı gübre ve sıvı hayvan yemleri için süspansiyon oluşturucu malzemelerdir. Uzak doğu ve Japonya'ya bir miktar ihracat yapılmaktadır.

2.6. Çevre Sorunları

Lületaş ve sepiyolit madenciliği, çevreye etkisi fazla olan işletmeler değildir. Üretim sonrası zenginleştirme veya kimyasal işlem gibi proseslere girmemekte, genel olarak ocaktan çıktığı şekli ile mamul hale getirilmekte veya pazarlanmaktadır. Çevre ile ilgili tek sorun, işletme pasalarının stoklanması ve açık ocak yerlerinin restorasyonu konusundadır. Bu da planlı üretim ve işletme sonrası restorasyon çalışması ile aşılabılır [1].

2.7. Sepiyolitin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi sepiyolit, iğnemsli veya lifsi yapıda bir kil minerali olup çok geniş endüstriyel kullanım alanlarına sahip bulunmaktadır. Halen dünya sepiyolit üretiminin büyük bir kısmı İspanya'da gerçekleştirilmekte olup, daha az miktarda Türkiye ve ABD'de de üretim yapılmaktadır. Madrid yakınlarındaki VallecAs-Vicalvaro sepiyolit yatakları TOLSA SA. tarafından işletilmektedir. Lifsi materyallerin insan sağlığı yönünden olumsuz etkileri ve özellikle de kanserojen etkisi göz önünde tutularak Tolsa tarafından sepiyolit konusunda epidemiyolojik çalışmalar, deney hayvanları üzerinde testler ve in-vitro testleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, sepiyolitin kanserojen etkisinin oluşum şekli ile yakından ilişkili olduğu, sedimanter oluşumlu sepiyolitlerin genel olarak kanserojen olmadığı, buna karşılık hidrotermal kökenli oluşumların kanserojen etki oluşturduğu saptanmıştır. Japon Çalışma Bakanlığı-Endüstriyel Hijyen Milli Enstitüsü tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, İspanya ve Türkiye'den sedimanter sepiyolit örnekleri ile Çin'den sedimanter olmayan sepiyolit örnekleri üzerinde biyolojik

aktivitelerine yönelik bulgular elde edilmiştir. Çin sepiyoliti, diğerlerine göre daha yüksek kristallik derecesine sahip olup kristaller çok daha uzundur. İspanyol ve Türk sepiyolitlerinin düşük sitotoksik ve genotoksik etkisine rağmen Çin sepiyolitinin bu etkilerinin çok kuvvetli olduğunu ortaya koyulmuştur.

Sepiyolitlerin ve diğer lifsi materyallerin kanserojen etkisi, lif uzunluğu ve çapı ile ilişkilidir. Özellikle lif uzunluğu uzadıkça kanserojen etki artmaktadır. Mineralojik açıdan, sedimanter sepiyolitler, genellikle 2-10 µm arasında lif uzunluğuna sahip olmasına karşılık, hidrotermal ve diğer oluşumlu sepiyolitler, 20 µm'ye kadar çıkabilen liflerden oluşmaktadır. Sedimanter sepiyolitler, Türkiye, İspanya, ABD'de ekonomik yataklar sunmakta, diğer oluşum türlerine ise Finlandiya, Çin, Japonya, Kore ve Güney Afrika'da rastlanmaktadır. Sedimanter sepiyolitlerin oluşumu sırasında sedimanter ortamda çok daha yüksek sayıda kristal çekirdeği olduğundan, agregasyon daha kolay gerçekleşmekte ve sonuçta daha düzlemsel partiküller meydana gelmektedir.

Sonuç olarak, sedimanter kökenli sepiyolitlerin kanserojen etkisi olmamasına karşın, diğer oluşum türlerine sahip uzun lifli sepiyolitler kanserojen etkilidir. MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen Sepiyolit Projesi kapsamında yapılan SEM ve TEM çalışmalarında Türk sepiyolitlerinin (Eskişehir-Sivrihisar ve Ankara-Polatlı yöreleri, Türktaciri, Kurtşeyh, Oğlakçı sepiyolit oluşumları) lif uzunluğu 2-5 µm arasında bulunmaktadır. Dolayısıyla kanserojen etkiye sahip olmadıkları söylenebilir [1].

3. SEPIYOLİTİN NEM ALICI (DESİKANT) OLARAK KULLANILMASI

Killerin, özellikle sepiyolit ve smektit grubunda yer alan killerin nem alıcı (desiccant) üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Bu amaçla yeterince nem alamayan killer çeşitli yöntemlerle modifiye edilmekte ve nem tutma kabiliyetleri arttırılmaktadır. Bu modifiye işleminde kile ısı aktivasyonu uygulanmakta ve çeşitli nem alıcı maddeler ilave edilmektedir. Bu

nem alıcı maddeler; $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , CaCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 , aktif Al_2O_3 , MgCl_2 , NaCl , LiCl ve odun talaşı olabilmektedir.

Killer nem adsorpsiyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sepiyolit, smektit (Na ve Ca bentonitler), atapuljit ve ağartma toprağı en yaygın kullanılan adsorban killerdir.[28].

3.1. Nem Hakkında Genel Bilgi

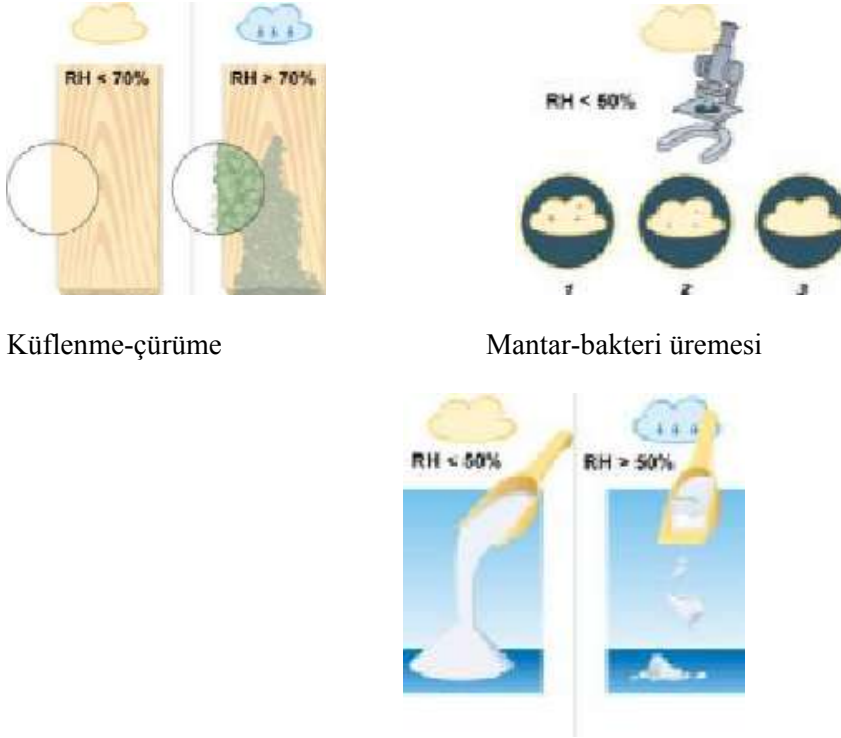
Atmosferde bulunan su buharının veya rutubetin diğ er adına nem denir. 1m^3 havanın içindeki nemin gram cinsinden ağırlığına mutlak nem denir. Bağ ıl (relatif) nem ise belirli bir sıcaklıkta havanın o andaki mevcut su buharı içeriğı ile aynı havanın potansiyel su buharı kapasitesine oranıdır. Bağ ıl nem havanın nem içeriğini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bağ ıl nemin hesaplanması havanın doyma noktasında tutabileceğı maksimum nem miktarına bağıldır.

Bağıl nem yüzde olarak ifade edilir. Havada bulunması muhtemel su buharı miktarı, temel olarak hava sıcaklığının bir fonksiyonudur. Sıcak hava, soğuk havaya oranla daha fazla nem içerir. Doyma noktasına ulaşan havanın bağıl nemi %100'dür. [29].

Madde ve eşya üzerinde tahrip edici etkiye sahip olan yüksek nem, insan sağılığı ve canlı yaşamda da olumsuz etkilere sahiptir. Yüksek nemli ortamlarda yaşamak zorunda kalan insanlarda nefes alma zorluğu, astım, üst solunum yolları enfeksiyonları, romatizma-eklem hastalıkları ve kalp-damar rahatsızlıkları adeta kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenlerle, hem insan sağılığı adına hem de eşyanın korunması adına nem kontrolü ve kurutma yapılması gerekir. Özellikle barajlarda, pompa istasyonlarında, türbin ve kazan dairelerinde, gemi ambalajlarında, askeri malzeme depolarında, ilaç-kağıt-cam-kimya-silah-gemi inşa ve bakım plastik-mobilya sanayinde, meşrubat, elektronik ve inşaat endüstrisinde paslanma ve korozyona karşı nem kontrolü yapılması zorunludur [30].

Havanın bağıl nemi "psikrometre" ile ya da doğrudan doğruya sonucu veren "higrometre" vasıtasıyla ölçülür. Doyma havanın bağıl nem oranı %100'dür. Atmosferdeki bu bağıl nem oranı metallerin korozyonu, bozulması ve çürümesinde önemli role sahiptir. Öyle ki olağan sıcaklıklarda bağıl nem oranı %60'tan düşük ortamlarda korozyon yavaş iken bağıl nem oranının %60'ı geçtiğı durumlarda korozyon hızlanmaktadır. Çürüme için ise bu eşik değeri %70'tir. Genellikle mühendislik ürünleri için bağıl nemin kritik sınırı %50 olarak tespit edilmiştir.

Aşağıda bazı yüksek nem etkileri gösterilmiştir. Aşağıda görülen ahşap ve kumaş depoları gibi bazı uygulamalarda yalnızca desikant (nem alıcılar) kullanılarak güvenli depolama ortamları yaratılabilir [30].



Şekil 3.1. Maddelerin Nem Alıp Bozulması

Malzemeyi çevreleyen havanın içindeki nem ve buna bağlı olarak değişen hava koşullarının zararlı etkisi önlenmelidir. Özellikle deniz aşırı taşımacılıkta konteynır içerisindeki nemli havanın değişken iklim koşullarına bağlı olduğu durumlar daha yakından incelendiğinde iki ana etkenin olduğu görülmektedir;

- Nem; soğuk iklimden tropikal iklime geçerken artmaktadır. Nem ve su buharı içeren hava yoğunlaşarak kargonun üzerine yoğunlaşmaktadır.

- Nem; tropikal iklimden soğuk iklime geçerken su buharı haline gelir. Böylelikle konteynır ve paket içerisindeki bağıl nem oranı artmaktadır. %55'lik nem oranının altındaki durumlarda yeşillenme ve küflenme genellikle fazla sorun yaratmamaktadır. Korozyon etkisi nem ve zamana bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Nem oranı değişken koşullardan dolayı sabitlenemez, fakat düşük nemlilik taşımacılıkta her zaman daha tercih edilen bir durumdur.

Uzaklaştırılması gereken nem ve suyun miktarı belirlenirken bu nemlilikten korunması gereken ürünün cinsi de göz önünde bulundurulmaktadır. Kargo içerisindeki koşulların belirlenip nem

oranının ürün çeşidine göre istenilen oranda tutulması ürünlerdeki olası zarar ve bozulmaların engellemesini sağlamaktadır.

Bu durum;

- Yolculuk sırasındaki iklim koşullarına,
- Yolculuk süresine,
- Konteynır içerisindeki malın cinsine,
- Konteynır koşullarına,
- Ürünün hassaslığına,
- Konteynırın ya da konteynırda kullanılan malzemenin bünyesinde bulunan nem oranına

bağlıdır.

Konteynıra yüklenen malların bünyesindeki nem; malzemenin; kendisini çevreleyen atmosferde bulunan su buharını çekme yeteneğine higroskopik kapasitesi denir.

Konteynıra yüklenen malların bünyelerindeki su miktarı; malın cinsine yani malzemenin higroskopik kapasitesine bağlıdır. Ilık bir havaya oranla tropikal bir havada yüklenen malda daha fazla nem olacağı açıktır. Örneğin 5 tonluk mobilya yüklü bir konteynırda, mobilya bünyesinde ağırlığının %8-25'i oranında nem barındırabilmektedir. Bu 400 ile 1250 litre suya eşdeğerdir. Bu nem gerekli koşullar oluştuğunda konteynır içerisindeki havaya karışacaktır.

Konteynır içerisindeki havada bulunan nem ve su buharı; 20'lik bir konteynırın iç hacmi yaklaşık olarak 33 m³'tür. 32°C'de bir tropik Asya havasının %90 nem oranına sahip 1m³'ünde yaklaşık 33 gram su bulunmaktadır. Aynı sıcaklıkta %55 relatif nemine sahip havanın metreküpünde 28 gram su bulunurken, buna zıt olarak 0°C'lik 1m³ %100 relatif nemine sahip Avrupa havasında 28 gram su bulunmaktadır. Yani farklı iklim koşullarında yüklenmiş konteynırlar bünyelerinde farklı miktarda nem tutmaktadır. Taşımacılık sırasında değişken hava ısıları bu nemin yoğunlaşması ya da tekrar havaya karışmasında etkili olmaktadır. Yani konteynır içerisindeki havada bulunan nem yoğunlaşarak, konteynır içerisindeki yüzeylerde yoğunlaşmaktadır. Bu durum deniz aşırı taşımacılıkta malın güvenliği açısından istenmemektedir.

Yukarıda önemi ve tarihçesi açıklanan nem gidericiler savaş arasında yaşanan zorlukların arkasından araştırılıp geliştirilmiştir. O zamandan beri nitelik ve nicelik olarak gelişmiş ve çok

çeşitlenmiştir. Bugün dünyada çok sayıda farklı nem alıcılar üretilmektedir. Nem alıcılar kil gibi doğal malzemelerden ya da sentetik yolla üretilmektedir.

3.2. Nem Alıcılar ve Genel Özellikleri

Bilindiği gibi atmosferik koşullarla karşılaşan bütün maddeler bir miktar bozunmaya uğrar. Atmosferik koşulların en etkili olanı nemdir. Nem temas ettiği malzeme üzerinde korozyon, pas, küf, akma gibi çeşitli zararlı etkilere yol açar. Ürünlerin paketlenmesi ve yüzey kaplamaları ürünün nemle temasını veya korozyona uğramasını tümüyle engelleyememektedir. Metal yüzeyler ya da tekstil malzemeleri korozyondan bir nebze korunabilse de elektronik eşyaların ve teknik ekipmanların direk nemden uzaklaştırılması mümkün olamamaktadır. Özellikle deniz aşırı kargo taşımacılığında kargonun değişik iklim koşulları altında taşınması, içerisindeki havanın sıcaklığını değiştirmektedir. Sıcaklığın değişimi de havanın nem oranını doğrudan etkilediğinden, kargo içerisinde taşınan malzeme değişik oranlarda neme maruz kalmaktadır. Bu sebeplerden ötürü ortamdaki nemi bünyesine alarak malzemenin nemden korunmasını sağlamak için kullanılan doğal ya da sentetik maddelere "nem alıcı" denir.

Desikant nem almada esas parametre, nemli havanın içinde bulunan su buharı molekül veya zerreciklerinin çok geniş iç yüzeylere sahip adsorbent-taşıyıcı maddelerin labirentlerinde yakalanarak, nemli havanın dışına çıkarılmasıdır. Bu işlemin gerçekleştirilmesindeki en önemli unsur, desikant maddenin mikro düzeyde fakat çok geniş alanlar oluşturan gözenekleridir [30].

Çoğu kimyasallar ister toz halinde ister kristal veya tablet şeklinde olsun kısa veya uzun süreliğine olabildiğince kuru depolanması istenmektedir. Maalesef kuru depolanmayı zorlu kılan birçok etken vardır. Depolamadaki bu sorunlar için çeşitli çözümler bulunmaktadır ve bunlardan bir tanesi desikant kullanılmasıdır. Desikant bir higroskopik malzemedir ve bu da havadaki su buharını adsorbe edebilme kabiliyetidir. Desikantlar pudra ve pellet şeklinde kapalı poşetlerde üretilmektedir. Kapalı poşet açıldığında nefes alabilen paketlerin içinde desikant bulunmaktadır [31].

Nem alıcılar diğer adıyla desikantlar su buharını güçlü bir şekilde çeken kimyasal maddelerdir. En geniş şekilde katı ve sıvı desikantlar olarak sınıflandırılabilirler. Silika jel, aktive edilmiş alumina, moleküler elek ve killer su buharını kimyasal değişim olmaksızın kimyasal veya fiziksel olarak adsorbe eden katı desikantlardır. Kalsiyum klorür, trietilen glikol, lityum bromür veya klorür su buharını absorpsiyon yoluyla çeken sıvı desikantlar olarak gruplandırılmaktadırlar. Bunlar nemi absorbladıklarında kimyasal olarak değişirler [32]. Sıvı

desikantların en önemli avantajları rejenerasyon sıcaklıkları 50-65°C gibi oldukça düşüktür ve havadaki inorganik ve organik kontaminasyonları da absorbe eder böylece havanın temizlenmesine de yardımcı olurlar [32].

Katı desikanlar da ticari olarak çok kullanılmaktadır. Katı desikanların yüksek kapasite ve yüksek kütle taşıma hızı için büyük yüzey alanlarına sahip olması gereklidir. Bileşiklerin uzaklaştırılabilmesi için aktivitelerin ve bulk yoğunlukların da yüksek olmalıdır. Kolaylıkla ve ekonomik olarak rejenere edilebilmelidirler. Toz oluşumuna ve kırılmaya karşı mekanik dayanımları yüksek olmalıdır. Korozyona karşı dayanıklı, ucuz ve zehirsiz olmalıdırlar. Adsorpsiyon, desorpsiyon sırasında hacimlerinde fark edilebilir bir değişim olmamalıdır, islandığı zaman dayanımını muhafaza etmelidir [32].

Savaş zamanı gıda ve ilaç korumasıyla ilgilenen A.B.D. Koruma Departmanı korozyon ve küf gibi oluşumların boşluk içerisindeki havanın taşıdığı nem sebebiyle olduğunu belirtmiştir. 1963 yılı Kasım ayında A.B.D. Koruma Departmanı MIL-D-3464C kodlu ürünü paketleme desikatörü olarak piyasaya sürmüştür ve daha sonra standartlara uygun olarak geliştirerek, daha geniş alanda kullanım kazandırmıştır. Günümüzde, çeşitli kullanım alanlarında, farklı miktarlarda ve farklı amaçlara yönelik nem alıcı paketler üretilmektedir. Belli standartlara uygun üretilen bu nem alıcı paketler çeşitli hesaplama yöntemleriyle, yeterli miktarda ihtiyaç bölgesine uygulanarak, konulduğu ortamdaki nemi içine hapseder. Böylelikle nem zarar verici etkileriyle beraber ortamdan uzaklaştırılmış olur.

Adsorban kil granülleri genellikle A.B.D.’de hazırlanan “Federal Specification P.A:- 1056A, Adsorbent Material, Oil and Water” spesifikasyonlarına göre test edilmekte ve paketlenmektedir. Benzer şekil, **B.S. 1133-19 (1986)**, **JIS-Z-0701 (1977)**, **MIL-D 3464E (1987)** ve **MIL-D 3716 B (1988)** standartları mevcuttur.

3.3. Nem Alıcıların Kullanım Alanları

Nem alıcılar taşımacılık, buzdolabı içlerinde (kullanım, depolama ve sevkiyatlarda), ayakkabı kutularında, özel kimyasal madde sevkiyatlarında, koku ve rutubetin oluşabileceği kapalı ortamlarda, deri sevkiyatlarında, çift cam aralarında, farmakolojik ürünlerde ve tekstil sevkiyatlarında kullanılırlar.

Farklı amaçlar için kullanılmak üzere çeşitli desikantlar üretilmektedir. Bazı tüketiciler desikantı elektronik eşyaları kuru muhafaze etmek için kullanmaktadır. Silah koleksiyoncuları ise silahlarını paslanmaktan korumak için, ilaç üreten şirketler desikantı tıp malzemelerinde, ayakkabı üreticiler deriyi kuru muhafaze etmek için kullanmaktadır. Ayrıca bazı üreticiler yiyeceği uzun süreli depolamak ve bakterilerden korumak için özel desikantlar üretmeye başlamıştır [31].

3.4. Nem Alıcı Çeşitleri

Nem alıcılar pek çok şekilde sınıflandırılabilirler. Geniş kapsamlı sınıflandırma, katı ve sıvı nem alıcılar olarak ve yapıldığı maddenin özelliğine göre, organik ve inorganik şeklinde yapılmaktadır. En geniş kullanılan katı ticari desikantlar silika jel ve kildir. İnorganik adsorbanlar, örneğin minerallerden killer, nem adsorpsiyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Smektit, sepiyolit en yaygın olarak kullanılan adsorban killerdir. Kilden üretilen adsorbanların en önemli rakipleri odun talaşı ve selüloz bileşikleridir. Ancak bu bileşikler ucuzlukları yanında, alev alabilme özelliklerinden dolayı her uygulama alanında kullanılamazlar.

3.4.1. Sentetik Nem Alıcılar (Katı Nem Alıcılar)

Silika Jel

Yüksek kapasiteli sentetik adsorbanlardandır. Kuru ortam istenilen her noktada kullanılan rutubeti yüksek verimlilikle bünyesinde tutan malzemelerdir. Endüstride birçok kurutma işleminde adsorban olarak silika jeller kullanılmaktadır. Uzun kullanım ömrü, ucuz oluşu, yüksek aşınma direnci ve düşük rejenarasyon enerjisi ihtiyacı silika jelin en önemli avantajlarıdır. Mikroskobik olarak incelendiğinde, mikro düzeyde gözeneklerden (porlar) ve kılcal bir ağ sisteminden oluşmaktadır. Bu özelliğine bağlı olarak yüksek yüzey alanına sahip granül formundaki inert malzemelerdir. Fiziksel adsorbsiyon yöntemi ile rutubeti ve por yapısından girebilecek molekül çapına sahip gaz moleküllerini kendine çeker ve mikro gözeneklerde yoğunlaştırarak tutar. Beyaz silika jellerin yanısıra, görsel kontrol imkanı tanıyan mavi ve turuncu indikatörlü silika jelleri de bulunmaktadır.

Kullanım alanları:

- Endüstriyel hava kurutma sistemleri (sülfonasyon tesis kolonları, kurutma sistemleri vs),
- Trafolarda,

- İstenmeyen gazların uzaklaştırılmasında,
- Rutubet istenmeyen her tür ortamda,
- İlaçlarda,
- Gıda ürünlerinin korunmasında,
- Elektronik Malzemelerin korunmasında,
- Hassas birçok malzemenin kuru ve güvenli saklanması

Normal Silika Jel

En yaygın kullanılan ve en ekonomik silika jel tipidir. Yapısı 1-3 mm ve 3-5 mm boyutlarında boncuk şeklindedir. Hem silika jel hem de indikatörlü silika jel nemi adsorbe ettikten sonra yeniden ısıtıp kurutulularak aktive edilerek daha sonraki kullanıma uygun hale getirilmektedir. Normal silika jelin resmi Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2. Normal Silika Jel

Mavi İndikatörlü Silika Jel

Kobalt klörür ile boyanmış mavi renkteki silika jellerdir. Adsorbe ettiği nem miktarı arttıkça renk önce pembeye sonra beyaza dönmektedir. Böylece silika jelin nem alıp almadığı görsel olarak izlenebilmekte ve kontrol edilmektedir. 1-3 mm ve 3-5 mm boyutlarında boncuk şeklindedir. Kobalt klorür ağır bir metal olduğundan kullanım alanı nerede kullanılacağına göre sınırlıdır. Örneğin yiyecek depolamada desikant olarak kullanılması sakıncalıdır. Mavi silika jeller çok katlı hava geçirimsiz torbalarda ve varillerde sunulduğu gibi özel nefes alabilen ambalajlarda da paketlenilmektedir. Nefes alabilen paketler en dışta vakum torbaları ile kapatılarak kullanım anına kadar atmosferik iletişimi kesilmektedir. İndikatörlü silika jeller pahalıdır ancak doyma noktasına ulaştıktan sonra

etkisini kaybeden desikantlara göre daha kullanışlıdır. Genellikle, kimyasalları muhafaze etmede kullanılır. Mavi indikatörlü silika jelin resmi Şekil 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.3. Mavi İndikatörlü Silika Jel

Turuncu İndikatörlü Silika Jel

Organik indikatör kimyasalları kullanılarak üretilen, yeni nesil silikajellerdir. Organik içeriğinden dolayı insan sağlığına ve çevreye dost bir üründür. Nem aldıkça turuncu renk yeşile dönmektedir. Turuncu indikatörlü silika jel Şekil 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.4. Turuncu İndikatörlü Silika Jel

Aktif Alümina

Aktifleştirilmiş alümina bir cins aluminyum oksit olup hemen hemen tüm endüstriyel kurutma işlemlerinde kullanılabilir. Endüstriyel tesislerde, özellikle dinamik adsorbsiyon koşullarında kurutucu olarak kullanılan üstün yüzey özelliklerine sahip adsorbandır. Kompresörlerde, likit sıvılar içerisinde rutubet almada ve kuru hava sistemlerinde uzun süre

güvenle kullanılmaktadır. Çok düşük yoğunlaşma noktalarında verimli kurutma sağlamaktadır. Her türlü sıvı ve gazın kurutulmasında kullanılabilen bu ürün aynı zamanda karbondioksit, ağır metal, sülfürler ve hidrokarbonlar gibi safsızlıkların tutulmasında yüksek performans gösterir. Aktif alümina resmi Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5. Aktif Alümina

Başlıca avantajları;

- Yüksek rutubetlerde etkilidir.
- Rejenerasyon için az enerji gereklidir.
- Isıtmasız hava kurutucularında da kullanılır.
- Yüksek kimyasal saflıktadır.
- Parçalanma ve ufalanmaya karşı dirençlidir

Moleküler Elek

Sentetik zeolit olarak da adlandırılan moleküler elek uniform porozitesi, güçlü tane yapısı ve yüksek adsorbsiyon seviyesi ile alanındaki hertürlü uygulamada etkin ve ekonomik sonuçlar yaratır.

Başlıca kullanım alanları:

- Gaz üretim tesislerinde (oksijen, azot, karbondioksit, hidrojen vb),
- Çift cam üretiminde,
- Otomotiv filtre üretiminde,
- Hertürlü sıvı ve gazların kurutulmasında,
- Aerosol üretiminde,

- Soğutucu ve klima üretiminde,
- İstenmeyen solvent ve benzeri kimyasalların gideriminde, saflaştırılmasında,
- Yapıştırıcı ve boya sanayinde.

Moleküler elek resmi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Moleküler Elek

3.4.2. Doğal Nem Alıcılar (Katı Nem Alıcılar)

Kil Nem Alıcılar

Doğada bulunduğu halde nem alıcı olarak kullanabilen killerdir. Kimyasal olarak tepkisiz olan kalsiyum alümina silikat kili, diğer kil çeşitlerine nazaran daha fazla su buharı çekebilmektedir. Kalsiyumca zengin bu montmorillonit kilinin tabakalı yapısı su emme kapasitesini arttırır. Adsorpsiyon yüzeylerde ve tabaka aralarında gerçekleşir. Kil doğal bir malzeme olduğundan silika jel ve moleküler elekten daha ekonomiktir. %40 relatif (bağıl) nemde ve 25°C'de ağırlıkça %20'ye varan nem tutma kapasitelerine sahiptirler. Desikant kil resmi Şekil 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3.7. Desikant Kil

Desikant killerin avantajları;

- Düşük nemli ortamda silika jelden daha iyi nem adsorplanması
- Doğal oluşu (inorganik)
- Diğer desikantlardan daha ucuz olması

Başlıca kullanım alanları;

- Paketleme
- Elektronik
- Gıda
- İlaç
- Döküm
- Otomotiv [33].

Kilin paketlenmesi kraft, dokuma ve Tyvek gibi özel ürünlerle yapılmaktadır. Tyvek, Dupond firmasının bulup geliştirdiği özel dokunmuş ve bu sebeple de tek yönlü girişe izin veren bir kumaştır.

Kil nem alıcıların avantajları olarak doğal oluşumları, kimyasal açıdan eylemsiz ve toksik olmamaları, kritik nem oranlarında çabuk adsorpsiyon yetenekleri, tüm nem koşullarında kuru ve serbest akış özelliklerini korumaları yüksek nem alabilme kapasiteleri ve geri dönüşümlü olmaları sayılabilir.

Silika jelden daha az kullanılmakta fakat nisbeten ucuz oluşu onu cazip kılan özelliklerinden biridir.

Killer düşük sıcaklıkta iyi çalışır ancak 120°F (50°C)'de suyunu kaybetmeye başlar. Bu özelliğinden dolayı sıcak ortamda kullanılması uygun değildir. Ancak bu da kili düşük sıcaklıkta yeniden aktive ederek (kurutarak) kullanılmasına olanak sağlamaktadır [31].

Yeterince nem alamayan killer çeşitli yöntemlerle modifiye edilmekte ve nem alma kabiliyetleri arttırılmaktadır. Modifiye işlemi olarak, kile çeşitli nem alıcı maddeler ilave edilmekte veya ısı aktivasyonu yapılmaktadır [34]. Örneğin İngiliz standardı BS 7529:1991'e göre 145±25°C'de aktive edilen kilin %50 bağıl nemde ağırlıkça en az %20 nem alma kapasitesine sahip olmalıdır. Üretilen nem alıcı kilin pH'sı minimum 5,5 maksimum 8,0 olmalıdır. Bu standardta aktive edilmiş kilin istenilen diğer kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Aktive Edilmiş Killerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Özellik	Değer
Nem İçeriği	%2,0 max
Ph	5-8
Suda Çözünebilir Sülfat	%1 max
Suda Çözünebilir Klorit	%0,05 max
%50 Bağıl Nem ve 20°C'de Nem Çekme Kapasitesi	%20 min
Tane Boyutu 0,25 mm'den daha az	%0,5'den daha az
Tane Boyutu 6,7 mm'den daha fazla	Sıfır
Toz	%0,5 max
Toz	%0,5 max

Tropik bölgelerde yüksek nemin tarım ürünlerinde mikotoksin gibi zehirli maddeler ürettiği bilinmektedir. Bu yüzden de depolarda tahılların saklanması veya tarım ürünlerinin kurutulması önemli olmaktadır. Bu amaçla zararsız bir desikant olan killerin kullanılması çok faydalıdır. Bu konuda yapılan bir çalışmada [35]. bentonit + % 10CaCl₂, bentonit + % 5CaCl₂ ve kaolen + % 5CaCl₂ karışımları ile üç tip desikant hazırlanmıştır. Bunlardan bentonit + % 10CaCl₂ karışımı ile %82 nemli ortamda ağırlıkça %45 nem alma kapasitesine ulaşılmıştır. Diğer

iki desikantta ise nem alma kapasitesi %30 olmaktadır. Bu çalışmada desikantların güneş altında kurutulmasıyla kolaylıkla rejenere edilebildiği bunun da diğer desikantlara göre büyük bir avantaj sağladığı belirtilmektedir.

Kil desikantlar uluslararası kargo taşımacılığında nemden korunmak için dünya çapında kullanılmaktadır. Elektronik aletlerle asit içermeyen desikantların kullanılması uygundur çünkü normal desikantların içerisindeki asit bileşikleri aleti olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Desikant killerle ilgili bir Türk standardı olmamasına rağmen, dünyada bu konuda birtakım standartlar geliştirilmiştir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri standardı olan “MIL-D-3464E” bunlardan birisidir. Bu standarda göre bir nem alıcı nem aldığı anda sıvılaşmamalıdır. Birim miktarı %20 bağıl nemde en az 3 gr, %40 bağıl nemde ise en az 6 gr nem adsorbe edebilmelidir (birim miktar üretici tarafından belirlenmektedir ancak birim miktarın hacmi 45 ml’yi geçmemelidir). Ayrıca nem alıcı reaktifte edildiğinde orijinal nem alma kapasitesinin %90’ını koruyabilmelidir. Aktive sıcaklığı 118,3°C (245°F)’ten az, süresi ise 24 saatten fazla olmamalıdır.

Desikant killerin özellikleriyle ilgili diğer bir standart da Japon Endüstri Standardı JIS-Z-0701’dir. Yine bu standarda göre bir kil nem alıcı minimum %98 silikatlardan oluşmalıdır. pH’sı 4-8 arasında olmalıdır ve nem alma kapasitesi ağırlığının %20 bağıl nemde en az %8’i, %50 bağıl nemde en az %20’si ve %90 bağıl nemde en az %30’u olmalıdır. Piyasadaki birtakım nem alıcı killerin özellikleri şöyle verilmektedir:

Desikimya aktif kil paketleri %40 relatif nemde, 23°C’ de ağırlığının %17’sinden fazla rutubet adsorbe edebilmektedir [36]. Yüksek absorpsiyon yeteneğine sahip %100 doğal ve hiçbir katkı içermeyen nem alıcı kil (Ca-Bentonit) paketleridir. %100 doğal ve çevreci olması özelliği ile son yıllarda özellikle Avrupa ve Amerika’da tanınmış ve kullanımı artmış ısı modifikasyon geçirmiş nem alıcı aktif killerdir.

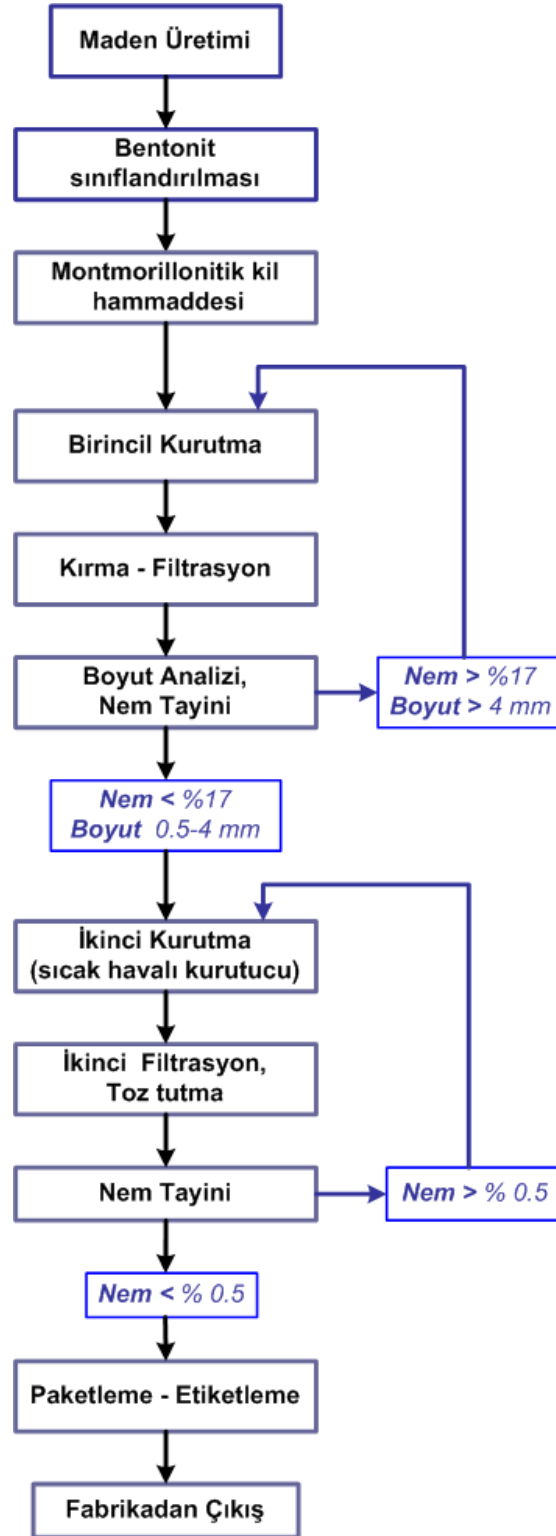
Fortune and Star Co LTD firmasının ürettiği aktif kil paketleri ise %40 relatif nemde, 25°C’de ağırlığının %18,5’i kadar nem alabilmektedir. Ayrıca içeriğinin %95’inin boyutu 1-4 mm arasında, pH’sı 7 civarındadır ve içerik katı granül haldedir. [37].

Ayrıca Çin’de üretim yapan Topsorb firması günde yaklaşık 35 ton desikant kil üretmektedir. Bu tesisin akım şeması Şekil 3.8.’de verilmektedir. Akım şemasından da görülebileceği gibi,

tüvenan kil herhangi bir katkı maddesine gerek kalmaksızın, boyuta göre sınıflandırma ve kurutma kademelerinden geçirilerek piyasaya verilmektedir.

CaO Nem Alıcı

Kalsiyum oksit “sönmemis kireç” olarak da bilinen bu nem alıcı nemi yavaş adsorplar fakat nem alma kapasitesi oldukça yüksektir. Ağırlıkça %28 nem alma kapasitesine sahiptir. Ancak diğer desikantların birkaç saatte alabileceği nemi CaO birkaç günde alabilmektedir. Bu desikantı yüksek relatif nemli ortamdan düşük relatif nemli ortama geçerken kullanılması avantajlı olacaktır.



Şekil 3.8. Topsorb Firması Üretim Akım Şeması [38].

Düşük nemli ortamdan yüksek neme sahip bir ortama geçtiğinde aldığı nemi geri bırakabilmektedir. CaO rejenere edilebilen bir desikanttır.

CaSO₄ Nem Alıcı

Jips olarak bilinen veya ticari adı Drierite olan bu desikant doğal nem alıcıdır. CaSO₄'un dehidrasyon sonucu olarak elde edilmektedir. Kimyasal olarak stabil ve adsorpladığı nemi ortama geri vermeyen bir desikanttır. Nem alma kapasitesi ağırlıkça %10 gibi oldukça düşük bir değerdir. Rejenere edilmesi oldukça zahmetli bir desikant türüdür.[39].

CaCl₂ ve LiCl (Sıvı Nem Alıcılar)

Sıvı sistemler de hava neminin alınmasında kullanılmaya başlanılmıştır. Ancak bu sıvıların zehirli olmamaları ve çevreyle uyumlu olma zorunluluğu vardır. Eskiden beri en çok kullanılan sıvılar suda çözünen tuzlardır. Bunlardan CaCl₂ ve LiCl uygundur. CaCl₂ daha ucuz, LiCl ise daha etkindir. Bu sebeple bunların karışımları da kullanılmaktadır. Sıvı nem alıcılarda madde içindeki su buharının buhar basıncı önemlidir. Bu tür nem alıcılarda yüksek sıcaklıklarda nem alma kapasitesi önemli ölçüde azalmaktadır [40].

3.5. Nem Alıcı Seçimi

3.5.1. Seçime Etki Eden Faktörler

Nem alıcı seçiminde, kullanım amacına uygunluğu, kapasitesi, etkinliği, kararlılığı ve ekonomisi önemli faktörlerdir. Kullanım yerine göre, desikantların özelliklerinin belirlenmesi için, kapasite, tane boyutu ve dağılımı, yoğunluğu, gözenekliliği, yüzey alanı, fiziksel dayanıklılığı kararlılığı gibi pek çok fiziksel test gerekmektedir. Nem alıcı tiplerinin çok değişik ve yaygın kullanım alanı olduğundan, kil üreticilerinin ve kullanıcılarının nem alıcı kil özelliklerinin ayrıntılarında önceden anlaşmaları ve hangi amaca uygun üretim yapılacaksa ona yönelik nem alıcı üretim yöntemi geliştirilmelidir. Her amaç için başka özellik istendiğinden, ASTM gibi standartlar içinde genel bir adsorban standardı yer alamamıştır.

Nem alıcı materyaller konteynırın içine girmiş nemi kapasiteleri kadar bünyelerine alarak malzemelerin zarar görmesini engellemektedir. Nem alıcı seçiminde şu hususlara dikkat etmek gerekmektedir;

-Nem alıcının hacim/ağırlık ve nem adsorplama kapasite ilişkisi; çeşitli miktar ve özelliklerde sağlanabilen nem alıcı paketlerini, uygun kapasite ve miktarda seçmek gerekmektedir.

-Fiziksel formu ve duraylılığı; nem alıcı malzeme atmosferle arasındaki diffüzyonu sağlayacak maksimum yüzeyi sağlamak için granüler ya da tablet şeklinde olmalıdır. Bunun yanında nemi alma esnasında içinde bulunduğu kaba zarar vermeyecek şekilde paketlenmesi gerekmektedir.

-Konumu; nem alıcı paketlerinin sıkıca tutturulmuş ve konteynır içinde düzgün bir şekilde yerleştirilmiş olması gerekmektedir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar da Türkiye'nin Eskişehir yöresinden getirilen 5 farklı sepiyolit numunelerinin özellikleri belirlendikten sonra bu sepiyolit numunelerin desikant kil üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir.

4.1. Çalışmalarda Esas Olan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan sepiyolit numunelerinin özelliklerine ve bu özelliklerin belirlenmesinde izlenen yöntemler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

4.1.1. Sepiyolit örnekleri

Deneysel çalışmalarda, Eskişehir'in Sivrihisar ilçesi yakınlarında faaliyet gösteren Anadolu Endüstri Mineraller A.Ş. (AEM) firması tarafından üretilen sepiyolit örnekleri kullanılmıştır. Üretici firma tarafından Kurtşeyh, Sığırcık, Ahiler ve Türk Taciri Bölgelerine aittir. Bu örnekler içerisinde dolomit safsızlıkları yüksek olan ve kedi altlığı olarak pazarlanan numuneler "cat" eki ile kodlanmışlardır. Numuneler buradan sonra Kurtşeyh sep., Sığırcık sep., Kurtşeyh cat, Ahiler cat. ve Türk Taciri Bölgesi (TTB) kodları ile anılacaktır. Numunelerin bünyesindeki sepiyolit içeriği %40 ila %90 (± 5) arasında değişmektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler neticesinde yapılan hesaplamalar ile elde edilen sepiyolit içerikleri Çizelge 4.1'de listelenmiştir.

Çizelge 4.1. Tüvenan örneklerin Sepiyolit içerikleri

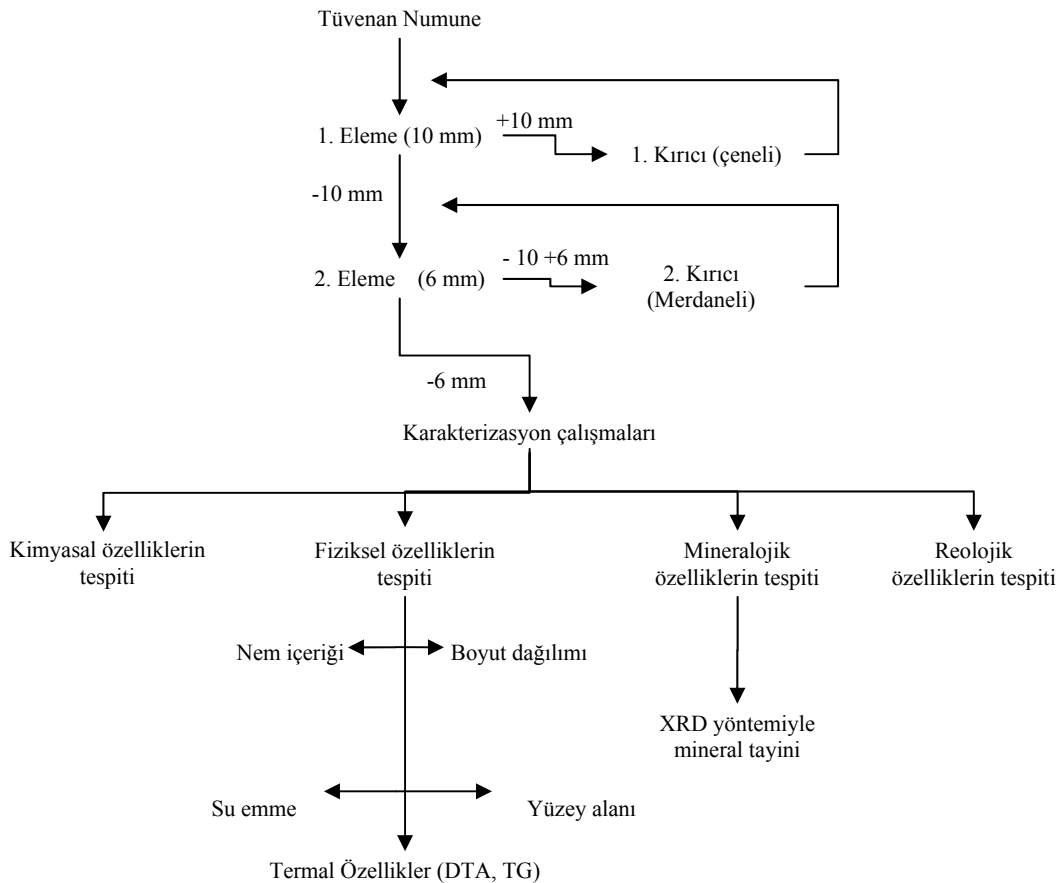
<i>Örnek kodu</i>	<i>Sepiyolit içeriği, %</i>	<i>±</i>
<i>Kurtşeyh Cat.</i>	50	10
<i>Kurtşeyh Sep.</i>	80	10
<i>Ahiler Cat.</i>	40	10
<i>TTB</i>	65	10
<i>Sığırcık Sep.</i>	75	10

Örneklerin fiziksel, kimyasal, mineralojik ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi için çalışma kapsamında bir dizi karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ilgili konu başlıklarında ele alınmıştır.

4.2. Çalışmalarda İzlenen Yöntemler

Yapılan deneysel çalışmalar, içeriklerine bağlı olarak üç ana başlık altında gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşama çalışmalarda; tüvenan sepiyolit örnekleri boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmuş ve fiziksel, kimyasal, mineralojik ve reolojik özelliklerinin tespitine yönelik ön karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, maksimum tane boyutu 25 mm olan tüvenan sepiyolit örnekleri iki kademeli kırma ve kontrollü eleme işlemleriyle 6 mm altına indirildikten sonra kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi için kimyasal analizlere, fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için boyut dağılımı, su emme, nem içeriği, yüzey alanı ve termal analizlere (DTA ve TG ile), mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi için XRD analizlerine ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi için ise viskozite ölçümlerine tabi tutulmuşlardır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Tüvenan Sepiyolit örneklerinin hazırlanması ve karakterizasyonu çalışmalarının akım şeması.

4.2.1. Tuvenan Sepiyolit örneklerinin hazırlanması ve karakterizasyonu çalışmaları esnasında izlenen yöntemler

4.2.1.1. Hazırlık çalışmaları

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere temin edilen ve maksimum tane boyutu 25 cm olan 50±10 kg civarlarındaki 5 farklı tüvenan Sepiyolit örneği, öncelikle konileme-dörtleme yöntemi ile temsili olarak bölünmüş ve ½'lik kısımları şahit olarak ayrılmıştır. Geriye kalan kısımlar üzerinde boyut küçültme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Boyut küçültme işlemleri iki kademede gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin tamamı, öncelikle çeneli kırıcı ile 10 mm altına ufalanmış ve ikincil kırma öncesinde ince boyutlardaki yığılmanın engellenmesi amacıyla 6 mm'den elenmiştir. Daha sonra, -10+6 mm boyut fraksiyonu merdaneli kırıcı ile 6 mm altına indirilmiş ve çeneli kırıcı çıkışlı -6 mm boyutlu malzemeler ile birleştirilerek deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere konileme-dörtleme yoluyla homojen parçalara ayrılarak torbalanmış ve etiketlenmiştir.

3.2.1.2. Karakterizasyon çalışmaları

Kimyasal özelliklerin tespiti

Kimyasal özelliklerin tespiti için tamamı 6 mm altına indirilen sepiyolitlerden homojen bir şekilde alınan örnekler bilezikli değirmende öğütülmüştür. Öğütülen sepiyolit örneklerinin kimyasal analizleri ACME Analytical Lab.'da yaptırılmıştır. Örneklerin analizinde ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrometer) yöntemi kullanılmıştır.

Fiziksel özelliklerin tespiti

- Boyut dağılımlarının belirlenmesi

Hazırlık çalışmalarında iki kademeli kırma sonucu tamamı 6 mm altına indirilen tüvenan sepiyolit örneklerinin nihai boyut dağılımları 4.76, 3.35, 2.36 ve 1.00 mm elek serisi seçilerek kuru yöntemle belirlenmiştir.

Hazırlık aşaması sonunda elde edilen örneklerin kuru elek analizlerinin yanı sıra, çalışma kapsamında gerçekleştirilen diğer çalışmalar esnasında elde edilen bazı ürünlerin de boyut analizleri yapılmış olup (özellikle zenginleştirme öncesi gerçekleştirilen mekanik dağıtma ile optimizasyon çalışması ürünleri ve reolojik ölçümler için hazırlanan örneklere) bu analizler

Fritsch marka lazer okumalı boyut ölçer ile yaş olarak yapılmıştır (Şekil 4.2). 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 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan Fritsch marka boyut ölçüm cihazı

- Nem içeriklerinin belirlenmesi

Örneklerin nem içerikleri TS 977 standardına göre belirlenmiştir. Bu standarda göre 10 g ham sepiyolit numunesi 0.01 g hassasiyetle tartılarak alınmış ve önceden darası alınmış bir kaba konularak, kütlesi sabit tartıma gelene kadar $105 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. Sabit tartıma gelen örnekler desikatörde soğutulduktan sonra yeniden tartılmıştır. Nem değerleri (R), kütlece yüzde olarak, aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$R = \frac{m_1 - m}{m} \times 100 \quad (4.1)$$

Burada; m_1 örneğin kurutulmadan önceki ilk ağırlığı (g), m ise örneğin kurutulduktan sonraki (105°C sıcaklık altında sabit ağırlığa ulaşıldığı andaki) ağırlığıdır (g). Tüm tartımlar Precisa marka XM60 model halojen lambalı nem cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3)



Şekil 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan Precisa marka nem ölçüm cihazı

- Su emme kapasitelerinin belirlenmesi

Örneklerin su emme kapasitelerinin belirlenmesi TS 12131 standardına göre belirlenmiştir. Bu standarda göre 0.01 g hassasiyetle tartılarak alınmış 20 g ham sepiyolit numunesi ve önceden darası alınmış askılı ve süzgeçli bir kaba konularak, içerisinde 1000 ml su bulunan 2000 ml'lik bir mezür içerisine dikkatlice sarkıtılmıştır (Şekil 4.4). 20±1 dakika bekletildikten sonra çıkartılarak oda sıcaklığında (5±1) dakika boyunca bekletilmiş ve serbest suyun süzülerek uzaklaşması sağlanmıştır. Daha sonra, kap içerisindeki örnek ile birlikte tartılmış ve kabın darası düşülerek örneğin son ağırlığı bulunmuştur. Örneklerin su emme kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$\text{Su emme miktarı, \%} = \frac{(W_y - W_k)}{W_k} \times 100 \quad (4.2)$$

Burada; W_y su emme testine tabi tutulan örneğin son ağırlığı (g), W_k ise su emme testine tabi tutulan örneğin ilk ağırlığıdır (g).



Şekil 4.4. Su emme testlerinin yapıldığı düzenek

- Özgül yüzey alanı ölçümleri

Özgül yüzey alanı, kırma ve öğütme gibi boyut küçültme işlemleri sonucu elde edilen ürünün belli ağırlığı ve hacmindeki yüzey miktarı olarak, genellikle (m^2/g) veya (cm^2/g) ifade edilir. Günümüzde parçalı malzemelerin tanımlanmasında, özellikle kimyasal zenginleştirme, flotasyon, kurutma ve filtrasyon gibi işlemlerde bir ürünün teknolojik durumunu ifade ederken tane boyutu ile özgül yüzey alanının birlikte değerlendirilmesi son derece yararlı olmaktadır.

Çalışmalarda özgül yüzey alanı ölçümlerinde B. E. T. teorisiyle çalışan Quanto Chrome Monosorb yüzey alanı ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.5) Cihaz, katı yüzeyine adsorplanan gaz miktarını ölçmektedir. Ölçüm, genellikle azot ve helyumdan oluşan, adsorplanan ve asal gaz taşıyıcı karışımının ısı iletkenlik değişiminin saptanması esasına dayanmaktadır.

Sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için, ölçümü yapılacak örnek yüzeyindeki safsızlıkların uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla numune, monosorb cihazının “outgassing” (yüzey alanı ölçülecek malzemenin yüzeyindeki safsızlıkların uzaklaştırılması için numune kabı içerisinde helyum ve azottan oluşan gaz karışımının geçirilmesi işlemi) istasyonunda ısıtma ve outgassing işlemine tabi tutulmuştur. Doğru bir outgassing işlemi yapabilmek için uygulanacak olan süre ve sıcaklık, numunenin yapısına göre değişmektedir. Bundan dolayı outgassing işlemi numune içerisindeki nemin uzaklaşması için gerekli olan şartlarda 60 dakika ve $80^{\circ}C$ 'de yapılmıştır.



Şekil 4.5. Quanta Chroma Monosorb yüzey alanı ölçüm cihazı.

- Termal özelliklerin belirlenmesi (TG-DTA)

Çalışmalarda kullanılan tüm Sepiyolit örneklerinin termal özellikleri Rigaku model Thermal Analyzer TAS-100, Ver 2.22 E cihazı ile yapılmış olup, analizler esnasında 20 mg'lık numuneler kullanılmıştır. Termal analizler, 10°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

TG analizleri neticesinde elde edilen grafikler, örneklerde sıcaklıkla birlikte meydana gelen toplam bozulma ve oksidasyondan dolayı oluşan kütle kaybını açıklamaktadır (Van Olphen ve Fripiat, 1978).

DTA analizleri neticesinde elde edilen grafikler ise, malzemelerin kristal yapıları ve kimyasal bileşimlerinin bir fonksiyonudur ve örneklerin mineralojik özelliklerini yansıtmaktadır. DTA, bir numune üzerinde, ısıtma ile tüm enerji değişimini göstermektedir. Bu enerji değişimi beş nedenden dolayı meydana gelebilir; geçiş fazı, birincil bozulma fazı, çok bileşenli numunelerin katı durum reaksiyonları ve aktif gazlarla reaksiyonları ve ikincil fazdır (Kadir, 1995).

Mineralojik özelliklerin tespiti çalışmaları

- X-Işınları kırınımı tekniği (XRD) ile mineralojik analiz

Sepiyolit örneklerinin mineralojik analizleri Dumlupınar Üniversitesi Seramik Bölümünde bulunan SHIMADZU XRD-6000 Cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda = 1.5405$ Angstrom)) kullanılarak yapılmıştır.

Reolojik özelliklerin tespiti çalışmaları

Deneysel çalışmalarda kullanılan sepiyolit örneklerinin reolojik özellikleri, Brookfield Engineering Laboratories Inc. tarafından üretilmiş olan ve mineral süspansiyonlarının reolojik özelliklerinin belirlenmesi için endüstride yaygın olarak kullanılan, programlanabilir Brookfield RVDV-II+ model viskozimetre ile belirlenmiştir (Şekil 4.6) Sözkonusu viskozimetre, döner diskli bir viskozimetre sınıfına girmektedir. Viskozite ölçümleri, süspansiyonun, belli bir hızda dönen diske (spindle) karşı gösterdiği direncin cihaz tarafından algılanmasıyla gerçekleşmektedir. Cihazda, süspansiyonların reolojik karakteristiklerinin belirlenmesi için ayrıca küçük numune adaptörü bulunmaktadır. Bu adaptör vasıtasıyla, kayma gerilimine karşı kayma hızı okumaları yapılarak süspansiyonların reolojik açıdan değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Cihaz, ölçüm sırasında mevcut kayma oranına karşılık gelen viskozite değerini okuyabildiği için, elde edilen viskozite değerleri “görünür viskozite” olarak nitelendirilmiştir. Ölçülen verilerin toplanması ve değerlendirilmesi işlemleri cihaza bağlı bir bilgisayar vasıtasıyla ve Wingather V1.1 adlı bilgisayar programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. Çalışmalarda kullanılan Brookfield RVDV-II+ model viskozimetre.

Reolojik ölçümlerin yapıldığı çalışmalar, literatürdeki veriler doğrultusunda 30 g katı/L değerinde hazırlanan süspansiyonlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Süspansiyonların hazırlanması için Sepiyolit'in yapısını teşkil eden lif kümelerinin dağılmasını ve jelleşmesini en iyi şekilde sağlayabilmek amacıyla yüksek devirli (maksimum 17.500 ve 21.000 Dev/dak) laboratuvar ölçekli mekanik karıştırıcılar (Waring ve Arçelik karıştırıcılar) kullanılmıştır (Şekil 4.7) Süspansiyonlar, söz konusu karıştırıcıların 1000 ml'lik çelik (Waring karıştırıcı) ve 1500 ml'lik cam (Arçelik karıştırıcı) kaplarında hazırlanmıştır.

Örneklerin reolojik özelliklerini incelemek amacıyla; Waring karıştırıcıda 1 dakika süre ile bu karıştırıcının maksimum çalışma hızı olan 17,500 dev/dak'da, Arçelik karıştırıcıda ise 3 dakika süre ile bu karıştırıcının maksimum çalışma hızı olan 21,000 dev/dak'da 30 g katı/L'd sepiyolit süspansiyonları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu süspansiyonlar daha sonra 600 ml'lik cam beherler içerisine alınarak 5 dev/dak'daki görünür viskozite değerleri reolojik çalışmaların gerçekleştirildiği cihazın S-3 nolu spindle kullanılarak ölçülmüştür.

Süspansiyonların akış karakteristiklerini belirlemek için ayrıca cihazın 15 ml'lik küçük numune adaptörü ile kayma gerilimine karşı kayma hızı okumaları yapılmıştır. Çalışmalarda, örneklerin akış davranışlarındaki farklılıkların belirlenmesi için görünür viskozite değeri olarak ölçümün 20. saniyesindeki değerler göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4.7. Çalışmalarda kullanılan mekanik karıştırıcılar (Waring Co. tarafından üretilen Waring karıştırıcı (solda), Arçelik tarafından üretilen Arçelik karıştırıcı (sağda)).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Numune Özelliklerinin Belirlenmesi

5.1.1. Kimyasal analiz sonuçları

Tamamı 6 mm altına indirilen sepiyolit örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Bu numunelerden Ahiler Cat ve Kurtşeyh Cat yüksek CaO içeriği ile en düşük kaliteli sepiyolitler olarak dikkati çekmektedir. Diğer sepiyolitler ise genellikle kaliteli olarak kabul edilmektedir.

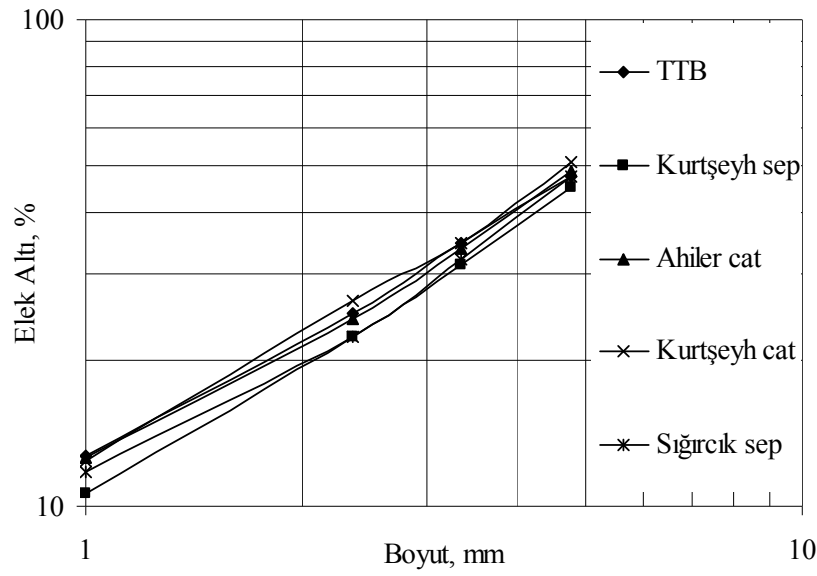
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan farklı sepiyolitlerin kimyasal analizleri.

Numune Adı	Sığırcık Sep	Ahiler Cat	Kurtşeyh Sep	Kurtşeyh Cat	TTB
SiO ₂ (%)	51.84	19.53	52.66	21.27	49.85
Al ₂ O ₃ (%)	2.22	0.71	0.72	0.40	2.38
Fe ₂ O ₃ (%)	0.86	0.31	0.27	0.22	0.87
MgO (%)	20.08	20.99	21.76	22.36	20.15
CaO (%)	1.98	19.61	0.45	17.60	2.65
Na ₂ O (%)	0.09	0.10	0.04	0.03	0.10
K ₂ O (%)	0.39	0.13	0.13	0.09	0.36
TiO ₂ (%)	0.12	0.04	0.04	0.02	0.13
P ₂ O ₅ (%)	0.03	0.05	0.02	<0.01	0.02
MnO (%)	0.01	0.01	<0.01	0.03	<0.01
Cr ₂ O ₃ (%)	0.004	<0.001	<0.001	0.005	0.003
Ba, ppm	88	28	25	49	57
Ni, ppm	16	13	<5	29	20
Sr, ppm	126	1337	1412	14554	129
Zr, ppm	27	10	11	6	19
Y, ppm	<5	<5	<5	<5	<5
Nb, ppm	<5	<5	<5	5	<5
Sc, ppm	2	1	<1	<1	2
KK (%)	22.4	38.4	23.8	36.3	23.5
Toplam C	0.92	8.78	0.56	7.88	1.26
Toplam S	0.01	0.02	0.07	0.42	0.02
Toplam	100.05	100.03	100.05	99.96	100.05

5.1.2. Fiziksel özelliklerin tespiti çalışmalarından alınan sonuçlar

5.1.2.1. Boyut dağılımı sonuçları

Hazırlık çalışmalarında iki kademeli kırma sonucu tamamı 6 mm altına indirilen tüvenan sepiyolit örneklerinin nihai boyut dağılımları 4.76, 3.35, 2.36 ve 1.00 elek serisi seçilerek kuru yöntemle belirlenmiştir. Elek analizi sonuçları, Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan sepiyolit örneklerinin iki kademeli kırma işlemi sonrasındaki boyut dağılım sonuçları.

5.1.2.2. Örneklerin diğer fiziksel özellikleri

Örneklerin nem değerleri, su emme kapasiteleri ve özgül yüzey alan değerleri Çizelge 5.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.2. Çalışmalarda kullanılan sepiyolit örneklerinin fiziksel özellikleri.

Örneğin kodu	Nem	Su emme kapasitesi	Özgül yüzey alanı
	%	%	m ² /g
Kurtşeyh Sep	23	118	301
Ahiler Cat	10	58	-
Sığırcık Sep	20	271	190
TTB	16	269	323
Kurtşeyh Cat	8	101	-

5.1.3. TG ve DTA analiz sonuçları

Çalışmalarda kullanılan tüm Sepiyolit örneklerinin TG ve DTA analizlerinden elde edilen grafikler Ek 2A-2E'de verilmiştir.

Çizelge 5.3'te, TG analizlerine göre kritik sıcaklıklarda meydana gelen toplam kütle kayıpları verilmiştir.

Çizelge 5.3. TG analizlerine göre kritik sıcaklıklarda meydana gelen toplam kütle kayıpları.

	Ahiler Cat		Kurtşeyhi Cat		Kurtşeyhi Sep		Sığircık		TTB	
	%	Σ %	%	Σ %	%	Σ %	%	Σ %	%	Σ %
0-90	5.65	5.65	4.974	4.974	5.461	5.461	4.243	4.243	4.115	4.115
90-368	8.452	14.102	5.028	10.002	10.1	15.561	10.1	14.343	8.953	13.068
368-433	0.411	14.513	0.418	10.42	0.977	16.538	0.966	15.309	0.951	14.019
433-729	17.438	31.951	15.438	25.858	3.154	19.692	4.361	19.67	6.139	20.158
729-824	11.059	43.01	11.703	37.561	0.992	20.684	0.841	20.511	1.009	21.167
Toplam	43.01		37.561		20.684		20.511		21.167	

DTA analizlerinden alınan sonuçlara göre, 90 °C'de gözlenen geniş alanlı ve derin endotermik pik, zeolitik su kaybı ve susuzluk (anhidrus) başlangıcını göstermektedir. İlk endotermik pikteki ağırlık kaybı su kaybına aittir. Bu su, sepiyolit dış yūzeylerinde adsorplanan ve fiziksel olarak bağlı olan yapısal kanallardaki zeolitik sudur. Dolayısıyla birinci ağırlık kaybı, numunenin nemidir. 368°C civarındaki geniş asimetric endotermik pik, zayıf bağlı dōrt su molekülünden ikisinin kaybını ifade etmektedir.[13]. Si-O-Si kenar bağları boyunca geğen eksen üzerinde, yapısal blokların notasyonu sonucu, yapıda meydana gelen dōnüşüm (alterasyon) nedeniyle 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kristal kenarlarından itibaren bükölme (tilting) başlar. Bu yapı 750 °C'ye kadar sabit bir şekilde devam eder ve bu sıcaklıktan itibaren de, ikinci su kaybı ile birlikte, susuz (anhidrus) hale dōnüşür [41]. 720 °C'deki endotermik pik ile sepiyolit, bağlı suyun ve hidroksil gruplarının uzaklaşması nedeniyle, geriye kalan su moleküllerini de kaybetmektedir. 824 °C civarında keskin bir

ekzotermik pik gözlenmektedir. Bu da magnezyum silikat faz değişimini ifade etmektedir. Adı geçen bu faz, sepiyolitın yeniden kristalleşmeye başladığı rekristalizasyon fazıdır.

5.1.4. Mineralojik Analizler

Örneklerin XRD piklerini gösteren analiz grafikleri Ek 1A-1E’de verilmiştir. Örneklerde tespit edilen mineraller Çizelge 5.4’te verilmiştir. Kurtşeyhi Cat ve Ahiler Cat örneklerindeki mineraller arasındaki karbonatlı olanların çokluğu Çizelge 4.1’deki kimyasal analiz sonuçlarını teyid etmektedir.

Çizelge 5.4. Sepiyolit örneklerinin mineralojik analiz sonuçları.

Numune adı	Mineral adı	Formülü
Kurtşeyhi Sep	Sepiyolit	$Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \times 6H_2O$
	Kuvars	SiO_2
	Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$
	Kalsit	$CaCO_3$
	Albit	$(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8$
Kurtşeyhi Cat	Sepiyolit	$Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \times 6H_2O$
	Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$
	Albit	$(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8$
	Minrecordit	$CaZn(CO_3)_2$
	Enstatit	$MgSiO_3$
	Manyezit	$MgCO_3$
	Demirli Manyezit	$(Fe, Mg)CO_3$
Omfasit	$NaCaMgAl(Si_2O_6)_2$	
Ahiler Cat	Sepiyolit	$Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \times 6H_2O$
	Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$
	Albit	$(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8$
	Minrecordit	$CaZn(CO_3)_2$
	Enstatit	$MgSiO_3$
	Manyezit	$MgCO_3$
	Demirli Manyezit	$(Fe, Mg)CO_3$
Omfasit	$NaCaMgAl(Si_2O_6)_2$	
TTB	Sepiyolit	$Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \times 6H_2O$
	Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$
	Albit	$(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8$
	Minrecordit	$CaZn(CO_3)_2$
	Kuvars	SiO_2
	Kalsit	$CaCO_3$
	Montmorillonit	$Na_{0.3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$
Sığırcık	Sepiyolit	$Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \times 6H_2O$
	Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$
	Albit	$(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8$
	Minrecordit	$CaZn(CO_3)_2$
	Kuvars	SiO_2
	Kalsit	$CaCO_3$
Montmorillonit	$Na_{0.3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$	

5.1.5. Sepiyolit süspansiyonlarının reolojik özellikleri

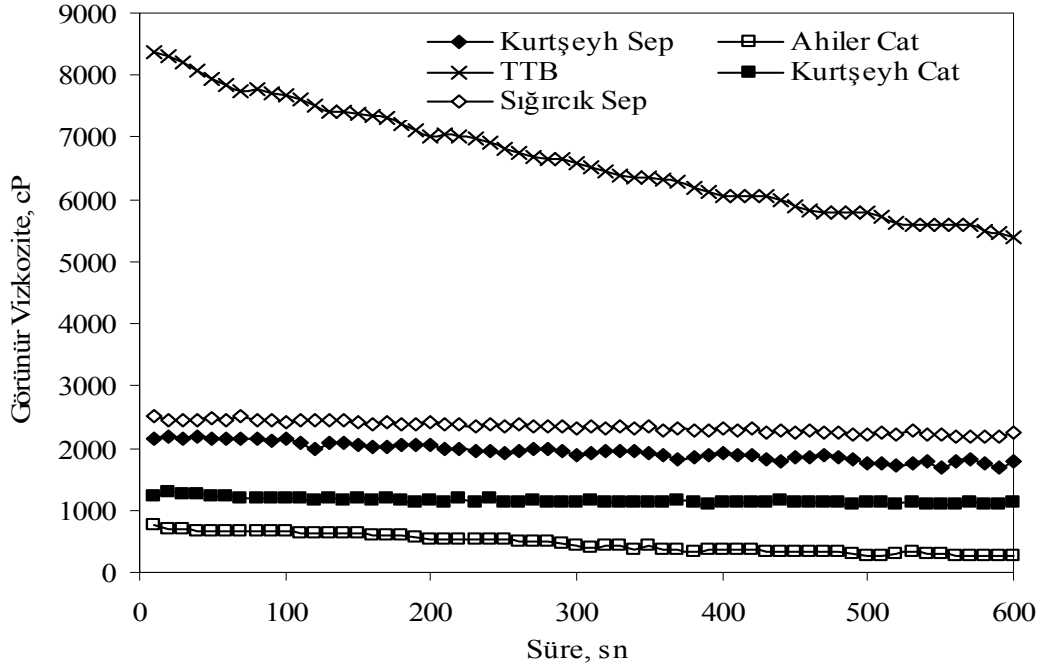
Sepiyolit örneklerinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarına ilk olarak Waring ve Arçelik karıştırıcı ile ayrı ayrı hazırlanan süspansiyonların viskozite değerlerinin karşılaştırılmasıyla başlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5'ten görüldüğü üzere, Waring karıştırıcıdan daha yüksek karıştırma hızına ulaşabilen Arçelik karıştırıcı ile hazırlanan süspansiyonların viskozite değerleri Waring blendır ile hazırlanan süspansiyonların viskozite değerlerine kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 5.5. Waring ve Arçelik karıştırıcılarda hazırlanmış süspansiyonların viskozite değerleri, (30 g katı/L)

Örnek	Viskozite, cP (5 dev/dak, 20. saniyede)	
	Waring Karıştırıcı (17,500 dev/dak)	Arçelik Karıştırıcı (21,000 dev/dak)
Kurtşeyh Sep	1940	2180
Ahiler Cat	680	680
Sığırcık Sep	1760	2460
TTB	7140	9600
Kurtşeyh Cat	780	1280

Bu nedenle sepiyolit örneklerinin reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla, tüm süspansiyonlar Arçelik karıştırıcıda ve bu karıştırıcının maksimum karıştırma hızı olan 21.000 dev/dak hızda 3 dakika boyunca kıvamlandırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyonların görünür viskozite-süre değişimini gösteren reogram Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2. %3 PKO'da hazırlanan sepiyolit süspansiyonlarının zamana bağlı viskozite değişimi

5.2. Desikant Kil Üretimine Yönelik Deneyler

Desikant kil üretmek amacıyla, sepiyolit numuneleri üzerinde deneyler yapılarak en uygun koşullar tespit edilmeye çalışılmıştır. Numunenin ham halde ve katkı malzemesi eklenerek nem alma kapasiteleri tayin edilmiştir.

Üretilmesi hedeflenen desikant kilin nem alma kapasitesi %50 relatif (bağlı) nemde ve 25 °C'de ağırlıkça %20'sidir. Bu değer birçok ticari ürünün ve standardın minimum nem alma kapasitesidir.

Deneylerde sepiyolit numunesi üzerinde; kurutma sıcaklığının ve süresinin, boyutun, katkı maddesi miktarının ortam sıcaklığı, ortam nemi ve eklenme şekli ile desikant özelliklerin değişimi incelenmiştir. Ayrıca siklon ile zenginleştirme yapılarak elde edilen farklı kalitedeki ürünler üzerinde de desikant kil üretimi çalışmaları yapılmıştır. Böylece endüstriyel amaca yönelik bir nem alıcı kil numunesi üretilmesi hedeflenmiştir.

5.2.1 Desikant Kil Üretimi Deney Metodu

Desikant kil üretimi deneylerinde, Şekil 5.3'te verilen genel akım şeması izlenmiş olup deney kademeleri aşağıdaki gibidir:

Kurutma

Kurutma sıcaklığının etkisi 105, 150, 200, 250, 300, 350, 400 ve 500 °C'lerde incelenmiş olup 105, 150, 175 ve 200 °C'lerdeki ısı aktivasyon işlemleri Memmert markalı etüvde ve saat cam içinde, 250, 300, 350, 400, 500°C'deki ısı işlemler ise Nüve MF 120 markalı fırında ve porselen kap içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kurutma süresinin etkisi 1, 2, 4, 16, 24 saat sürelerinde incelenmiştir. 4 saatlik kurutma süresinde 90 °C' de deney yapılmıştır.

Boyutlandırma

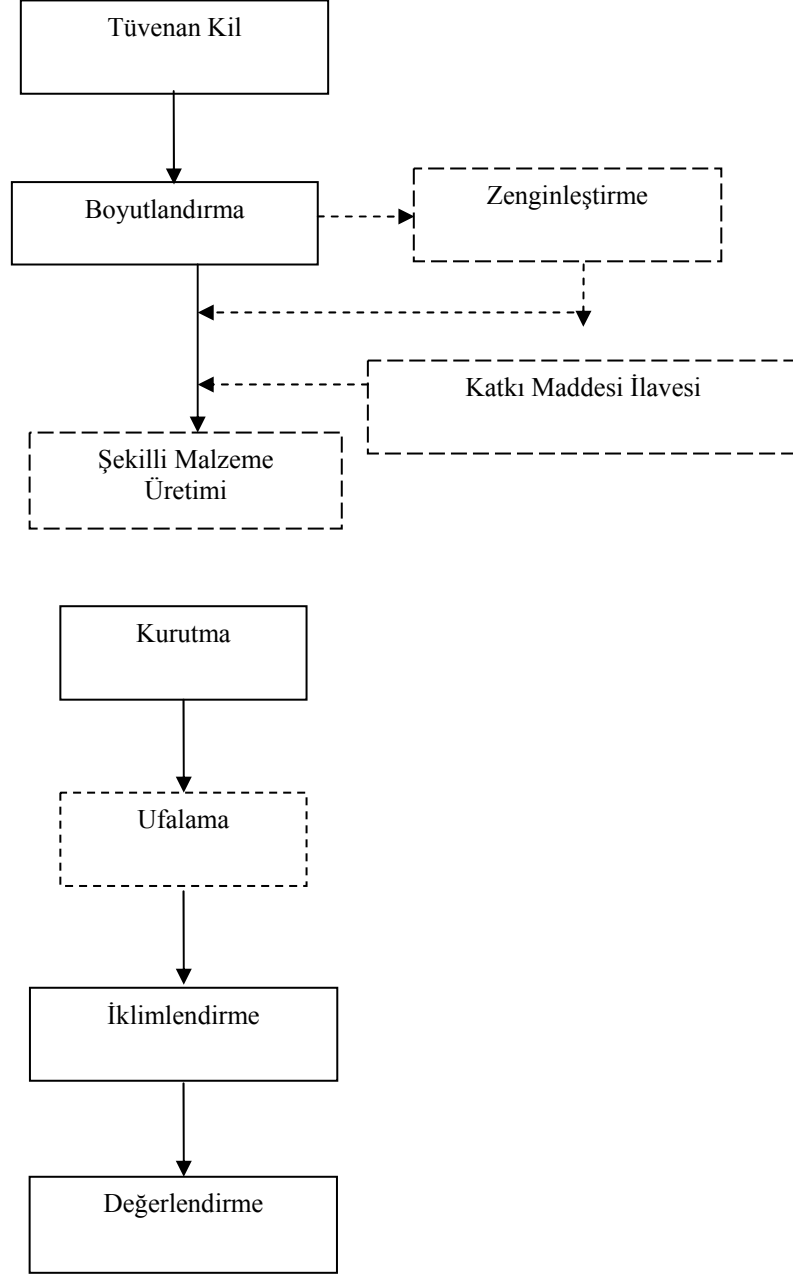
Boyutlandırmada, malzemenin tamamı -6+4,75 mm, -4,75+3,35 mm -3.35+2 mm, -2+1 mm, -1+0,5mm ve -0,5 mm olacak şekilde altı farklı boyutta hazırlanmış ve boyutun etkisi incelenmiştir. Deneyler sonunda optimum bir boyut tespit edilerek, deneylere bu boyutta devam edilmiştir.

Zenginleştirme

Sepiyolitlerin zenginleştirilme işlemi Mozley marka C750 tip hidrosiklonda gerçekleştirilmiştir. Konsantre ve artıktaki kalan ürünlerin nem alma kapasiteleri incelenmiştir.

Katkı Maddesi İlavesi

Sepiyolit örneklerinin nem alma yeteneklerini arttırmak için birtakım katkı maddeleri ilave edilmiştir. Bu katkı maddeleri; CaCl₂, LiCl, MgCl₂, NaCl, ve CaSO₄'dür. Na₂SO₄ MgO, Al₂O₃ killerin nem alma kapasitelerini arttırmak için kullanılan maddelerdir.



Şekil 5.3. Desikant kil üretimi deneyleri genel akım şeması

CaCl_2 higroskopik, beyaz renkli bir maddedir. Laboratuarlarda desikatörlerde, benzol, alkol vb. organik çözeltilerin kurutulmasında çok kullanılan bir malzemedir. [42]. Bu çalışmada kile CaCl_2 katkısının etkisi detaylı şekilde incelenmiştir. Değişik oranlarda CaCl_2 ilavesi ve karıştırılma biçimleri denenmiştir. Katkı ilavesi olmadan da farklı karıştırma şekilleriyle deneyler yapılmıştır. Karıştırılma biçimleri; CaCl_2 ile sepiyolitin su ilave edilmeden kuru bir şekilde 2-3 dk karıştırılmasıdır.

Ufalama

Şekil verilerek hazırlanan desikant kil numuneleri kurutulduktan sonra katılaşmakta ve topaklanmaktadır. Bu yüzden de malzeme tekrar 6 mm'lik elekten geçirilerek ufalanmıştır. Elekten geçirilerek ufalanmış malzeme nem alabilme olasılığından dolayı tekrar etüve konularak 1 saat nemi uzaklaştırılmıştır.

İklİmlendirme

İklİmlendirme MMM-Group Medcenter Einrichtungen GmbH Climacell markalı iklİmlendirme dolabında (Şekil 5.4) değişen sıcaklık ve relatif nem koşullarında yapılmıştır. Ayrıca farklı relatif nem koşulların (%20, %40, %50, %60, %80 ve %90) etkisinin ve farklı ortam sıcaklığının (20 °C, 40 °C ve 60 °C) incelendiği deneyler de yapılmıştır. İklİmlendirme dolabına numuneler saat camları içinde yerleştirilmiştir ve sabit koşullarda 24 saat süreyle bekletilmiştir.



Şekil 5.4. Deneylerde Kullanılan İklİmlendirme Dolabı

Değerlendirme

Numuneler iklİmlendirme dolabına konulmadan önce tartılmıştır. İklİmlendirme dolabına yerleştirilip 24 saate kadar sabit iklİmlendirme koşullarında bekletilen numuneler; dolaptan çıkarılarak aralıklı olarak tartılmıştır. Bu tartımlar aşağıdaki formülde yerine koyularak numunelerin nem alma kapasiteleri hesaplanmıştır.

Nem Alma Kapasitesi, $\% = [(m_2 - m_1) / m_1] \times 100$ (5. 1)

m_1 : Numunenin ilk ağırlığı (iklimlendirme dolabına koyulmadan önce), gr

m_2 : Numunenin son ağırlığı (iklimlendirme dolabından çıkarıldıktan sonra), gr

5.2.2. Ham Numune Üzerinde Yapılan Desikant Kil Çalışmaları

5.2.2.1. Isı Aktivasyon

Eskişehir yöresine ait 3 farklı sepiyolit numunesinin nem alma kapasitesini incelemek üzere, farklı kurutma sıcaklıklarında ve sürelerinde deneyler yapılmıştır. Isıl işlem sıcaklığı olarak 90, 105, 120, 150, 175, 200, 250, 300, 350 400 ve 500°C dereceler denenmiştir. Aynı zamanda ısıl işlem süreleri 1, 2, 4, 8, 16 ve 24 saat olarak değiştirilmiştir. Deneyin yapılışı aşağıda özetlenmiştir.

- Numuneden 11gr malzeme tartılır.
- Etüvde belirli bir sıcaklık (90, 105, 120, 150, 175, 200, 250, 300 ve 350 °C) ve sürede (4 saat) kurutmaya tabi tutulur.
- Kurumuş malzeme desikatörde soğutulduktan sonra, topaklanmış parçalar varsa -6 mm'lik elekten geçirilerek dağıtılır.
- Kuru ağırlığı olarak kabul edilen ilk tartım alınır. İklimlendirme kabinine konulur.

Belirli zaman aralıklarında tartılan malzemenin ağırlığındaki değişim belirlenir.

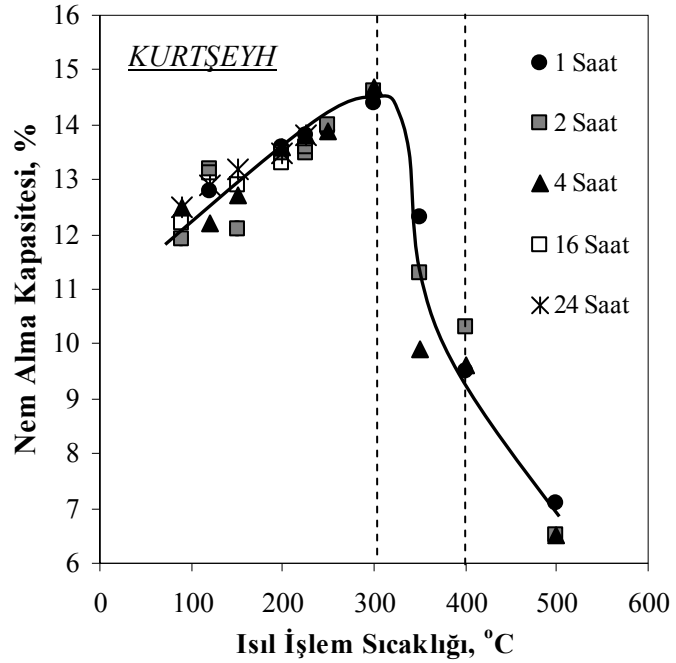
Kurtşeyh Sepiyolit

Kurtşeyh sepiyolitinin farklı ısıl işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak ölçülen nem alma kapasitesi değerleri Çizelge 5.6'da Şekil 5.5'te verilmiştir. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nem, 25°C sıcaklık olmak üzere sabit tutulmuştur. 105, 150, 175, 200, 225 °C'deki deneyler etüvde ve saat camında, 250, 300, 350,400, 500 °C'deki deney ise fırında ve porselen kaplarda yapılmıştır.

Kurtşeyh sepiyolit numunesinde ısıl işlem sıcaklığı Şekil 5.5'ten görüldüğü gibi 300 °C'de maksimum noktaya ulaşmaktadır. Ancak 350, 400 ve 500 °C'de nem alma kapasitesinde düşüş görülmektedir. 200 °C ile 300 °C arasında belirgin bir fark olmadığı için optimum ısıl işlem sıcaklığı 200 °C ve optimum ısıl işlem süresi 4 saat olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. Kurtşeyh numunesinin nem alma kapasitesi

Isıl İşlem Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %				
	Isıl İşlem Süresi, saat				
	1	2	4	16	24
90	11,9	11,9	12,5	12,2	12,5
120	12,8	13,2	12,2	13,1	12,9
150	12,1	12,1	12,7	12,9	13,2
200	13,6	13,5	13,6	13,3	13,5
225	13,8	13,5	13,8	13,6	13,8
250	13,9	14,0	13,9	-	-
300	14,4	14,6	14,7	-	-
350	12,3	11,3	9,9	-	-
400	9,5	10,3	9,6	-	-
500	7,1	6,5	6,5	-	-



Şekil 5.5. Kurtşeyh numunesi ısıtılma sıcaklığına ve sürelerine göre nem alma kapasitesi

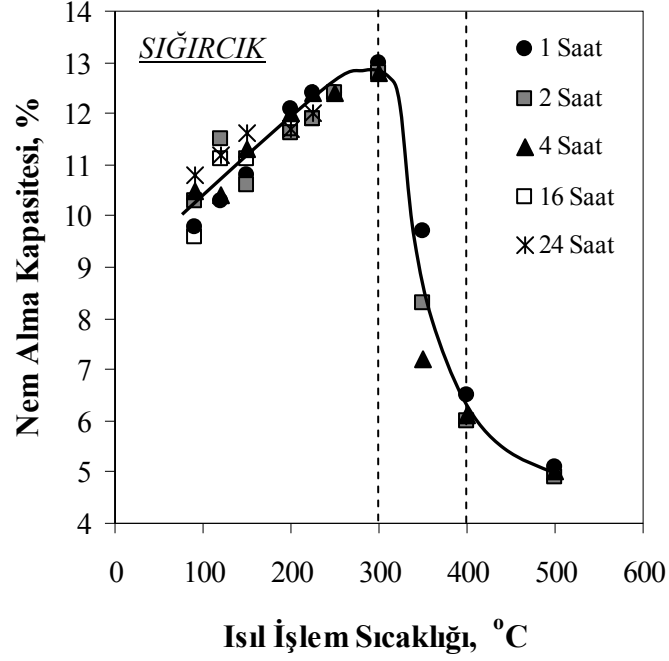
Sığırcık Sepiyoliti

Sığırık sepiyolitinin farklı ısı işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak ölçülen nem alma kapasitesi değerleri Çizelge 5.7’de ve ise Şekil 5.6’da verilmiştir. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nem, 25 °C sıcaklık olmak üzere sabit tutulmuştur. 105, 150, 175, 200, 225 °C’de ısı işleme tabi tutulmuş numuneler üzerindeki deneyler etüvde ve saat camında, 250, 300, 350, 400 ve 500 °C’deki deney ise fırında ve porselen kaplarda yapılmıştır.

Sığırık sepiyolitinin ısı işlem sıcaklığı Şekil 5.6’dan görüldüğü gibi 300 °C’de maksimum noktaya ulaşmaktadır. Ancak sığırık numunesinde 350, 400 ve 500 °C’de nem alma kapasitesinde düşüş görülmektedir. 200 °C ile 300°C arasında belirgin bir fark olmadığı için optimum ısı işlem sıcaklığı 200 °C ve optimum ısı işlem süresi 4 saat olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.7. Sığırık numunesinin nem alma kapasitesi

Isıl İşlem Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %				
	Isıl İşlem Süresi, saat				
	1	2	4	16	24
90	9,8	10,3	10,5	9,6	10,8
120	10,3	11,5	10,4	11,1	11,2
150	10,8	10,6	11,3	11,1	11,6
200	12,1	11,6	12,0	11,7	11,7
225	12,4	11,9	12,4	11,9	12,0
250	12,4	12,4	12,4	-	-
300	13,0	12,8	12,8	-	-
350	9,7	8,3	7,2	-	-
400	6,5	6	6,1	-	-
500	5,1	4,9	5	-	-



Şekil 5.6. Sığircık numunesi ısıtım sıcaklığına ve sürelerine göre nem alma kapasitesi

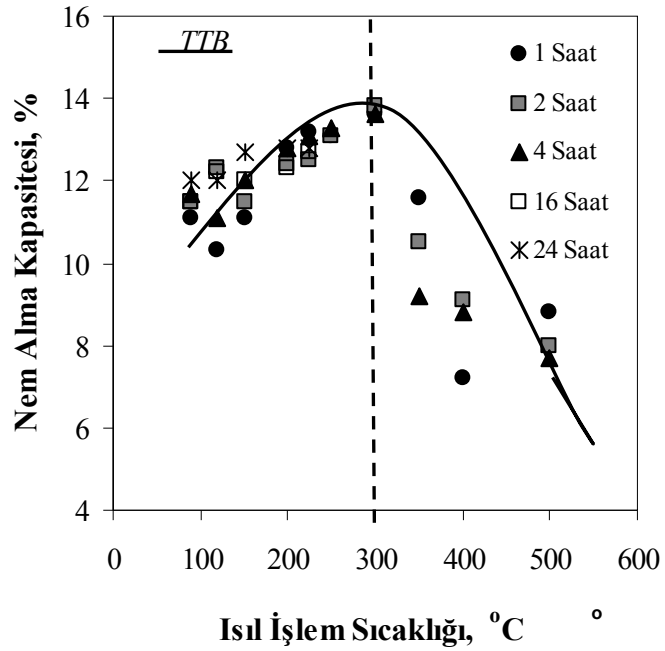
TTB Sepiyoliti

TTB sepiyolitinin farklı ısıtım sıcaklığı ve süresine bağlı olarak ölçülen nem alma kapasitesi değerleri Çizelge 5.8'de ve Şekil 5.7'de verilmiştir. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nem, 25 °C sıcaklık olmak üzere sabit tutulmuştur. 105, 150, 175, 200, 225°C'deki deneyler etüvde ve saat camında, 250, 300, 350, 400ve 500 °C'deki deney ise fırında ve porselen kaplarda yapılmıştır.

TTB sepiyolitinin ısıtım sıcaklığı Şekil 5.7'den görüldüğü gibi 300 °C'de maksimum noktaya ulaşmaktadır. Ancak 350, 400, 500 °C'de nem alma kapasitesinde düşüş görülmektedir. 200 °C ile 300 °C arasında belirgin bir fark olmadığı için optimum ısıtım sıcaklığı 200 °C ve optimum ısıtım süresi 4 saat olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. TTB numunesinin nem alma kapasitesi

Isıl İşlem Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %				
	Isıl İşlem Süresi, saat				
	1	2	4	16	24
90	11,1	11,5	11,7	11,5	12,0
120	10,3	12,3	11,1	12,2	12,0
150	11,1	11,5	12,0	12,0	12,7
200	12,8	12,4	12,8	12,3	12,8
225	13,2	12,5	13,1	12,7	12,8
250	13,1	13,1	13,3	-	-
300	13,6	13,8	13,6	-	-
350	11,6	10,5	9,2	-	-
400	7,2	9,1	8,8	-	-
500	8,8	8	7,7	-	-



Şekil 5.7. TTB numunesi ısıl işlem sıcaklığına ve sürelerine göre nem alma kapasitesi

5.2.2.2. Kurutma Sıcaklığına Bağlı Numunelerin Yüzey Alan Değişimi

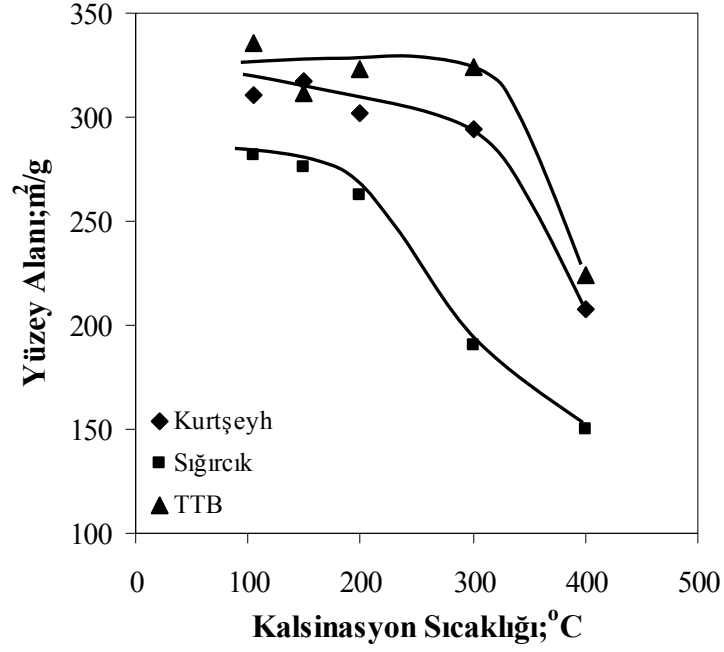
Çalışmalarda özgül yüzey alanı ölçümlerinde B. E. T. teorisiyle çalışan Quanto Chrome Monosorb yüzey alanı ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Yüzey alanı ölçümler 3 farklı sepiyolit numunesine uygulanmıştır. Bunlar Kurtşeyh, Sığırcık ve TTB numuneleridir. Numuneleri kurutma işlemi 105, 150, 200 °C sıcaklıkta Memert marka etüvde 300, 400°C’de ise Nüve MF 120 markalı fırında yapılmıştır. Kurutma süresi 4 saattir. Daha sonra sepiyolit numuneler boyut küçültme işlemiyle -1 mm’ye indirilmiştir.

Quanto Chrome Monosorb yüzey alanı ölçüm cihazında, yüzey alanı ölçülecek malzemenin yüzeyindeki safsızlıkların uzaklaştırılması için numune kabı içerisinde helyum ve azottan oluşan gaz karışımının geçirilmesi işlemi istasyonunda ısıtma ve outgassing işlemine tabi tutulmuştur. Outgassing işlemi numune içerisindeki nemin uzaklaşması için gerekli süre olan 60 dakika ve 80 °C’de yapılmıştır. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak Kurtşeyh, Sığırcık ve TTB, numunelerinde meydana gelen yüzey alan değişimi Çizelge 5.9 ve Şekil 5.8’de verilmektedir.

Çizelge 5.9. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak yüzey alan değişimi

Kalsinasyon Sıcaklığı;°C	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Kurtşeyh	Sığırcık	TTB
105	310.5	281.7	335.7
150	317.2	276.4	311.7
200	301.9	262.2	323
300	293.8	190,6	323.7
400	208.1	150.3	224.3



Şekil 5.8. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı yüzey alan değişimi

5.2.2.3. Boyutun Nem Alma Kapasitesi Üzerine Etkisi

Boyutlandırmada malzeme (Kurtşeyh, Sığircık, TTB) tamamı -6+4,75 mm, -4,75+3,35 mm, - 3,35+2 mm, -2+1 mm -1+0,5 mm ve -0,5 mm olacak şekilde altı farklı boyutta hazırlanmış ve boyutun nem alma kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Sepiyolit numuneleri üzerinde laboratuvar standart elekleri kullanılarak yapılan kuru elek analizleri sonucunda saptanan boyut dağılımları Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de verilmiştir. Toplam elek altı eğrileri ise Şekil 5,9’da verilmiştir. Kurtşeyh Cat ile Ahiler Cat kodlu numuneler kimyasal analiz ve XRD analizlerinden de görüldüğü gibi düşük sepiyolit oranlarına sahiptir. Bu nedenden dolayı ilk aşamada bu numunelerle çalışılmaya başlanmamıştır. Bu numuneler ile çalışma, zenginleştirme işlemleri yapıp sepiyolit oranları artırıldıktan sonra gerçekleştirilecektir.

Çizelge5.10. Kurtşeyh sepiyolitinin boyut dağılımı (Kuru Elek Analizi)

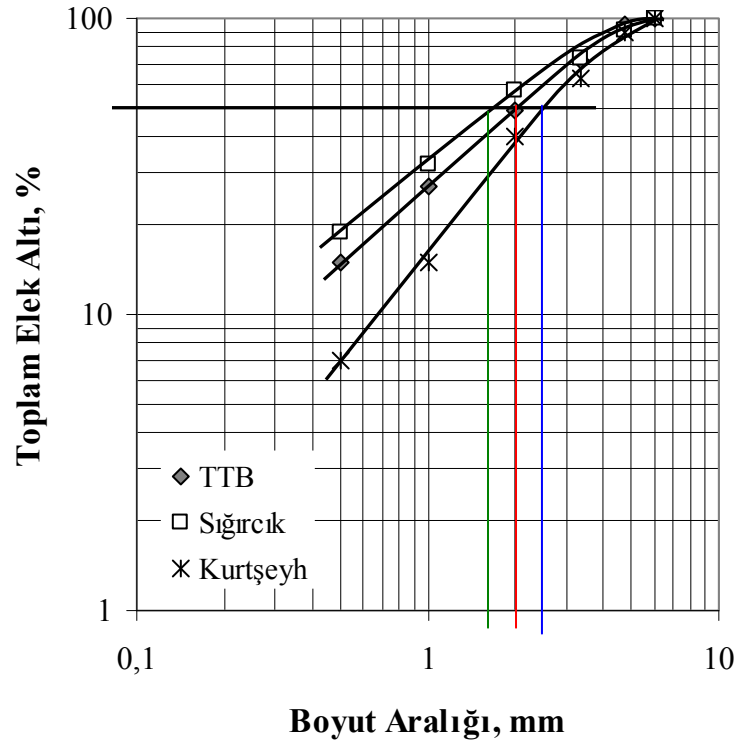
Boyut Aralığı,	Miktar,	Toplam Elek Üstü %	Toplam Elek Altı %
Mm	%		
-6 +4,75	10	10	100
-4,75+3,35	27	37	90
-3,35 +2	23	60	63
+2 +1	25	85	40
-1 +0,5	8	93	15
0,5	7	100	7
Toplam	100	-	-

Çizelge5.11. Sığircık sepiyolitinin boyut dağılımı (Kuru Elek Analizi)

Boyut Aralığı,	Miktar,	Toplam Elek Üstü %	Toplam Elek Altı %
mm	%		
-6 +4,75	9	9	100
-4,75+3,35	18	27	91
-3,35 +2	16	43	73
+2 +1	25	68	57
-1 +0,5	13	81	32
0,5	19	100	19
Toplam	100	-	-

Çizelge 5.12. TTB sepiyolitinin boyut dağılımı (Kuru Elek Analizi)

Boyut Aralığı, mm	Miktar, %	Toplam Elek Üstü %	Toplam Elek Altı %
-6 +4,75	5	5	100
-4,75+3,35	22,5	27,5	95
-3,35 +2	23,5	51	72,5
+2 +1	22	73	49
-1 +0,5	12	85	27
0,5	15	100	15
Toplam	100	-	-

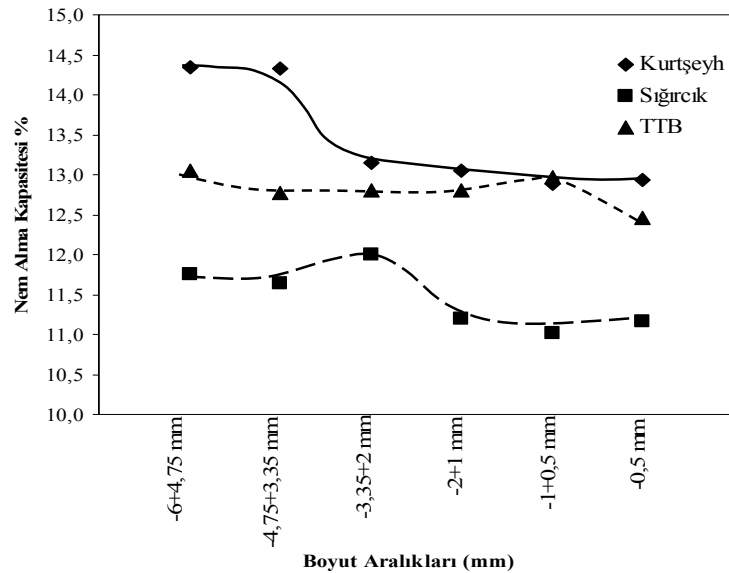
**Şekil 5.9** Sepiyolit numunelerinin tane boyut dağılımları

Şekil 5.9'de göre, 6 mm'nin altına boyutu küçültülen Kurtşeyh, TTB ve Sığircık numunelerinin d_{50} boyutları sırasıyla 2.5 mm, 2 mm ve 1.7 mm'dir. Bu sonuçlara göre, Kurtşeyh numunesi dışında diğer iki numunede boyutun nem alma kapasitesi üzerine etkinin fazla olmadığı

görülmüştür. (Çizelge 5.13 Şekil 5.10) Kurtşeyh sepiyolitinde, kimyasal analiz ve XRD sonuçlarından (Çizelge 5.4) da görüldüğü gibi sepiyolit içeriğinin yüksek olması muhtemelen de boyut küçültme işlemi sonrasında yüksek sepiyolit içerikli ürünlerin iri boyutlarda kalmasından dolayı bu boyutlarda nem adsorpsiyonu daha fazla olmaktadır. Bu nedenlerle çalışmanın bundan sonraki kısmında boyut 6 mm'nin altı alınmıştır.

Çizelge 5.13. Sepiyolit numunelerinin boyuta göre nem alma kapasiteleri

İklimlendirme Süresi Saat	Nunune Adı	Nem Alma Kapasitesi %					
		Tane Boyutu (mm)					
		-6+4,75	-4,75+3,35	-3,35+2	-2+1	-1+0,5	-0,5
24	Kurtşeyh	14,3	14,3	13,1	13,0	12,9	12,9
	Sığircık	11,7	11,6	12,0	11,2	11,0	11,2
	TTB	13,0	12,8	12,8	12,8	13,0	12,5



Şekil 5.10. Sepiyolit numunelerinin boyuta göre nem alma kapasiteleri

5.2.2.4. Hidrosiklon ile Zenginleştirme Çalışmaları

Karakterizasyon çalışmaları neticesinde seçilen sepiyolit numuneleri üzerinde iyileştirme yapıp yapılamayacağını test edilebilmesi için hidrosiklon ile zenginleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Killerin hidrosiklon ile zenginleştirilmesi çalışmalarına genel olarak bakıldığında, çeşitli killerde tüvenan numune yaklaşık %20 oranında safsızlık içermekte ve bu safsızlıklar genel olarak kuvars, kalsit, mika, diğer killer, biyotit ve karbonatlı minerallerden oluşmaktadır. Bunların dışında daha tam olarak bozunmayıp kile dönüşmeyen feldspat grubu mineralleri de bazen safsızlık içinde yerini almaktadır. Ayrıca çok az miktarda, demir, mangan mineralleri de içermektedirler.

Çok fazla safsızlık içermemesine (<%20) rağmen sepiyolitlerin zenginleştirilmesi ağartma toprağı, su-solvent bazlı, kozmetik ve ilaç gibi kil esaslı ürünlerde oldukça önemlidir. Bu sebeple kil numunelerinin zenginleştirilmesi ya da diğer bir ifadeyle safsızlıklarının azaltılması hem ekonomik hem de teknik açıdan kazançlıdır.

Kil (2.3-2.6 g/cm³) ve onun beraberinde bulunan, kuartz (2.65 g/cm³), kalsit (2.71 g/cm³), feldspat (2.08-2.32 g/cm³), dolomit vb. gibi mineraller özgül ağırlık bakımından birbirlerine yakın değerlere sahiptirler. Dolayısıyla bu malzemelerin özgül ağırlık farkına göre ayrılmaları zor olmaktadır. Ancak, kil ve sözü geçen safsızlıklar arasındaki boyut farkından yararlanılarak uygun bir ayırma gerçekleştirilebilmektedir. Bilindiği üzere killerin su içinde dağıtıldıklarında ulaştıkları boyutlar 2 mikron mertebesindedir. Dolayısıyla killi minerallerin zenginleştirilmesinde su içerisinde dağıtma ve boyuta göre ayırma ile killerin kaliteleri yükseltilebilmektedir. Bu amaca yönelik olarak genellikle hidrosiklonlar kullanılmaktadır.

Kil ve safsızlık içeren sistemler su içerisinde dinlendirildiğinde veya dağıtıldığında bimodal boyut dağılımları sergilemektedirler. Safsızlık ve killerin suda bekletilme ya da açılması sonrasında kümelenedikleri boyut grupları birbirinden çok farklı olmakta ve genellikle de beraberindeki safsızlıklarla aralarındaki özgül ağırlık farkı çok fazla olmayan killer; boyuta göre ayırma ile zenginleştirilmektedir.

Endüstride kaolen ve bentonit gibi killerin zenginleştirilmesi son derece kolay olmakla beraber zenginleştirilmenin beraberinde getirdiği maliyetler ekonomiklik açısından son derece önem arz etmektedir. Özellikle hidrosiklon gibi bazı yaş zenginleştirme işlemlerinde bentonitlerin şişme özelliği dolayısıyla uygulanan düşük pülpte katı oranı (PKO) nedeniyle elde edilen ürünlerin susuzlandırılması yüksek maliyetler getirmektedir. Ancak yine de dekantasyon

yolu ile zenginleştirmeye kıyaslandığında, hidrosiklonun avantajları ön plana çıkmaktadır [43]. Özellikle engelli çökme şartlarını önlemek amacıyla, dekantasyonla %1-2 katı oranıyla çalışırken bentonitlerin cinsine bağlı olarak bu değer hidrosiklonlarda %10-15 seviyelerine çıkabilmektedir. Ayrıca hidrosiklonlarda uygulanan yüksek devir ve mekanik karıştırma, bentonitlerin dağılmasını da kolaylaştırmaktadır [43]. Hidrosiklonlarda uygulanan katı oranı alt akımdan gelen malzemenin özelliklerini ve ayırma şartlarını etkilemektedir [44]. Kapasitenin artırılmasına rağmen, çok yüksek katı oranları üst akımdan gelen malzemenin özelliklerini bozmaktadır.

Bu bilgiler ışığında söz konusu olan sepiyolit numuneleri; öncelikle dekantasyon çalışmaları yapılarak zenginleştirilmeye çalışılmış fakat başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Dekantasyon çalışmalarında %6 katı konsantrasyonu gibi düşük katı konsantrasyonunda -5 mm boyutu altındaki sepiyolit bir karıştırıcı vasıtasıyla düşük devirde de karıştırılmıştır. Düşük devir hızının seçilme nedeni sepiyoliti oluşturan lif demetlerinin suda açılarak ortam viskozitesini artırmasından kaçınılmak istenmesidir. Katı konsantrasyonun da düşük seçilme nedeni süspansiyon viskozitesinin artmasından kaynaklanmaktadır. Bu şekilde açılan kil dekantasyona bırakılmış ve safsızlıkların çökmesi beklenmiştir. Zamana bağlı olarak dekantasyon sonrasında alınan dekantasyon ürünlerinde herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bunun nedeni olarak yapılan gözlemler ortamın katı konsantrasyonu ne kadar düşük olsa da ortamın viskozitesi yine de serbest çökme için yüksek olmakta hatta bu, zaman geçtikçe meydana gelen jelleşmeden dolayı daha da zorlaşmaktadır. Alınan numuneler arasında fark olmaması bu numunelerle yapılan nem adsorpsiyon testlerinde de kendini göstermiştir. Bundan dolayı elde edilen sonuçlar buraya alınmamıştır.

Dekantasyon çalışmalarında elde edilen başarısızlık sonucu bir çok kilin safsızlıklarının uzaklaştırılması için uygulanan yaş yöntemlerden biri olan hidrosiklonla zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Burada amaç, sepiyolitle beraber bulunan dolomit, albit, kalsit, kuvars gibi safsızlıkları uzaklaştırarak daha saf bir malzeme elde etmektir. Hidrosiklon çalışmaları sepiyolit örnekleri için aşağıda belirtien akım şemalarına uygun olarak yapılmıştır. TTB sepiyolit numunesi %4.8 katı konsantrasyonunda açıldıktan sonra hidrosiklona beslenmiştir. Malzeme 11.1 vorteks çapında, farklı apeks (sırasıyla 3.2, 4.5, 6.4 ve 9.4 mm) ve 0.5 psi basınçta hidrosiklona beslenerek alt ve üst akımdan bu şartlar altında numuneler alınmıştır. Ahiler Cat, Kurtşey Cat, Sığırcık numuneleri ise %3 katı konsantrasyonunda hidrosiklon haznesine beslenmiştir. Hidrosiklon deneyinde bir üst akım ve dört alt akım alınmış, elde edilen

ürünlerin boyut dağılımındaki değişimi belirlemek için boyut analizleri yapılmıştır. Ayrıca elde edilen ürünlere ayırım başarısını test etmek için görünür viskozite ölçümleri de yapılmıştır. Hidrosiklon çalışması akım şeması, yapılan boyut analiz değerleri ve görünür viskozite değerleri sonuçlar kısmında verilmiş ve değerlendirilmiştir.



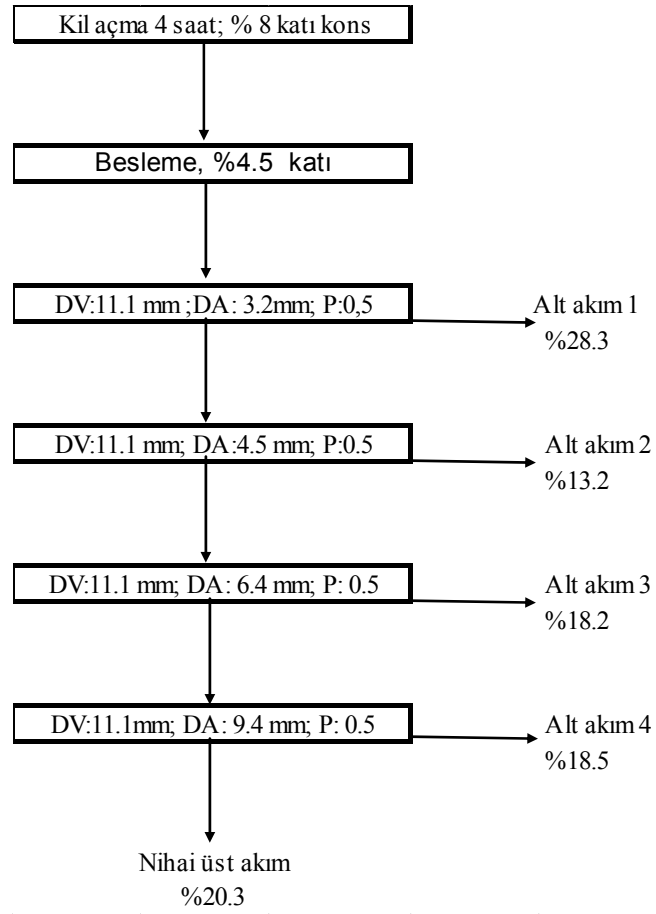
Şekil 5.11. Mozley Hidrosiklon çalışmalarında kullanılan laboratuvar tipi Mozley marka hidrosiklonun görünüşü.

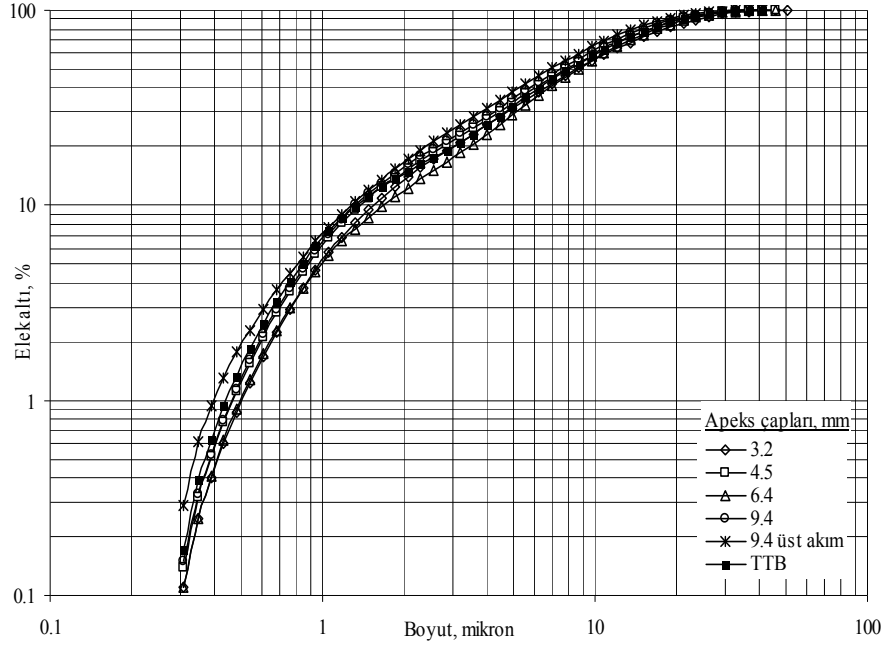
TTB örneğinin hidrosiklon ile zenginleştirilmesi

TTB sepiyolitiyle hidrosiklon deneyi Şekil 5.12'de verilen akım şemasına göre yapılmıştır. TTB sepiyolitinin katı oranı %4.5'e ayarlandıktan sonra 0.5 psi basınç ile 11.1 vorteks çapında siklona beslenmiş ve farklı apeks (sırasıyla 3.2, 4.5, 6.4 ve 9.4 mm) çıkışlarında ürünler alınmıştır (düşük basınçta besleme yapıldığında hidrosiklon alt akımında birbirine daha yakın malzemeler alınmaktadır). Hidrosiklon deneylerinde bir üst akım ve 4 alt akım alınmış olup, elde edilen ürünlerin boyut dağılımındaki değişimlerin belirlenebilmesi için TTB numunesinin boyut analizi yapılmıştır. Yapılan boyut analizi sonucunda elde edilen d_{90} , d_{50} , ve d_{10} değerleri Çizelge 5.14'te, ağırlıkça yüzdeleri ise Şekil 5.12de verilmiştir.

Çizelge 5.14. TTB sepiyolitinin hidrosiklon alt akım ürünlerinin boyut dağılımları.

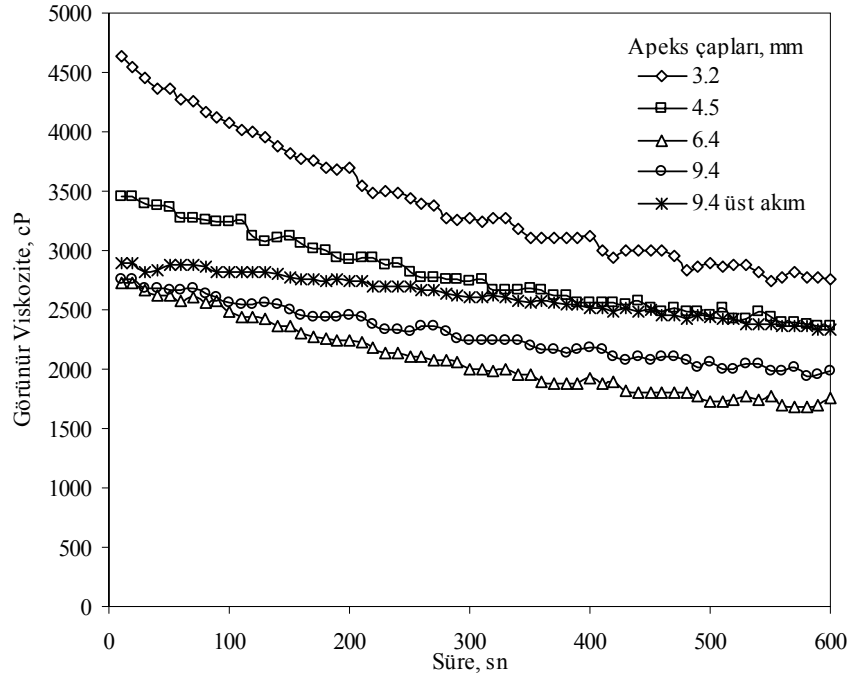
Apeks Çapları, mm											
3.2 mm			4.5 mm			6.4 mm			9.4 mm		
d ₁₀	d ₅₀	d ₉₀	d ₁₀	d ₅₀	D ₉₀	d ₁₀	d ₅₀	d ₉₀	d ₁₀	d ₅₀	d ₉₀
1.473	8.682	23.551	1.318	7.771	18.867	1.646	8.682	23.551	1.318	6.956	18,867

**Şekil 5.12.** TTB Hidrosiklon deneyi akım şeması.



Şekil 5.13. TTB Hidrosiklon ürünlerinin boyut dağılımları

Hidrosiklon deneylerinden elde edilen ürünlerin saflıklarını yada bir ayırım olup olmadığını test edebilmek için her numuneyle süreye bağlı olarak 5 rpm’de viskozite okumaları yapılmıştır. Bilindiği gibi sepiyolitin saflık derecesi arttıkça sepiyolitten oluşturulacak süspansiyonların viskozitesinin de artış olmasıdır [27]. Yapılan hidrosiklon ürünlerinde beklenen sonuç, ilk olarak sistemden uzaklaştırılan alt akımın viskozitesinin en düşük buna karşılık en son alınan alt ve üst akımın viskozitelerinin en yüksek çıkmasıdır. Buna karşılık, sistemden en erken uzaklaştırılan 3.2 mm apex çıkışlı ürünün viskozitesi en yüksek, en son uzaklaştırılan 9.4 mm apex çıkışlı ürünün viskozitesi ise en düşük çıkmıştır. Bu sonuçlar ve boyut analiz sonuçları göstermiştir ki hidrosiklonla zenginleştirme sonrasında istenilen düzeyde başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Bunun nedeni muhtemelen basınçtan dolayı sepiyoliti oluşturan fiberlerin serbest hale gelerek katı oranı düşük olmasına rağmen ortamın viskozitesinin artmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü sepiyolit ve beraberindeki safsızlıkların boyutlarının boyut analizi sonuçlarından da açıkça görüldüğü üzere fazla olmadığı, aynı zamanda aralarında belirgin yoğunluk farklarının da olmaması bu taneciklerin oluşan viskoz ortamda sıkışarak birbirinden ayrılmasını viskoz ortamın engellediğini göstermektedir.



Şekil 5.14. TTB Hidrosiklon ürünlerinin 5 Rpm'deki görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi

Çizelge 5.15. TTB numunesini hidrosiklon zenginleştirme ürünlerinin nem alma kapasitesi değerleri

Ürünler	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %
3,2AA	28,3	13,7
4,5AA	13,2	13,9
6,4AA	18,2	14,1
9,4AA	18,5	14,0
9,4ÜA	20,3	14,6
TOPLAM (Beslenen)	100,0	12,8

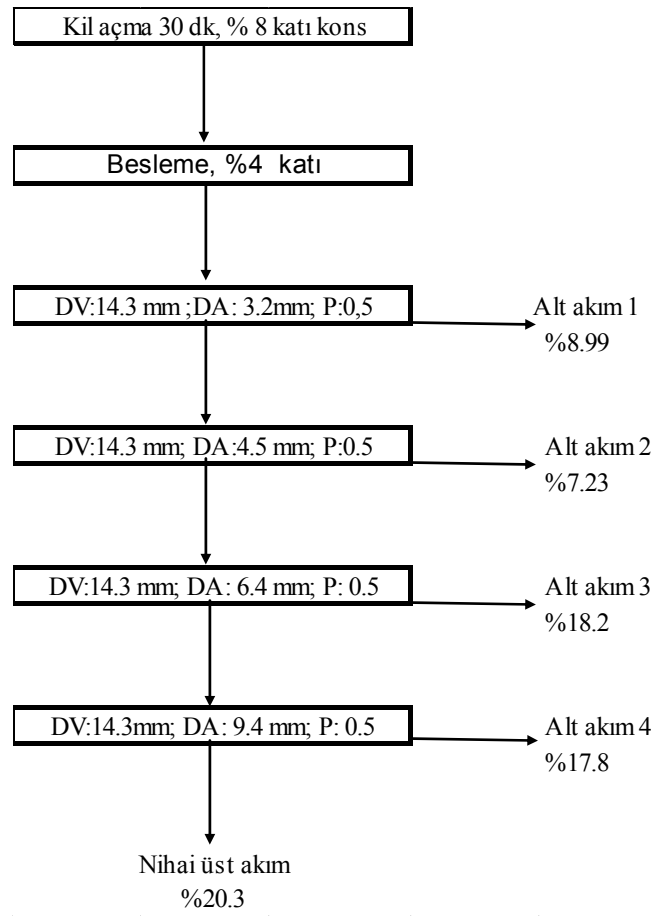
Hidrosiklon deneylerinde bir üst akım ve 4 alt akım alınmış olup, elde edilen ürünlerin nem alma kapasiteleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Ahiler Cat sepiyolitinin hidrosiklon ile zenginleştirme çalışmaları

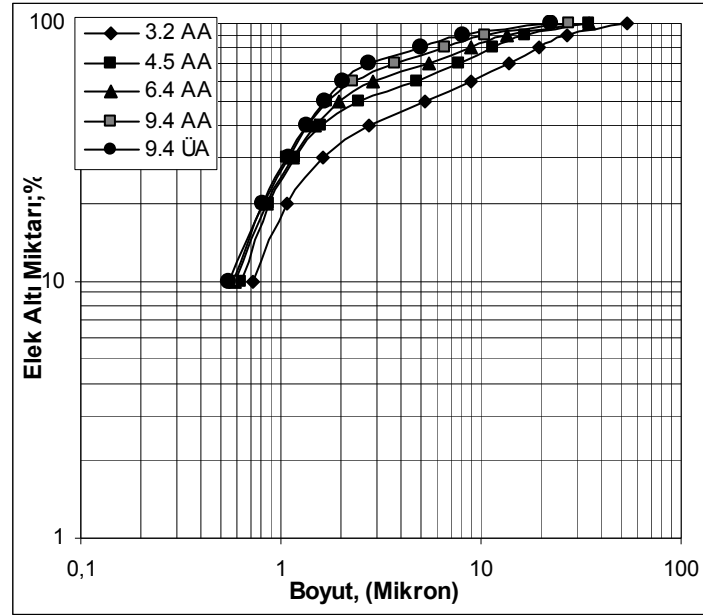
Ahiler Cat Sepiyoliti ile hidrosiklon deneyleri Şekil 5.15'te verilen akım şemasına uygun olarak yapılmıştır. Örneklerin katı oranı %3'e ayarlandıktan sonra 0.5 psi basınçta 13.4 mm vorteks çaplı hidrosiklona farklı apeks çaplarında (sırasıyla 3.2, 4.5, 6.4 ve 9.4 mm) beslenerek 4 alt çıkış ve bir üst çıkış ürünü alınmıştır. Hidrosiklon deneylerinde alınan ürünlerin boyut dağılımındaki değişimlerin belirlenebilmesi için boyut analizleri yapılmıştır. Yapılan boyut analizleri sonucunda elde edilen d_{90} , d_{50} , ve d_{10} değerleri Çizelge 5.16'da ağırlıkça yüzdeleri ise Şekil 5.14'te verilmiştir. Hem Çizelge 5.16 hem de Şekil 5.15 te hidrosiklon ile boyuta göre bir ayırımın olduğu görülmektedir. Hidrosiklon deneylerinden elde edilen ürünlerle yapılan görünür viskozite okumaları da bir ayırımın olduğunu göstermektedir. Çünkü alınan ilk alt akımın viskozitesi en düşükken en son alınan alt ve üst akımın viskoziteleri diğerlerinden daha yüksektir. Bir önceki TTB örneğiyle yapılan hidrosiklon sonuçlarına benzememektedir. Çünkü burada zenginleştirilen numunenin sepiyolit içeriği çok düşük (%30-40)'dür. Bundan dolayı ayırım sırasında ortam viskozitesinde ayırımı etkileyecek bir artış olmamıştır. Elde edilen ürünlerle yapılan nem tutma testlerinde beslenene göre bir artış olmakla beraber istenilen sonuçlar elde edilememiştir (Çizelge 5.15). Buda göstermektedir ki sepiyolit içerisinde en fazla bulunan safsızlığın dolomit olduğu bilinmektedir. Bu dolomit altere bir dolomit olduğundan su ile temas ettiğinde sepiyolit gibi dağılmakta ve boyutu çok küçülmektedir. Bundan dolayı da sepiyolit dolomitten boyuta göre ayrılması mümkün olmamaktadır.

Çizelge:5.16 Ahiler Cat sepiyolitinin hidrosiklon alt akım ürünlerinin boyut dağılımları.

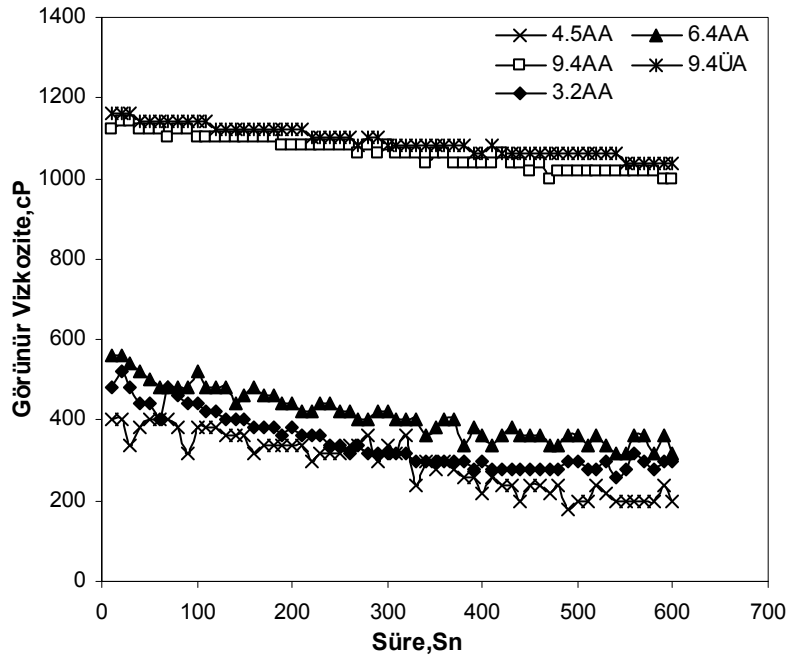
Apeks Çapları, mm											
3.2 mm			4.5 mm			6.4 mm			9.4 mm		
D_{10}	D_{50}	D_{90}	d_{10}	d_{50}	d_{90}	D_{10}	d_{50}	d_{90}	d_{10}	d_{50}	d_{90}
0.726	5.198	26.87	0.64	2.433	16.553	0.588	1.933	13.459	0.573	1.702	10.357



Şekil 5.15. Ahiler Cat hidrosiklon deneyi akım şeması



Şekil 5.16. Ahiler Cat hidrosiklon ürünlerinin boyut dağılımları



Şekil 5.17 Ahiler Cat hidrosiklon ürünlerinin 5 rpm'deki görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi

Çizelge 5.17. Ahiler Cat numunesi hidrosiklon zenginleştirme ürünlerinin nem alma kapasitesi değerleri

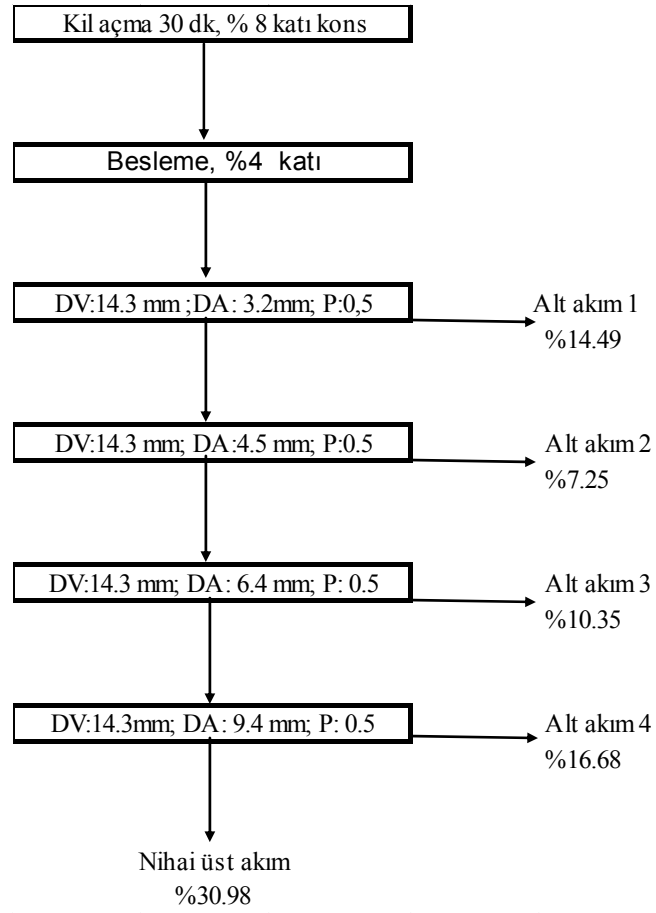
Ürünler	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %
3,2AA	8,99	4,2
4,5AA	7,23	4,4
6,4AA	18,2	4,9
9,4AA	17,8	4,8
9,4ÜA	25,1	4,9
TOPLAM (Beslenen)	100,0	4,3

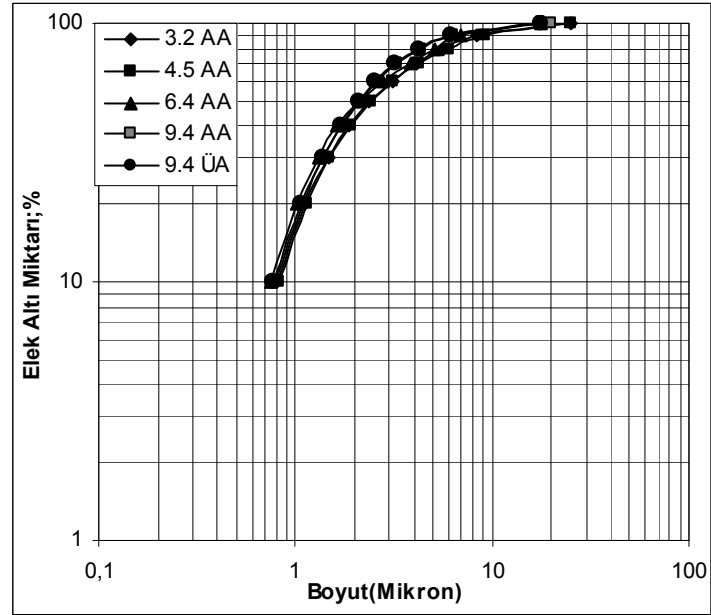
Kurtşeyh Cat sepiyolitinin hidrosiklon ile zenginleştirme çalışmaları

Hidrosiklon deneyi Şekil 5.18’de verilen akım şemasına uygun olarak yapılmıştır. Örneklerin katı oranı %4’e ayarlandıktan sonra 0.5 psi basınçta 13.4 mm vorteks çaplı hidrosiklona farklı apeks çaplarında (sırasıyla 3.2, 4.5, 6.4 ve 9.4 mm) beslenerek 4 alt çıkış ve bir üst çıkış ürünü alınmıştır. Hidrosiklon deneylerinde alınan ürünlerin boyut dağılımındaki değişimlerin belirlenebilmesi için boyut analizleri yapılmıştır. Yapılan boyut analizleri sonucunda elde edilen d_{90} , d_{50} , ve d_{10} değerleri Tablo 5.18’de ağırlıkça yüzdeleri ise Şekil 5.18’de verilmiştir. Yapılan hidrosiklon çalışması ile azda olsa bir zenginleştirme olmakta. Fakat Şeki 15.19 ’dan da görüldüğü üzere boyut analizi eğrilerinde belirgin bir açılım olmaması ayırımın etkin olmadığını göstermektedir. Yapılan viskozite okumaları da ayırımın ilk kademesinde 3.4 mm alt çıkış çapından alınan ürünün viskozitesinin yüksek çıkması ve viskozitenin zamana göre değişmemesi bu ürünün farklı bir malzeme olduğunu göstermektedir. Nem tutma testlerinde de bu ürün en az nem tutma kapasitesi vermiştir. Sonuç olarak hidrosiklonla bir ayırım var fakat yeterli düzeyde değildir.

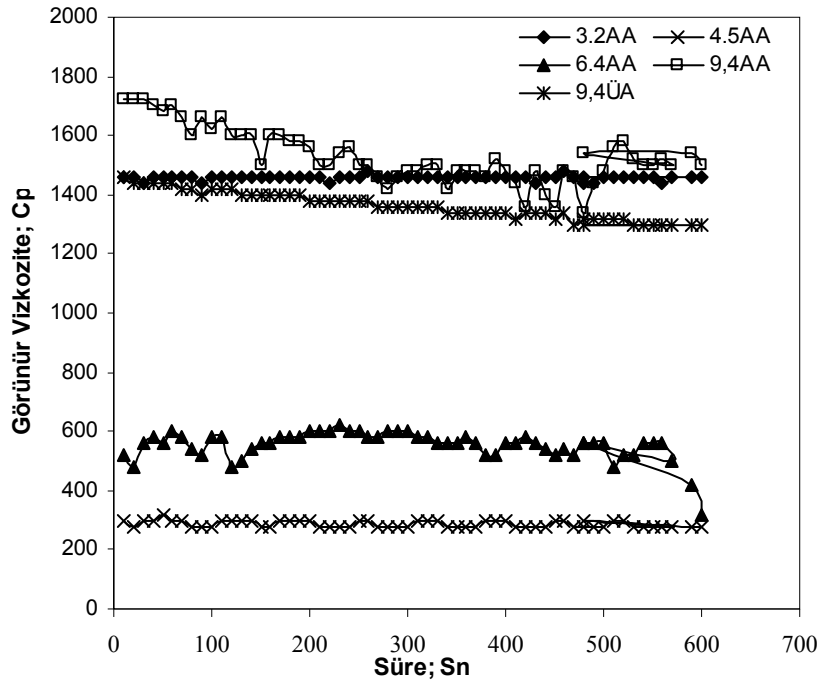
Çizelge 5.18. Kurtşeyh Cat hidrosiklon alt akım ürünlerinin boyut dağılımı.

Apeks Çapları, mm											
3.2 mm			4.5 mm			6.4 mm			9.4 mm		
d ₁₀	d ₅₀	D ₉₀	d ₁₀	D ₅₀	d ₉₀	D ₁₀	d ₅₀	d ₉₀	d ₁₀	d ₅₀	d ₉₀
0.801	2.38	8.392	0.818	2.413	9.073	0.756	2.084	6.903	0.777	2.096	19.646

**Şekil 5.18.** Kurtşeyh Cat hidrosiklon deneyi akım şeması



Şekil 5.19. Kurtşeyh Cat hidrosiklon ürünlerinin boyut dağılımları



Şekil 5.20. Kurtşeyh Cat hidrosiklon ürünlerinin 5 rpm'deki görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi

Çizelge 5.19. Kurtşey Cat numunesi zenginleştirme ürünlerinin nem alma kapasiteleri

Ürünler	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %
3,2AA	14.49	4.5
4,5AA	7.25	4,4
6,4AA	10.35	4.6
9,4AA	16.68	5.0
9,4ÜA	30.98	5.2
TOPLAM (Beslenen)	100,0	4,3

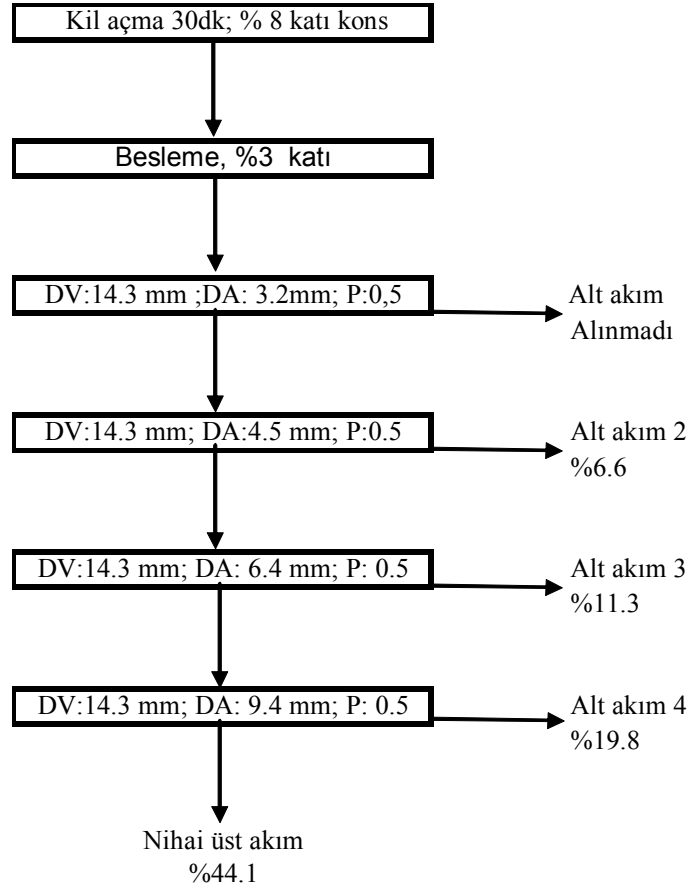
Hidrosiklon deneylerinde bir üst akım ve 4 alt akım alınmış olup, elde edilen ürünlerin nem alma kapasiteleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Sığırcık Sepiyolitinin Hidrosiklon ile Zenginleştirme Çalışmaları

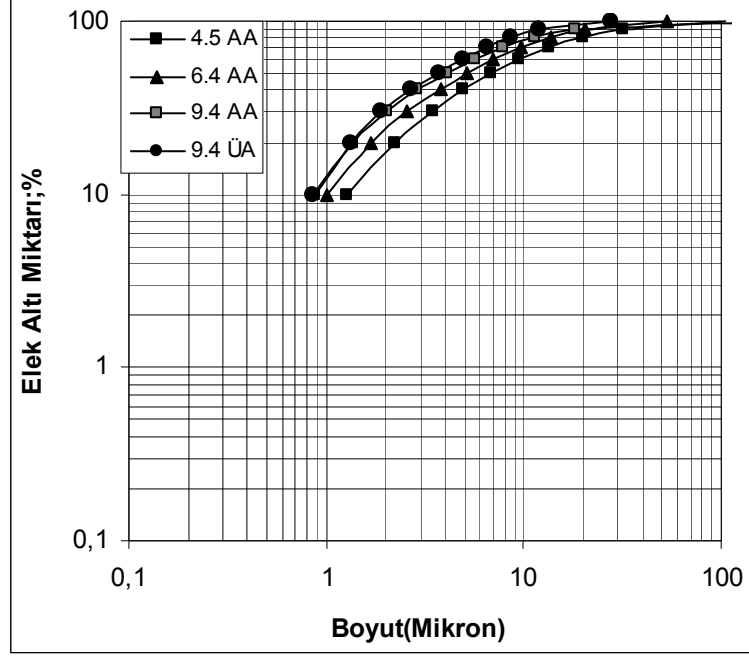
Yukarıdaki bilgiler ışığında sığırcık sepiyoliti ile hidrosiklon deneyleri (Şekil 5.21) yapılmış ve Çizelge 5.20 ve Şekil 5.22’de görülen boyut analiz sonuçlarında ürünler arasında diğerlerine göre belirgin boyut ayrımı olmuştur. Saflığı diğer sepiyolitlere göre daha yüksek olan bu kahverengi sepiyolit in reolojik viskozitesindeki dalgalanma muhtemelen çok yumuşak bir sepiyolit olmasından dolayı fiberlerinin zarar görmesinden kaynaklanmaktadır. Nem alma testlerinden elde edilen sonuçlarda Çizelge 5.21’de görüldüğü gibidir. Fakat nem alma kapasitesinde belirgin bir artış olmamıştır. Buda muhtemelen fiberlerin zarar görmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.20. Sığırcık hidrosiklon alt akım ürünlerinin boyut dağılımı.

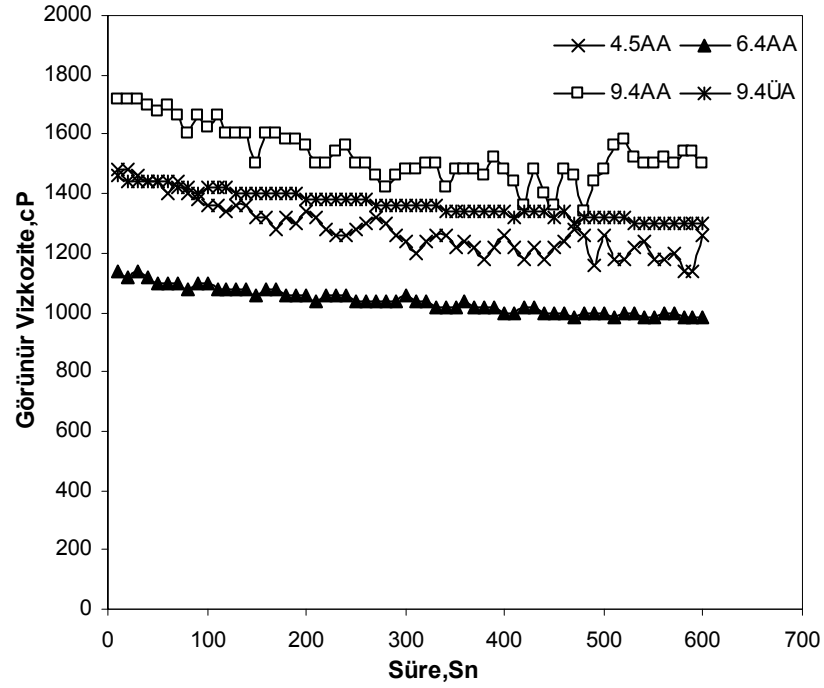
Apeks Çapları, mm											
3.2 mm			4.5 mm			6.4 mm			9.4 mm		
d ₁₀	d ₅₀	D ₉₀	d ₁₀	d ₅₀	d ₉₀	D ₁₀	d ₅₀	d ₉₀	d ₁₀	D ₅₀	d ₉₀
-	-	-	1.265	6.848	31.633	1.015	5.201	20.556	0.86	3.715	11.985



Şekil 5.21. Sığırcık hidrosiklon deneyi akım şeması



Şekil 5.22. Sığırık hidrosiklon ürünlerinin boyut dağılımları



Şekil 5.23. Sığırık sepiyoliti hidrosiklon ürünlerinin 5 rpm'de görünür viskozite değerlerinin süreye bağlı olarak değişimi.

Çizelge 5.21. Sığırcık numunesi zenginleştirme ürünlerinin nem alma kapasitesi değerleri

Ürünler	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %
3,2AA	14.49	-
4,5AA	7.25	10.5
6,4AA	10.35	11.4
9,4AA	16.68	11.7
9,4ÜA	30.98	12.0
TOPLAM (Beslenen)	100,0	12.0

Hidrosiklon deneyleri sonucu tüm sepiyolitler için elde edilen ürünlerde istenilen ayırma düzeyine ulaşılamamıştır. Bunun nedeni olarak, TTB numunesinde ortamın görünür viskozitesinin çok yüksek olması ve en büyük safsızlık olan dolomitinde sepiyolit gibi çok ince boyutlara dağılmasıdır. Sığırcık numunesinde ise boyuta göre ayırma olmasına rağmen bu sepiyolitin çok hızlı bir şekilde suda dağılmasının sonucu olarak basınçtan kaynaklı olarak lifsi yapının hasar görmesinin neticesi olarak bir iyileşme elde edilememiştir. Cat sepiyolitler zaten sepiyolit içerik çok düşük olmasına rağmen yukardaki nedenlerden dolayı istenilen düzeyde bir ayırma elde edilememiştir.

5.2.3 Katkı Madde İlavesinin (Değişik Reaktiflerle Muamele) Sepiyolitin Nem Alma Kapasitesi Üzerine Olan Etkisi

Sepiyolitin düşük ortamlarda (%60<) nem tutma kapasitesinin düşük olmasından dolayı ve aynı zamanda sepiyolitin nem alma kapasitesini daha fazla artırmak için aşağıdaki tuzlarla ve diğer kimyasallarla sepiyolit belirli oranlarda karıştırılmış ve bu karışımların nem tutma kapasitelerindeki değişime bakılmıştır. Bu sayede, sepiyolitin desikant malzeme olarak özelliklerinin geliştirilmesi incelenmiştir.

5.2.3.1 CaCl₂'ün Nem Alma Kapasitesi Üzerine Olan Etkisi

Sepiyolit; nem adsorpsiyon kapasitesinin artırılması için iyi bir desikant malzeme olan CaCl₂ ile karıştırılmaktadır. Kalsiyum klorür endüstride desikant malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [45]. Ancak çok nadiren ortam nemini ayarlayıcı olarak kullanılmaktadır.

Çünkü kalsiyum klorür %33 relatif nemin üzerinde nem aldığıında sıvı faza geçer. Bu negatif özelliğinden kurtulmak için sepiyolit gibi bir gözenekli malzemeye karıştırıldığında sıvı faza geçiş ortadan kaldırılmış olur. Böylece, kalsiyum klorür tarafından tutulan suya adsorpsiyon yada absorpsiyon yolu sepiyolite transfer edilerek tutulacaktır. Aynı zamanda bu suya ek olarak sepiyolit de ayrıca nem tutma kapasitesiyle beraber tutulan su miktarı iyice artacaktır [16]. Sonuç olarak, sepiyolite kalsiyum klorür ilavesi ile sepiyolit desikant özellikleri iyileştirilmiş olacaktır.

Sepiyolit numunesi ve kalsiyum klorür %1-10 oranında; örneğin, %95 sepiyolit %5 CaCl_2 olacak şekilde karıştırılarak sepiyolit-kalsiyum klorür karışımları hazırlanmıştır. Sepiyolit-kalsiyum klorür karışımları kuru olarak bir spatül yardımıyla yapılmıştır. Ardından, hazırlanan bu karışımlar $200\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat etüvde ısıtılma tabii tutulmuştur. Daha sonrada, ortam sıcaklığına bir desikatör vasıtasıyla getirilip iklim kabineye yerleştirilip nem almaları takip edilmiştir.

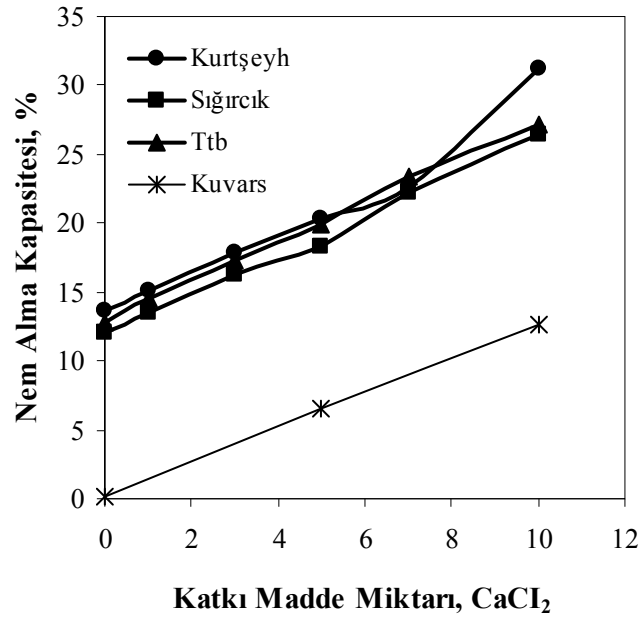
Sepiyolit $200\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıtılma maruz bırakılmasının nedeni bu sıcaklıkta sepiyolit yapısındaki zeolitik suyun uzaklaştırılmasının sonucu yüzey alanındaki artışa paralel olarak [15, 7]. nem adsorpsiyon kapasitesinde bir artış olmaktadır. Fakat bu sıcaklık $300\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıkarıldığında ise mikrogözeneklerin bozulmasına paralel olarak yüzey alanındaki azalmayla nem tutma kapasitesinde de azalma olmaktadır [16]. Bundan dolayı örneklerimizde en iyi nem tutma kapasitesi $200\text{ }^\circ\text{C}$ civarında olduğu için aktivasyon sıcaklığı $200\text{ }^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır.

Üç sepiyolit örneğiyle (Kurtşeyh, Sığircık, TTB) yapılan sepiyolit-kalsiyum klorür karışımlarıyla hazırlanan desikant malzemeler 24 saat süreyle % 50 bağıl nemde $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'de iklim kabineye bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Çizelge 5.22 ve Şekil 5.24'te görüldüğü gibidir. Üç örnekten nem alma kapasitesi en yüksek olan kurtşeyh numunesi endüstriyel çapta desikant olarak kullanılabilmesi için gerekli olan %50 relatif nemde %20 nem alma kapasitesine %5 CaCl_2 ilavesi ile ulaşırken diğer iki sepiyolit bu değere yaklaşık %6 CaCl_2 ilavesinde ulaşmaktadırlar. Tüm sepiyolitlerin kalsiyum klorür ilavesi ile lineer bir şekilde nem alma kapasitesi artmaktadır. Buda sepiyolit kalsiyum klorür ilavesi ile nem alma kapasitesinin maksimum su tutabileceği duruma kadar istenilen seviyede artırılabilceğini göstermektedir [16].

Sepiyolit ile CaCl_2 karışımı herhangi bir sinerji yaratmamakta, ancak sepiyolit CaCl_2 ile karıştırıldığında hem kendi nem alma kapasitesini arttırmakta hem de nem alarak sıvılaştıran CaCl_2 için iyi bir taşıyıcı olmaktadır.

Çizelge 5.22. CaCl_2 miktarına göre nem alma kapasitesi.

CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Kurtşeyh	Sığircık	TTB
0	13,6	12,0	12,8
1	15,1	13,5	14,5
3	17,9	16,3	17,3
5	20,3	18,3	19,9
7	22,7	22,2	23,4
10	31,2	26,5	27,2



Şekil 5.24. CaCl_2 miktarına göre nem alma kapasitesi

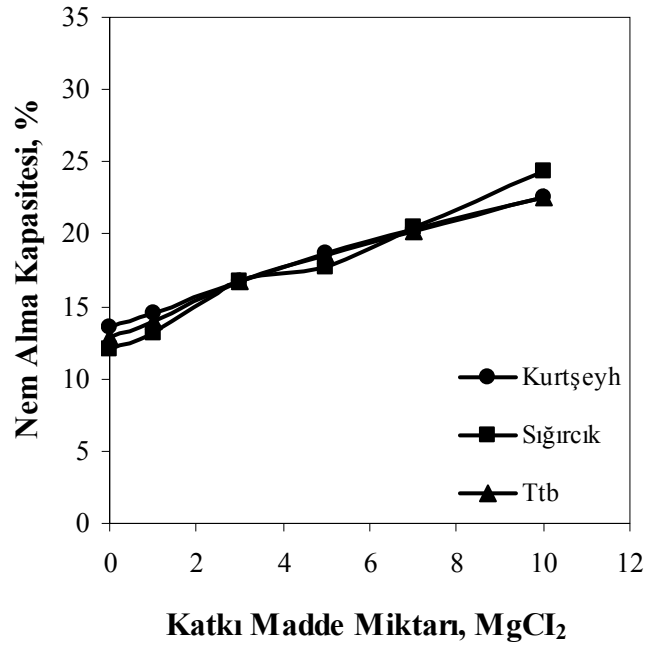
5.2.3.2. MgCl_2 'ün Nem Alma Kapasitesine Üzerine Olan Etkisi

Kurtşeyh, Sığircık ve TTB sepiyolit numuneleri katkı maddesi olarak MgCl_2 ile %1-10 aralığında ağırlıkça değişen oranlarda kuru olarak örneğin; %97 Sepiyolit %3 MgCl_2 gibi karıştırılmıştır. Sepiyolit–magnezyum klorür karışımları kuru olarak bir spatül yardımıyla hazırlanmıştır. Ardından, bu karışımlar 200 °C'de 4 saat etüvde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Daha sonrada, ortam sıcaklığına bir desikatör vasıtasıyla getirilip iklim kabineye yerleştirilip nem almaları takip edilmiştir. Nem alma kapasiteleri Çizelge 5.23'te grafiksel gösterimi ise Şekil 5.25'te verilmiştir.

Üç sepiyolit örneğiyle (Kurtşeyh, Sığırçık, TTB) yapılan sepiyolit-magnezyum klorür karışımından hazırlanan desikant malzemeler 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25°C’de iklim kabininde bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Çizelge 5.23 ve Şekil 5.25’te görüldüğü gibidir. Üç örnekte endüstriyel çapta desikant olarak kullanılabilmesi için gerekli olan %50 relatif nemde %20 nem alma kapasitesine %7 MgCl₂ ilavesi ile ulaşmaktadır. Tüm sepiyolitlerin magnezyum klorür ilavesi ile lineer bir şekilde nem alma kapasitesi artmaktadır.

Çizelge 5.23. MgCl₂ miktarına göre nem alma kapasitesi

MgCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Kurtşeyh	Sığırçık	TTB
0	13,6	12,0	12,8
1	14,5	13,1	14,0
3	16,7	16,7	16,7
5	18,7	17,7	18,6
7	20,4	20,5	20,2
10	22,6	24,4	22,6



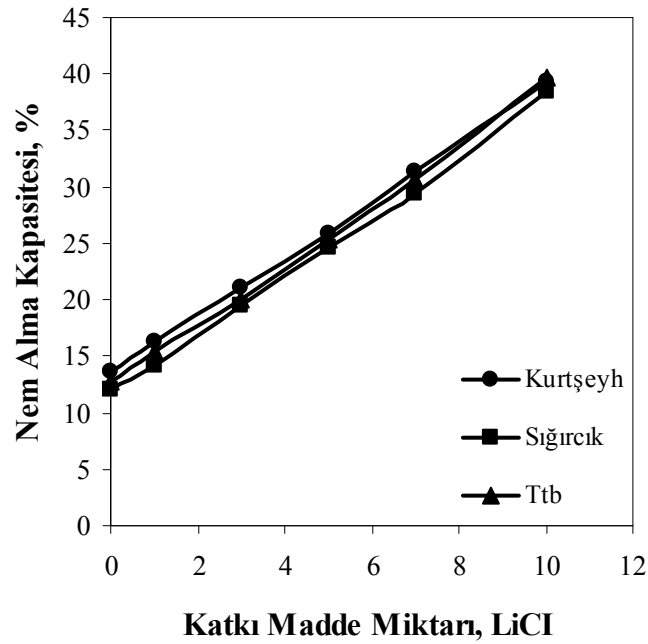
Şekil 5.25. MgCl₂ miktarına göre nem alma kapasitesi

5.2.3.3. LiCl'ün Nem Alma Kapasitesi Üzerine Olan Etkisi

Kurtşeyh, Sığırık ve TTB sepiyolit numuneleri katkı maddesi olarak LiCl ile %1-10 aralığında ağırlıkça değişen oranlarda kuru olarak örneğin; %98 Sepiyolit %2 LiCl gibi karıştırılmıştır. Sepiyolit-LiCl karışımları kuru olarak bir spatül yardımıyla hazırlanmıştır. Ardından, bu karışımlar 200 °C'de 4 saat etüvde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Daha sonrada, ortam sıcaklığına bir desikatör vasıtasıyla getirilip iklim kabinine yerleştirilip nem almaları takip edilmiştir. Üç sepiyolit örneğiyle (Kurtşeyh, Sığırık, TTB) yapılan sepiyolit-LiCl karışımından hazırlanan desikant malzemeler 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25 °C'de iklim kabininde bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Çizelge 5.24 ve Şekil 5.26'da görüldüğü gibidir. Üç örnekte endüstriyel çapta desikant olarak kullanılabilmesi için gerekli olan %50 relatif nemde %20 nem alma kapasitesine %3 LiCl ilavesi ile ulaşmaktadır. Tüm sepiyolitlerin LiCl ilavesi ile lineer bir şekilde nem alma kapasitesi artmaktadır.

Çizelge 5.24. LiCl miktarına göre nem alma kapasitesi

LiCl	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Kurtşeyh	Sığircık	TTB
0	13,6	12,0	12,8
1	16,3	14,2	15,5
3	21,0	19,5	20,0
5	25,9	24,6	25,4
7	31,4	29,4	30,7
10	39,3	38,5	39,7



Şekil 5.26. LiCl miktarına göre nem alma kapasitesi

5.2.3.4. Na₂SO₄ Nem Alma Kapasitesi Üzerine Olan Etkisi

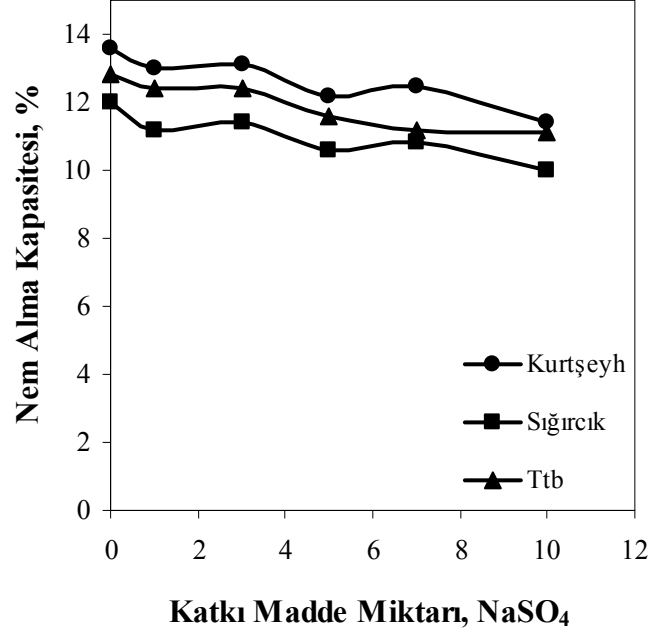
Kurtşeyh, Sığircık ve TTB sepiyolit numuneleri katkı maddesi olarak Na₂SO₄ ile %1-10 aralığında ağırlıkça değişen oranlarda kuru olarak örneğin; %94 Sepiyolit %6 Na₂SO₄ gibi karıştırılmıştır. Sepiyolit- Na₂SO₄l karışımları kuru olarak bir spatül yardımıyla hazırlanmıştır.

Ardından, bu karışımlar 200 °C’de 4 saat etüvde ısıtılmıştır. Daha sonrada, ortam sıcaklığına bir desikatör vasıtasıyla getirilip iklim kabineye yerleştirilip nem almaları takip edilmiştir.

Üç sepiyolit örneğiyle (Kurtşeyh, Sığircık, TTB) yapılan sepiyolit- Na₂SO₄ karışımından hazırlanan desikant malzemeler 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25 °C’de iklim kabiniinde bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Çizelge 5.25 ve Şekil 5.27’de görüldüğü gibidir. Üç örnekte endüstriyel çapta desikant olarak kullanılabilmesi için gerekli olan %50 relatif nemde %20 nem alma kapasitesine %10 Na₂SO₄ oranına kadar ulaşlamamıştır. Şekil 17 incelendiğinde Na₂SO₄ oranındaki artış sepiyolit tarafından tutulan su miktarında bir miktar azalmaya neden olmaktadır. Buda göstermektedir ki Na₂SO₄ ın kendisi nem tutma kapasitesine sahip olmadığı gibi sepiyolit nem tutma kapasitesini de azaltmaktadır. Muhtemelen bu azalma Na₂SO₄’ın havadaki nemle sepiyolit yüzeyleri arasında bariyer oluşturarak temasını önlemesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.25. Na₂SO₄ miktarına göre nem alma kapasitesi

NaSO4 Miktarı	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Kurtşeyh	Sığircık	TTB
0	13,6	12	12,8
1	13	11,2	12,4
3	13,1	11,4	12,4
5	12,2	10,6	11,6
7	12,5	10,8	11,2
10	11,4	10	11,1



Şekil 5.27. Na₂SO₄ miktarına göre nem alma kapasitesi.

5.2.3.5. MgO'ın Nem Alma Kapasitesi Üzerine Olan Etkisi

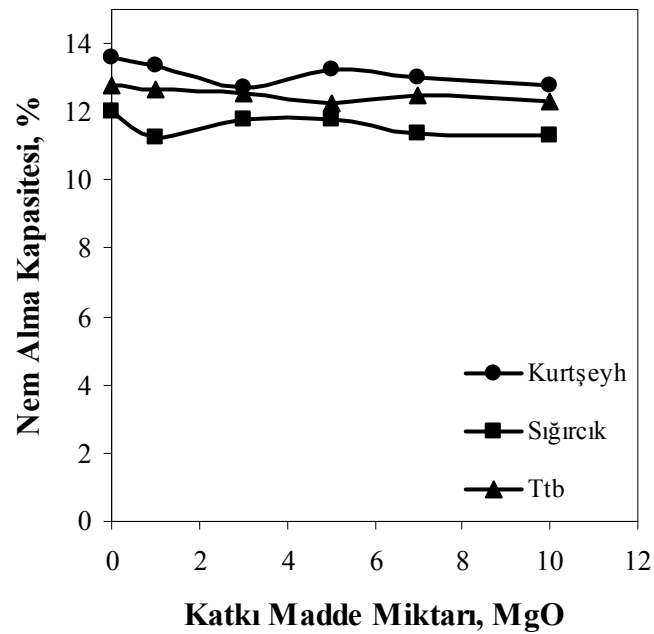
Kurtşeyh, Sığırcık ve TTB sepiyolit numuneleri katkı maddesi olarak MgO ile %1-10 aralığında ağırlıkça değişen oranlarda kuru olarak örneğin; %97 Sepiyolit %3 MgO gibi karıştırılmıştır. Sepiyolit- MgO karışımları kuru olarak bir spatül yardımıyla hazırlanmıştır. Ardından, bu karışımlar 200 °C'de 4 saat etüvde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Daha sonrada, ortam sıcaklığına bir desikatör vasıtasıyla getirilip iklim kabinine yerleştirilip nem almaları takip edilmiştir.

Üç sepiyolit örneğiyle (Kurtşeyh, Sığırcık, TTB) yapılan sepiyolit- MgO karışımından hazırlanan desikant malzemeler 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25 °C'de iklim kabininde bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Çizelge 5.26 ve Şekil 5.28'de görüldüğü gibidir. Üç örnekte endüstriyel çapta desikant olarak kullanılabilmesi için gerekli olan %50 relatif nemde %20 nem alma kapasitesine %10 MgO oranına kadar ulaşamamıştır. Şekil 5.28 incelendiğinde MgO oranındaki artış sepiyolit tarafından tutulan su miktarında bir miktar azalmaya neden olmaktadır. Buda göstermektedir ki MgO ın kendisi nem tutma kapasitesine sahip olmadığı gibi sepiyolitinin nem tutma kapasitesini de azaltmaktadır. Muhtemelen bu azalma MgO'ın havadaki

nemle sepiyolit yüzeyleri arasında bariyer oluşturarak temasını önlemesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.26. MgO miktarına göre nem alma kapasitesi

MgO Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Kurtşeyh	Sığırçık	TTB
0	13,6	12	12,8
1	13,4	11,3	12,7
3	12,7	11,8	12,6
5	13,2	11,8	12,3
7	13	11,4	12,5
10	12,8	11,3	12,3



Şekil 5.28. MgO miktarına göre nem alma kapasitesi.

5.2.3.6. Al₂O₃ Nem Alma Kapasitesi Üzerine Olan Etkisi

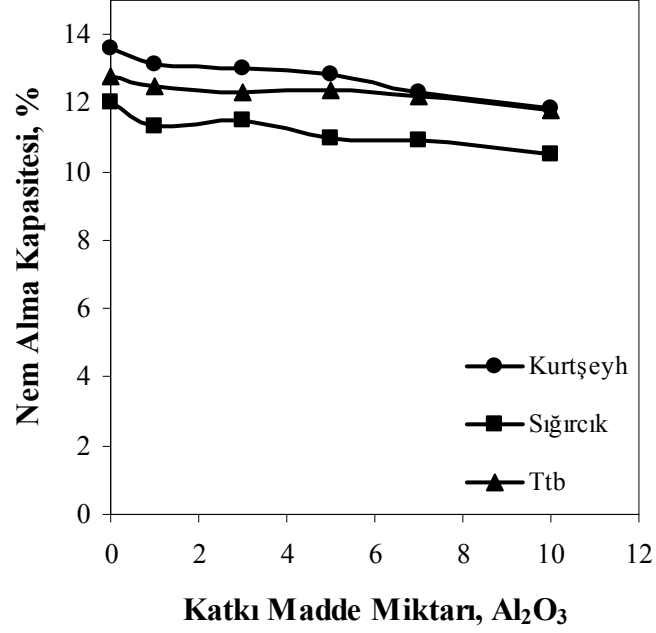
Kurtşeyh, Sığırçık ve TTB sepiyolit numuneleri katkı maddesi olarak Al₂O₃ ile %1-10 aralığında ağırlıkça değişen oranlarda kuru olarak örneğin; %97 Sepiyolit %3 Al₂O₃ gibi

karıştırılmıştır. Sepiyolit- Al_2O_3 karışımları kuru olarak bir spatül yardımıyla hazırlanmıştır. Ardından, bu karışımlar $200\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat etüvde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Daha sonrada, ortam sıcaklığına bir desikatör vasıtasıyla getirilip iklim kabinine yerleştirilip nem almaları takip edilmiştir.

Üç sepiyolit örneğiyle (Kurtşeyh, Sığircık, TTB) yapılan sepiyolit- Al_2O_3 karışımından hazırlanan desikant malzemeler 24 saat süreyle %50 bağıl nemde $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'de iklim kabininde bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Çizelge 5.27 ve Şekil 5.29'de görüldüğü gibidir. Üç örnekte endüstriyel çapta desikant olarak kullanılabilmesi için gerekli olan %50 relatif nemde % 20 nem alma kapasitesine %10 Al_2O_3 oranına kadar ulaşlamamıştır. Şekil 5.29 incelendiğinde Al_2O_3 oranındaki artış sepiyolit tarafından tutulan su miktarında bir miktar azalmaya neden olmaktadır. Buda göstermektedir ki Al_2O_3 ın kendisi nem tutma kapasitesine sahip olmadığı gibi sepiyolit'in nem tutma kapasitesini de azaltmaktadır. Muhtemelen bu azalma Al_2O_3 'in havadaki nemle sepiyolit yüzeyleri arasında bariyer oluşturarak temasını önlemesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.27. Al_2O_3 miktarına göre nem alma kapasitesi

Al_2O_3 Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Kurtşeyh	Sığircık	TTB
0	13,6	12	12,8
1	13,1	11,3	12,5
3	13	11,5	12,3
5	12,8	11	12,4
7	12,3	10,9	12,2
10	11,8	10,5	11,8



Şekil 5.29. Al₂O₃ miktarına göre nem alma kapasitesi.

5.2.4. İklimlendirme Koşulunun Etkisi

İklimlendirme koşulunun etkisini incelemek üzere sepiyolit numuneleri farklı bağıl nem değerlerinde 25 °C’de iklimlendirme dolabında bekletilmiştir. Daha önce yapılan bütün deneylerde bağıl nem değeri %50 ve 25 °C alınmıştır. Bu deneyde ise bağıl nem değerleri %20, 40, 50, 60, 80, 90 olarak değiştirilerek sepiyolit katkısız ve CaCl₂ katkılı olarak nem alma kapasitesi incelenmiştir.

5.2.4.1. Katkısız Sepiyolitin Sabit Sıcaklık ve Farklı Relatif Nemlerde Nem Alma Kapasitesinin İncelenmesi

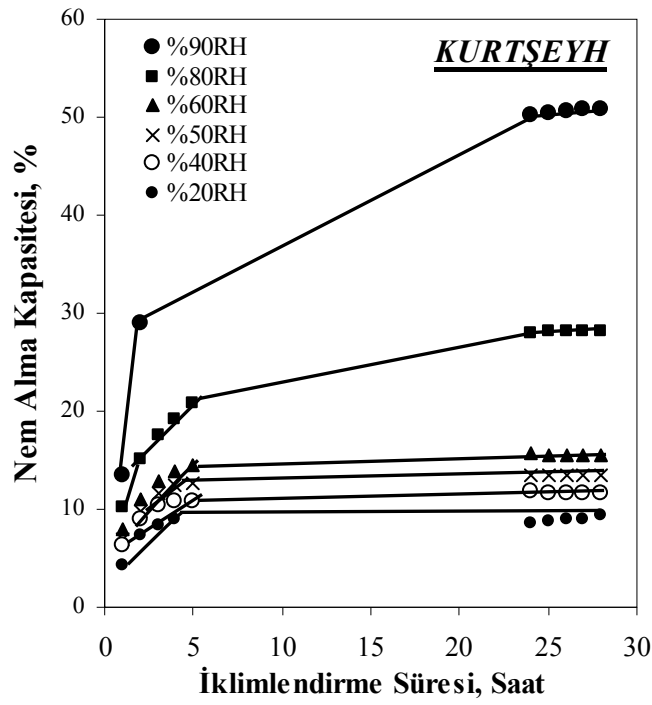
Kurtşeyh Sepiyoliti

Kurtşeyh sepiyolitine ait deney sonuçları Çizelge 5.28 ve Şekil 5.30’da görülmektedir. Şekil 5.30’dan de anlaşılacağı üzere, bağıl nem oranı arttıkça sepiyolitin nem alma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701’e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağıl nemde en az %8’i, %50 bağıl nemde en az %20’si ve %90 bağıl nemde en az %30’u olması gerekmektedir. Çizelge 5.30 ve Şekil 5.30’e göre farklı

bağıl nem oranlarında,%20 bağıl nemde kurtşeyh numunesinin nem alma kapasitesi standarttaki değerlere uymaktadır.%50 bağıl nemde kurtşeyh numunesinin nem alma kapasitesi standarttaki değere ulaşmamaktadır.%90 bağıl nemde kurtşeyh numunesinin nem alma standarttaki değere uymaktadır.

Çizelge 5.28. Kurtşeyh sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

İklimlendirme Süresi, Saat	Nem Alma Kapasitesi, %					
	Relatif Nem, %					
	20	40	50	60	80	90
1	4,3	6,4	6,9	8,0	10,2	13,4
2	7,4	8,9	9,8	11,1	15,0	29,0
3	8,3	10,4	11,5	12,9	17,6	-
4	9,4	10,8	12,5	13,9	19,2	-
5	-	10,8	12,6	14,4	20,9	-
24	8,7	11,7	13,6	15,6	27,9	50,2
25	8,8	11,7	13,5	15,6	28,1	50,4
26	8,9	11,7	13,5	15,6	28,1	50,6
27	9,0	11,7	13,5	15,6	28,1	50,7
28	9,3	11,7	13,5	15,6	28,2	50,8



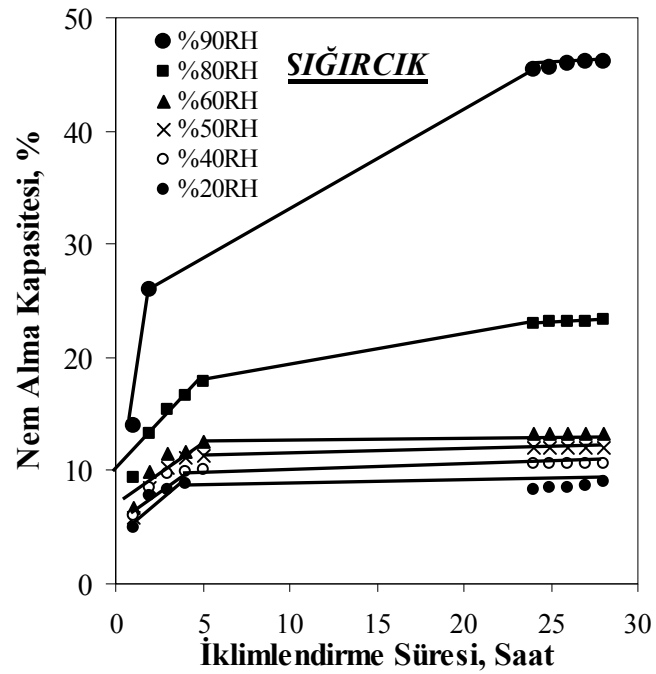
Şekil 5.30. Kurtseyh sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

Sığırcık Sepiyoliti

Sığırcık sepiyolitine ait deney sonuçları Çizelge 5.29 ve Şekil 5.31’de görülmektedir. Şekil 5.31’den de anlaşılacağı üzere, bağıl nem oranı arttıkça sepiyolitinin nem alma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701’e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağıl nemde en az %8’i, %50 bağıl nemde en az %20’si ve %90 bağıl nemde en az %30’u olması gerekmektedir. Çizelge 5.29 ve Şekil 5.31’a göre farklı bağıl nem oranlarında, %20 bağıl nemde sığırcık numunesinin nem alma kapasitesi standarttaki değerlere uymaktadır. %50 bağıl nemde sığırcık numunesinin nem alma kapasitesi standarttaki değere ulaşmamaktadır. %90 bağıl nemde sığırcık numunesinin nem alma standarttaki değere uymaktadır.

Çizelge 5.29. Sığircık sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

İklimlendirme Süresi, Saat	Nem Alma Kapasitesi, %					
	Relatif Nem, %					
	20	40	50	60	80	90
1	4,9	6,1	5,9	6,8	9,4	14
2	7,7	8,5	8,6	9,9	13,3	26
3	8,3	9,7	10,2	11,5	15,4	-
4	8,8	10	11,2	11,6	16,6	-
5	-	10,1	11,3	12,6	17,8	-
24	8,4	10,6	12	13,2	23	45,4
25	8,5	10,6	12	13,2	23,2	45,7
26	8,6	10,6	12	13,2	23,2	45,9
27	8,7	10,6	12	13,2	23,2	46
28	8,9	10,6	12	13,3	23,4	46



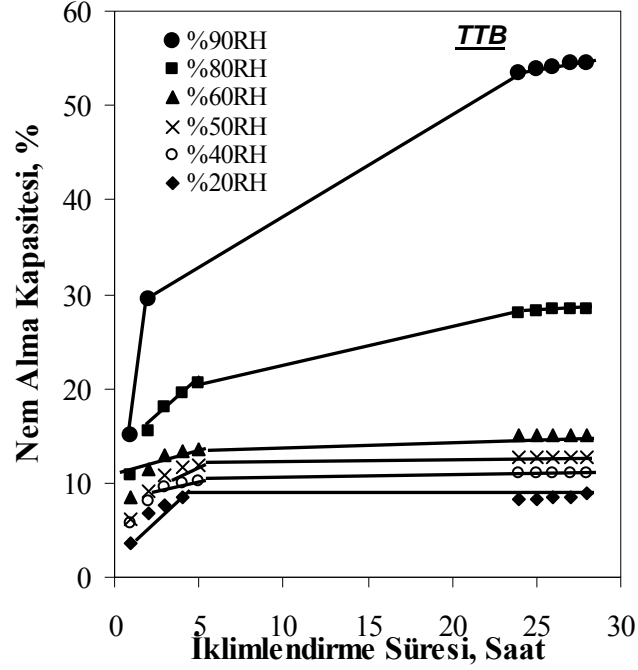
Şekil 5.31. Sığircık sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

TTB Sepiyoliti

TTB sepiyolitine ait deney sonuçları Çizelge 5.30 ve Şekil 5.32’de görülmektedir. Şekil 5.32’den da anlaşılacağı üzere, bağıl nem oranı arttıkça TTB sepiyolitinin nem alma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701’e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağıl nemde en az %8’i, %50 bağıl nemde en az %20’si ve %90 bağıl nemde en az %30’u olması gerekmektedir. Çizelge 5.30 ve Şekil 5.32’e göre farklı bağıl nem oranlarında, %20 bağıl nemde sığırık numunesinin nem alma kapasitesi standarttaki değerlere uymaktadır. %50 bağıl nemde sığırık numunesinin nem alma kapasitesi standarttaki değere ulaşmamaktadır. %90 bağıl nemde sığırık numunesinin nem alma standarttaki değere uymaktadır.

Çizelge 5.30. TTB sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

İklimlendirme Süresi, Saat	Nem Alma Kapasitesi, %					
	Relatif Nem, %					
	20	40	50	60	80	90
1	3,6	5,7	6,3	8,4	10,9	15,2
2	6,8	8,2	9,1	11,4	15,5	29,5
3	7,7	9,6	10,8	13	18,1	-
4	8,6	10	11,7	13,3	19,5	-
5	-	10,1	11,9	13,7	20,6	-
24	8,2	10,1	12,8	15	28	53,4
25	8,3	10	12,8	15	28,3	53,9
26	8,4	10	12,8	15	28,4	54,2
27	8,6	10	12,8	15	28,3	54,4
28	8,9	10	12,8	15	28,5	54,5



Şekil 5.32. TTB sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

5.2.4.2. CaCl₂ Katkılı Sepiyolitinin Sabit Sıcaklık Farklı Relatif Nemlerde Nem Alma Kapasitesinin İncelenmesi

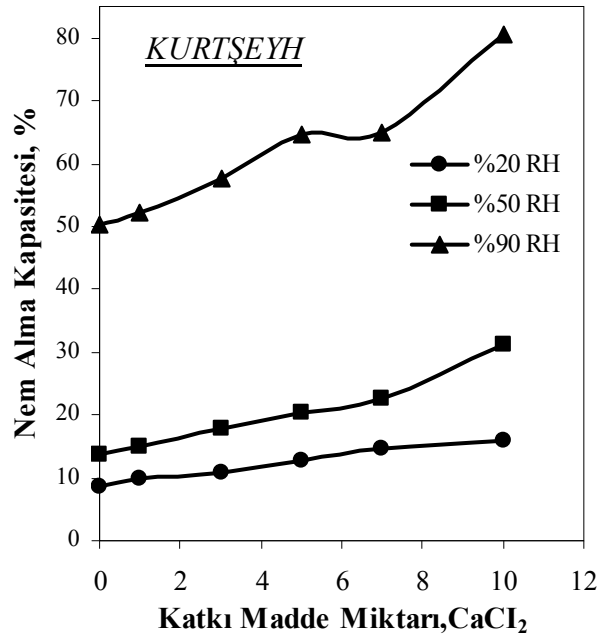
Kurtşeyh

Kurtşeyh sepiyolitine ait farklı bağıl nemlerdeki deney sonuçları Çizelge 5.31 ve Şekil 5.33'te görülmektedir.

Şekil 5.33'ten de anlaşılacağı üzere, bağıl nem oranı arttıkça sepiyolitinin nem alma kapasitesinin de arttığı gözlenmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701'e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağıl nemde en az %8'i, %50 bağıl nemde en az %20'si ve %90 bağıl nemde en az %30'u olması gerektiğini vurgulamaktadır. Çizelge 5.31 ve Şekil 5.33'e göre %20, %50 bağıl nem oranlarında, CaCl₂ katkı maddesi kullanılmadan JIS Z 0701 standardındaki değerlere ulaşmaktadır. %50 bağıl nemde standardaki değerlere ulaşmak için %5 CaCl₂ Katkısı kullanmak yeterlidir

Çizelge 5. 31. Kurtşeyh numunesinin farklı bağıl nemlerde sabit sıcaklıkta nem alma kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı,%	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Relatif Nem, %		
	%20RH	%50RH	%90RH
0	8,7	13,6	50,2
1	9,8	15,1	52,4
3	10,8	17,9	57,6
5	12,6	20,3	64,5
7	14,5	22,7	64,8
10	16,1	31,2	80,4



Şekil 5.33. CaCl₂ katkılı kurtşeyh sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

Sığırcık

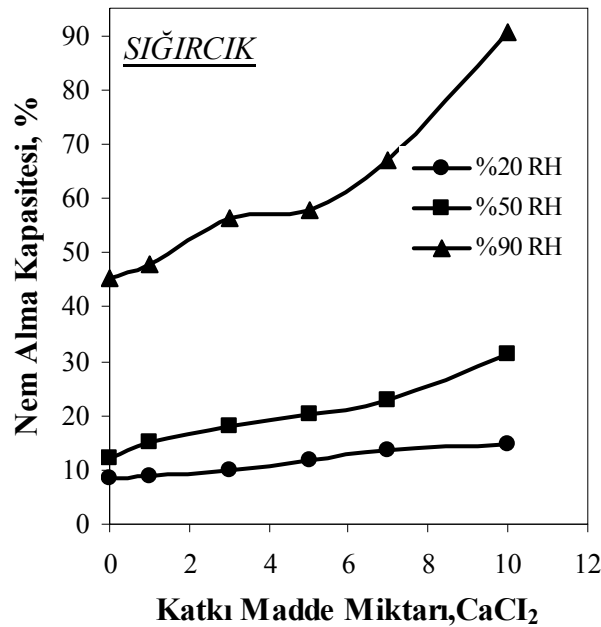
Sığırcık sepiyolitine ait farklı bağıl nemlerdeki deney sonuçları Çizelge 5.32 ve Şekil 5.34'te görülmektedir.

Şekil 5.34'ten de anlaşılacağı üzere, bağıl nem oranı arttıkça sepiyolitinin nem alma kapasitesinin de arttığı gözlenmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701'e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağıl nemde en az %8'i, %50 bağıl nemde en az %20'si ve %90 bağıl nemde en az %30'u olması gerektiğini vurgulamaktadır. Çizelge 5.32 ve

Şekil 5.34'e göre %20, %50 bağıl nem oranlarında, CaCl₂ katkı maddesi kullanılmadan JIS Z 0701 standardaki değerlere ulaşmaktadır.%50 bağıl nemde standardaki değerlere ulaşmak için %5 CaCl₂ Katkısı kullanmak yeterlidir

Çizelge 5. 32. Sığırcık numunesinin farklı bağıl nemlerde sabit sıcaklıkta nem alma kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı;%	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Relatif Nem, %		
	%20RH	%50RH	%90RH
0	8,4	12	45,4
1	8,7	15,1	48
3	9,9	17,9	56,4
5	11,8	20,3	57,9
7	13,6	22,7	66,9
10	14,8	31,2	90,7



Şekil 5.34 CaCl₂ katkılı sığırcık sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

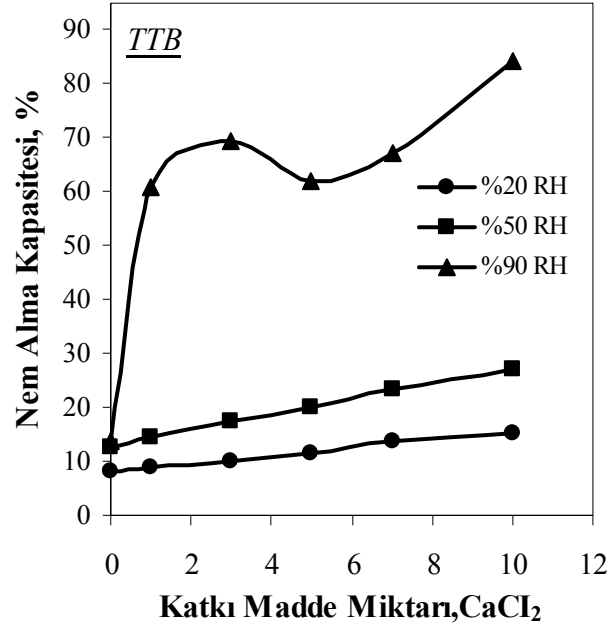
TTB Sepiyoliti

TTB sepiyolitine ait farklı bağıl nemlerdeki deney sonuçları Çizelge 5.33 ve Şekil 5.35'te görülmektedir.

Şekil 5.35'ten de anlaşılacağı üzere, bağıl nem oranı arttıkça sepiyolit'in nem alma kapasitesinin de arttığı gözlenmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701'e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağıl nemde en az %8'i, %50 bağıl nemde en az %20'si ve %90 bağıl nemde en az %30'u olması gerektiğini vurgulamaktadır. Çizelge 5.33 ve Şekil 5.35'e göre %20, %50 bağıl nem oranlarında, CaCl₂ katkı maddesi kullanılmadan JIS Z 0701 standardındaki değerlere ulaşmaktadır. %50 bağıl nemde standardaki değerlere ulaşmak için %5 CaCl₂ Katkısı kullanmak yeterlidir

Çizelge 5. 33. TTB numunesinin farklı bağıl nemlerde sabit sıcaklıkta nem alma kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı;%	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Relatif Nem, %		
	%20RH	%50RH	%90RH
0	8,2	12,8	13,6
1	8,9	14,5	61
3	10,1	17,3	69,3
5	11,7	19,9	61,8
7	13,9	23,4	67,2
10	15,5	27,2	84,2



Şekil 5.35. CaCl₂ katkılı TTB sepiyolitinin bağıl nem oranlarına göre nem alma kapasitesi

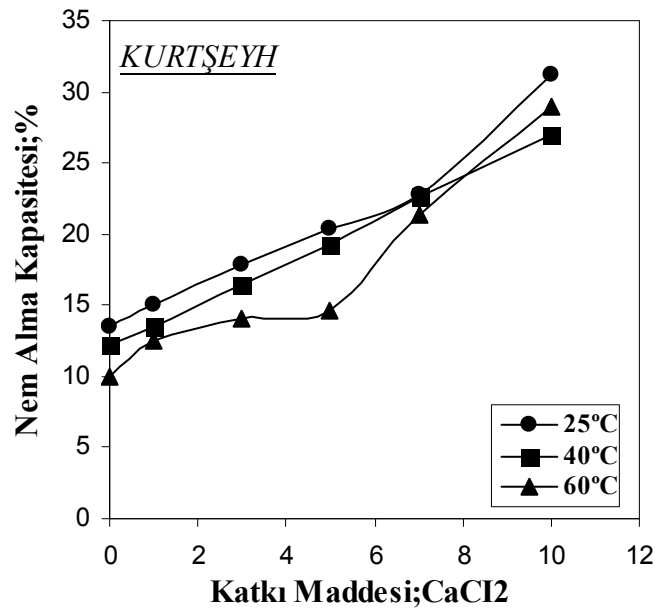
5.2.4.3. CaCl₂ Katkılı Sepiyolitın Sabit Relatif Nem Farklı Ortam Sıcaklığın Nem Alma Kapasitesinin İncelenmesi

Kurtşeyh Sepiyoliti

Çizelge 5.34 ve Şekil 5.36'da görüldüğü gibi 60 °C'de kurtşeyh numunesinin aldığı nemi geri bıraktığı anlaşılmaktadır. Kurtşeyh numunesi 25 °C'de katkısız iken %13.6 nem almışken 60°C'de ise nemi %9.9'e düştüğü görülmektedir 25 °C'de .%5 CaCl₂ katkılı numuneye baktığımızda %20.1 nem alma kapasitesine sahip 60 °C'de ise nem alma kapasitesinin %14.6'ya düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde %10 CaCl₂'lü karışımda 25°C'de %31.2 nem almışken 60°C'de ise nemi %28.9'a düştüğü görülmektedir. Buradan bu tür desikant killerin yüksek sıcaklık söz konusu olan iklimlerde kullanılması sakıncalı olabileceği sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 5.34. Kurtşeyh numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı; %	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Relatif Nem, %		
	25 °C	50 °C	60 °C
0	13,6	12,2	9,9
1	15,1	13,5	12,6
3	17,9	16,5	14,0
5	20,1	19,3	14,6
7	22,7	22,7	21,3
10	31,2	27,0	28,9



Şekil 5.36. CaCl₂ katkılı kurtşeyh numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi

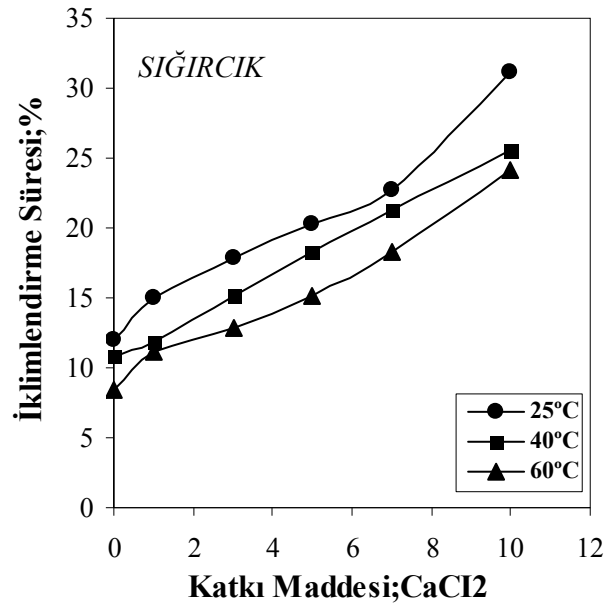
.Sığırçık Sepiyoliti

Çizelge 5.35 ve Şekil 5.37’de görüldüğü gibi 60 °C’de sığırçık numunesinin aldığı nemi geri bıraktığı anlaşılmaktadır. Sığırçık numunesi 25 °C’de katkısız iken %12 nem almışken 60 °C’de ise nemi %8.5’e düştüğü görülmektedir. 25 °C’de %5 CaCl₂ katkılı numuneye baktığımızda %20.3 nem alma kapasitesine sahip 60 °C’de ise nem alma kapasitesinin %15.1’ya düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde %10 CaCl₂’lü karışımda 25 °C’de %31.2 nem almışken 60

$^{\circ}\text{C}$ 'de ise nemi %24.1'a düştüğü görülmektedir. Buradan bu tür desikant killerin yüksek sıcaklık söz konusu olan iklimlerde kullanılması sakıncalı olabileceği sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 5.35. Sığircık numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı;%	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Relatif Nem, %		
	25 $^{\circ}\text{C}$	50 $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$
0	12	10,8	8,5
1	15,1	11,9	11,2
3	17,9	15,1	12,8
5	20,3	18,2	15,1
7	22,7	21,3	18,3
10	31,2	25,6	24,1



Şekil 5. 37. CaCl₂ katkılı sığircık numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi

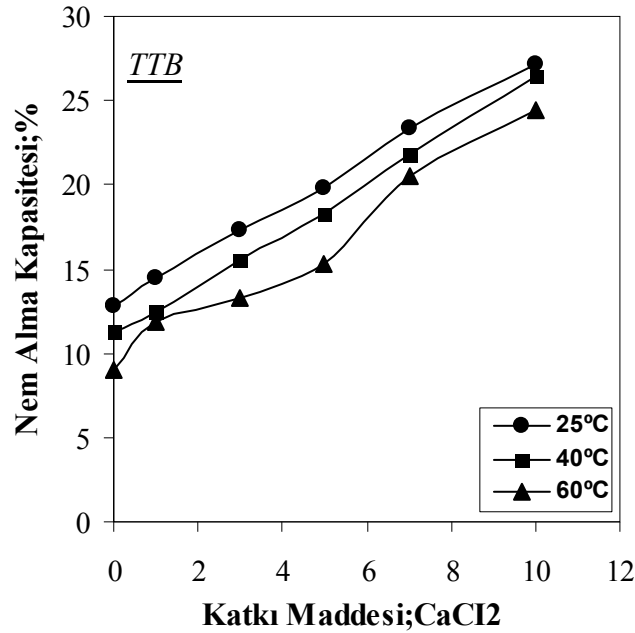
TTB Sepiyoliti

Çizelge 5.36 ve Şekil 5.38'de görüldüğü gibi 60 $^{\circ}\text{C}$ 'de TTB numunesinin aldığı nemi geri bıraktığı anlaşılmaktadır. TTB numunesi 25 $^{\circ}\text{C}$ 'de katkısız iken %12.8 nem almışken 60 $^{\circ}\text{C}$ 'de ise nemi %9'a düştüğü görülmektedir. 25 $^{\circ}\text{C}$ 'de %5 CaCl₂ katkılı numuneye baktığımıza %19.9 nem alma kapasitesine sahip 60 $^{\circ}\text{C}$ 'de ise nem alma kapasitesinin %15.3'e düştüğü

görülmektedir. Aynı şekilde %10 CaCl_2 'lü karışımda 25 °C'de %27.2 nem almışken 60 °C'de ise nemi %24.4'e düştüğü görülmektedir. Buradan bu tür desikant killerin yüksek sıcaklık söz konusu olan iklimlerde kullanılması sakıncalı olabileceği sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 5.36. TTB numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı;%	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Relatif Nem, %		
	25 °C	40 °C	60 °C
0	12,8	11,3	9,0
1	14,5	12,5	11,8
3	17,3	15,6	13,3
5	19,9	18,3	15,3
7	23,4	21,8	20,5
10	27,2	26,4	24,4



Şekil 5. 38. CaCl_2 katkılı TTB numunesinin sabit bağıl nemde farklı sıcaklıklarda nem alma kapasitesi

Yenilenebilirlik (Rejenerasyon) Testi

Nem alıcı kilin bir defa kullandıktan sonra ısı aktivasyonu uygulanarak tekrar kullanılabilirliği araştırılması için rejenerasyon testi yapılmıştır. A.B.D standardı olan MIL-D-3464E, (1987)'de bir nem alıcı aktive edildikten sonra ilk nem alma kapasitesinin %90'ını koruyabilmesi gerektiği belirtilmektedir. Deneyde Kurtşeyh, Sığırık ve TTB numuneler -6 mm boyutunda, katkısız halde ve %7 CaCl₂ ilave edilerek denenmiştir. Her seferinde 200 °C'de 4 saat ısı işlem uygulanmıştır. İklimlendirme koşulu ise %50 bağıl nemde 25 °C'dir. Deneyden elde edilen nem alma kapasite sonuçları Çizelge 5.37'de verilmektedir. Çizelge 5.37'de olarak verilen sayılar orijinal nem alma kapasitesinin ne kadarını koruduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.37. Rejenerasyon test sonuçları

Rejenerasyon Sayısı	Nem Alma Kapasitesi					
	Kurtşeyh	Kurtşeyh+ %7CaCl ₂	Sığırık	Sığırık+ %7CaCl ₂	TTB	TTB+ %7CaCl ₂
1	13,3	22,5	10,7	21	12,2	22,4
2	13,4	22,7	11,5	21,3	12,8	22,8
3	13,5	22,8	11,5	21	13,1	22,7
4	13,7	22,4	12,1	20,7	12,9	22,7

Deneyden elde sonuçlara göre Kurtşeyh, Sığırık, TTB numunelerinin %7 CaCl₂ ilavesiyle 4 kez aktive edilerek kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

Tekrarlanabilirlik Testi

DeneySEL çalışmalarda yapılan deneylerin tekrarlanabilirliği yani doğruluk oranını saptamak amacıyla farklı günlerde deneyler yapılmıştır. Deneyde Kurtşeyh, Sığırık ve TTB sepiyolit örnekleri katkısız ve %7 CaCl₂ ile karıştırılarak kullanılmıştır. 200 °C'de etüvde 4 saat kurutulduktan sonra iklimlendirme dolabında %50 bağıl nem ve 25 °C'de tabi tutularak nem alma kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.38'de verilmektedir.

Çizelge 5.38. Tekrarlanabilirlik testi

Tekrarlama Sayısı	Nem Alma Kapasitesi, %					
	Kurtşeyh	SığırcıkH	TTB	Kurtşeyh %7CaCl ₂	Sığırcık %7CaCl ₂	TTB+ %7CaCl ₂
1	13,8	12,2	12,8	23,2	21,2	23,4
2	13,7	12,2	12,6	22,7	22,2	22,9
3	13,5	12,1	12,5	23,1	22,1	23
4	13,6	12,3	12,6	22,7	21,2	23,1
5	13,7	12,1	12,7	22,8	22,2	23,2
Hata Payı	13,5 ± 0,3	12,2 ± 0,1	12,5 ± 0,3	22,2 ± 0,4	22,1 ± 0,1	23,5 ± 0,4

Çizelge 5.38'de görüldüğü gibi Kurtşeyh Sepiyolit numunesinin katkısız halde nem alma kapasitesi $13,5 \pm 0,3$ hata payı ile, %7 CaCl₂ ilavesi ile $22,2 \pm 0,4$; Sığırcık örneğinde katkısız halde $12,2 \pm 0,1$ ve %7 CaCl₂ ilavesi ile $22,1 \pm 0,1$; TTB örneğinde ise katkısız halde $12,5 \pm 0,3$ ve %7 CaCl₂ ilavesi ile $23,5 \pm 0,4$; hata payı ile tekrarlanabilirlik oranı saptanmaktadır.

5.3. Sepiyolit Desikant Ürünlerin Nem Alma Davranışın Modellenmesi

5.3.1. Zamana Bağlı Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Modeller

Zamana bağlı adsorpsiyon ve desorpsiyon'da bazı modeller Y.S. Ho, G. McKAY tarafından incelenmiştir. Kuryşey, Sığırcık ve TTB ürünlerinin zamana bağlı adsorpsiyon ve desorpsiyonun bu modellere uyumluluğu test edilmiştir. Bu amaçla kullanılan adsorpsiyon ve desorpsiyon modelleri aşağıda gösterilmektedir.

$$\frac{D_{\max} X}{C+X} \longrightarrow \text{Hiperbolik Model İzotermi A (Deneysel Adsorpsiyon Maksimumu)}$$

$$\frac{D_{\max} X}{C+X} \longrightarrow \text{Hiperbolik Model İzotermi B (Modelin Tahmin ettiği Adsorpsiyon Maksimumu)}$$

$$\frac{Ax^d}{C+X^d} \longrightarrow \text{Langmuir-Freundlich İzoterminden Uyarlanmış Adsorpsiyon Modeli}$$

D_{\max} : Deneysel maximum nem adsorpsiyon ve desorpsiyon

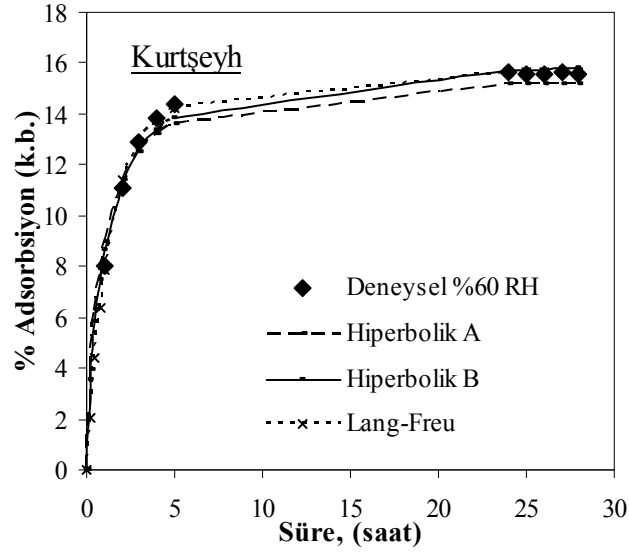
C: Model parametresi

X: Süre (Saat)

d: Model Parametresi

5.3.1.1. Kurtşeyh Zamana Bağlı Nem Adsorpsiyon

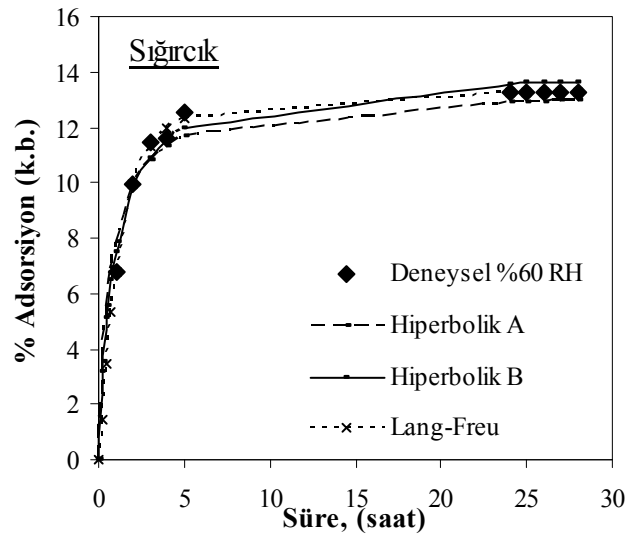
Kurtşeyh sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) zamana bağlı adsorpsiyonları incelenmiştir. Kurtşeyh sepiyolit örneğinin Şekil 5.39'da zamana bağlı adsorpsiyon izoterm eğrisi gösterilmektedir. 25 °C ve %60 RH'da 25 °C ve %60 RH'da zamana bağlı olarak kurtşeyh sepiyolit örneği için çizilen adsorpsiyon eğrisi Hiperbolik A, Hiperbolik B ve Langmuir-Freundlich modellerine yerleştirilmiştir. Bu modellere bağlı olarak elde edilen değerler ise Çizelge 5.39'da görüldüğü gibidir.



Şekil 5.39. Kurtşeyh zamana bağlı nem adsorpsiyonu

5.3.1.2. Sığırık Zamana Bağlı Nem Adsorpsiyon

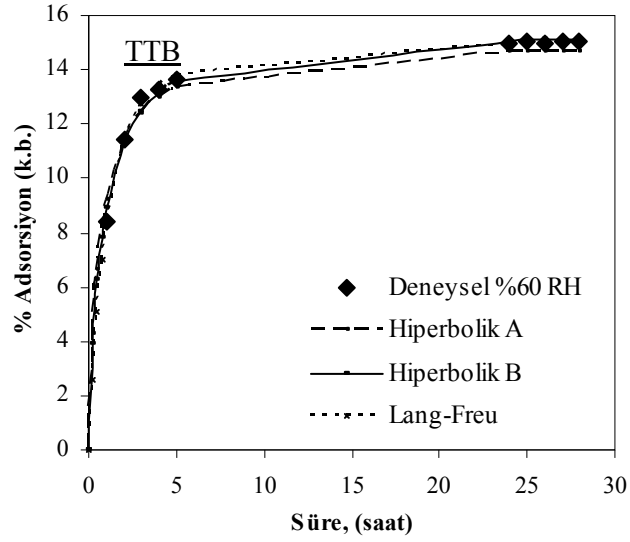
Sığırık sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) zamana bağlı nem adsorpsiyonları incelenmiştir. Sığırık sepiyolit örneğinin Şekil 5.40'da zamana bağlı adsorpsiyon izoterm eğrisi gösterilmektedir. 25 °C ve %60 RH'da zamana bağlı olarak kurtşeyh sepiyolit örneği için çizilen adsorpsiyon eğrisi Hiperbolik A, Hiperbolik B ve Langmuir- Frenlich modellerine yerleştirilmiştir. Bu modellere bağlı olarak elde edilen değerler ise Çizelge 5.39'da görüldüğü gibidir.



Şekil 5.40. Sığırık zamana bağlı nem adsorpsiyonu

5.3.3.3. TTB Zamana Bağlı Nem Adsorpsiyon

TTB sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) zamana bağlı nem adsorpsiyonları incelenmiştir.TTB sepiyolit örneğinin Şekil 5.41'de zamana bağlı adsorpsiyon izoterm eğrisi gösterilmektedir.25 °C ve %60 RH'da 25 °C ve %60 RH'da zamana bağlı olarak kurtşeyh sepiyolit örneği için çizilen adsorpsiyon eğrisi Hipebolik A, Hiperblik B ve Langmuir- Frendlich modellerine yerleştirilmiştir. Bu modellere bağlı olarak elde edilen değerler ise Çizelge 5.39'da görüldüğü gibidir.



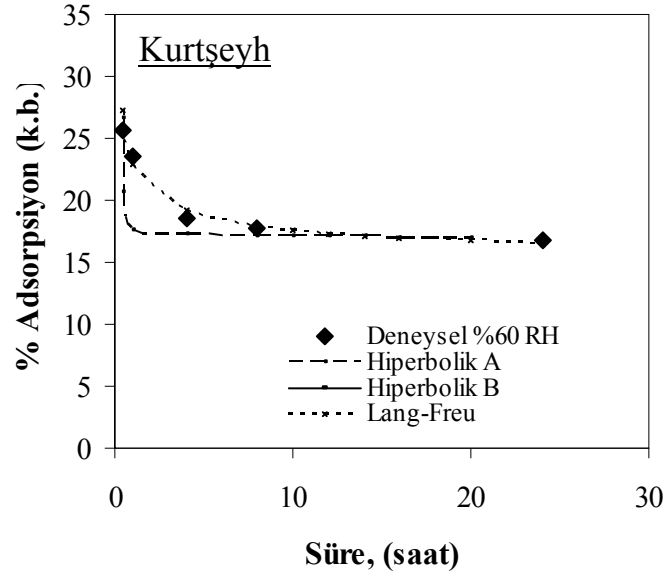
Şekil 5.41. TTB zamana bağlı nem adsorpsiyonu

Çizelge 5.39 Zamana bağlı adsorpsiyon değerleri

Model	Constans	Kurtseyh				Sığircık				20		
		Reletive Nem % RH										
		20	40	60	80	20	40	60	80			
Hiberbolik A	a_d	9,314	11,695	15,600	28,206	8,945	10,648	13,270	23,354	8,902		
	c	0,675	0,605	0,737	1,678	0,494	0,531	0,689	1,460	0,786		
	R^2	0,715	0,911	0,947	0,977	0,654	0,884	0,919	0,981	0,706		
	RME	0,642	0,471	0,574	1,165	0,552	0,436	0,555	0,804	0,679		
	e_{ort}	0,020	0,200	0,280	0,590	0,010	0,180	0,240	0,410	0,000		
	% E	7,522	4,269	4,254	4,104	6,443	4,123	4,456	3,248	9,023		
Hiberbolik B	a_d	13,767	12,181	16,299	30,311	11,801	11,266	14,062	24,719	9,469		
	c	1,985	0,734	0,892	2,134	1,265	0,689	0,870	1,782	0,963		
	R^2	0,660	0,951	0,976	0,998	0,657	0,933	0,954	0,997	0,765		
	RME	2,874	0,344	0,359	0,298	1,978	0,376	0,439	0,273	0,758		
	e_{ort}	-2,140	-0,010	-0,010	0,020	-1,470	-0,120	-0,120	0,020	-0,290		
	% E	25,664	2,852	2,489	1,400	18,617	3,839	3,634	1,443	10,718		
Langmuir Freundlich	a_d	11,740	11,769	15,806	31,375	9,0857	10,691	13,353	25,678	8,781		
	c	0,861	0,861	1,007	2,011	0,841	0,769	0,977	1,721	1,448		
	R^2	0,945	0,995	0,997	1,000	0,956	0,998	0,995	1,000	0,975		
	RME	0,628	0,113	0,123	0,115	0,380	0,071	0,148	0,123	0,304		
	e_{ort}	-0,450	0,000	0,000	0,000	-0,260	-0,010	-0,010	0,060	-0,150		
	% E	5,534	0,786	0,747	0,508	3,466	0,591	0,767	0,654	2,935		

5.3.1.4. Kurtseyh Zamana Bağlı Nem Desorpsiyon

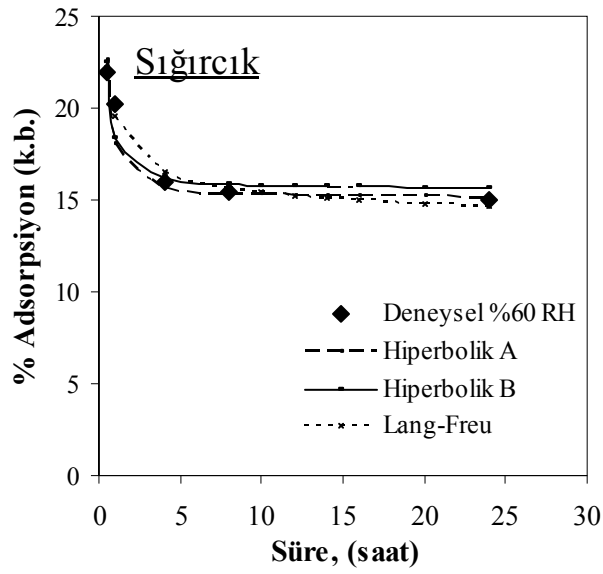
Kurtseyh sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) zamana bağlı nem desorpsiyonları incelenmiştir. Kurtseyh sepiyolit örneğinin Şekil 5.42’de zamana bağlı desorpsiyon izoterm eğrisi gösterilmektedir.25 °C ve %60 RH’da 25 °C ve %60 RH’da zamana bağlı olarak kurtseyh sepiyolit örneği için çizilen adsorpsiyon eğrisi Hiperbolik A, Hiperblik B ve Langmuir- Frendlich modellerine yerleştirilmiştir. Bu modellere bağlı olarak elde edilen değerler ise Çizelge 5.40’ta görüldüğü gibidir.



Şekil 5.42. Kurtseyh zamana bağlı nem desorpsiyonu

5.3.1.5. Sığırcık Zaman Bağlı Nem Desorpsiyon

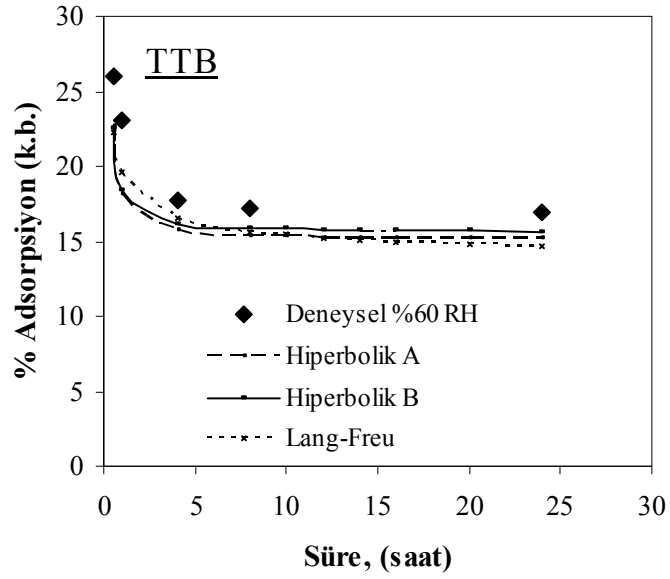
Sığırcık sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) zamana bağlı nem desorpsiyonları incelenmiştir. Sığırcık sepiyolit örneğinin Şekil 5.43’te zamana bağlı desorpsiyon izoterm eğrisi gösterilmektedir.25 °C ve %60 RH’da 25 °C ve %60 RH’da zamana bağlı olarak kurtseyh sepiyolit örneği için çizilen adsorpsiyon eğrisi Hiperbolik A, Hiperblik B ve Langmuir- Frendlich modellerine yerleştirilmiştir. Bu modellere bağlı olarak elde edilen değerler ise Çizelge 5.40’ta görüldüğü gibidir.



Şekil 5.43. Sığircık zamana bağlı nem desorpsiyonu

5.3.1.6. TTB Zamana Bağlı Nem Desorpsiyon

TTB sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) zamana bağlı nem desorpsiyonları incelenmiştir. TTB sepiyolit örneğinin Şekil 5.44'te zamana bağlı desorpsiyon izoterm eğrisi gösterilmektedir. 25 °C ve %60 RH'da zamana bağlı olarak kurtşeyh sepiyolit örneği için çizilen adsorpsiyon eğrisi Hiperbolik A, Hiperbolik B ve Langmuir- Freundlich modellerine yerleştirilmiştir. Bu modellere bağlı olarak elde edilen değerler ise Çizelge 5.40'ta görüldüğü gibidir.



Şekil5.44 TTB zamana bağlı nem desorpsiyonu

Çizelge 5.39 ve Çizelge 5.40 incelendiğinde her üç model için R^2 , $E(\%)$, e_{ort} ve RME değerleri karşılaştırıldığında adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermelerinde bakıldığında en uygun modelin Langmuir- Freundlich modeli olduğu görülmektedir. Fakat bu modele adsorpsiyon izotermelerinde düşük relatif nemlerde (%20-40) sapmalar olabilmektedir. Bu modele göre yüksek relatif nemlerde (%60 ve üzeri) daha uygun sonuçlar elde edilmektedir.

Çizelge 5.40 Zamana bağlı desorpsiyon değerleri

Model	Constans	Kurtşeyh				Sığircık				20	20		
		Reletive Nem % RH											
		20	40	60	75	20	40	60	75				
Hiberbolik A	a_d	9,675	12,07	16,845	26,698	9,621	11,46	15,039	22,74	9,5	1		
	c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	R^2	0,0909	-0,1285	0,1834	-0,2256	0,2756	-0,1052	-0,168	-0,2572	0,9977	-0		
	RME	0,21	0,29	1,44	5,68	0,14	0,21	1,02	8,03	0,22			
	e_{ort}	0,11	-0,03	0,64	3,62	0,072	-0,053	0,33	5,419	0,106			
	% E	1,48	1,85	4,86	12,34	1,014	1,493	3,288	18,104	1,567			
Hiberbolik B	a_d	9,874	12,0098	-	31,9623	-	-	15,5587	30,3661	9,6786			
	c	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	R^2	0,0802	-0,1382	-	-0,1649	-	-	-0,1546	-0,1682	0,8881			
	RME	0,9579	0,9661	-	0,9951	-	-	0,873	0,3451	0,9524			
	e_{ort}	1,14	0,29	-	3,56	-	-	0,93	4,68	0,17			
	% E	0	-0,002	-	-0,04	-	-	-0,01	-0,048	0,0001			
Langmuir Freundlich	a_d	1,22	1,63	-	9,23	-	-	4,018	12,668	1,496			
	a_d	9,7923	0,087	12,2056	63,4061	9,7292	11,1454	12,4154	0,0628	9,6923	1		
	c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	R^2	0,0937	-1,0059	-0,4666	0,4764	0,0692	-0,1387	-0,3647	-0,9984	0,8855	-0		
	RME	0,9602	0,8761	0,9834	0,6343	8202	0,9806	0,9725	0,8753	0,9524			
	% E	0,14	0,55	0,44	0,49	0,10	0,17	0,46	2,45	0,17			
e_{ort}	0	-0,002	-0,0006	0,0001	0	-0,0001	-0,0006	-0,058	0,0001				
% E	1,29	3,81	2,03	1,187	0,942	1,169	2,454	6,901	1,477				

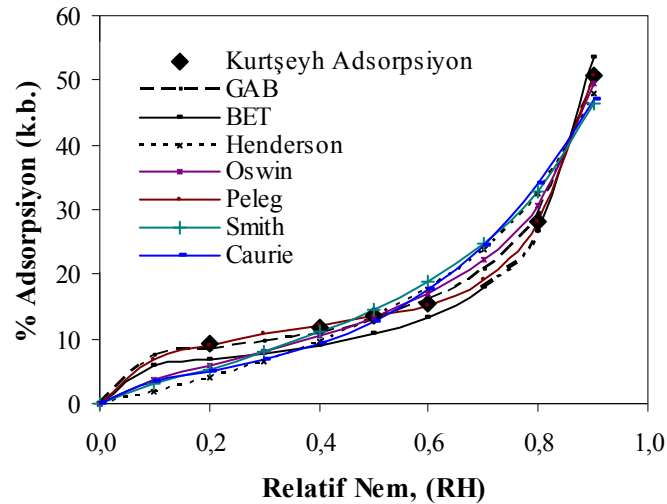
5.3.2. Relatif Neme Bağlı Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Modelleri

Farklı relatif nemlerde adsorpsiyon ve desorpsiyonda bazı modeller uygulanmıştır. Kuryşey, Sığırcık ve TTB ürünlerinin farklı reletif nemlerde adsorbsiyon ve desorpsiyonun bu modellere uyumluluğu test edilmiştir. Bu amaçla kullanılan adsorpsiyon ve desorpsiyon modelleri aşağıda gösterilmektedir.

GAP (Van den Berg and Bruin)	$X = X_m C K a_w / [(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)]$
BET (Brunauer et al. 1938)	$X = X_m C a_w / [(1 - a_w)(1 - a_w + C a_w)]$
Handerson (Henderson, 1952)	$X = [-\ln(1 - a_w) / A]^{1/B}$
Oswin (Oswin, 1946)	$X = A [a_w / (1 - a_w)]^B$
Peleg (Peleg, 1993)	$X = K_1 a_w^{n1} + K_2 a_w^{n2}$
Smith (Smith, 1947)	$X = c_1 - c_2 \ln(1 - a_w)$
Caurie (Caurie, 1970)	$X = \exp(a + b a_w)$

5.3.2.1. Relatif Neme Bağlı Kurtşeyh Nem Adsorpsiyonu

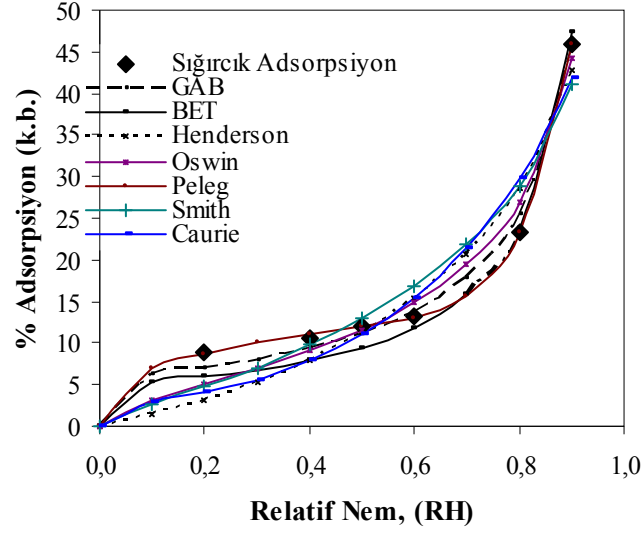
Kurtşeyh sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60, 80, 90 RH) adsorpsiyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.45. Relatif neme bağlı kurtşeyh nem adsorpsiyonu

5.3.2.2. Relatif Neme Bağlı Sığırık Nem Adsorpsiyonu

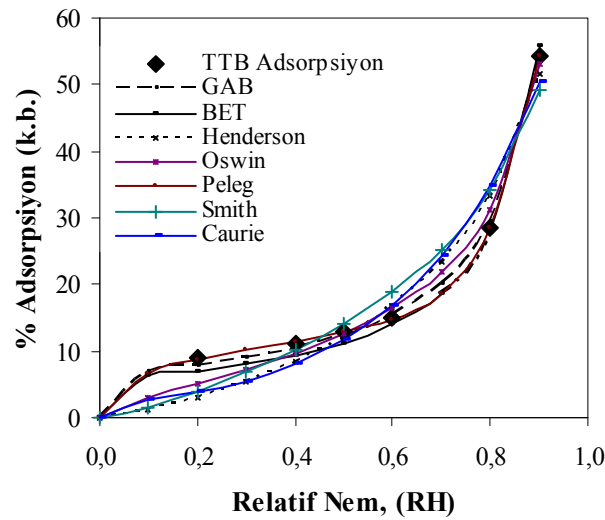
Sığırık sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) adsorpsiyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.46. Relatif neme bağlı sığırık nem adsorpsiyonu

5.3.2.3. Relatif Neme Bağlı TTB Nem Adsorpsiyonu

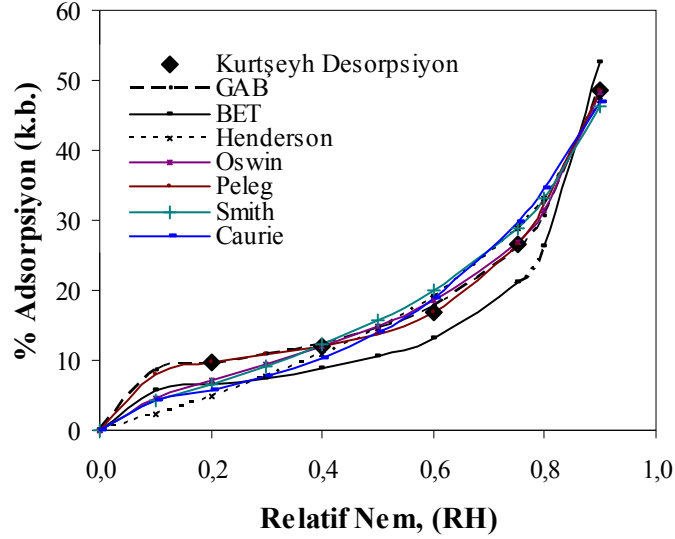
Sığırık sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) adsorpsiyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekilde gösteri



Şekil 5.47. Relatif neme bağlı TTB nem adsorpsiyonu

5.3.2.4. Relatif Neme Bağlı Kurtseyh Nem Desorpsiyonu

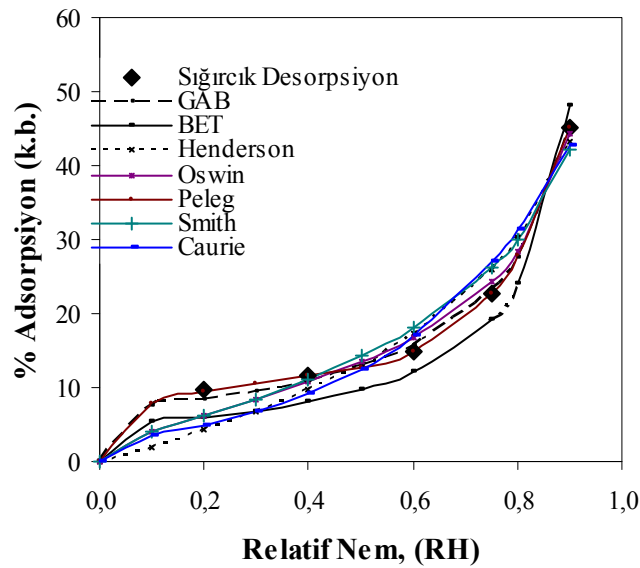
Kurtseyh sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) adsorpsiyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.48 Relatif neme bağlı kurtseyh nem desorpsiyonu

5.3.2.5. Relatif Neme Bağlı Sığircık Nem Desorpsiyonu

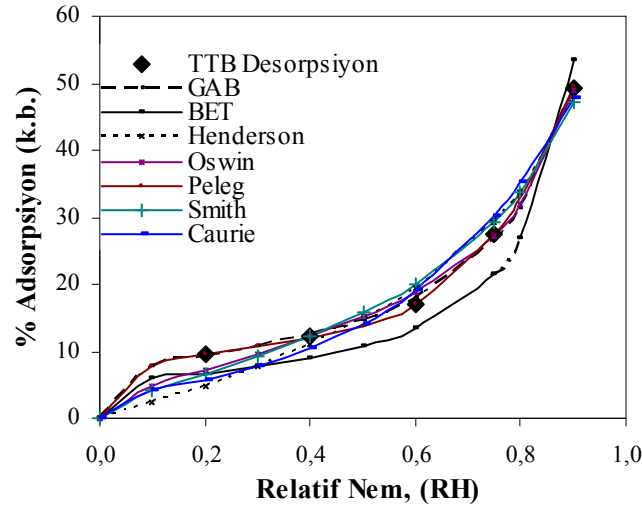
Sığircık sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) adsorpsiyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.49 Relatif neme bağlı sığircık nem desorpsiyonu

5.3.2.6. Relatif Neme Bağlı TTB Nem Desorpsiyon

Sığırcık sepiyolit numunesi sabit ortam sıcaklığı (25 °C) ve farklı bağıl nemlerde (%20, 40, 50, 60,80, 90 RH) adsorpsiyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekilde gösteri



Şekil 5.50. Relatif neme bağlı TTB nem desorpsiyonu

Çizelge 5.41'de sarpsiyon modellerin liner olmayan uygun sonuçları görülmektedir. Modelleri karşılaştırmada kullanılan r^2 , E (%), e_{ort} ve RME indisleri Çizelge 5.41'de verilmiştir. r^2 , E (%), e_{ort} ve RMSE değerlerinin en düşüğüne sahip olan modeller en uygun modeli bize verecektir. BET modeli bize nemin %40'ın altında olduğu değerlerde sepiyolit izoterminin en iyi tanımlaması şartını koyar. Handerson (1952), Peleg (1993) ve Smith (1947) modelleri tüm nem rengi boyunca sarpsiyon izoterminin uygunluğunu küçük ortalama E (%) değeri (% 10 dan daha az) ile ifade ederler. Ancak her üç sepiyolit numunesi içinde Handerson ve Smith eşitlikleri sepiyolit izotermelerinin tanımlanmasında daha az uygunluk göstermiştir. Çünkü Peleg modeli bu modele göre daha çok E (%) değeri vermektedir. Çizelge 5.41'de sarpsiyon eşitleklerinin r^2 , E (%), e_{ort} ve RMSE değerleri incelendiğinde Peleg modeli çalışılan tüm relatif neml değerlerinde diğer modellere göre en uygun değerleri vermektedir. Diğer modellerin (GAP, oswin (1946), Caurie (1970)) E değerleri incelendiğinde bunlar sonuçların ifadesi için uygun olmadıkları bulunmuştur. Sonuç olarak 25 °C ve farklı relatif nemlere maruz bırakılan her üç sepiyolitinin değişen ortam nemine bağlı olarak çizilen adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermelerinin farklı modellerle sepiyolit numuneleri için en uygun olanının yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı Peleg modelinin olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.41 Relatif neme bağılı adsorpsiyon ve desorpsiyon değerleri

Model	Constans	Adsorpsiyon			Desorpsiyon		
		Kurtseyh	Sığircık	TTB	Kurtseyh	Sığircık	TTB
GAB	X _m	6,66	0,293	6,36	7,75	6,79	8,13
	C	1,9*10 ¹⁵	0,09 ¹⁵	6,12 ¹⁶	1,37	6,7 ¹⁵	63,39
	K	0,96	0,97	0,98	0,93	0,94	0,93
	r ²	0,9985	0,9892	0,9983	0,9985	0,997	0,998
	E	4,501	9,0594	4,4006	2,4755	4,9602	3,0421
	eave	0,17	0,35	0,17	-0,03	0,144	-0,04
	RMSE	0,72	1,39	0,66	0,54	0,72	0,64
BET a	X _m	5,33	4,73	5,62	5,2	4,8	5,36
	C	3,7*10 ¹⁵	3,8*10 ¹⁵	3,2*10 ¹⁵	1,09*10 ¹⁵	2,9*10 ¹⁵	1,2*10 ¹⁵
	r ²	768	0,9789	0,9927	0,9435	0,9548	0,9441
	E	16,3717	15,9036	10,2521	22,1144	21,7793	21,4366
	eave	1,56	1,28	0,92	2,32	2,05	2,28
	RMSE	2,49	2,11	1,46	4,06	3,31	4,1
Hendersan	A	2,72	1,8	2,7	2,7	2,7	2,7
	B	1,08	1,1	1,2	0,9	1	0,98
	r ²	0,952	0,9258	0,9544	0,9665	0,945	0,9708
	E	19,1342	23,4457	21,9365	16,9651	21,2136	16,361
	eave	0,71	0,82	0,91	0,59	0,72	0,57
	RMSE	3,32	3,74	3,6	2,73	3,23	2,6
Oswin	A	13,44	14,99	11,54	13,4	12,58	15,13
	B	0,59	0,53	0,61	0,54	0,65	0,53
	r ²	0,9831	0,9657	0,9839	0,9906	0,9801	0,992
	E	11,147	15,6322	13,0453	7,6639	12,2564	7,3164
	eave	0,34	0,45	0,44	0,19	0,32	0,17
	RMSE	1,92	2,48	2,14	1,4	1,88	1,32
Peleg	K ₁	17,62	14,91	14,62	14,66	14,63	14,62
	n ₁	0,4	0,33	0,26	0,25	0,26	0,26
	K ₂	84,13	92,63	60,5	60,04	62,12	60,5
	n ₂	8,65	10,21	5,14	5,3	6,64	5,14
	r ₂	0,9997	0,9998	0,9997	1	1	1
	E	1,3538	1,3425	1,7923	0,1938	0,5263	0,4607
	eave	0	0	0	0	0	0
	RMSE	0,23	0,2	0,29	0,04	0,09	0,08
Smith	c ₁	0,88	0,82	0,87	2,39	2,35	2,15
	c ₂	19,77	17,44	21,72	19,09	17,25	19,59
	r ₂	0,9452	0,9123	0,9329	0,971	0,9461	0,9742
	E	17,244	20,6832	21,5635	12,5753	16,3648	12,2875
	eave	0	0	0	0	0	0
	RMSE	3,37	3,83	4,12	2,39	2,95	2,31
Caurie	a	0,92	0,72	0,6	1,13	0,98	1,11
	b	3,26	3,35	3,68	3,02	3,08	3,05
	r ²	0,9428	0,9109	0,9432	0,9667	0,9418	0,9713
	E	19,3248	23,6833	22,4902	16,807	21,1556	16,1934
	eave	0,62	0,71	0,83	0,52	0,65	0,51
	RMSE	3,6	4,04	4	2,7	3,3	2,57

6.GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sepiyolitın nem alıcı (desikant) kil üretimine yönelik bu çalışmada ülkemizdeki morfolojik, yapısal ve dokusal özellikleri farklı olan 5 farklı sepiyolit numunesiyle çalışılmıştır. Bu numuneler Kurtşeyh, Sığırcık, TTB, Kurtşeyh Cat ve Ahiler Cat isimli numunelerdir.

Beş farklı sepiyolit numunesinin öncelikle fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu için kimyasal ve mineralojik analizler ile DTA, TG ve boyut analizi çalışmaları yapılmıştır. Bu analizler sonucunda TTB, Sığırcık ve Kurtşeyh sepiyolitlerinin sepiyolit içeriklerinin yüksek olduğu görülmüş, diğer iki sepiyolit (Kurtşeyh Cat ve Ahiler Cat) numunesinin sepiyolit içeriklerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle sepiyolit içerikleri yüksek olan TTB, Sığırcık ve Kurtşeyh numuneleri ile çalışmalara devam edilmiştir.

Kimyasal analiz sonuçlarına göre; Ahiler Cat ve Kurtşeyh Cat içerdikleri %19,6 ve %17,6 CaO içeriği ile en düşük kaliteli, Kurtşeyh, Sığırcık ve TTB ise kaliteli sepiyolit örneklerindedir.

XRD Analizlerinden; numunelerin gang mineralleri olarak kuvars, dolomit, kalsit ve albit içerdiği tespit edilmiştir. Kurtşeyh Cat ve Ahiler Cat numunelerinin yüksek kalsit ve manyezit içeriklerini kimyasal analiz sonuçlarında teyit etmektedir. Sepiyolitlerle yapılan hidrosiklon çalışmalarında çok düşük katı konsantrasyonlarında (%3-4) çalışılmasına rağmen sepiyolitın çok hızlı bir şekilde jel oluşturarak ortam viskozitesini artırarak siklon ayırma performansını negatif olarak etkilediği görülmüştür. Sepiyolitteki zenginleştirme çalışmalarından elde edilen ürünlerin kalitelerindeki değişim yapılan görünür viskozite okumaları ile takip edilmiştir.

Hidrosiklon sonrası elde edilen ürünlerle yapılan nem tutma testleri sonrasında ürün kalitesindeki artışa paralel olarak nem tutma kapasitesinde bir artış olmuş fakat istenilen düzeylere ulaşamamıştır.

Japon ve Amerikan Standartları'na göre olması gereken desikant boyutlarında sepiyolit numuneleri boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan bu gruplarda yapılan desikant çalışmaları sonucu sepiyolitlerin boyuta bağlı olarak nem alma kapasitesinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

Sepiyolitın sıcaklığa bağlı olarak nem alma kapasitesindeki değişimi araştırmak amacıyla 90, 105, 120, 150, 200, 225, 250, 300 ve 350 °C'de ısı aktivasyon çalışmaları

yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda 300 °C 'ye kadar sepiyolitın nem alma kapasitesinde artış gözlenmişken, sıcaklığın daha fazla artırılması durumunda ise yapı bozulmasından dolayı sepiyolitın nem alma kapasitesinde ani bir düşüş gözlenmiştir.

300 ile 200 °C arasında gerçekleştirilen ısı aktivasyon işlemleri sonucunda ise sepiyolitlerin nem alma kapasitelerindeki artışın çok fazla olmadığı görülmüş, bundan dolayı da 200 °C ısı aktivasyonun yeterli olacağı düşünülmüştür. Bu sıcaklığın teyidi için sıcaklığa bağlı yüzey alan ölçümleri yapılmıştır.

Ortam neminin sepiyolitın nem alma kapasitesine etkisini araştırmak için düşük, orta ve yüksek bağıl nemlerde (%20, 50 60, 80 ve 90) çalışmalar yapılmış, nem oranı arttıkça sepiyolitın nem tutma kapasitesinin özellikle %50 relatif nemden sonra hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür.

Sepiyolitlerle yapılan nem alma kapasiteleri %20 ve %90 bağıl nem değerlerinde standartları yakalarken, %50 bağıl nemde bu standartları yakalayamamaktadır.

Sepiyolitlerin nem tutma kapasitesinin artırılması aynı zamanda desikant standartları olan % 50 relatif nemde % 20 nem tutma kapasitesine ulaşılabilmesi için farklı inorganik tuzlarla çalışmalar yapılmıştır. Bu tuzların sepiyolitın nem tutma kapasitesini artırdığı görülmüştür. Bunların etkinlik dereceleri ise $\text{LiCl} > \text{CaCl}_2 > \text{MgCl}_2$ şeklinde olmuştur. Standartlara uygunluk için bu tuzlardan sepiyolitlere katkı malzemesi olarak LiCl için %3, CaCl_2 için %5 ve MgCl_2 için ise %7 oranında karıştırılması gerekmektedir. Buna karşılık deneylerde kullanılan Na_2SO_4 MgO ve Al_2O_3 'un sepiyolitın nem tutma kapasitesini azalttığı yani negatif etki yaptığı görülmüştür.

Sepiyolitlerin %50 relatif nemde nem tutma kapasiteleri ortam sıcaklığı 25 °C'den 60 °C'ye çıkarıldığında azalmaktadır. Buda ortam sıcaklığının yüksek değerlere ulaştığı yerlerde sepiyolitın desikant olarak kullanılma olasılığını azaltmaktadır. Fakat bu olumsuz durumdan sepiyolite ilave edilecek CaCl_2 gibi katkı malzemesi oranının artırılarak ortadan kalkacağı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Abend, S. and Lagaly, G., 2000. Sol-gel transitions of sodium montmorillonite dispersions, *Applied Clay Science*, 16, 201-227.
- [2] Aglietti, E.F., Porto Lopez, J.M. and Pereira, E., 1986a. Mecanochemical effects in kaolinite grinding, I. Textural and physicochemical aspects, *Int. J. Miner Process*, 16, 125-133.
- [3] Aglietti, E.F., Porto Lopez, J.M. and Pereira, E., 1986b. Mecanochemical effects in kaolinite grinding, II. Textural and physicochemical aspects, *Int. J. Miner Process*, 16, 135-146.
- [4] Alemdar, A., 2001. Bentonit ve Montmorillonit Dispersiyonlarının Reolojik, Viskoelastik, Kolloidal özellikleri üzerine organik ve inorganik Tuzların etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fizik Mühendisliği, İstanbul.
- [5] Alkan, M., Demirbaş, Ö. and Doğan, M., 2005. Electrokinetic properties of sepiolite suspensions in different electrolyte media, *Journal of Colloid and Interface Science*, 281, 240-248.
- [6] Alvarez, A., 1984. Sepiolite: Properties and Uses, In: Palygorskite-Sepiolite Occurrences, Genesis and Uses, Ed. Singer, A. ve Galan, E., *Developments in Sedimentology*, 37, 253-287, Elsevier, Amsterdam.
- [7] Alvarez, A., 1984. Sepiolite: properties and uses. In: Singer, A., Galan, E. Eds. , Palygorskite-Sepiolite. Occurrences, Genesis and Uses. *Developments in Sedimentology*, vol. 37, Elsevier, Amsterdam, pp. 253-287.
- [8] Aznar, A.J., Casal, B., Ruiz-Hitzky, E., Lopez-Arbeloa, F., Santaren, J. and Alvarez, A., 1992. Adsorption of methylene blue on sepiolite gels: Spectroscopic and rheological studies, *Clay Miner*, 27, 101-108.
- [8] Balcı, S., 1995. Sepiyolitin ısıl bozunması ve asit ön aktivasyonunun gözenek yapısı üzerine etkileri, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 221-231.
- [9] Barnes, H.A., 1980. Dispersion rheology, *Royal Soc. Of Industrial Division*, London.
- [10] Barnes, H.A., 1997. Thixotropy – a review, *J.Non-Newtonien Fluid Mech.*, 70, 1-33.
- [11] Barnes, H.A., Hutten, J.F., Walters, K., 1989. An Introduction to Rheology, *Rheology Series-3, Elsevier Science*, Amsterdam.
- [12] Barrer, R.M., Mackenzie, N. and Macleud, D.M., 1954. Sorption by attapulgite: Part II. Selectivity shown by attapulgite, sepiolite and montmorillonite for n-paraffins, *Journal of Physical Chemistry*, 58, 568-572.
- [13] Barios, M.S., Flores Gonzalez L. V., Vicente Rodriguez, M. A. And Martin Pozas, J. M., 1995. Acid activation of a palygorskite with HCl: Development of physico-chemical, textural and surface properties, *Applied Clay Science*, 10, 247-258.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [15] Brauner, K., Preisinger, A., 1956. Struktur und Entstehung des Sepioliths. *Tschermaks Mineral. Petrog. Mitt.* 6, 120–140.
- [16] Baykara, T. ve Göktaş, A.A., 1994. Sepiyolit: seramik malzeme olarak sinterleme davranımı ve fiziksel özellikleri, *II. Seramik Kongresi*, Cilt I, 167-180.
- [17] Bradley, W.F., 1940. The structural scheme of attapulgit, *Minerologist*, 25, 405.
- [18] Nagy, B., W.F., 1955. The structural scheme of sepiolite, *American Mineralogist*, 40, 855-892
- [19] Galan, E., 1996. Properties and applications of palygorskite–sepiolite clays. *Clay Miner.* 31, 443–453.
- [20] Lagaly, G., 1989. Principles of flow of kaolinite and bentonite dispersions, *Applied Clay Science*, 4, 105-123
- [21] Jones, B.F. and Galan, E., 1988. Sepiolite and palygorskite, in *Hydrous Phyllosilicates, Reviews in Mineralogy*, 19, Eds. Bailey, S.W., Mineralogical Soc. America, Michigan, 631-667
- [22] Yenyol, M., 1992. Yenidoğan (Sivrihisar) sepiyolit yatağının jeolojisi, mineralojisi ve oluşumu, *MTA Dergisi*, 114, 71-84.
- [23] Fersman, A.E., 1913. Research on magnesium silicates, *Zap. Imp. Acad. Nauk.*, 32, 321-430
- [24] Migeon, G., 1936. Sepiolites, *Bull. Soc. Franc. Mineral*, 59, 6-134.
- [25] Çetişli, H., 1985. Asetik asit ile n-bütanolün Eskişehir sepiyoliti üzerine esterleşmesi, *A.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1, 109-117.
- [26] Çetişli, H., 1989. Eskişehir sepiyolitinin yüzey asit-baz özellikleri, *TUBİTAK Doğa TU Mühendislik ve Çevre Dergisi*, 13, 2, 213-227.
- [27] Çınar, M., (2005). Sepiyolit reolojik özelliklerinin belirlenmesi ve su bazlı sepiyolit üretimi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Çınar, M., Çelik, M.S., (2006). Yüksek viskoziteli endüstriyel uygulamalarda sepiyolit in öğütme mekanizması, *İtüdergisi/d Mühendislik*, 5, 68-78.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

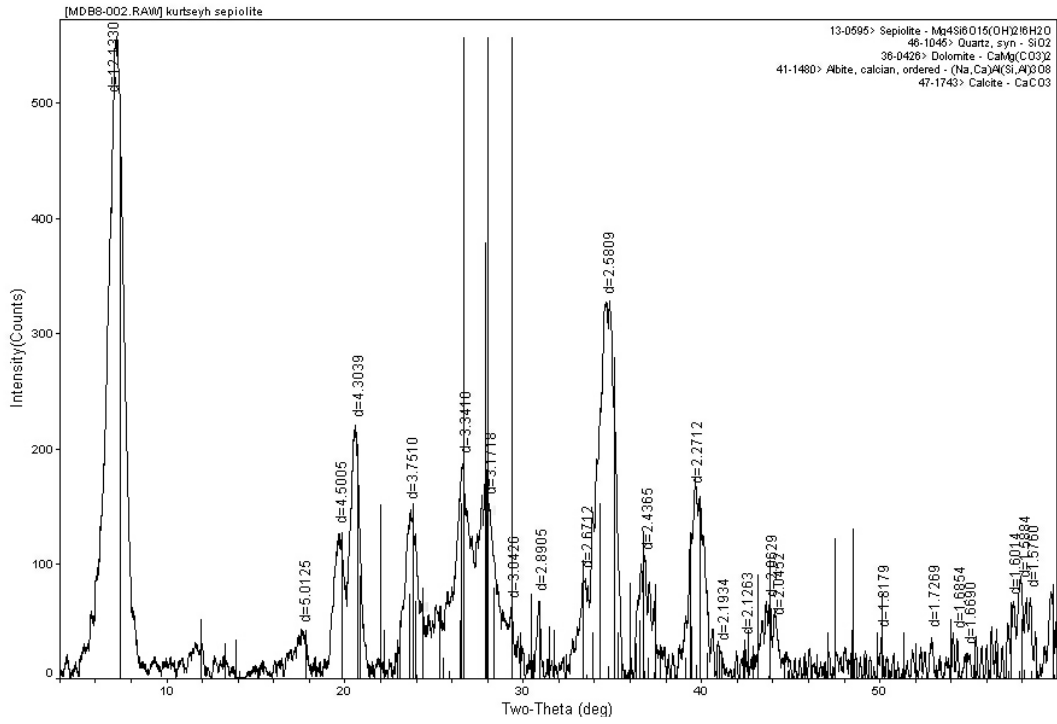
- [29] Çınar, M., Sabah, E., Can, M.F., Karagüzel, C. ve Çelik M.S., (2008). The Rheological Properties of Sepiolite Ground in Acid and Base Environment, *Applied Clay Science*, Baskıda
- [30] Basaldella, E.I., Kikot, A. and Pereira, E., 1997. Synthesis of zeolites from mechanically activated kaolin clays, *Reactivity of Solids*, 8, 169-177.
- [31] Can, M.F., 2009, Sepiyolit epoksi nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [32] Coşkun, M., 2003, Coğrafya öğretiminde nem konusundaki kavram yanlışlıkları ve giderilmesine yönelik öneriler, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Gazi Üniversitesi, Cilt 23, Sayı 3, 147-158
- [33] Dinçer, D., 2006, Silivri Büyükkılıçlı yöresi bentoniti ve nem giderme kapasitesinin araştırılması, Lisans Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi, İstanbul
- [34] Fire, E., 2003, Storage Tips: Desiccant and the Storega of Chemicals, *Erowid Extracts*, No: 4
- [35] TÜBİTAK 106G106, 2007, Devam Eden Kamu Projesi, Tübitak M.A.M
- [36] <http://www.desikimya.com/eak.html>, 2007
- [37] <http://www.desiccant.com.cn/about.asp>, 2007
- [38] Konukçu, E., 2007, Bentonitten Nem Emici (Desikant) Kil Üretimi, Lisans Tezi, İTU, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
- [39] Orhun, F., 2006, Lalapaşa Bentonitlerinin Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi ve Rutubet Kontrolünde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [40] Chimeddorj, M, 2008, Farklı Bentonitlerin Nem Alıcı (Desikant) Özelliklerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [41] Pasın, G., Acar, J., 1985, Kilin Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları, 2. Ulusal Kil Sempozyumu, 497-505, Ankara,
- [42] Rahle, U., 2006, “Desiccant Kurutma ile Nem Kontrolü”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı 95, s. 37-42
- [43] Roskill, 1979, The Economics of Bentonite, Fuller’s Earth and Applied Clays, Roskill Inf, Serv. (Ireland) Ltd, 128., London

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

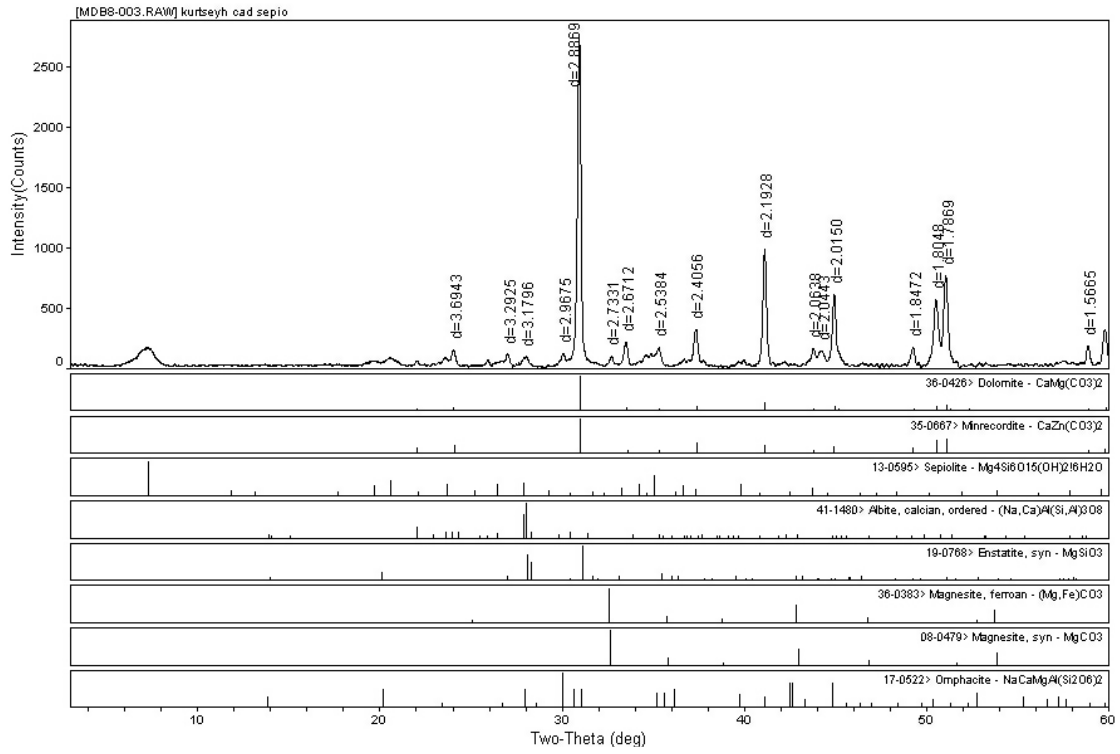
- [44] Roskill, 2005, The Economics of Bentonite, Roskill Inf, Serv. (Ireland) Ltd, London
- [45] Rozes, B., 1981, Sodium-exchanged bentonites in France, Industrial Minerals, pp. 59-64
- [46] Sağlamer, A. ve İncecik, M., 1985, Bentonit bulamaçlı diyafram duvarlar, 2. Ulusal Kil Sempozyumu, 387-396, Ankara
- [47] Sarıkaya, Y., Ceylan, H., Biçer, C., Biçer, N., Bozdoğan, İ., Killerin Ağartıcı Özellikleri, 2. Ulusal Kil Sempozyumu, 507-512, Ankara, 1985
- [48] Caturla, F., Molina-Sabio, M. And Rodriguez-Reinoso, F. 1999. Adsorption-desorption of water vapor by natural and heat-treated sepiolite in ambient air, Applied Clay Science, 15, 367-380.
- [49] Fujiwara, I., Sato, M., 1992. Adsorption of water vapor on sepiolite for chemical heat pumps. J. Chem. Eng. Jpn. 25 5 , 609–611.
- [50] Gonzalez, J. C., Molino-Sabio, M. And Rodriguez- Reinoso, F. 2001. Sepiolite- based adsorbents as humidity controller, Applied Clay Science, 20, 111-118.
- [51] Grillet, Y., Cases, J.M., Francois, M., Rouquerol, J., Poirier, J.E., 1988. Modification of the porous structure and surface area of sepiolite under vacuum thermal treatment. Clays Clay Miner. . 36 (3) , 233–242.
- [52] Murray, H.H., 1999. Applied clay mineralogy today and tomorrow. Clay Miner. 34, 39–49. Rautureau, M., Mifsud, A., 1977. Etude par microscope electronique des differents etats d'hydratation de la sepiolite. Clay Miner. 12, 309–318.
- [53] Aguerre, R.J., Suarez, C., Viollaz, P.E., 1986, Enthalpy compensation in sorption phenomena: application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. Journal of Food Science 51, 1547-1549.
- [54] Aviara, N.A., Ajibola, O.O., Oni, S.A., 2004. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of bean Biosystems Engineering 87, 179-190
- [55] Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E., 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers Journal of the American Chemical Society 60, 309.
- [56] Henderson, S.M., 1952. A basic concept of equilibrium moisture. Agricultural Engineering 33, 29-32

EKLER

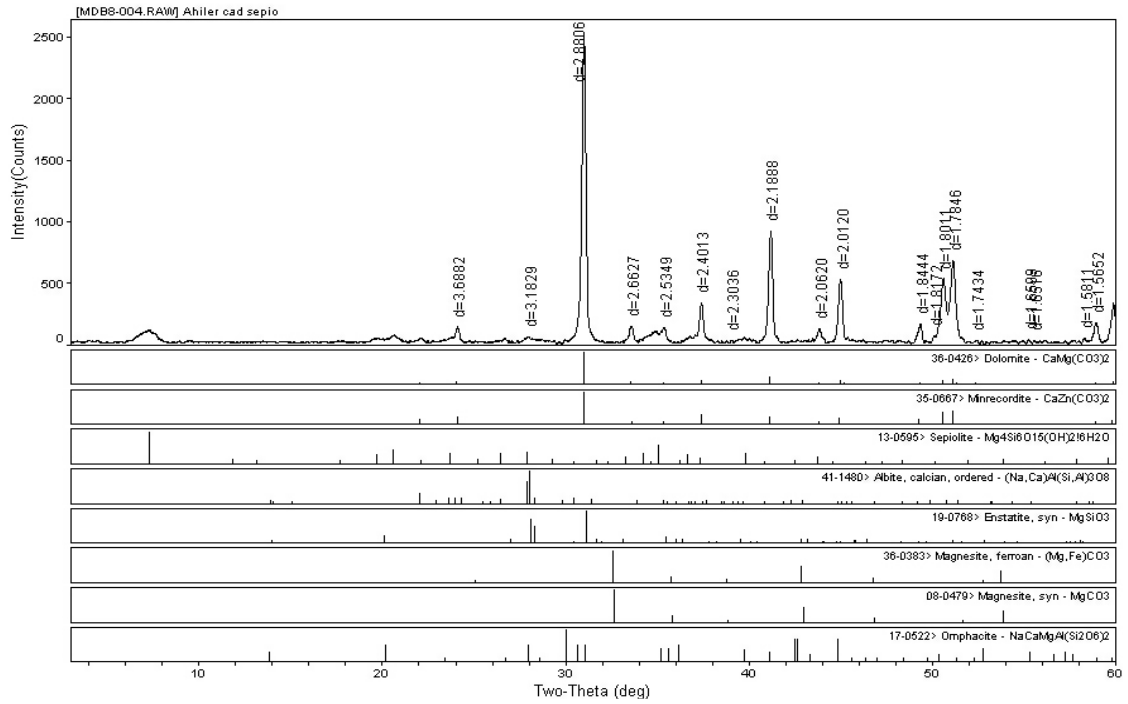
EK A : XRD Analiz Grafikleri



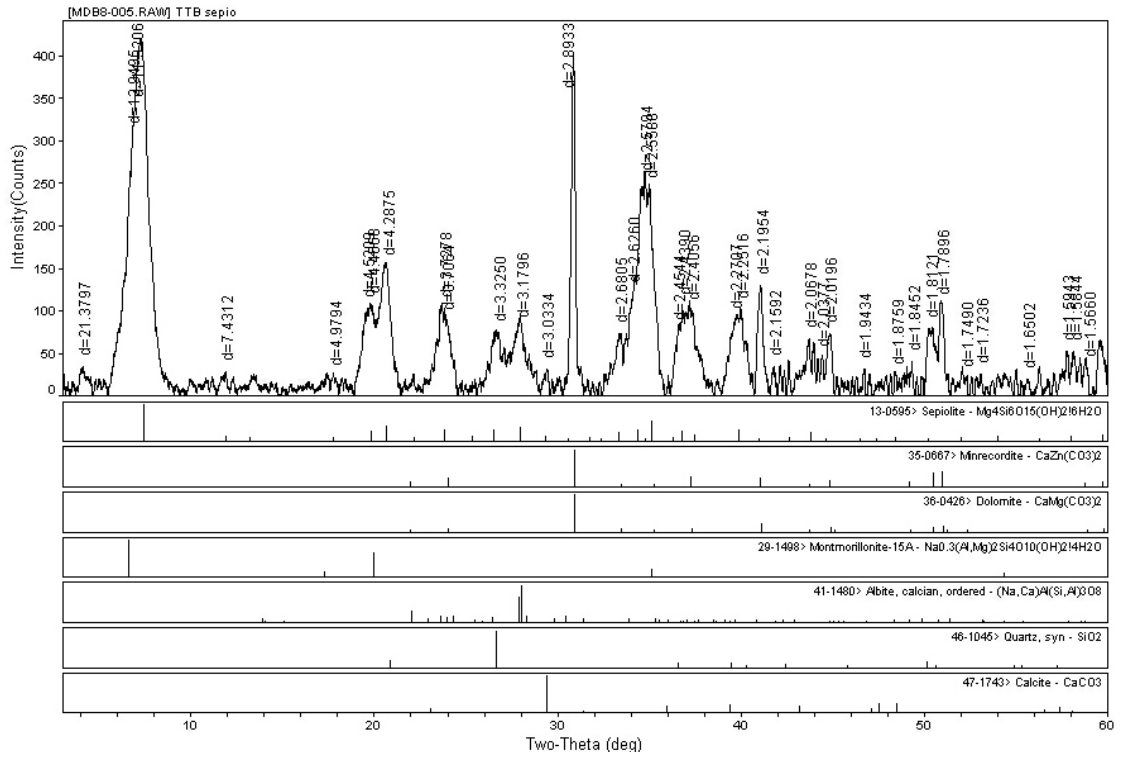
Şekil A.1: Kurtseyh Sep örneğinin XRD analizi



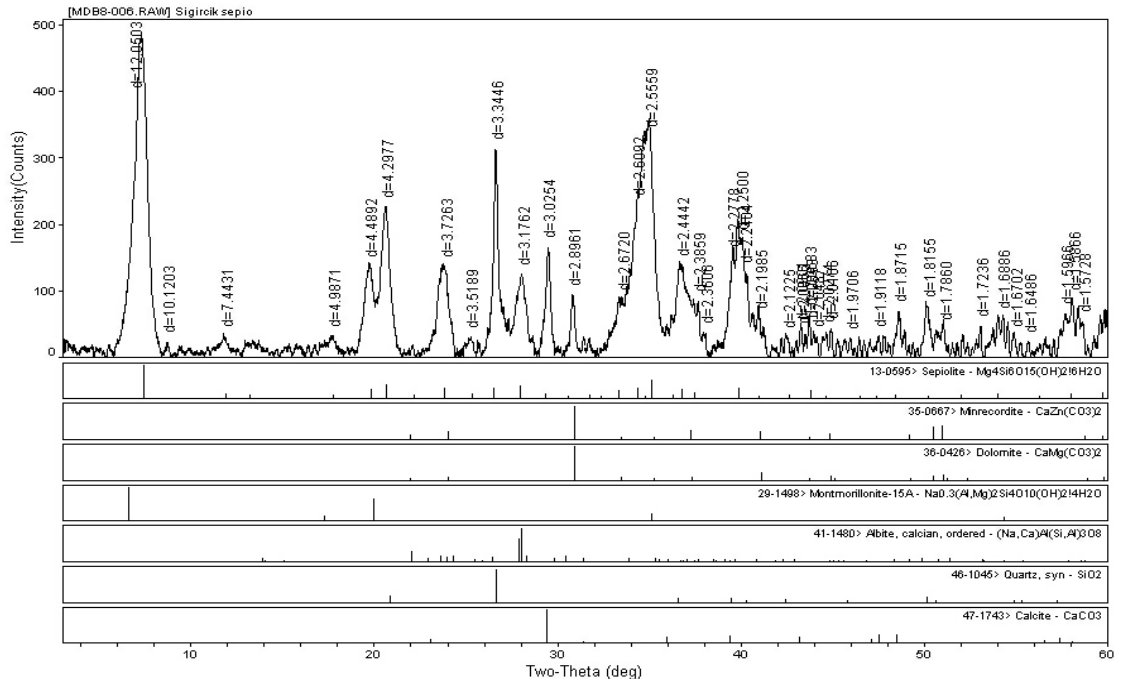
Şekil A.2 : Kurtseyh Cat örneğinin XRD analizi



Şekil A.3. Ahiler Cat örneğinin XRD analizi

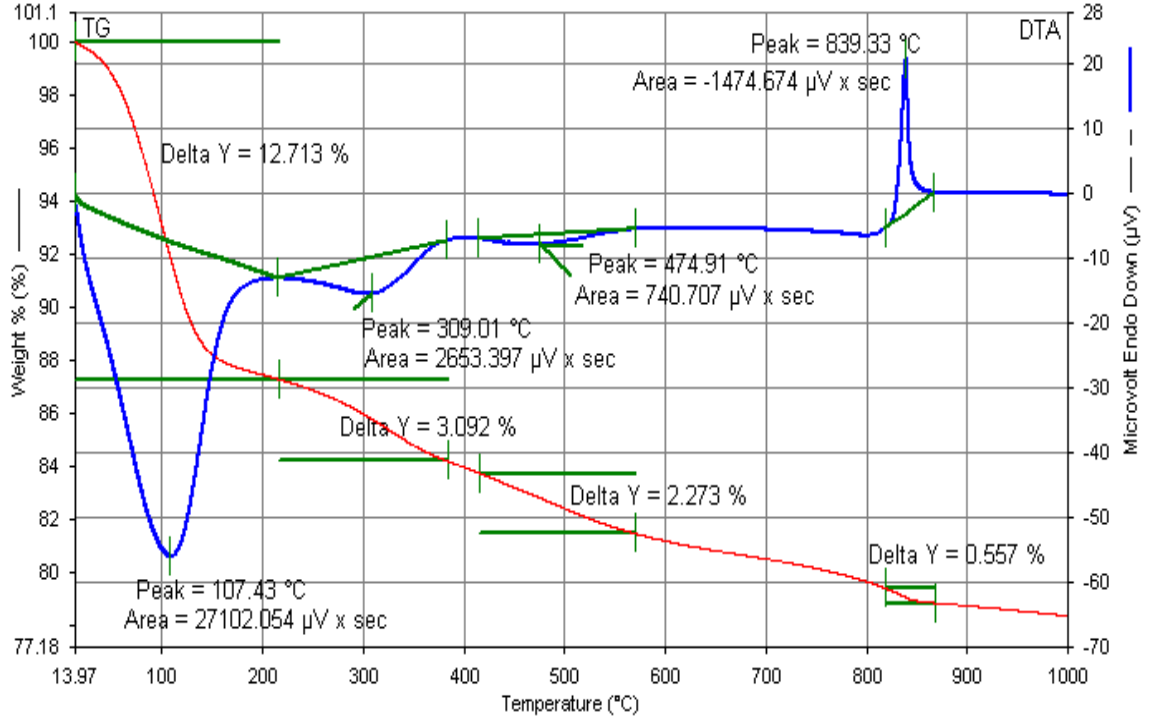


Şekil A.4. TTB örneğinin XRD analizi

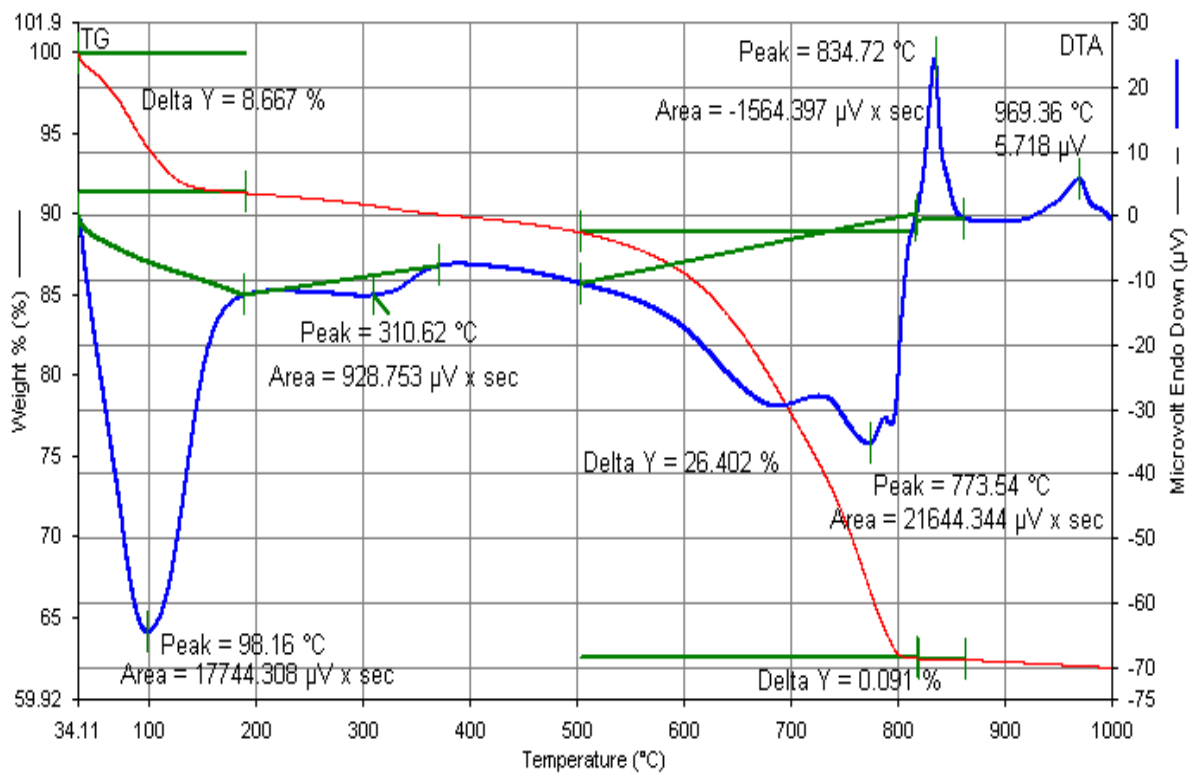


Şekil A.5. Sığircik Sep örneğinin XRD analizi

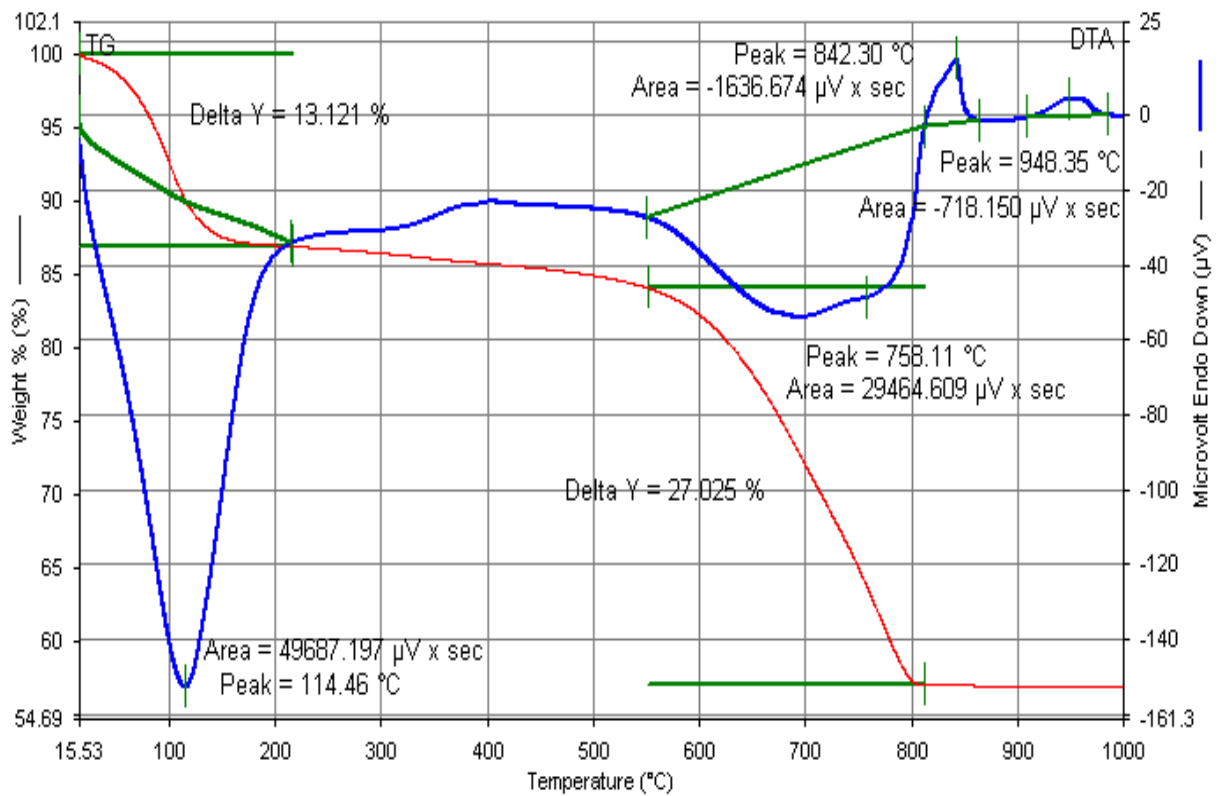
EK B. DTA-TG Analiz Grafikleri



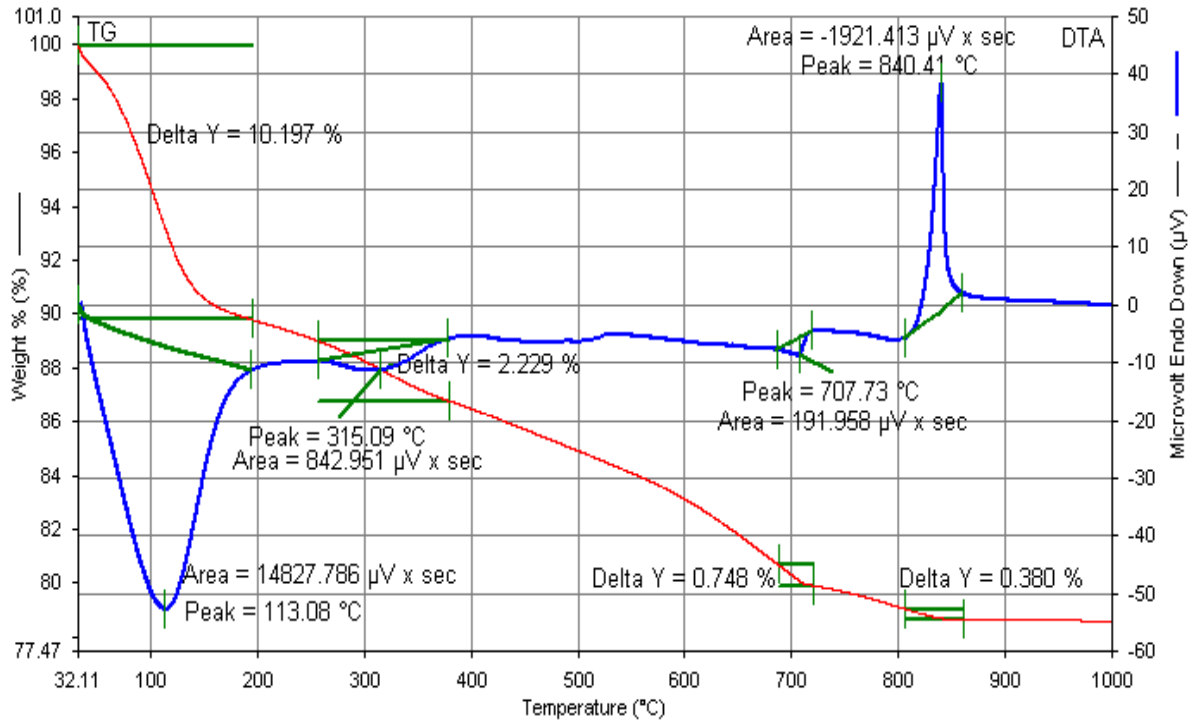
Şekil B.1. Kurtseyh Sep örneğinin DTA-TG analizi



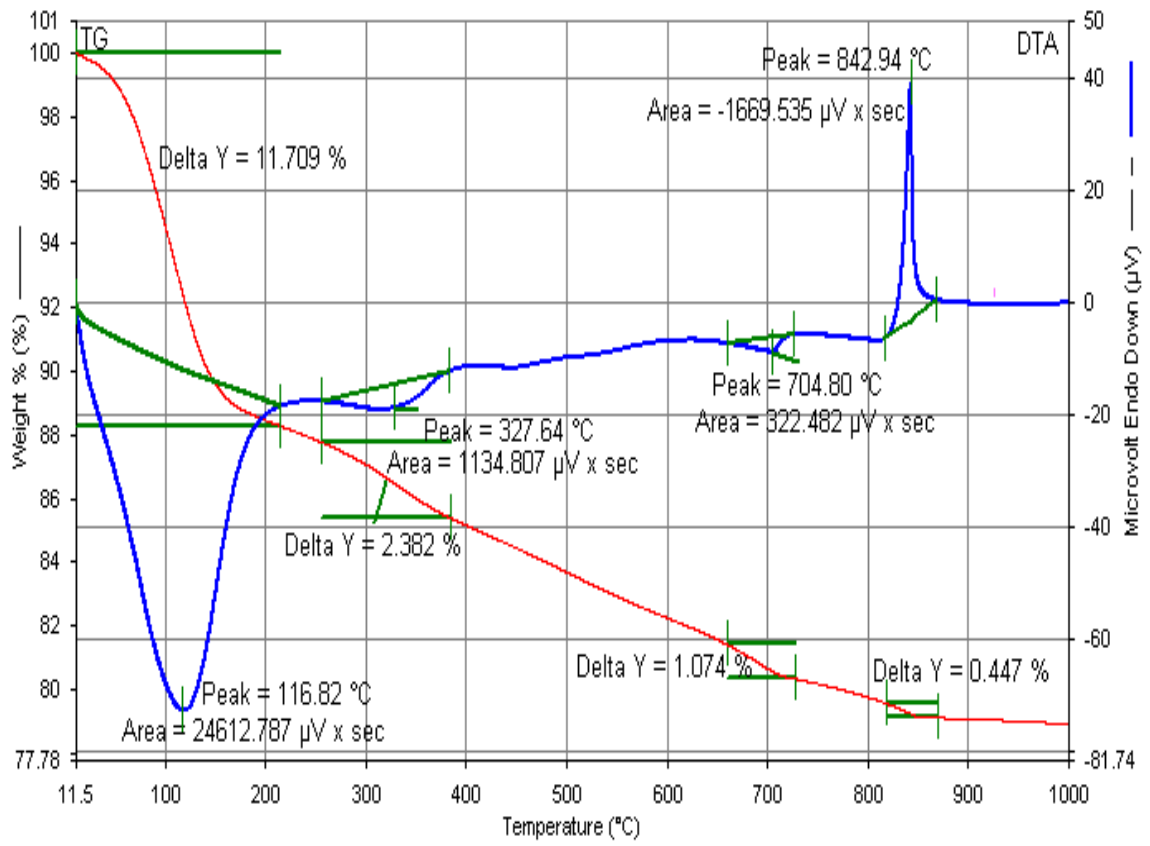
Şekil B.2. Kurtseyh Cat örneğinin DTA-TG analizi



Şekil B.3. Ahiler Cat örneğinin DTA-TG analizi



Şekil B.4. TTB örneğinin DTA-TG analizi



Şekil B.5. Sığırıcık Sep örneğinin DTA-TG analizi

ÖZGEÇMİŞ

Gafure ERSEVER Adıyamanda doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adıyamanda tamamladıktan sonra 2001 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı.2005 yılında lisans eğitimini tamamladı.2006 yılında aynı üniversitede Cevher Hazırlama üzerine yüksek lisansa başladı.2009 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.