



**T.C.  
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOBENTONİT ELDESİ ve KARAKTERİZASYONU**

**ONUR ESER KÖK**

**PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY  
TEMMUZ - 2017**

**T.C.  
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOBENTONİT ELDESİ ve KARAKTERİZASYONU**

**ONUR ESER KÖK**

**PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY  
TEMMUZ - 2017**

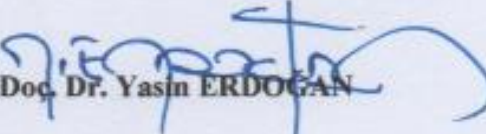
**NANOBENTONİT ELDESİ ve KARAKTERİZASYONU**


**ONUR ESER KÖK**

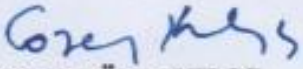
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ISKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**PETROL ve DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN danışmanlığında hazırlanan bu tez **28.07.2017** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN  
Başkan

  
Prof. Dr. Ergül YAŞAR  
Üye

  
Prof. Dr. Özen KILIÇ  
Üye

KOD NO: 60

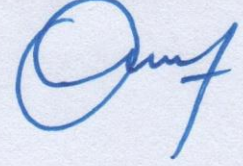
**Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ**  
Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

ONUR ESER KÖK





## ÖZET

Bu çalışma, Çankırı Eldivan bölgesine ait TSE EN ISO 13500 standardına uygun sondaj çamurlarında kullanılan sodyum bentonit kilinin laboratuvar şartlarında nano boyuta indirgenmesiyle ilgilidir. Sodyum bentonit kili ilk önce öğütme işlemine tabi tutulmuş, sonrasında gravite yöntemi ile ayrıştırma yapılarak bünyesindeki ağır metal ve organik bileşikler uzaklaştırılarak saflaştırılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda üretilen nihai ürüne Nanobentonit-1 adı verilmiştir. Sonrasında Nanobentonit-1'in üretim aşamasını hızlandırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla önce 475 °C'lik bir ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve bünyesindeki su molekülleri uzaklaştırılmıştır. Ardından tekrar öğütme işlemi uygulanmış ve gravite yöntemi ile ayrıştırılarak saflaştırılmıştır. Oluşan ürüne Nanobentonit-2 adı verilmiştir. Ortaya çıkan ürünlerin (Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2) fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak Nanobentonit-2'nin karakterizasyonu belirlenmiştir.

2017, 87 Sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Kil, Na-Bentonit, Sondaj Çamuru, Nanobentonit

## ABSTRACT

This study related to reduction of sodium bentonite clay used in drilling muds according to TSE EN ISO 13500 standard of Çankırı Eldivan region to nano size in laboratory conditions. Sodium bentonite clay was first subjected to grinding, followed by separation with gravity method and purification by removing heavy metals and organic compounds. The finished product, which is produced as a result of the processes carried out, is named Nanobentonite-1. Subsequently, in order to accelerate the production process of Nanobentonite-1 and to reduce the cost, it was first subjected to a heating process of 475 ° C and the water molecules within it were removed. Then, grinding was applied again and it was purified by gravity method. The resulting product was named Nanobentonite-2. The physical and chemical analyzes of the resulting products (Nanobentonite-1 and Nanobentonite-2) were carried out and the characterization of Nanobentonite-2 was determined.

2017, 87 Pages

**Key Words:** Clay, Sodium Bentonite, Drilling Mud, Nanobentonite

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılmasında ve yazımı sırasında sahip olduğu donanımlı bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmamı yönlendiren, her türlü yardımını esirgemeyen ve gerek fikirleri gerek ise davranışları ile rol modelim olan, hayatım boyunca vefa borcumu ödeyemeyeceğim ve asla unutamayacağım saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN'a sonsuz saygı, teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Çalışmamın yürütülmesi esnasında motivasyon desteğini her zaman hissettiğim İskenderun Teknik Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Türkay DERELİ'ye, Maden Tetkik Arama Genel Müdür Yardımcısı Sn. Cevat GENÇ'e İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölüm Başkanı Sn. Prof. Dr. Ergül YAŞAR'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tecrübeleri ile desteğini hiç esirgemeyen ve samimiyet ile yardımcı olan Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Özen KILIÇ hocama ve Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Yrd. Doç. Dr. Nergis KILINÇ MİRDALI hocama saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında motivasyon desteğini esirgemeyen, maddi ve manevi olarak yardımını koşulsuz sağlayan, hayatım boyunca desteklerine muhtaç olduğum ve olacağım annem Serpil KÖK ve babam Kazım KÖK'e sonsuz saygı, teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteğini hissettiğim, manevi emeğini asla esirgemeyen ve daima yardımcı olan Ceyda BERBER'e de saygı, teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmalarında gerekli laboratuvar imkanlarını sağlayan İskenderun Teknik Üniversitesi (İSTE) Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'ne, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ve Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. BENTONİTİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1. Tanımı ve Genel Yapısı.....	4
2.1.1. Bentonitin Oluşumu.....	5
2.1.1.1. Hidrotermal Alterasyon.....	5
2.1.1.2. Diyajenetik Oluşum.....	6
2.1.1.3. Meteorik ve Yüzeysel Ayrışma.....	7
2.1.2. Bentonit Mineralojisi.....	8
2.2. Bentonit Türleri.....	9
2.2.1. Sodyum Bentonit.....	10
2.2.2. Kalsiyum Bentonit.....	10
2.2.3. Ara Tip Bentonit.....	11
2.3. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler.....	11
2.3.1. Şekli ve Rengi.....	11
2.3.2. Özgül Ağırlığı.....	11
2.3.3. Şişme Özelliği.....	11
2.3.4. Viskozite.....	12
2.3.5. Tikotropi Özelliği.....	13
2.3.6. Tane Boyutu.....	13
2.3.7. Plastiklik Değeri.....	14
2.3.8. Isıl Özellikleri.....	14
2.3.9. Adsorbsiyon Özelliği.....	14

2.3.10. Elektriksel Özellikleri.....	15
2.3.11. Katyon Değişirme Kapasitesi (KDK).....	15
2.3.12. Süspansiyon ve Jel Özellikleri.....	16
2.4. Bentonitin Aktivasyonu .....	16
2.4.1. Alkali Aktivasyonu.....	17
2.4.2. Karboksimetil Selüloz (CMC) ile Aktivasyonu .....	17
2.4.3. Asit Aktivasyonu .....	18
2.4.4. Organik Aktivasyon.....	18
2.4.5. Yüzey Aktif Madde ve Diğer Bileşikler ile Aktivasyonu .....	21
2.5. Bentonitin Kullanım Alanları .....	21
2.5.1. Sondaj Sektöründe Kullanımı.....	21
2.5.2. Döküm Sanayisinde Kullanımı.....	22
2.5.3. İnşaat Sektöründe Kullanımı .....	22
2.5.4. Boya Sanayisinde Kullanımı .....	22
2.5.5. Kağıt Endüstrisinde Kullanımı .....	23
2.5.6. Seramik Sanayisinde Kullanımı .....	23
2.5.7. Petrol Rafinerilerinde Kullanımı .....	23
2.5.8. Atık Su Yönetim Sistemlerinde Kullanımı.....	24
2.5.9. Gıda Sektöründe Kullanımı .....	24
2.5.10. Nem Absorbanı Olarak Kullanımı.....	24
2.5.11. Çimento Sanayisinde Kullanımı .....	25
2.5.12. Lastik Sanayisinde Kullanımı.....	25
2.5.13. Besicilik Sektöründe Kullanımı .....	26
2.5.14. Sabun ve Temizleyici Üretiminde Kullanımı.....	26
2.5.15. Gübre Sanayisinde Kullanımı.....	26
2.5.16. Yangın Söndürücülerde Kullanımı.....	27
2.5.17. İlaç ve Kozmetik Sektörlerinde Kullanımı.....	27
2.6. Bentonit Yatakları.....	27
2.6.1. Dünya Bentonit Yatakları .....	27
2.6.2. Türkiye Bentonit Yatakları.....	29

3. MATERYAL ve METOT .....	31
3.1. Materyal .....	31
3.1.1. Kullanılan Hammadde .....	31
3.1.2. Çankırı Havzası .....	32
3.1.3. Fiziksel Özellikler .....	32
3.1.4. Kimyasal Özellikler .....	33
3.2. Metot .....	34
3.2.1. Isıtma İşlemi .....	35
3.2.2. Öğütme İşlemi .....	35
3.2.3. Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma .....	37
3.2.4. Tane Boyutu Analizi .....	37
3.2.5. Reolojik ve Kimyasal Analiz .....	37
3.2.6. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi .....	38
3.2.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi .....	38
3.2.8. Rietveld Analizi .....	39
3.2.9. Yoğunluk Tayini .....	39
3.2.10. Viskozimetre Analizi .....	39
4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR .....	41
4.1. Isıtma İşlemi .....	41
4.2. Öğütme İşlemi .....	42
4.2.1. Nanobentonit-1 için Öğütme İşlemi .....	43
4.2.2. Nanobentonit-2 için Öğütme İşlemi .....	43
4.3. Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma .....	44
4.3.1. Na-Bentonit için Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma .....	44
4.3.2. Nanobentonit-1 için Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma .....	44
4.3.3. Nanobentonit-2 için Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma .....	45
4.4. Tane Boyut Analizi .....	45
4.4.1. Nanobentonit-1 için Tane Boyut Analizi .....	45
4.4.2. Nanobentonit-2 için Tane Boyut Analizi .....	46
4.5. Reolojik ve Kimyasal Analiz .....	47
4.5.1. Na-Bentonit için Reolojik ve Kimyasal Analiz .....	47



4.5.2. Nanobentonit-1 için Reolojik ve Kimyasal Analiz .....	48
4.6. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi.....	49
4.6.1. Na-Bentonit Numunesi için XRF Analizi .....	49
4.6.2. Nanobentonit-2 Numunesi için XRF Analizi .....	50
4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	50
4.7.1. Na-Bentonit için SEM Analizi .....	50
4.7.2. Nanobentonit-2 için SEM Analizi .....	59
4.8. Rietveld Analizi .....	69
4.8.1. Na-Bentonit için Rietveld Analizi .....	69
4.8.2. Nanobentonit-2 için Rietveld Analizi.....	70
4.9. Yoğunluk Tayini .....	71
4.9.1. Na-Bentonit için Yoğunluk Tayini .....	71
4.9.2. Nanobentonit-1 için Yoğunluk Tayini.....	71
4.9.3. Nanobentonit-2 için Yoğunluk Tayini.....	71
4.10. Viskozimetre Analizi .....	71
4.10.1. Na-Bentonit için Viskozimetre Analizi .....	71
4.10.2. Nanobentonit-1 için Viskozimetre Analizi.....	72
4.10.3. Nanobentonit-2 için Viskozimetre Analizi.....	73
5. SONUÇLAR .....	74
KAYNAKLAR .....	76
EKLER .....	79
ÖZGEÇMİŞ .....	87

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Ham ve öğütülmüş bentonit.....	4
Şekil 2.2.	Montmorillonit mineral grubunun mineralojik yapısı .....	8
Şekil 2.3.	Viskozimetre Cihazı.....	13
Şekil 2.4.	Montmorillonit kilinin katyon değiştirmesi .....	16
Şekil 2.5.	Trisilanol grupları .....	19
Şekil 2.6.	Bentonit-Silan grupları .....	20
Şekil 2.7.	Türkiye bentonit rezervleri haritası.....	29
Şekil 3.1.	Çankırı Eldivan bölgesinin uydu görüntüsü .....	31
Şekil 3.2.	Çankırı Havzası'nın konumu .....	32
Şekil 3.3.	Magma-Therm marka etüv .....	35
Şekil 3.4.	Karıştırcılı bilyalı değirmen.....	36
Şekil 3.5.	Çapı 3.8 mm olan bilyalar.....	36
Şekil 3.6.	Malvern Mastersizer 3000 marka tane boyut analizi cihazı .....	37
Şekil 3.7.	Thermo ARL marka XRF analiz cihazı .....	38
Şekil 3.8.	Jeol JSM-6060LV model taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	38
Şekil 3.9.	Cu-X ışın tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD analiz cihazı.....	39
Şekil 3.10.	Ofite-Model 800 marka viskozimetre.....	40
Şekil 4.1.	Isıtma öncesi Na-Bentonit.....	41
Şekil 4.2.	Isıtma sonrası Na-Bentonit.....	42
Şekil 4.3.	Öğütme işleminde kullanılan bilyalar .....	42
Şekil 4.4.	Nanobentonit-1 öğütme işlemi sonrasında karıştırcılı değirmen haznesi.....	43
Şekil 4.5.	Nanobentonit-2 için Öğütme işlemi sonrasında karıştırcılı değirmen haznesi.....	44
Şekil 4.6.	Na-Bentonit için BSE-1 kodlu SEM görüntüsü (400 µm).....	51
Şekil 4.7.	Na-Bentonit için BSE-2 kodlu SEM görüntüsü (1 mm).....	52
Şekil 4.8.	Na-Bentonit için EDS-1 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 ile Spot-2 kodlu EDS noktaları (100 µm).....	53
Şekil 4.9.	Na-Bentonit için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği .....	53

Şekil 4.10. Na-Bentonit için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-2 noktasının EDS grafiği .....	54
Şekil 4.11. Na-Bentonit için EDS-2 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 kodlu EDS noktası (20µm).....	55
Şekil 4.12. Na-Bentonit için EDS-2 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği .....	55
Şekil 4.13. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 ile Spot-2 kodlu EDS noktaları (200 µm).....	56
Şekil 4.14. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği .....	57
Şekil 4.15. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde Spot-2 noktasının EDS grafiği .....	57
Şekil 4.16. Na-Bentonit için EDS-4 kodlu SEM görüntüsü ve EDS alanı (1 mm).....	58
Şekil 4.17. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde tam alan EDS grafiği ..	59
Şekil 4.18. Nanobentonit-2 için BSE-1 kodlu SEM görüntüsü (50 µm).....	60
Şekil 4.19. Nanobentonit-2 için BSE-2 kodlu SEM görüntüsü (300 µm).....	61
Şekil 4.20. Nanobentonit-2 için BSE-3 kodlu SEM görüntüsü (10 µm).....	62
Şekil 4.21. Nanobentonit-2 için BSE-4 kodlu SEM görüntüsü (1 mm).....	63
Şekil 4.22. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1, Spot-2 ve Spot-3 kodlu EDS noktaları (50 µm) .....	64
Şekil 4.23. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği .....	64
Şekil 4.24. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-2 noktasının EDS grafiği .....	65
Şekil 4.25. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-3 noktasının EDS grafiği.....	66
Şekil 4.26. Nanobentonit-2 için EDS-2 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 kodlu EDS noktası (20 µm).....	66
Şekil 4.27. Nanobentonit-2 için EDS-2 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği .....	67
Şekil 4.28. Nanobentonit-2 için EDS-3 kodlu SEM görüntüsü ve EDS (1 mm) .....	68
Şekil 4.29. Nanobentonit-2 için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde EDS grafiği .....	68
Şekil 4.30. Na-Bentonit için tüm kayaç kantitatif analizinin pay dağılımı .....	69
Şekil 4.31. Na-Bentonit için Rietveld metodu kayaç analizi kil minerallerinin oranı ...	70



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Bentonit türlerinin kimyasal bileşimlerinin dağılımı.....	10
Çizelge 2.2.	Dünya bentonit rezervlerinin ülkelere göre dağılımı.....	28
Çizelge 2.3.	Türkiye bentonit yataklarının dağılımı.....	30
Çizelge 3.1.	Çankırı bentonitinin fiziksel özellikleri.....	33
Çizelge 3.2.	Çankırı bentonitinin kimyasal bileşimi.....	33
Çizelge 3.3.	Na-Bentonit, Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 numuneleri için üretim ve karakterizasyon iş akışı.....	34
Çizelge 4.1.	Nanobentonit-1 numunesinin tane boyut dağılımı.....	45
Çizelge 4.2.	Isıtılmış Na-Bentonit numunesinin tane boyut dağılımı.....	46
Çizelge 4.3.	Nanobentonit-2 numunesinin tane boyut dağılımı.....	46
Çizelge 4.4.	Na-Bentonit için Reolojik ve Kimyasal Analiz Bulguları.....	47
Çizelge 4.5.	Nanobentonit-1 için Reolojik ve Kimyasal Analiz Bulguları.....	48
Çizelge 4.6.	İşlem görmemiş Na-Bentonit numunesinin XRF analiz sonucu.....	49
Çizelge 4.7.	Nanobentonit-2 numunesinin XRF analiz sonucu.....	50
Çizelge 4.8.	Na-Bentonit için tüm kayaç kantitatif analizinin % dağılımı.....	69
Çizelge 4.9.	Na-Bentonit ile hazırlanan sondaj çamurunun viskozimetre bulguları....	72
Çizelge 4.10	Nanobentonit-1 ile hazırlanan çamurunun viskozimetre bulguları.....	73
Çizelge 4.11.	Nanobentonit-2 ile hazırlanan çamurunun viskozimetre bulguları.....	73

## SİMGELER VE KISALTMALAR

gr	: Gram
cm	: Santimetre
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
MİGEM	: Maden İşleri Genel Müdürlüğü
API	: American Petroleum Institute
Spec	: Specification
Si	: Silisyum
Al	: Alüminyum
H	: Hidrojen
O	: Oksijen
Na <sup>+</sup>	: Sodyum İyonu
Ca <sup>+2</sup>	: Kalsiyum İyonu
Å	: Ångström
K <sup>+</sup>	: Potasyum İyonu
SiO <sub>2</sub>	: Silisyum Dioksit / Silika
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum Oksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Demir (III) Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
Na <sub>2</sub> O	: Sodyum Oksit
K <sub>2</sub> O	: Potasyum Oksit
°C	: Santigrat Derece
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	: Sodyum Karbonat
Na	: Sodyum
Ca	: Kalsiyum
sn	: Saniye
cp	: Santipoiz
CaCO <sub>3</sub>	: Kalsiyum Karbonat
MgCO <sub>3</sub>	: Magnezyum Karbonat

CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit Gazı
OH <sup>-</sup>	: Hidroksit İyonu
BET	: Brunauer-Emmett-Teller Metodu
m <sup>2</sup>	: Metrekare
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
MEG	: Miliekivalent Sayısı
Mg <sup>+2</sup>	: Magnezyum İyonu
Fe <sup>+2</sup>	: Demir İyonu
Zn <sup>+2</sup>	: Çinko İyonu
ISO	: International Organization for Standardization
XRF	: X Işını Floresans Spektrometresi
AV	: Görünür Viskozite
mm	: Milimetre
ASTM	: American Society for Testing and Materials
lb	: Libre
ft	: Feet
RPM	: Rotary Per Minute
Li <sup>+</sup>	: Lityum İyonu
CMC	: Karboksimetil Selüloz
NaHCO <sub>3</sub>	: Sodyum Bikarbonat Bileşiği
CMC-LV	: Düşük Viskoziteli Karboksimetil Selüloz
CMC-HV	: Yüksek Viskoziteli Karboksimetil Selüloz
C	: Karbon Elementi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
USGS	: United States Geological Survey Institute
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
km	: Kilometre
cc	: Mililitre
YP	: Yield Point / Kopma Noktası
PV	: Plastik Viskozite
Fe	: Demir
S	: Kükürt

XRD	: X Işını Difraktometresi
cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
mL	: Mililitre
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	: Di Fosfor Penta Oksit Bileşiği
D10	: %10 Tane Boyut Dağılımı
D50	: %50 Tane Boyut Dağılımı
D80	: %80 Tane Boyut Dağılımı
D100	: %100 Tane Boyut Dağılımı
kV	: KiloVolt
HV	: Hızlandırma Voltajı
µm	: Mikrometre
SEM	: Scanning Electron Microscope
EDS	: Energy Disperse Spectrometer
BSE	: Back Scatter detector

## 1. GİRİŞ

Türkiye gibi gelişen ülkelerin sınırlı sayıda olan ekonomik kaynaklarını iyi bir şekilde değerlendirip yeraltı kaynaklarını ayrıntılı ve uzun süreli planlamalara bağlı olarak yapılması herkes tarafından kabul edilen bir husustur. Bu durumdan dolayı enerji, sondaj, teknoloji, çevre ve kimya alanlarında kaydedilen hızlı gelişmeler ile birlikte sektörler arası bağlantılar artmış ve bazı yeraltı kaynaklarımızın günümüz teknolojisine uyarlanarak çeşitli sektörlerde kullanımı da yaygınlaşmıştır. Özellikle sondaj sektöründe daha derin sondajların yapılması ile birlikte hem çevre kirliliği hem ithalata dayalı maliyet hem de üretilen rezervin verimliliği açısından sondaj sıvıları ve bu sıvıların başlıca katkı malzemesi olan bentonit kili önemini giderek artırmıştır.

Bentonit, yoğun olarak montmorillonit minerali içeren,  $2.6 - 2.7 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğunda genellikle saf olmayan bir kil olan bir alüminyum fillosilikattır. Birkaç çeşit bentonit vardır ve bunların isimleri, Sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Potasyum (K) ve Alüminyum (Al) gibi baskın elementlere bağlıdır. Ayrıca büyük oranda kolloidal silis yapıda olan, kolayca şekil alabilen açık bir kayadır (Darvishi ve Morsali, 2010).

Bentonitin kullanım alanı birçok sektörü kapsamaktadır. Başlıca kullanım alanları; sondaj sektörü, kağıt endüstrisi, boya sanayisi, çimento sanayisi, inşaat sanayisi, gıda sektörü, atık su yönetim sistemleri, besicilik sektörü, döküm sanayisi, petrol rafinasyon işlemleri, seramik sanayisi, lastik sanayisi, sabun ve temizleyici üretimi, gübre sanayisi, yangın söndürücülerde katkı malzemesi ve ilaç sektörü olarak sayılabilir (Akbulut, 1996).

Bentonit dünyada başlıca olarak Wyoming (A.B.D.), Ponza (İtalya), Milos (Yunanistan), Almeria (İspanya) ve Bavyera (Almanya) bölgelerinde üretilmektedir. Ülkemizde ise yapılan araştırma çalışmaları ile Ege Bölgesinde Manisa ve Kütahya illerinde, Marmara Bölgesinde Bursa, Balıkesir, Çanakkale, İstanbul, Tekirdağ ve Edirne illerinde; İç Anadolu Bölgesinde Eskişehir, Konya, Ankara ve Çankırı illerinde; Karadeniz bölgesinde Çorum, Ordu, Giresun, Trabzon ve Tokat illerinde; Akdeniz bölgesinde ise Hatay ilinde ve bahsi geçen illerin ilçe ve beldelerinde üretilmektedir. Ulusal rezerv miktarı olarak ise yaklaşık 3,2 milyon ton ile önemli madenlerimizden birisidir. Dünya rezervinin yaklaşık olarak %20'sini oluşturmaktadır (Bakır ve Ark., 2012).

Nanometre, bir ölçü birimi olup metrenin milyarda birini, mikron biriminin ise binde birini ifade eder. Teknoloji ise mal veya hizmetlerin üretiminde veya buna yönelik amaçların gerçekleştirilmesinde kullanılan beceriler, yöntemler, işlemler, tekniklerin derlenmesi veya bilimsel araştırmalardır (Wikipedia, 2017). Bu tanımlar doğrultusunda Nanoteknoloji kavramı hem nanometre hem de teknoloji kelimelerinin sentezi ile meydana gelmiştir. Maddenin çok küçük boyutlarda çalışmalarının yapılarak yeni özelliklerin meydana getirilmesi olarak ifade edilir (Kut ve Güneşoğlu, 2005).

Nanoteknoloji kavramının tarihsel sürecine bakacak olursak ilk olarak 1959 yılında Amerikan Fizik Cemiyeti'nde Richard Feynman'ın ilgili konulara değinmesi nanoteknolojinin başlangıcı kabul edilmektedir. Nanoteknoloji terimi ilk kez Norio Taniguchi tarafından "Temel Nano-Teknoloji Konseptleri" adlı makalede dile getirilmiştir. Devamında ise günümüze kadar gelişmeye devam eden nanoteknoloji kavramının önümüzdeki yıllarda giderek önemini arttıracığı ve hem bilim hem de sanayi sektöründe daha fazla yer alacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada bentonit kilinin kullanıldığı sektörler, özellikle sondaj sektörüne satışı yapılan Na-Bentonit ile ilgili laboratuvar şartlarında yapılan fiziksel ve kimyasal işlemler anlatılmıştır. Çalışma, bentonit kilinin nano boyuta indirgenmesini, ortaya çıkan nihai ürünlerin ise analizlerinin yapılmasını, yapılan analizlerin yorumlanmasını ve optimum üretim prosesinin belirlenmesini kapsamaktadır.

Gelişen teknolojiler ışığında hem ülkemizin rekabet gücünü artırmak, hem yerli üretime katkı sağlayarak ithalat maliyetlerini düşürmek, hem de bentonitin kullanıldığı sektörlerin pazar yelpazesini genişletmek çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında hammadde olarak kullanılan Na-Bentonit kiline ilgili prosesler uygulandığında oluşan nihai ürünlere Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 isimleri verilmiştir. Çalışma içerisinde bu terimler kullanılmıştır. Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 üretimi için American Petroleum Institute (API) standartlarına göre Spec. 13A kalitesinde olan sodyum bentonit kiline laboratuvar koşullarında yapılan fiziksel ve kimyasal işlemler detaylı olarak anlatılmıştır. Bu işlemler sonucunda optimum iş akışı belirlenmiştir.

Analizler için gereken bentonit ihtiyacı Çankırı Bentonit Sanayi Ticaret A.Ş. (ÇANBENSAN) firması tarafından sağlanmış olup Çankırı havzasına ait Na-Bentonit kullanılmıştır.

Na-Bentonit nano boyuta indirgenip gravite yöntemi ile içerisindeki empuritif, ağır metal ve organik bileşiklerden ayrıştırılmıştır. Elde edilen ürüne Nanobentonit-1 adı verilmiştir. Boyut indirgeme işlemi sırasında bazı problemler yaşanmış ve bu durum hem üretim hem de maliyet açısından olumsuz sonuçlar doğurmuştur. Bu durumu gidermek amacı ile Na-Bentonit 475 °C'ye kadar ısıtılmış ve içerisindeki su molekülleri uzaklaştırılmıştır. Sonrasında rahatlıkla öğütme ve gravite metodu ile ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu ürüne ise Nanobentonit-2 adı verilmiştir. Nanobentonit-1'in Reolojik analizleri yapılmış, Nanobentonit-2'nin ise Tane Boyut Analizi, X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi, Rietveld Analizi, Yoğunluk Tayini ve Viskozimetre Analizi yapılarak karakterizasyonu tespit edilmiştir.

Nanobentonit adında yeni bir ürün ortaya çıkarılması ile 17 farklı kullanım alanı bulunan bentonitin kullanımını yaygınlaştırılmış ve ticarileşmeye hazır hale getirilmiştir. Elde edilen nanobentonitin ulusal patent ve Nanoben isminde marka tescil başvuruları yapılmıştır.

## 2. BENTONİTİN GENEL ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Tanımı ve Genel Yapısı

Bentonit, yoğun olarak montmorillonit minerali içeren, 2.6-2.7 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda genellikle saf olmayan bir kil olan bir alüminyum fillosilikattır. Birkaç çeşit bentonit vardır ve bunların isimleri Sodyum, Kalsiyum, Potasyum ve Alüminyum gibi baskın elementlere bağlıdır. İlâveten Sodyum ve Kalsiyum içeren ara tip bentonit türü de bulunmaktadır. Ayrıca büyük oranda kolloidal silis yapıda olan, kolayca şekil alabilen açık bir madendir (Darvishi ve Morsali, 2010).

Bentonit, kuvvetli kolloidal özellik gösteren ve plastikliği yüksek bir çeşit kil olarak tespit edilmiş ve ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Wyoming eyaletinde bulunmuştur. İlk tanımı 1968 yılında 'Bentonit, başlıca bileşeni smektit olan ve fiziksel özellikleri bu mineral tarafından belirlenen kil.' olarak yapılmıştır (Churchman ve Ark., 2002).

Bentonitlerin tamamı smektit grubu kil mineralleri içerirler. Bu mineraller karakteristik özelliklerinden dolayı üç tabakalı bir yapı gösterirler. Tabakalar arasında su molekülleri ve değişim gösterebilen iyonlar bulunmaktadır. Kil minerallerinin şişmesi olarak tanımlanan olgu ise bu tabakaların arasına su yerine organik moleküllerin girmesi ile yapısının genişlemesi sonucunda oluşur (Özgülven, 2011).



Şekil 2.1. Ham ve öğütülmüş bentonit (Benkar, 2017).



### **2.1.1. Bentonit Oluşumu**

Yumuşak, plastik yapıda, porozitesi yüksek, baskın mineral olarak simektit grubu minerallerden oluşan, açık renge sahip, koloidal silis bulunduran ve camsı yapıda magmatik kayaçların ve bu kayaçlardan özellikle volkanik kül ve tüflerin kimyasal ayrışmasına sonucu oluşmuştur. Rengi ise taze numunelerde beyaz, açık mavi ve açık yeşil olabilir. Açık krem rengi ise zamanla orantılı bir şekilde kırmızı, sarı veya kahverengine doğru dönüşüm gösterebilir.

Bentonit, yoğun miktarda camsı madde bulunduran volkanik küllerin, tüflerin ve lavların kimyasal reaksiyonlar sonucunda değişime uğraması ve ayrışması neticesinde oluşur. İçeriğinde baskın mineral olarak montmorillonit minerali bulunur. İçeriğindeki camsı maddenin duraysız özellik göstermesi, onun hidroliz vasıtasıyla montmorillonite dönüşmesine sebep olur. Bu dönüşüm aşamaları sırasıyla silis-alüminyum yapısının kimyasal etkiler sonucu ayrışması, bu ayrışan yapının montmorillonit minerali yapısında yeniden meydana gelmesi, katyon bakımından zengin eriyiklerin porlarda zeolit oluşturması ve artakalan silisin ya çökmesi sağlanarak ya da atılarak uzaklaştırılması şeklindedir.

Bentonitler kaynak kayacın bileşimine bağlı olarak sodyum, kalsiyum ve potasyum montmorillonitleri şeklinde oluşurlar ve baskın elementin adını alarak isimlendirilirler.

Bentonit oluşumu için köken konumundaki volkanik kül ve tüfün alkali ve toprak alkali element içermesi gerekir. Volkanik kül veya tüflerin düşük miktarda alkali veya toprak alkali elementi içerdiği durumlarda halloysit ve allofan oluşumu da beklenebilir.

Camsı maddeleri yoğun miktarda içeren volkanik kül, tüf ve lavların kil oluşturabilmesi için üç yol bulunmaktadır. Bu yollar aşağıda belirtildiği gibidir.

- Hidrotermal Alterasyon
- Diyajenetik Oluşum
- Meteorik veya Yüzeysel Ayrışma

#### **2.1.1.1. Hidrotermal alterasyon**

Volkanik gaz ve buharların etkisiyle yerkabuğundaki kırık ve yarıklar boyunca yüzeye çıkan su buharlarının lav ve yan kayalarını değişime uğratması olarak tanımlanır. Bazen su ve gaz buharları birlikte, özellikle asidik yapıdaki magmatik kayaçları değişime

uğrattırlar. Hidrotermal etki sonucu oluşan bentonitler lavların, tüflerin ve küllerin değişimi sonucu oluşur.

Bu oluşuma neden olan volkanik camsı maddeler yoğun olarak trakit, riyolit, fonolit ve andezit bileşiminde olan kayalardır. Ana kayaç oluşturan volkanik kayalarda dokunun korunması için bu kayaların yerinde ayrıışmış ve kalmış olması gerekir. Kırık ve yarıklarda ise çoğunlukla montmorillonit, kaolen ve dış kenar ayrıışması formatında bir ayrıışma kuşaklanması görülür. Bazen ise sıcak suların çıkışı sırasında ayrıışmış veya ayrıışma aşamasında olan küçük tanecik boyutuna sahip malzeme hemen yakınındaki çökel bir havzada birikerek bentonit yatağı oluşumuna sebep olur (Grim ve Güven, 1978).

Hidrotermal alterasyon sonucu meydana gelen oluşumlara dış ülkelerde Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bazı yataklar, İtalya'nın Ponza ve Japonya'nın Kanto bentonit yatakları örnek olarak verilebilir. Ülkemizde ise Artvin, Giresun ve Trabzon bölgelerinde hidrotermal alterasyon sonucu oluşmuş bentonit yatakları bulunmaktadır (Akbulut, 1996).

#### **2.1.1.2. Diyajenetik Oluşum**

Bu oluşum türünde çökel havzaların sulu ortamlarında tuf ve volkanitlerin kimyasal etkiler sonucu ayrıışp değişim göstermesi sonucu bentonit yatakları oluşur. Volkanik malzemelerin çoğunun kimyasal yollarla ayrıışması denizel ortamlarda çok kolaydır. Bazı bentonitler lagün kökenli çökel ortamlarda volkanik camsı yapıdaki tüflerin değişim göstermesi sonucu ortaya çıkar. Bu şekilde ortaya çıkan bentonitlerde ayrıılmış halde bulunan biyolit içeren simektit grubu killer ve volkanik tüfler arasında geçiş kısımları bulunur.

Denizel çökel ortamlarda istiflenen volkanik madde, istiflenmeye başlamadan önce mineroloji, jeokimya ve kristal kimyası bakımından değişimler gösterir. Bentonitleşme ise bu değişimler neticesinde oluşur. Bu değişimler esnasında bir mineralden yeni bir minerale dönüşüm söz konusudur. Bu değişim sürecinde ise denizel ve gölsel ortamın bazik koşullarında volkanik maddelerden diyajenez evresi ile bazı katyonlar ayrılır, sonrasında silis ve alüminyum oranı bir dengeye ulaştığında ayrılan bu maddeler montmorillonite dönüşür. Bu süreç sonunda bünyesinde ayrıışmamış biyolit pullarını da bulundurur (Akbulut, 1996).

Diyajenetik oluşum sonucu meydana gelen bentonit yataklarına dış ülkelerde Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Wyoming bölgesinde, İngiltere'de, İtalya'daki Sardinya adasında, Hindistan'ın Rajasthan bölgesinde, Avustralya'da, Bulgaristan'da, Fransa'nın Paris havzasında, Yunanistan'ın Milos ve Mikonos bölgeleri ve Fas'ın Bou-Haoua bölgesi örnek olarak verilebilir. Ülkemizde ise büyük bentonit yataklarının tamamına yakını bahsi geçen yöntem ile oluşmuştur. Ankara'nın Kalecik ilçesinin Hançılı Köyü civarı, Çanakkale'nin Bayramiç ilçesinin Dağahmetçe Köyü ve Ayvacık ilçesinin Misvak Köyü ve Ahmetçe Köyü civarı, Çankırı'nın Eldivan ilçesinin civarı, Çorum'un Sungurlu ilçesi, Ordu'nun Fatsa ilçesi, Tokat'ın Reşadiye ve Niksar ilçeleri, Edirne'nin Enez ilçesi civarlarında bulunan bentonit yatakları örnek olarak verilebilir (Akbulut, 1996).

### **2.1.1.3. Meteorik veya Yüzeysel Ayrışma**

Bu oluşum türünde volkanik tuf ve küllerin iklim koşulları (yağmur, rüzgar vs) altında kimyasal olarak ayrışması söz konusudur.

Tuf ve volkanik küllerden oluşan kayalar camsı yapıda, geçirgen özellikte ve kolay aşınabilen niteliktedirler. Karasal ortamlarda tuf ve küllerden oluşan bentonitlerde bazen bentonit-tuf arası geçişler, volkanik camsı malzeme ve tuf kalıntılarına rastlamak mümkündür. Fakat bu oluşumlarda mineral kırıntılarında rastlanmaz. Bitişik kayalarda ise tüflerden kayacın üst kısımlarına doğru kil minerallerindeki zenginleşme belirgin olarak görülür.

Üzerinde su birikmiş kapalı alanların tabanında bulunan volkanik kayalarda özellikle feldspatlar hidroliz işlemine maruz kalarak kimyasal ayrışım gösterirler. Bu kimyasal ayrışım sonucunda iyonlar serbest kalır ve drenajı olmayan ortamda kalarak belirli bir alüminyum-silika oranında montmorillonit oluştururlar ve bentonit yatakları meydana gelir.

Bu yöntem ile vertisol adı verilen Akdeniz ikliminde şişen killerin yoğun olduğu topraklarda montmorillonit oluşumunun olası üç temel kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynaklar şunlardır:

- Anakayadan hidroliz işlemi sonucunda serbest kalan iyonların yerinde kalması sonucunda doğrudan oluşum göstermesi,
- İllit ve kloritin kimyasal etkiler sonucu montmorillonite dönüşmesi,

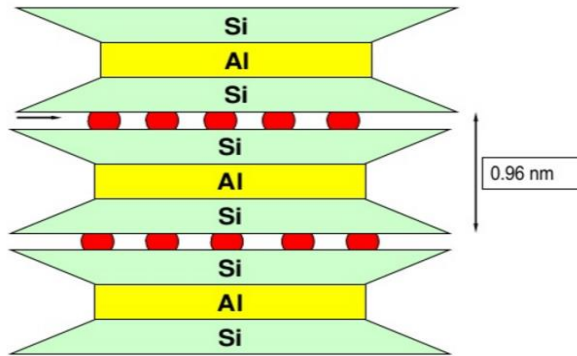
- Drenajı kötü olan vertisollerde serbest kalan iyonların tutularak ikincil montmorillonit oluşumu olarak açıklanabilir (Akbulut, 1996).

Meteorik ve yüzelsel ayrışma ile oluşan bentonit yataklarına dış ülkelerden Arjantin, Hindistan, Fas, Avustralya ve Japonya’da bulunan bölgeler örnek olarak verilebilir. Ülkemizde ise Ankara’nın Keskin ilçesi Beşler Köyü civarındaki ağartma toprakları, Çankırı’nın Çerkeş ilçesi Bayındır Köyü civarı, aynı ilin Kurşunlu ilçesinin Beşpınar ve Ilgaz köylerindeki yataklar ve Ilgaz ilçesindeki Kızılibrik Köyü civarındaki yataklar ile İstanbul’un Şile ilçesindeki Kızılca Köyü örnek olarak verilebilir (Bakır ve Ark., 2012).

### 2.1.2. Bentonit Minerolojisi

Bentonit, yoğun miktarda montmorillonit mineralinden oluşmaktadır. Montmorillonit ise smektit grubunun bir üyesi olup 2:1 şeklinde katman yapısına sahiptir. Şekil 2.2.’de belirtildiği gibi bir oktahedral tabakanın iki tetrahedral tabaka arasına girmesi ile meydana gelmektedir. Tabakalar arası bağ kuvveti düşük olduğundan dolayı su moleküllerinin bu tabakalar arasına girmesi ve tabakaları birbirinden ayırması kolaylıkla sağlanabilmektedir. Bu durum killerin şişmesi olarak isimlendirilir.

Doğada yapraksı biçimde yer alan montmorillonit minerallerinin plastiklik kuvveti ve hacim değiştirme faktörü yüksek olup su moleküllerine karşı eğilimleri çok yüksektir. Tetrahedral kısımda Silisyum (Si) yerine Alüminyum (Al), oktahedral kısımda ise Alüminyum, Magnezyum, Çinko ve Lityum elementleri ile Demir (+2) ve Demir (+3) gibi iyonlar yer alabilir. Ayrıca bu durum hem tetrahedral kısımda hem de oktahedral kısımda meydana gelebilir.



Şekil 2.2. Montmorillonit mineral grubunun minerolojik yapısı (Dumlupınar, 2008)

Montmorillonitin kimyasal formülü  $(H_2O)Al_4Si_8O_{20}(OH)_4$  şeklindedir. Fakat bileşimi teorik formülünden farklıdır. Bu durumun sebebi ise kristal kafesinin elektrostatik yük bakımından düzensiz olmasıdır. Katmanlarda meydana gelen net yük açığı bu katmanların arasında ve kenarlarında bulunan değişebilen katyonların adsorbe edilmesi ile değişkenlik gösterebilir. Eğer katmanlar arasında su bulunuyor ise bulunan bu suyun yüzeysel kalınlığı değişebilen katyonların türüne göre çeşitlilik gösterir. Montmorillonitin başlıca değişebilen katyonları  $Na^+$  ve  $Ca^{+2}$ 'dir. Bu iki katyon kıyaslandığında  $Na^+$  katyonu bir molekül suyu kendisine bağlarken  $Ca^{+2}$  katyonu ise iki molekül suyu kendisine bağlar. Bu durumun sebebi ise  $Ca^{+2}$  katyonunun hidrat oluşturabilmesi için gereken enerjinin  $Na^+$  katyonu için gereken enerjiden fazla olmasıdır. Dolayısı ile daha fazla su molekülünü kendisine bağladığı için şişme kapasitesi daha da fazla olur.

Değişebilen katyon türü  $Na^+$  ise katmanlar 40 Å değerine kadar şişer ve bu değerden sonra sıra ile birbirlerinden koparlar. Fakat  $Ca^{+2}$  olması durumunda ise katmanlar belirli bir noktaya kadar şişer fakat birbirlerinden kopmazlar.  $K^+$  olması durumunda ise  $K^+$  katyonu katmanlar arasına yerleşir ve buradan çıkmaz. Dolayısı ile şişme meydana gelmez.

İzomorf yer değiştirme, tetrahedral ve oktahedral tabakalarındaki katyonların yerinin başka iyonlar tarafından değiştirilmesi olarak tanımlanır ve kil minerallerinin davranışını büyük oranda etkiler. Montmorillonitlerin içerdiği kil mineralleri izomorf yer değiştirmeden dolayı mineral yüzeylerinde yük oluşturmakta ve bu sebepten dolayı mineraller su ve katyonlara karşı istekli hale gelmektedirler. Şişen killerin hacim değişimi ise birkaç parametreye bağlıdır. Bunlar kil minerallerinin yapısı, miktarı ve tanelerin dizilimi olarak sıralanabilir (Dumlupınar, 2008).

## 2.2. Bentonit Türleri

Bentonitler, içerdikleri değişebilir nitelikteki sodyum ve kalsiyum iyonlarına göre; Sodyum Bentonit, Kalsiyum Bentonit ve Ara Tip Bentonit olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır (Ertürk, 2006). Bu üç ana grubun kimyasal bileşen bakımından dağılımı ise Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bentonit türlerinin kimyasal bileşimlerinin dağılımı (Ece ve Yüce, 2002).

Bileşen (%)	Na-bentonit	Ca-bentonit	Ara tip Bentonit
SiO <sub>2</sub>	64	59	62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21	19.7	15.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.5	5.9	3.0
MgO	2.3	5.5	2.6
CaO	0.5	1.7	4.5
Na <sub>2</sub> O	2.6	0.2	2.0
K <sub>2</sub> O	0.4	0.2	1.0

### 2.2.1. Sodyum Bentonit

Sodyum bentonit, başlıca üç tabakadan meydana gelmiş olan havada kuru materyalde %1'den az ve %2 den daha fazla olmayan değişebilir veya bulunabilir sodyum iyonu ile belirgin olan bentonit türüdür. Suda şişme miktarlarına göre sıralandığında en çok hacim artışı gösteren türdür. Sulu ortamda hacminin 10-15 katı kadar hacme ulaşabilir ve 100-150 °C aralığında bünyesinde tuttuğu su moleküllerini bırakmaya başlar. Kurutulduğunda ise eski hacmine tamamen döner (Yıldız, 2004).

Bentonit türleri arasında en çok kullanılan türdür. Özellikle sondaj ve döküm sektörlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Gültekin, 2002).

### 2.2.2. Kalsiyum Bentonit

Kalsiyum bentonit, sodyum bentonitlerin aksine sulu ortamda hacimlerinin 3-5 katı kadar şişebilmektedir. Bünyesine aldığı su moleküllerini ise 100-150 °C aralığında bırakmaya başlar. Rengi beyaz, gri, sarı, pembe veya yeşil olabilir. Başlıca olarak ağartma proseslerinde ve yalıtım sektörlerinde kullanılmaktadır (Ceylanmadencilik, 2017).

Ayrıca kalsiyum bentonitlerde Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ile aktivasyon işlemi uygulanarak Na/Ca iyon yer değiştirmesi sonucu, şişme kapasitesi artırılabilir (Ece ve Yüce, 2002).

### **2.2.3. Ara Tip Bentonit**

Bu bentonit türünde de sodyum ve kalsiyum iyonlarını beraber bulunduran bir türdür. Ağır metal ve iyonları kendisine çekerek hapsettiği için başlıca olarak gıda ve kozmetik sektörlerinde kullanılmaktadır. Çeşitli aktivasyon işlemleri uygulanarak iyileştirmeler yapılabilmektedir.

## **2.3. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler**

### **2.3.1. Şekli ve Rengi**

Doğal ve ham hali ile bentonit; yumuşak yapıda, poroz, kaolin kıvamında bir kayadır. Kırılgan özellik gösterir. Dokusal olarak yumuşak ve yağlı bir his oluşturur.

Mineral içeriklerine bağlı olarak doğal bentonitlerin rengine demir iyonunun etkisi vardır. Demir iyonunun valans durumu bu renk değişimine neden olur. Ayrıca demirin hidroksitleri de bu açıdan etkilidir. Bentonit yatağında bulunan diğer organik maddeler de renk değişimine neden olurlar. Pirit'ten gelen iki valanslı demir, mavi rengin sebebidir. Montmorillonit üç valanslı demir içeriyorsa sarı ve kahverengi olmaktadır. Eğer demir hem iki hem de üç değerlikli olarak bulunuyorsa, renk daha değişik tonlara dönmektedir. Bentonitin rutubet derecesi de rengi etkilemekte, fazla rutubet rengi koyulaştırmaktadır. Kuru bentonitler daha açık renge sahiptirler (Eruslu, 1993).

### **2.3.2. Özgül Ağırlığı**

Kuru bentonitin özgül ağırlığı, belirli orantıda kalite ve kökenine göre 2,6-2,7 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişiklik gösterir. Toz haline getirilen benzeri ürünlerdeyse, hissedilecek kadar düşer ve 1,6-1,8 gr/cm<sup>3</sup> seviyesini gösterir (Chimeddorj, 2007).

### **2.3.3. Şişme Özelliği**

Şişme özelliği bentonitleri diğer kil minerallerinden ayıran en önemli özelliktir. Aynı zamanda bentonitlerin sodyum bentonit, kalsiyum bentonit ve ara bentonit olarak sınıflandırılmasında da kil minerallerinin suya karşı davranışları ana faktörlerden birisidir. Esas itibarıyla suda şişme özelliği gösteren sodyum bentonitlerdir. Kalsiyum ve ara bentonitlerde bu özellik daha azdır. Şişme özelliği olan sodyum bentonitler bünyelerine yaklaşık olarak 10-15 kat su alabilme özelliğine sahiptirler. Bu suyu 100-150

°C gibi düşük sıcaklıklarda kaybetmektedir. Bentonitler, kurutulduğu zaman ilk hacmine geri dönmektedir. Bentonitin bünyesindeki fiziksel su, kilin fiziksel ve kimyasal özeliğini kontrol eden en önemli faktördür. Su ile karıştırıldığında koloidal özellik göstermesi, su ve bazı organik sıvı ortamda hacimce şişmesi bu killere geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır (Yıldız,2004; Kocakuşak ve ark., 1997).

#### **2.3.4. Viskozite**

Killerin yassı plakalar şeklindeki tanecik yapılarının elektriksel olarak birbirlerine kuvvet uygulaması ve süspansiyon ortamındaki taneciklerin iyonlarla etkileşim göstermesi sonucunda bentonit kili suda dispers olup askıda kalır. Sodyum bentonitte, kilin saflığına ve karıştırma şekli ve süresine bağlı olarak askıda kalma süresi uzun olur. Fakat kalsiyum bentonitlerde karıştırma işlemi bittikten sonra su dibinde çöküntü oluşmaya başlar. Sodyum bentonitin bu şekilde dağılımı sonucunda tiksotropi adı verilen özellik ortaya çıkar. Bu durum ise direk olarak bentonit süspansiyonlarının viskozite davranışlarını oluşturur.

Viskozite basınçla artar, sıcaklıkla azalır. 1 cm aralıklı iki levha arasından akan sıvının akış hızını 1 cm/sn arttırmak için gereken güç olarak tanımlanır, birimi santipoiz (cp)'dir. Viskozimetre adı verilen cihaz vasıtasıyla ölçüm yapılır. Görünür viskozite, plastik viskozite ve kopma noktası (Yield Point) gibi değerlerin ölçümü ve hesaplaması yapılır. Örnek bir viskozimetre cihazı Şekil 2.3'te verilmiştir.

Viskozite değeri sulu süspansiyonlarla zamana bağlı olarak artış gösterirken, karışım ile birlikte hızla azalır. Viskozite değerini arttıran bir diğer faktör de bentonitin şişme özelliğidir. Dışarıdan alınan su, dışarıdaki serbest suyun miktarında azalmaya yol açar ve bu durum da bentonit-su karışımında çamurun akışkanlığa karşı bir iç sürtünme ve mukavemetine neden olmaktadır. Şişme özelliğinin tiksotropiyi de etkileyen bir özellik olduğu göz önüne alındığında, şişme, tiksotropi, viskozite ve hatta bentonitin hidrofilik özelliğinin bir sonucu olan plastisite de birbiriyle etkileşim halinde olan özellikler olduğu ve çoğunlukla sodyum bentonite özgü olduğu ortaya çıkar (Akbulut, 1996).





Şekil 2.3. Viskozimetre cihazı (Fann, 2016)

### 2.3.5. Tiksotropi Özelliği

Jel kıvamındaki bir maddeyi oluşturan moleküler bağların yapısında meydana gelen hareketlenme ile bu bağların değişiklik göstermesi olarak tanımlanır. Tiksotropi ve viskozite iyon değişimi ile ilintilidir. Bentonitin tiksotropi özelliği, su ile temasa geçtiği zaman jel, çalkalandığı zaman ise sıvı hale gelebilme özelliğidir. Bu özellik sodyum bentonitte diğer bentonit türlerine göre çok daha yüksektir (Vatansever, 2009).

### 2.3.6. Tane Boyutu

Bentonit kilinin tanecikleri oldukça incedir. Partiküllerin inceliği, kullanımında ve özellikle kolloidal süspansiyonların meydana gelişinde etkin rol oynar. İçerdiği minerallere bağlı olarak doğal bentonitlerin renginde demir iyonunun etkisi vardır. Demir iyonunun valans adı verilen değerlik elektron değerinden dolayı renk değişimleri meydana gelir.

Ayrıca bentonit yatağında bulunan diğer organik maddeler de renk değişimine neden olurlar. Pirit'ten gelen iki valanslı demir, mavi rengin sebebidir. Montmorillonit üç valanslı demir içeriyorsa sarı ve kahverengi olmaktadır. Eğer demir hem iki hem de üç değerlikli olarak bulunuyorsa, renk daha değişik tonlara dönmektedir. Bentonitin rutubet

derecesi de rengi etkilemekte, fazla rutubet rengi koyulaştırmaktadır. Kuru bentonitler daha açık renge sahiptirler (Eruslu, 1993).

### **2.3.7. Plastiklik Değeri**

Basınç altında şekil alan ve basınç ortadan kalktığında aldığı şekli koruyan kilin çamur yapma eğilimi olarak tanımlanır. Plastik özelliklerin oluşabilmesi için etkin olan su miktarı “plastik limit” ve plastik halden akıcı hale geçebilmesi için kilin alabileceği su miktarı “likid limit” olarak tanımlanır. Likit limit, plastik limit farkı ise “plastiklik indeksi” olarak ifade edilir (Akbulut, 1996).

Killerin minerolojik bileşimleri ve yüzey kimyası özellikleri, plastisite özelliğini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, tane boyutu ve doğal nem içeriği kilin plastik davranışını doğrudan etkileyen birer parametredir. Tane boyutunun küçülmesi kilin plastik özelliğini artırırken, nem içeriğinin %5' in altına düşmesi ise kilin plastik özelliğini azaltmaktadır (Vatansever, 2009).

### **2.3.8. Isıl Özellikleri**

Bentonit kilini ısıtma maruz bıraktığımız zaman bünyesinde bazı değişiklikler meydana gelmektedir. Ortalama 105 °C civarında içerisinde bulundurduğu nem, 650 – 850 °C aralığında ise CaCO<sub>3</sub> ve MgCO<sub>3</sub> gibi bileşikler ayrışır ve CO<sub>2</sub> gazı uzaklaşır. Bentonitin cinsine bağlı olarak 120-145 °C arasında absorbe edilen gözenek suyu, mineral yapıdan uzaklaşmaktadır. 600-750 °C aralığında ise OH iyonlarının yapıdan uzaklaşması sebebiyle kütle kaybı ve hacimsel küçülme meydana gelir. 900 °C ve üzerindeki ısılarda cam-silikat fazı meydana gelir ve mekanik dayanım gücü de artar. Bu durumun meydana gelmesi ise Sinterleme olarak tanımlanır. Bentonit killerinde sinterleşme 950 – 1100 °C arasında olur ve devamında ergime başlar. Bentonit ise bu değerlere kadar ısıtıldığında kimyasal ve minerolojik yapısındaki değişmeler doğrudan fizikokimyasal özelliklerinde de değişiklikler oluşur (İpekoğlu ve ark., 1997).

### **2.3.9. Adsorbsiyon Özelliği**

Killerde adsorban özelliklerin incelenebilmesinde yüzey alanının hesaplanması son derece önemlidir. Yüzey alanını hesaplamak için Metilen Mavisi Adsorbsiyonu ve BET (Brunauer, Emmett ve Teller) Metodu başlıca iki yöntemdir. Bu iki yöntemle göre

montmorillonit kilinin yüzey alanı ise yaklaşık olarak  $15.5 \text{ m}^2/\text{gr}$ 'dır (Malayoğlu ve Akar, 1995).

Montmorillonit minerali diğer kil minerallerine göre daha fazla yüzey alanına sahiptir. Mikro ve mezo büyüklükteki gözenek duvarları yüzey alanının büyük bir kısmını oluşturur ve bu özelliği sayesinde adsorbsiyon kapasitesi yüksektir. Asit müdahaleleri ile adsorbsiyon özelliklerinde artış sağlamak mümkündür (Vatansever, 2009).

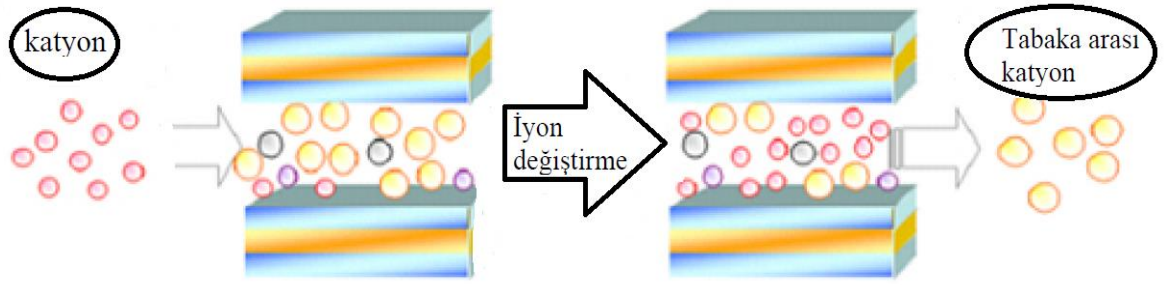
### **2.3.10. Elektriksel Özellikleri**

Bentonit taneciklerinin yüzey alanı negatif yük ile yüklüdür. Kırılmalar olan kenar kısımlarında ise pozitif yüklenme görülür. Elektrolit çözeltisi içine bentonit kilini koyduğumuz zaman yüzey ve kenar kısımlarının yüzeyinde difüzyon yöneliminde olan çözelti sıvısı içindeki zıt yükler ile çevrenir. Bu durum ise çözelti içerisindeki iyonların konsantrasyonunda bazılarının katı yüzey civarında artmasına bazılarının ise azalmasına neden olur. Katı ve sıvı arasında toplanan bu ara iyonlara Dengeleyici İyonlar adı verilir. Kimyasal denge tam anlamıyla sağlandığı zaman mineral tanecikleri yüzeyindeki potansiyel yük sıfıra iner ve nötrlenir (Çetinel, 2008).

### **2.3.11. Katyon Değişirme Kapasitesi (KDK)**

Katyon değişirme kapasitesi 100 gram montmorillonit kilinin adsorbe ettiği katyonların miliekivalent (MEG) sayısı olarak tanımlanmaktadır. 'K.D.K' sembolü ile ifade edilir ve meq/100gram birimindedir. Bentonit için katyon değişirme kapasitesi 80-150 meq/100gr arasında değişkenlik göstermektedir (Akbulut, 1996).

Montmorillonit mineralindeki tetrahedral katmanında  $\text{Si}^{+4}$  iyonunun yerini  $\text{Al}^{+3}$  iyonu, oktahedral katmanında ise  $\text{Al}^{+3}$  iyonunun yerini de  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  ve  $\text{Li}^{+}$  iyonları alabilmektedir. Bu katyon transferi oktahedral diziliminde tetrahedral dizilime nazaran çok daha yüksektir (Chimeddorj, 2007). Şekil 2.4'te katyon değişim kapasitesi şematik olarak verilmiştir.



şekil 2.4. Montmorillonit kilinin katyon değiştirmesi (Chimeddorj, 2007).

### 2.3.12. Süspansiyon ve Jel Özellikleri

%1-2 yoğunluğunda bentonit-su karışımı hazırlanıp çalkalanırsa, süspansiyon haline gelmiş bir solüsyon oluşur. Bu solüsyon sadece elektrolitik bir etki ile dondurulabilir. Kullanılan bentonit çok iyi nitelikte ise, ortamdaki jel hemen sertleşir. 1/15 oranında olan bentonit-su karışımı solüsyon, akıcı haldedir ve zamanla sertleşir.

Bentonitlerin koloidal süspansiyonlarındaki denge özelliği, tamamen klasik fizik kanunlarına uygun olarak, partikül moleküllerin ince yapılarına ve negatif elektrik yüklerinin özelliklerine bağlanmaktadır. Bentonit partikülleri negatif elektrik yüküne sahip oldukları için su içinde yüzerken birbirlerini iterler ve devamlı hareket halinde kalırlar. Alkol, aseton ve benzeri sıvılarda hidrasyon ve elektrik şarjı yoktur, bentonit bu sıvılar ile temas ettiğinde süspansiyon oluşmamakta ve bentonitte şişme meydana gelmemektedir (Güven, 2010).

### 2.4. Bentonitin Aktivasyonu

Bentonit oldukça geniş sektör pazarı bulunan ve kullanım alanı çeşitli bir maden olduğu için bazı teknolojik işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu teknolojik işlemler hem bentonitin kullanım alanını arttırmak hem de gelişen teknolojileri takip edebilmek için gereklidir. Giderek daha fazla sektöre hammadde kaynağı olan bentonit, çeşitli iyileştirmeler neticesinde önemini arttırmakta ve sektördeki yelpazesini giderek genişletmektedir.

Bentonit üzerine yapılan iyileştirme teknolojileri şunlardır:

- Alkali aktivasyonu
- Karboksimetil selüloz (CMC) ile aktivasyonu
- Asit aktivasyonu
- Organik aktivasyonu
- Yüzey aktif maddeler ve diğer bileşiklerle aktivasyonu

#### 2.4.1. Alkali Aktivasyonu

İkinci ve üçüncü tip olan kalsiyum bentonit ve ara bentonitlerden tiksotropik özelliği yüksek sodyum bentonit elde edebilmek için kalsiyum bentonit ve ara bentonit türlerine Ağır Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve Hafif Soda ( $\text{NaHCO}_3$ ) ilavesi yapılarak aktivasyonu sağlanır. Bu aktivasyon işlemi sadece tek doğrultuda gerçekleşir ve oluşan sodyum bentonit daha sonra tekrar kalsiyum bentonit veya ara bentonit formuna geri dönüşmez. Bu dönüşüm tepkimesi Formül 1'de verildiği gibidir. Kalsiyum bentonitinin sodyum bentonitine dönüşümü büyük oranda tabaka kenarlarında yer alan katyonlar tarafından gerçekleşir. Dolayısı ile tam anlamıyla bir sodyum bentonit oluşturulamaz. Kullanımı yapılacak olan alanın gerekliliği ve gerektirdiği ölçüde bazı kalsiyum ve ara bentonitler aktivasyon işlemine maruz kalır (Gogeon ve ark., 2003).



#### 2.4.2. Karboksimetil selüloz (CMC) ile aktivasyonu

Bentonit kili katkılı sondaj çamurlarında yüksek basınç etkisi ile çamurun içeriğinde bulunan suyun çamur karışımından uzaklaşması işlemine filtrasyon adı verilmektedir. Filtrasyonun genel olarak sondaj çamurlarında düşük miktarda olması istenir. Dolayısı ile karboksimetil selüloz (CMC) adı verilen katkı malzemesi kullanılır. Bu malzeme ise filtrasyonu düşürme etkisinin yanında sondaj çamurunun viskozitesini de artırır. İki tür CMC kullanılır ve viskozitedeki artış miktarına CMC-LV ve CMC-HV olarak iki kısma ayrılır. CMC-LV filtrasyonu azaltır ve düşük viskozite artışı sağlarken CMC-HV ise filtrasyonu azaltmasının yanında yüksek viskozite artışı da sağlar. CMC aktivasyonu alkali aktivasyonu ile benzer şekildedir. Sodyum ile kalsiyum yer değiştirir

ve neticede Na-CMC katkısı ile viskozitede daha da fazla artış meydana gelir. (Seçkin, 2006).

Bentonit kilinin Na-CMC ile etkileşiminde rol oynayan etmenlerden birisi de yüzey adsorbsiyonudur. Anyonik karaktere sahip olan Na-CMC, zeta potansiyeline etki ederek stabiliteyi arttırmaktadır. (Seçkin, 2006).

Na-CMC dışında katyonik ve anyonik olmak üzere poliakrilamid, poliamin, polianyonik selüloz gibi başka polimerler de kullanılmaktadır.

### **2.4.3. Asit aktivasyonu**

Asit ile aktive edilmiş bentonitler adsorban ve katalizör olmak üzere iki temel işlevde kullanılırlar. Asit ile aktivasyon işlemi, ağartma amacıyla kullanılan kalsiyum bentonitler için önemli bir işlem olup aynı zamanda adsorban özelliğinde de önemli bir artış meydana getirmektedir (Clarke, 1985; Tsai, 2003).

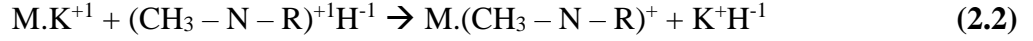
Bentonit killeri doğal adsorbantlardır. Asit ile aktivasyonlarında ise üç etki şekilleri bulunmaktadır. Bunlar:

- Kalsit gibi safsızlıkları çözmek,
- İki değerlikli kalsiyum iyonlarının tek değerlikli hidrojen iyonları ile yer değişimini sağlamak,
- Tetrahedral yapıdaki alüminyum ve oktahedral yapıdaki demir, alüminyum ve magnezyum gibi iyonlar çözmek olarak söylenebilir.

Bentonit killerinin asit ile aktivasyonu esnasında yüzeylerindeki por çaplarında artış meydana gelir ve bu asit müdahalesi arttıkça aktivasyonun son haddine kadar yüzey alanı artış göstermeye devam eder (Vatansever, 2009).

### **2.4.4. Organik aktivasyon**

Organik aktivasyon temelde iyon değiştirme esasına dayanır. Bu işlem sonucunda oluşan ürüne ise organik kil adı verilir. Bu aktivasyon türünde Kuaterner Amonyum Tuzlar ve Silan bileşikler olmak üzere başlıca iki madde kullanılır. Hidrofil özellikte olan sodyum bentonitinin şişme, tiksotropi, reoloji ve viskozite özelliklerinden organik sıvılarda da faydalanabilmek amacıyla çeşitli zincir boyutunda olan ve alkil alüminyum tuzları ( $CH_3 - N - R$ ) içeren katyonlar aracılığıyla gerçekleştirilen bir iyon değişim mekanizması kullanılmaktadır. Kullanılan bu mekanizma aşağıda belirtildiği gibidir.



Bahsi geçen denklemde,

M: Montmorillonit

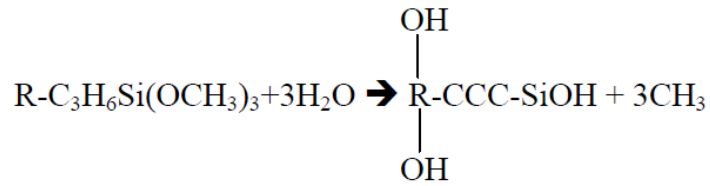
K<sup>+</sup>: Değişebilir Organik Katyonlar

R: Alkil Grubu

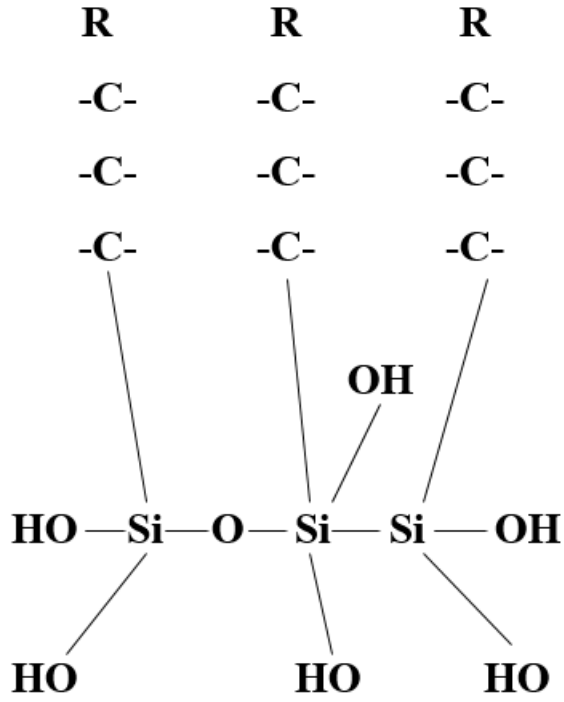
H: Halojen olarak sembolize edilmektedir.

Bu iyon değişirme sonucu değişebilir inorganik katyon ile alkil grubu yer değiştirmekte, montmorillonit organofilik hale gelmekte ve aynı zamanda tuz meydana getirmektedir (Vatansever, 2009).

Silan bileşikleri ile aktivasyonda genelde alkoksi-silan kullanılır. Bentonit taneciklerinin yüzeylerine silan bileşiklerinin bağlanabilmesi için peşpeşe birkaç reaksiyon meydana gelmesi gerekmektedir. İlk reaksiyon ise bentonit taneciklerinin yüzeylerinde trisilanol grupları oluşmasıdır. Oluşan bu trisilanol grubu bentonit yüzeylerindeki OH<sup>-</sup> grupları ile başlangıçta kuvvetli bir hidrojen bağı kurmakta, devamında ise bu gruplar ile reaksiyona girmektedir. Ayrıca bentonit taneciklerinin yüzeylerine bağlanan trisilanol grupları kendi aralarında da reaksiyona girerek bentonit tanecikleri yüzeylerinin etrafında bir organik tabaka meydana getirmektedir. Bu tabakanın yapısı Şekil 2.6.'da ifade edilmektedir.



Şekil 2.5. Trisilanol grupları (Vatansever, 2009)



Şekil 2.6. Bentonit–Silan grupları (Vatansever, 2009)

Teori dışında uygulamada ise bentonit tanecikleri arasında yer alan silan tabakası Şekil 2.6’da belirtildiği gibi mono moleküler yapıdan ziyade kalın bir tabaka halinde bulunmaktadır. Dolayısı ile silanlama reaksiyonunun istenilen düzeyde gerçekleştirilebilmesi için ortamda yeterli miktarda su moleküllerine ihtiyaç olmaktadır. Su miktarı gereken düzeyin altında olduğu durumlarda istenilen düzeyde silanlama reaksiyonu gerçekleşmemekte, fazla olduğu durumlarda ise reaksiyon ortamında bulunan trisilanol grupları fazlasıyla kendi aralarında reaksiyona girmekte ve istenilen sonuca ulaşamamaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için ise bentonit kilinin 200 °C’de kalsinasyon işlemine maruz bırakılması ve içeriğindeki nem miktarının azaltılması gerekmektedir (Kocakuşak, 1997).

Bahsi geçen iki organik aktivasyon yöntemi kıyaslandığında silan bileşikleri vasıtasıyla aktiveleştirme yöntemi, kuaterner amonyum tuzları ile aktivasyon yöntemine göre daha zor ve maliyetli olduğu için genellikle tercih edilmez. Her iki kimyasal malzemenin de geniş bir çeşitliliğe sahip olmasından dolayı çok farklı organik özelliklere sahip organik bentonitler elde edilebilmektedir.



#### **2.4.5. Yüzey Aktif Maddeleri ve Diğer Bileşikler İle Aktivasyonu**

Bentonit killerinin aktivasyonu için çeşitli kimyasal bileşiklerin kullanıldığı aktivasyon türleri bulunmakta olup bu bileşikler genel olarak su bazlı sistemlerde çalışılan ürünlerin eldesinde kullanılmaktadır. Su bazlı sistemlerde bentonit esaslı ürünlerin elde edilmesinde ise magnezyum, alüminyum tuzları, oksit ve hidroksitli bileşikler başlıca kimyasallar olarak kullanılmaktadır (Vatansever, 2009).

#### **2.5. Bentonitin Kullanım Alanları**

Bentonit kili çoğu sektörü kapsayacak şekilde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu kullanımları esnasında kimyasal özelliklerinden ziyade fiziksel özelliklerinden faydalanılmaktadır. Kullanım alanını belirleyen, suyu görünce veya organik modifikasyona uğrayınca organik madde içerisinde şişmesi, rengi, tane boyutu, nem çekme oranı ve yüzey alanı gibi fiziksel özellikleridir. Bentonitlerde istenilen şartlar ise kullanılacağı alana göre farklılık göstermektedir.

Kullanım alanları ise on yedi alt başlık altında açıklanmaktadır.

##### **2.5.1. Sondaj Sektöründe Kullanımı**

Sondaj sanayinde bentonitler, derin kuyu, petrol ve su sondajları esnasında matkabın çalışması ile oluşan, sürtünmeden doğan ısının giderilmesi, yeraltından koparılan kırıntıların yeryüzüne taşınması, dönmeden dolayı tijlerde ve matkapta meydana gelebilecek aşınmanın azaltılması, dizinin korozyon etkisinden korunması, sondaj esnasında dönme momenti değerini düşürmek, takım sıkışmalarını önlemek, sondaj sırasında geçilmiş formasyonların sondaj deliği içerisine göçmesine engel olmak gibi nedenlerle sondaj çamuru olarak kullanılmaktadır.

Bu alanda suya karşı geçirimsiz, yüksek su adsorpsiyonu olan, tiksotropi özelliği gösteren, yüksek jel oluşturabilen sodyum bentonitler kullanılır. Sondaj işlemlerinde kullanılacak bentonitler için API Spec. 13/A ve TSE 977 UDK 622.36 standartları geçerlidir (Çinku, 1999).

### **2.5.2. Döküm Sanayisinde Kullanımı**

Bentonitin yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri de döküm sanayidir. Kolloidal özelliği ve yüksek plastisite özelliklerinden dolayı dökümde kalıp kumu olarak kullanılan kumlara bağlayıcı özellik sağlamaktadır. Bentonit kalıp kumları içerisinde %2-50 aralığında kullanılmaktadır. Kalıp kumunda kullanılan bentonitin en az kille en yüksek bağlama mukavemetini sağlaması istenmektedir (Ertürk, 2006).

Bentonit, demir cevherinin peletlenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bentonitin peletlemede kullanılmasının başlıca nedenleri, yüksek plastikliğe sahip olması, yüksek mukavemet oluşturmaya, absorbe ettiği suyu kolayca vererek yüksek kuru mukavemet sağlamasıdır (Ertürk, 2006).

### **2.5.3. İnşaat Sektöründe Kullanımı**

Bu alanda kullanılan bentonitin çok ince taneli, plastikliğinin ve tiksotropisinin yüksek olması gerekmektedir. Bentonitin geçirgenliği önleme özelliklerinden yararlanılarak baraj ve gölet inşaatlarında, heyelan önleme yapılarının inşaatında, sızdırmazlık perdesi inşaatında, tünellerin yapımında, kazı şevleri ile bina temellerinin desteklenmesinde ve köprü, üst geçit ayaklarının inşaatında “diyafram duvarları” oluşturmada kullanılmaktadır (Chimeddorj, 2007).

### **2.5.4. Boya Sanayisinde Kullanımı**

Alkali bentonitler, renk verici pigmentleri ve diğer boya hammaddelerini adsorbe ederek devamlı süspansiyon oluşturacak kadar ince taneli olduklarından su bazlı ve solvent bazlı boyalarda, badanalarda ve matbaa mürekkeplerinde ve yağlı boyalarda kullanılırlar (Akbulut, 1996).

Boya sanayinde sürekli ve yüksek oranda süspansiyon oluşturabilme özelliğine sahip olmaları nedeniyle sodyum bentonitler kullanılmaktadır. Sulu bazlı boya ve badanalarda istenilen viskoziteyi sağlamak için tebeşirle birlikte bentonit karıştırılarak kullanılmaktayken, yağlı boyalarda ise süspansiyon özelliği artırmak için %5 oranında bentonit ilavesi yapılmaktadır (Rheox, 1997).

### **2.5.5. Kağıt Endüstrisinde Kullanımı**

Bentonit, çoğu sektörde kullanıldığı gibi kağıt endüstrisinde de önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılan bentonitler ince taneli yapıya sahip, hiç kuvars bulundurmeyen, beyaz renkli, kaygan ve alkali özelliklere sahiptirler. Kağıt hamuruna ilave edilen bentonit, katran, rezin ve balmumu gibi malzemelerin bir yerde topraklanmasını önler ve renk verici pigmentlerin homojen dağılımını sağlar. Ayrıca kağıt hamurlarının kumaş, tel ve silindir gibi malzemelere de yapışmasını önler.

Mikron ölçüsünde tanecik boyutuna sahip olmasından dolayı kağıt endüstrisinde kullanılan makinelere zarar vermez ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Alkali aktivasyonuna uğratılmış bentonit, kağıda kayganlık sağlar ve aynı zamanda sakızlı maddelerde emülsiyonu sağlayarak elek tıkanması, makinelerin kağıt hamurunda bulunan reçinelerin etkisi ile kirlenmesi gibi problemlerin önüne geçer.

Bentonit hem emülsiyonlaştırma özelliği ve absorpsiyon gücü hem de negatif yüklü olması nedeni ile pozitif yüklü karbonu çekmesinden yararlanılarak eski gazete, dergi, kitap gibi kağıtların değerlendirilmesinde kullanılır (Ertürk, 2006).

### **2.5.6. Seramik Sanayisinde Kullanımı**

Bentonit, seramik sanayinde seramik hamurunun plastisitesini artırıp çalışılmasını kolaylaştırdığı için kullanılmaktadır. Bağlayıcı özelliği ve ateşe dayanıklılığı fazla, pişme rengi beyaz olan alkali bentonitler seramikte plastisite ve kuru mukavemeti artırırlar.

Seramik çamurunda bentonit ilavesi, çamurun homojen karışmasını sağlanması, kuruma ve çatlamalarını azaltılması, kuru haldeki mukavemetin artırılması ve piştikten sonrası kırılabilirliğinin azaltılması amacıyla kullanılır (Çetinel, 2008).

### **2.5.7. Petrol Rafinelerinde Kullanımı**

American Petroleum Institute (API) sınıflandırmasına göre ağır ham petrol sınıfında olan ham petrol fraksiyonlarının katalitik olarak parçalanma proseslerinde bentonitlerin kataliz olarak kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Ağır petrol ürünlerinin parçalanarak hafif (ince) petrol ürünlerinin elde edilmesinde kataliz olarak kullanılan bentonitlerin aktivasyonu asit vasıtasıyla sağlanır. Aktivasyon esnasında bentonit kili asit ile kaynatılır ve yıkanır. Sonrasında istenilen tanecik boyutu oluşuncaya kadar öğütülür. Asit ile aktivasyonu tamamlandıktan sonra termal

mukavemetinin yüksek olması için 500-600 °C aralığında kalsinasyon işlemi uygulanır. Bu işlemler sonucu petrol rafinasyonlarında kataliz olarak kullanılan bentonit meydana getirilir ve katalitik kraking proseslerinde kullanılır (Çetinel, 2008).

#### **2.5.8. Atık Su Yönetim Sistemlerinde Kullanımı**

Atık su yönetim sistemlerinde şişme kapasitesi sodyum bentonitlere kıyasla daha düşük olan kalsiyum bentonitler kullanılmaktadır. İyi bir sızdırmazlık ve uzun süreli mukavemet sağlaması amacıyla bir tekstil ürünü olan jeomembranların imalatında kullanılır. Ayrıca atık suların temizlenmesi işlemlerinde de kalsiyum bentonitlerin kullanımı söz konusudur (Çinku, 1999).

#### **2.5.9. Gıda Sektöründe Kullanımı**

Gıda sektöründe bentonitin kullanım amaçları tortu azaltma amaçlı berraklaştırma işlemlerinde ve yağ sanayisinde ağartıcı olarak kullanılan bentonit olarak iki ana başlığa ayrılır.

Bentonitler, su, meyve suyu ve benzeri içilebilir sıvı ortamlarda hidrat olur ve negatif yüklü bentonit tanecikleri bulanıklığa neden olan meyve, tahıl v.b. hammadde posası, tortu gibi tanelerle birleşerek floküle olur ve böylece ortamın berraklaşmasını sağlar. Berraklaştırma işlemleri için özellikle düşük şişme özelliği olan kalsiyum bentonitler kullanılır. Değişebilen katyon olarak Na<sup>+</sup> içeren ve demir miktarı fazla olan bentonitler tercih edilmezler (Çetinel, 2008).

Yağların rengini gidermek için yapılan rafinasyon işlemlerinde kullanılan ve ağartma toprağı olarak adlandırılan killer, asit aktivasyonu yapılmış bentonitlerin bazı özelliklerinin geliştirilmiş halidir. Rafinasyon olarak bilinen, ayçiçeği, soya, kanola ve mısırözü gibi bitkisel ve hayvansal yağların ağartılması işlemlerinde bentonitin adsorbe edici özelliklerinden faydalanılır.

#### **2.5.10. Nem Absorbanı Olarak Kullanımı**

Bentonitler hem yüksek nem tutma özelliği hem de ekonomik olması sebebiyle nem absorbanı olarak kullanılmaktadır. Bentonit türlerinden ise en çok kullanılan tür kalsiyum bentonittir. Kalsiyum bentonitler özellikle elektrik devreleri, elektronik eşyalar, askeri ekipmanlar, makine ve yedek parçaları, ilaç ve tıbbi malzemeler, deri ürünleri ve spor

malzemeleri gibi taşınması sırasında nemsiz ortam gerektiren malzemelerin paketlerinde nem kontrolü amacıyla kullanılır. Bu kullanımları esnasında demir içeriği bakımından düşük ve en fazla %5 oranında magnezyum oksit (MgO) olması gerekmektedir.

### **2.5.11. Çimento Sanayisinde Kullanımı**

Bentonitin kullanıldığı birçok sektörden birisi de çimento sanayisidir. Çimento sanayisinde özellikle portlan çimentosuna %1 oranında bentonit ilave edildiği zaman hem mekanik mukavemette artış hem de çimentonun prizlenme ve donma süresinde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca çeşitli betonlarda da mineral yağları ile işlem görmüş bentonit su geçirmeyi önleyici bir dolgu malzemesi olarak da kullanılmaktadır. İlâveten portland çimentosu ve magnezyum çimentosu ile alçı karışımında porları doldurmak için düşük oranda kullanılan bentonit sızdırmazlık sağlayarak su geçişine izin vermemektedir (Çetinel, 2008).

Beton ve harçlarda bentonit kullanıldığında plastisitede artış meydana getirir ve işlenebilirliğini artırır. Çakıl ve kumun ayrılıp topaklanmasını engeller. Bünyesinde bentonit kili bulunduran betonlar homojen bir şekilde karışmış olduğundan bentonit kullanılmamış beton türlerine kıyasla daha fazla mukavemete sahiptir ve sızdırmazlığı daha fazladır.

Bentonit kullanılarak yapılan betonlar homojen olduğundan diğer betonlara oranla daha dayanıklıdır ve su geçirgenliği azdır. Katkı oranları ve şekli ticari bir sır olup bu konuda alınmış birçok patent vardır. Bu alanda kullanılan bentonitle ilgili herhangi bir standart bulunmamaktadır (Çetinel, 2008).

### **2.5.12. Lastik Sanayisinde Kullanımı**

Bentonit nötr yapıya sahip olduğundan dolayı lastik sanayisinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu sanayide kullanılacak bentonitin ince taneli oluşu, su ile temasında jel ve koloidal süspansiyon oluşturabilmesi ve koyulaştırma-dehidrasyon gibi etkilerinden faydalanılmaktadır ve latex ilavesi yapılarak viskozite artışı daha da artırılır. Bu özelliklerinden dolayı lastik esaslı tozlardan yapılan süspansiyonların hazırlanmasında kullanılmaktadır (Chimeddorj, 2007).

### **2.5.13. Besicilik Sektöründe Kullanımı**

Bentonit, besicilik sektöründe özellikle hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Tavuk ve benzeri kümes hayvanlarının yemlerinde katkı olarak kullanılıp hem hayvanların büyüme hızlarının artırılması amacıyla hem de yumurta verimliliğinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Büyükbaş hayvanlarda ise aynı şekilde yem katkısı olarak kullanılmakta olup hem büyüme oranlarında artış sağlamak hem de hayvan dışkılarından kaynaklı kötü kokuların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede çiftliklerin bulunduğu bölgelerde kentleşmenin olanaklı olmasını da sağlamaktadır. Ayrıca yem katkısı olarak kullanılan bentonit, sindirimi kolaylaştırmakta, sulu yemde bulunan amonyumdan kaynaklı toksik etkilerin zararlarını minimize etmekte, yemin tüketim hızını arttırmakta ve besinlerin özümlemesini daha kolay hale getirmektedir (Çetinel, 2008).

### **2.5.14. Sabun ve Temizleyici Üretiminde Kullanımı**

Sabun üretiminde bentonitlerin deterjan etkisinden faydalanılır. Yağları adsorbe edebilmesi nedeniyle kumaş temizliğinde kullanılmaktadır. Sabunların deterjan özellikleri bentonit kullanımı sayesinde gelişmiş durumdadır. Bentonit, kirleri absorbe eder ve hidrolize olarak yağlı maddelerin sabunlaşmasını sağlar. Bu durumdan dolayı kirlerin eski yüzeye tekraradan dönmesini engeller. Kolloidal bentonit, sabun imalatında hem sabunun daha iyi dağılıp köpürmesini sağlamak hem de süspansiyonun yüzey gerilimini azaltmaktadır. İlaveten suyun sertliğini de gideren bentonit, sabun sarfiyatının da önüne geçmektedir (Çetinel, 2008).

Temizleyici üretiminde ise süspansiyon halinde bulunan bentonit taneciklerinin negatif yüklü olması, yağları adsorbe edebilmesi, emülsiyon ve süspansiyon özellikleri ve kation değişim kapasitesi gibi özelliklerinden faydalanmak amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde bu alanda kullanılan bentonitlerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsünün TS 11326 nolu “Bentonit-Deterjan Sanayinde Kullanılan” başlıklı standardı bulunmaktadır (Çetinel, 2008).

### **2.5.15. Gübre Sanayisinde Kullanımı**

Bentonit hem kolloidal özelliğinden dolayı hem de kation değiştirilme kapasitesinden dolayı toprak gübrelemesinde önemli bir yere sahiptir. Bitkilerin

büyüyebilmesi için gerekli nemi sağlar ve uzun süre nemi tutarak gübre içerisindeki çözünebilen tuzların ortamdan çabuk uzaklaşmasına engel olur. Bentonit sayesinde bitkiye suyun dengeli verilmesi ve toprağın havalanması daha kolay sağlanabilmektedir. Ayrıca bentonit, sıvı veya süspansiyon halde bulunan gübre türlerinin imalatında stabilizatör olarak da kullanılmaktadır (Vatansever, 2009).

#### **2.5.16. Yangın Söndürücülerde Kullanımı**

Bentonit, yapısında fazla miktarda su molekülü bulundurmasından dolayı diğer birçok alanda kullanıldığı gibi yangın söndürücülerde katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Özellikle orman yangınlarında mücadele amaçlı en uygun söndürücü bentonit katkılı yangın söndürücülerdir. Süspansiyon haline getirilen bentonit havadan alev üzerine püskürtülerek yanan bölge ile hava arasındaki teması kesmekte ve böylece yangının daha kolay söndürülmesini sağlamaktadır (Akbulut, 1996).

#### **2.5.17. İlaç ve Kozmetik Sektörlerinde Kullanımı**

Bentonitler ilaç sektöründe merhemlerde dolgu malzemesi olarak ve derişik ilaçların seyreltilmesinde kullanılır. Ayrıca iç organların röntgen çekiminde kullanılan bir kimyasal olan baryum sülfatın süspansiyon halini koruyan önemli bir katkı maddesidir. Yapışkan özelliğe sahip bulunan çeşitli ilaç hammaddelerinde katkı malzemesi olarak ilave edilip öğütölmelerine yardımcı olmaktadır (Çetinel, 2008).

Bentonitler, çeşitli sıvılar ile solüsyon oluşturduğunda plastisitesi yüksek, homojen, temizleyici ve iyileştirici özelliklere sahip süspansiyonlar oluşturur. Bu süspansiyonlar da koloidal özelliklerinden dolayı deterjanlarda olduğu gibi rutubeti, tuz minerallerini ve zehirli maddeleri adsorbe ederek derideki gözenekleri temizler ve bu özelliklerinden dolayı kozmetik sektöründe de önemli bir yere sahiptir (Çetinel, 2008).

### **2.6. Bentonit Yatakları**

#### **2.6.1. Dünya Bentonit Yatakları**

Dünya'nın en önemli ve kaliteli bentonit yatakları başlıca olarak; Wyoming (ABD), Tokat (Türkiye), Ponza ve Sardunya (İtalya), Milos (Yunanistan), Bavyera (Almanya) ve Almeria (İspanya) bölgelerinde bulunmaktadır. Dünyada bulunan bentonit yatakları oldukça geniş rezerv hacimlerine sahiptir. Bu rezervleri belirlemeye yönelik detaylı

araştırmalar yapılmış ve kullanılan teknoloji sayesinde dūřuk hata oranları ile hesaplamalar yapılmıştır. Amerika Birleřik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) bilgilerine dayalı olarak hazırlanan rezerv miktarları izelge 2.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Dūnya bentonit rezervlerinin ūlkelere göre dađılımları (USGS, 2008)

<b>Ūlke</b>	<b>Rezerv (Milyon Ton)</b>
ABD	4400
in	2500
Hindistan	593
Meksika	400
Tūrkiye	350
ek Cumhuriyeti	313
Azerbaycan	200
Rusya	173
Etiyopya	170
Danimarka	120
Almanya	100
İspanya	100
Romanya	83
Brezilya	78
Avustralya	70
Yunanistan	50
Slovakya	41.7
Ukrayna	40
Vietnam	34
Ermenistan	30
Macaristan	30
Özbekistan	25
Tūrkmenistan	16
İran	14.6
Gūney Kore	13.4
Cezayir	12.5
Bulgaristan	12
Gūrcistan	12
Suudi Arabistan	10
Gūney Kıbrıs	10
Arjantin	6
Fas	2.8



## 2.6.2. Türkiye Bentonit Yatakları

Türkiye, Şekil 2.7.'de verilen bentonit yatakları ve yaklaşık 350 milyon ton rezerv hacmi ile dünyada önde gelen ülkeler arasındadır (USGS, 2008). Bu yataklar Çizelge 2.3'te belirtildiği gibi Ege Bölgesi'nde Manisa ve Kütahya illerinde, Marmara Bölgesi'nde Bursa, Balıkesir, Çanakkale, İstanbul, Tekirdağ ve Edirne illerinde, İç Anadolu Bölgesi'nde Eskişehir, Konya, Ankara ve Çankırı illerinde, Karadeniz Bölgesi'nde Çorum, Ordu, Artvin, Giresun, Trabzon ve Tokat illerinde, Akdeniz Bölgesi'nde ise Hatay ilinde bulunmaktadır. Bu yatakların sondaj bentoniti bakımından en verimli olanları Ankara ve Tokat illerinde, döküm bentoniti bakımından Çankırı, Çorum ve Çanakkale illerinde, kağıt sanayisi ve ağartıcı olarak ise Edirne, Ordu, Balıkesir, Kütahya ve Eskişehir illerinde bulunmaktadır. (Bakır ve ark., 2012).

Köken ve oluşum olarak Tokat ilinin Reşadiye ve Niksar yatakları, Ankara, Çorum ilinin Figani yatağı, Edirne ilinin Enez yatağı, Ordu ilinin Kavaklar yatağı deniz ve göllerdeki bozuşmalar yolu ile oluşmuşlardır. Eskişehir ilinin Mihalgazi yatağı ve Kütahya ilinin Başören yatağı ise hidrotermal kökenli oluşumlardır (Dumlupınar, 2008).

Türkiye'de bulunan bentonit rezervlerinin ana kayaçları büyük oranda camsal yapıda olan tüf, andezit ve aglomeralar tarafından oluşmaktadır. Minerolojik olarak ise ana mineral olarak montmorillonit mineralinden oluşmakta, safsızlıklar ise illit, kaolen, feldspat, kuvars, kristobalit, kalsit ve dolomit gibi mineraller tarafından oluşturulmuştur (Akbulut, 1996).



Şekil 2.7. Türkiye bentonit rezervleri haritası (Mta, 2017).

Çizelge 2.3. Türkiye bentonit yataklarının dağılımı (Bakır ve ark., 2012).

<b>Bölge</b>	<b>Rezerv Lokasyonu</b>	
Ege Bölgesi	Manisa	Merkez
	Kütahya	Soma Merkez
Marmara Bölgesi	Bursa	İzmit Merkez
	Balıkesir	Sındırgı
	Çanakkale	Bigadiç
	İstanbul	Kepsut
	Tekirdağ	Ayvacık
	Edirne	Bayramiç
		Çatalca
İç Anadolu Bölgesi	Eskişehir	Malkara
	Konya	Lalapaşa
	Ankara	Enez
	Çankırı	Merkez
		Karatay
Karadeniz Bölgesi	Çorum	Kalecik
	Ordu	Çubuk
	Artvin	Eldivan
	Giresun	Şabanözü
	Trabzon	Kurşunlu
	Tokat	Ilgaz
		Laçın
Akdeniz Bölgesi	Hatay	Bayat
		Kumru
		Ünye
		Fatsa
		Merkez
		Tirebolu
		Arsin
		Turhal
		Reşadiye
		İskenderun

### 3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde deneysel çalışmalarda materyal olarak kullanılan malzemeler, analizler ve deney ekipmanları hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan Hammadde

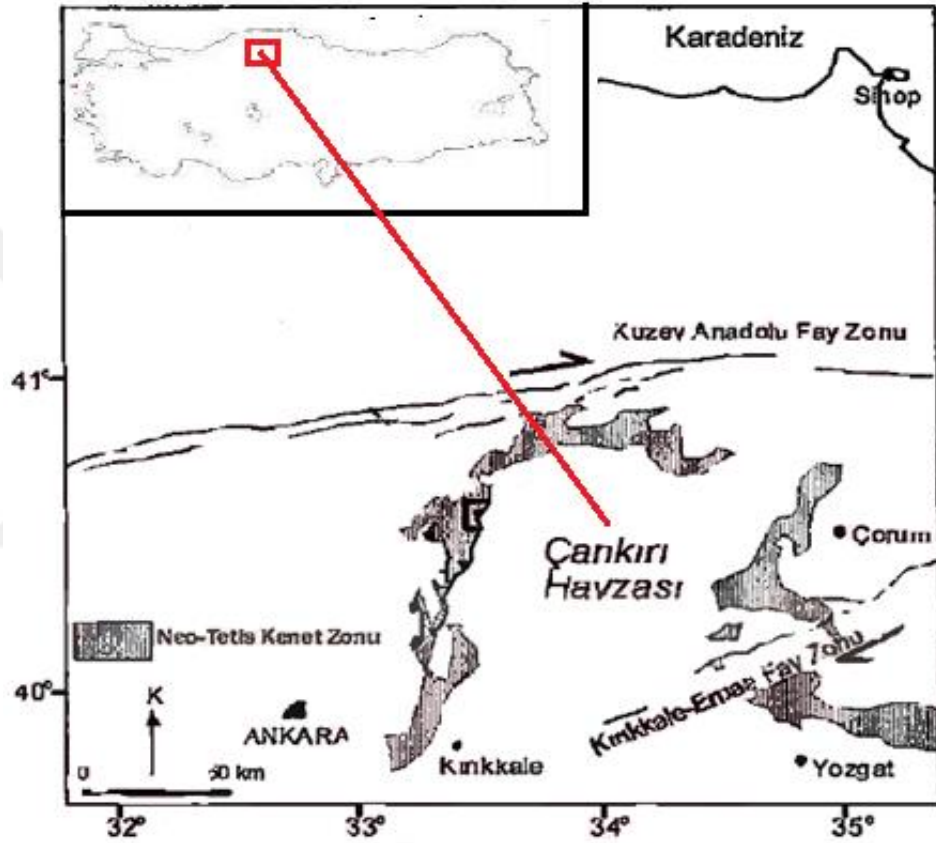
Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, hammadde olarak Çankırı havzasına ait Na-Bentonit kullanılmıştır. Hammadde Çankırı Bentonit Sanayi A.Ş. (ÇANBENSAN) tarafından temin edilmiştir. Bu bentonitler Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Ar-Ge merkezi akrediteli analiz laboratuvarı raporu sonucunda API Spec. 13A ve TS EN 13500 standartlarına uygunluğu tescillenmiştir. Hammadde olarak kullanılan Na-Bentonit numunelerinin alındığı bölgenin uydu görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çankırı Eldivan bölgesinin uydu görüntüsü (Esat, 2004).

### 3.1.2. Çankırı Havzası

Çankırı Havzası, Türkiye'nin en büyük çökel havzalarından biridir ve Şekil 3.2'de gösterildiği gibi havza Orta Anadolu'da yaklaşık  $33.5^{\circ}$  –  $35^{\circ}$  doğu boylamları ile  $40^{\circ}$  –  $41^{\circ}$  kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Havzanın çevresi batı kısmında Elmadağ-Eldivan Dağı, kuzey kismunda Ilgaz Dağları, doğu kısmında ise Köse Dağı ile çevrilidir (Tüysüz ve Dellaloğlu, 1992).



Şekil 3.2. Çankırı Havzası'nın konumu (Esat, 2004).

### 3.1.3. Fiziksel Özellikler

Deneyisel çalışmalarda ve sonuçlarının yorumlanmasında hammadde olarak kullanılan Na-Bentonit numunesine ait fiziksel özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bu fiziksel özellikler numunenin alındığı bentonit yatağına bentonitin oluşum süresi ve şekline göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Çankırı ili Eldivan bölgesine ait olan bentonitin fiziksel özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çankırı bentonitinin fiziksel özellikleri (TS EN ISO 13500, 2010).

Özellik	Analiz Değeri
Yoğunluk	2.6 – 2.7 gr/cm <sup>3</sup>
Viskozimetre 600 devir/dakika okuması	En az 30 cp
Filtrasyon miktarı	En fazla 15 cc
Rutubet oranı	Ağırlıkça en çok %2,5
YP/PV oranı	En çok 3
Disperse plastik viskozite	En az 1.5 cp
Normal YP/PV oranının disperse YP/PV'ye oranı	En fazla 3
Çapı 75 mikrondan daha büyük kalıntı	En çok %4

#### 3.1.4. Kimyasal Özellikler

Hammadde olarak kullanılan Na-Bentonit numunesine ait kimyasal özellikler karakterizasyonun belirlenmesinde önem taşımaktadır. Bu kimyasal özellikler numunenin alındığı bentonit yatağına göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Çankırı ili Eldivan bölgesine ait olan bentonitin kimyasal bileşimi Çizelge 3.2.'de belirtilmiştir.

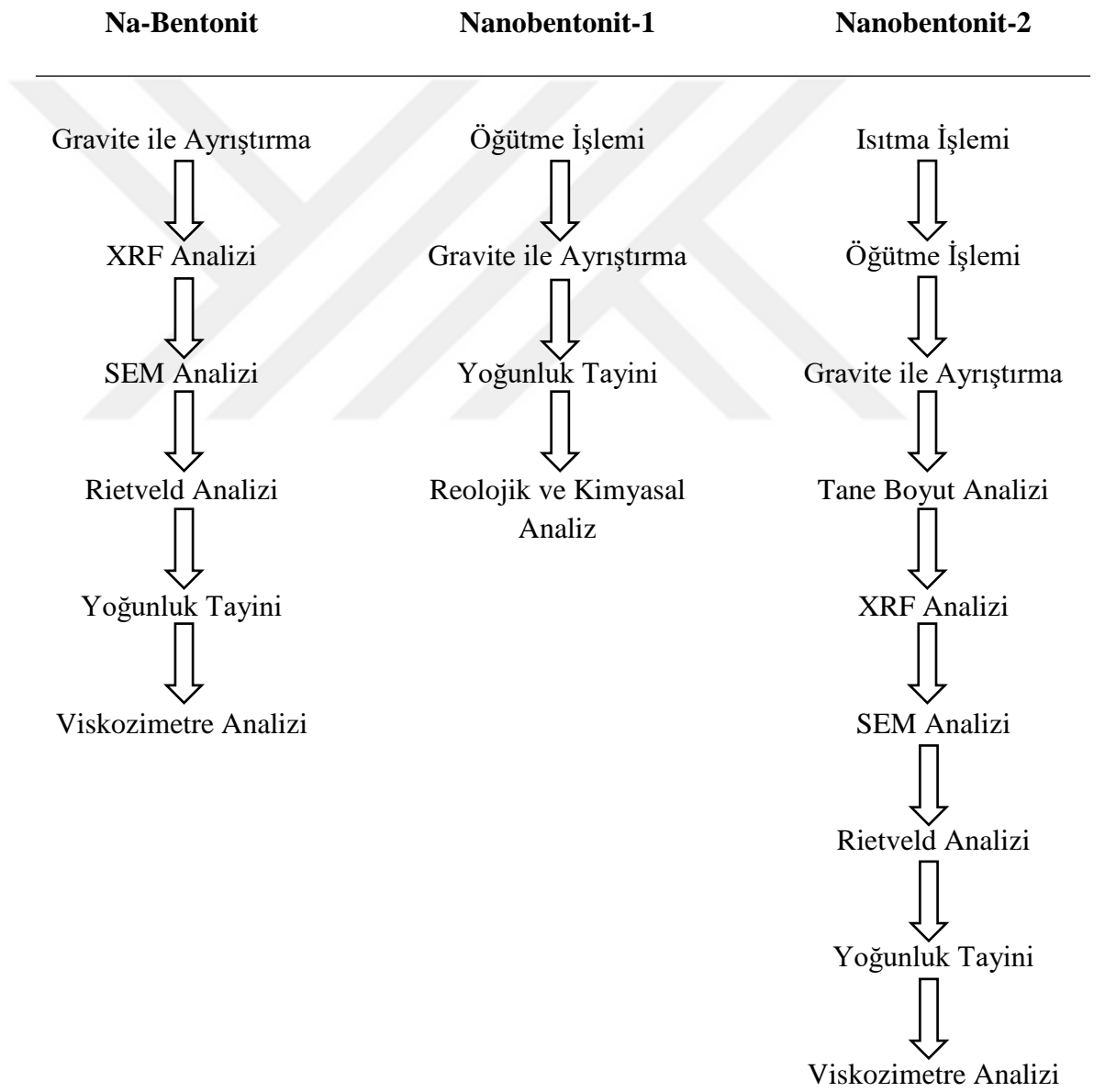
Çizelge 3.2. Çankırı bentonitinin kimyasal bileşimi (Karben, 2017).

Kimyasal Bileşim	Oran (%) ( $\pm\%5$ )
SiO <sub>2</sub>	61.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.01
CaO	4.54
Na <sub>2</sub> O	2.70
MgO	2.10
K <sub>2</sub> O	1.24

### 3.2. Metot

Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 ürünlerinin üretiminin yapılabilmesi ve karakterizasyonunun detaylı bir şekilde belirlenebilmesi için numunelere uygulanan proses ve analizler Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Na-Bentonit, Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 numuneleri için üretim ve karakterizasyon iş akışı



### 3.2.1. Isıtma İşlemi

Deneyisel çalışmalarda dehidrasyon amacıyla yapılan ısıtma işleminde Şekil 3.3.'de belirtilen Magma-Therm marka 1200 °C kapasiteli etüv kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Magma-Therm marka etüv

### 3.2.2. Öğütme İşlemi

Deneyisel çalışmalarda öğütme işlemi için Şekil 3.4.'de belirtilen laboratuvar tipi değirmen kullanılmıştır. Toplam bilya ağırlığı 2500 gram, çapı ise 3.8mm olan Şekil 3.5.'de verilen bilyalar kullanılmıştır.





Şekil 3.4. Karıştırıcılı bilyalı değirmen



Şekil 3.5. Çapı 3.8mm olan bilyalar



### 3.2.3. Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma

Deneyisel çalışmalarda ısıtma ve öğütme işlemi uygulanan numunelerin bünyesinde bulundurduğu ağır metaller ve yanmış organik maddeleri uzaklaştırmak ve saflaştırmak için Gravite Yöntemi ile ayrıştırma işlemi uygulanmıştır.

### 3.2.4. Tane Boyutu Analizi

Deneyisel çalışmalarda numunelerin tane boyut analizi ölçümlerinde Şekil 3.6.'da verilen Malvern Mastersizer 3000 marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Malvern Mastersizer 3000 marka tane boyut analizi cihazı

### 3.2.5. Reolojik ve Kimyasal Analiz

Na-Bentonit, Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 numunelerinin sondaj çamurlarında kullanılabilirliğinin analizi için numuneler ile su bazlı TSE EN ISO 13500 ve API standartlarına uygun Spud tip sondaj çamuru hazırlanmıştır. Sondaj çamuru için reolojik ve kimyasal analizler yapılmıştır. Bu analizler pH analizi, sondaj çamurunun fenolftalein alkalinitesi (PM), sondaj çamur filtratının fenolftalein alkalinitesi (PF), sondaj çamur filtratının metil oranj alkalinitesi (MF), klor ve klorür miktarı, kalsiyum miktarı, marsh huni viskozitesi, viskozimetre ölçümleri, tiksotropi analizi ve sıvı kaybı analizi olarak belirlenmiştir.

### 3.2.6. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi

Analizler kapsamında kullanılan numunelerin elementel ve kimyasal bileşim kompozisyonunu belirlemek amacıyla Şekil 3.7.'de verilen Thermo ARL marka cihazın UQ programı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Thermo ARL marka XRF analiz cihazı

### 3.2.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Analiz numunelerini taramalı elektron mikroskobu ile farklı açılar ve yakınlık dereceleri ile görüntüleyebilmek amacıyla Şekil 3.8.'de verilen Jeol JSM-6060LV model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Jeol JSM-6060LV model taramalı elektron mikroskobu (SEM)

### 3.2.8. Rietveld Analizi

Deneysel çalışmalarda Na-Bentonit ve Nanobentonit-2 numunelerine Cu-X ışın tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD analiz cihazı ile ( $4^0$ - $70^0$  tüm kayaç,  $4^0$ - $30^0$  detay kil) gerçekleştirilen XRD analizi Panalytical X'Pert High Score Plus programı ve ICSD veritabanı kullanılarak Rietveld (1969) metodu ile kantitatif analizler yapılmıştır. Analiz kapsamında Şekil 3.9.'da verilen Cu-X ışın tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Cu-X ışın tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD analiz cihazı

### 3.2.9. Yoğunluk Tayini

Na- Bentonit, Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 numunelerinin yoğunluğunu hesaplamak için toplam kütlelerin toplam hacime oranlanması ile yoğunluk belirlenmektedir. Öncelikle 0,1 hassasiyette olan laboratuvar tipi ölçek ile numunenin kütlesi hesaplanmıştır. Devamında mezür içerisinde bulunan saf suya numune ilave edilerek yükselen su hacminden toplam hacim belirlenip toplam kütlelerin toplam hacime oranı ile yoğunluk hesabı yapılmıştır.

### 3.2.10. Viskozimetre Analizi

Na- Bentonit, Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 numuneleri kullanılarak yapılan TSE ISO EN 13500 ve API standartlarına uygun (22,5 gram bentonit / 350 mL deiyonize su ve en az 16 saat dinlendirme süresi) sondaj çamurlarının reolojik özelliklerini

belirlemek amacıyla Şekil 3.10.'da bulunan Ofite-Model 800 marka viskozimetre kullanılmıştır. Analiz kapsamında 600 rpm okuması, 300 rpm okuması, 200 rpm okuması, 100 rpm okuması, görünür viskozite hesaplanması, plastik viskozite hesaplanması, kopma noktası (yield point) hesaplanması, 10 sn jel mukavemeti ölçümü ve 10 dk jel mukavemeti ölçümü yapılmıştır. Yapılan analizlerde Görünür Viskozite, Plastik Viskozite ve Kopma Noktası (Yield Point) hesaplamaları için gereken formüller sırasıyla 3.1., 3.2. ve 3.3.'te verilmiştir

10 sn jel mukavemeti ve 10 dk jel mukavemeti ölçümleri yapılırken hazırlanan çamur 600 rpm'de 10 sn süre ile karıştırılıp sonrasında viskozimetre durdurulmuştur. 10 saniye hareketsiz bekletildikten sonra 3 rpm'de çalıştırılmış ve kadranın ulaştığı en yüksek değer lbs/100ft<sup>2</sup> cinsinden 10 sn jel mukavemeti olarak kayıt edilmiştir. Sonrasında aynı işlem tekrar başlatılmış ve 10 dakika bekleme süresinden sonra 3 rpm'de çalıştırılmış ve kadranın ulaştığı en yüksek değer lbs/100ft<sup>2</sup> cinsinden 10 dk jel mukavemeti olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 3.10. Ofite-Model 800 marka viskozimetre

$$\text{Görünür Viskozite (cp)} = 600 \text{ RPM Okuması} / 2 \quad (3.1)$$

$$\text{Plastik Viskozite (cp)} = 600 \text{ RPM Okuması} - 300 \text{ RPM Okuması} \quad (3.2)$$

$$\text{Kopma Noktası (lb/100ft}^2\text{)} = 300 \text{ RPM Okuması} - \text{Plastik Viskozite} \quad (3.3)$$

#### 4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Çankırı Eldivan bölgesine ait API Spec. 13A standardına uygun sondaj çamurlarında kullanılan Na-Bentonit kiline laboratuvar şartlarında fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanmıştır. Na-Bentonit kili ilk önce öğütme işlemine tabi tutularak nano boyuta indirgenmiştir. Sonrasında gravite yöntemi ile ayrıştırma yapılarak bünyesindeki ağır metal ve organik bileşikler uzaklaştırılarak saflaştırılmıştır. Yapılan proses sonucunda üretilen nihai ürüne Nanobentonit-1 adı verilmiştir. Sonrasında üretim aşamasını hızlandırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla önce Na-Bentonit kili 475 °C'ye kadar ısıtılmış ve bünyesindeki su molekülleri uzaklaştırılmıştır. Sonrasında tekrar öğütme işlemi uygulanmış ve gravite yöntemi ile ayrıştırılarak saflaştırılmıştır. Oluşan ürüne ise Nanobentonit-2 adı verilmiştir. Ortaya çıkan ürünlerin (Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2) fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak karakterizasyonu tespit edilmiştir.

##### 4.1. Isıtma İşlemi

DeneySEL çalışmalarında Na-Bentonit numunesinin bünyesinde bulundurduğu su moleküllerini uzaklaştırmak amacıyla 475 °C sıcaklığında 120 dakika süresince ısıtılmıştır. Na-Bentonit numunesinin işlem öncesi ve sonrası durumları sırasıyla Şekil 4.1. ve 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Isıtma öncesi Na-Bentonit



Şekil 4.2. Isıtma sonrası Na-Bentonit

Isıtma işlemi sonucunda numune renginde gözle görülür bir farklılaşma meydana gelmiştir ve bej renginden açık kahverengi rengine dönüşmüştür. Ayrıca içerisinde bulundurduğu su moleküllerini serbest bırakarak uzaklaştırmıştır.

#### 4.2. Öğütme İşlemi

Deneyisel çalışmalarda Na-Bentonit numunesini öğütürerek Nanobentonit-1, Nanobentonit-1 numunesini öğütürerek Nanobentonit-2 üretimini yapabilmek için Şekil 4.3.'de verilen 3.8mm çapta ve toplam ağırlığı 2500 gram olan demir bilyalar ile 800 devir/dakika hızda 45 dakika boyunca karıştırıcılı değirmen kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Öğütme işleminde kullanılan bilyalar



Öğütme işlemi başlamadan önce işlem sırasında kullanılacak bilyalar kuvars kumu ile 1000 devir/dakika hızda 30 dakika süresince karıştırılarak temizlenmiştir. Saf su ile yıkandıktan sonra ise kurutularak öğütme işlemine hazır hale getirilmiştir.

#### 4.2.1. Nanobentonit-1 için Öğütme İşlemi

Nanobentonit-1 üretebilmek için Na-Bentonit numunesi 3.8mm çapta ve toplam ağırlığı 2500 gram olan demir bilyalar ile 800 devir/dakika hızda 45 dakika boyunca karıştırıcılı değirmen ile öğütülmüştür. Elde edilen nano boyuta indirgenmiş numune Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Nanobentonit-1 öğütme işlemi sonrasında karıştırıcılı değirmen haznesi

Öğütme işlemi tamamlandıktan sonra numune üzerinde gözle görülebilecek şekilde değişim meydana gelmiştir. Tane boyutundaki değişim hem fiziksel hem de kimyasal değişikliklere neden olmuştur.

#### 4.2.2. Nanobentonit-2 için Öğütme İşlemi

Nanobentonit-2 üretebilmek için ısıtma işlemi uygulanmış Na-Bentonit numunesi 3.8mm çapta ve toplam ağırlığı 2500 gram olan demir bilyalar ile 800 devir/dakika hızda 45 dakika boyunca karıştırıcılı değirmen ile öğütülmüştür. Elde edilen nano boyuta indirgenmiş numune Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5. Nanobentonit-2 için Öğütme işlemi sonrasında karıştırıcılı değirmen haznesi

Öğütme işlemi sonrası numune üzerinde gözle görülebilecek şekilde fazla değişim meydana gelmemiştir. Fakat nano boyutta hem fiziksel hem de kimyasal değişiklikler meydana geldiği tespit edilmiştir.

### **4.3. Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma**

#### **4.3.1. Na-Bentonit için Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma**

Deneyler için elde edilen Na-Bentonit numunesinde saflığı artırmak ve kil mineralleri dışında bünyesinde bulundurduğu yabancı maddeleri ortamdan uzaklaştırmak için yoğunluk farkından faydalanılarak sallantılı masa ile eleme yapılmıştır. Bu eleme sonucunda gravite farkından dolayı safsızlığı sağlayan maddeler masa üzerinde kalmış ve masa altı kısımda analizler için kullanılacak nano boyuta indirgenmiş numune kalmıştır.

#### **4.3.2. Nanobentonit-1 için Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma**

Deneyler için öğütülerek elde edilen Nanobentonit-1 numunesinde saflığı artırmak ve kil mineralleri dışında öğütme esnasında bilyalar tarafından karışan demir parçaları ve tozları, analiz ortamından bulaşan yabancı maddeleri ortamdan uzaklaştırmak için yoğunluk farkından yararlanılarak sallantı masası ile eleme yapılmıştır. Bu eleme



sonucunda gravite farkından dolayı safsızlığı sağlayan maddeler masa üzerinde kalmıştır. Masa altı kısımda ise analizler için kullanılacak numune kalmıştır.

#### 4.3.3. Nanobentonit-2 için Gravite Yöntemi ile Ayrıştırma

Deneyler için ısıtma işlemine tabi tutularak ve öğütülerek elde edilen Nanobentonit-2 numunesinde saflığı artırmak ve kil mineralleri dışında öğütme esnasında bilyalar tarafından karışan demir parçaları ve tozları, analiz ortamından bulaşan yabancı maddeleri ve ısıtma işlemi sonrasında yanan organik maddeleri ortamdan uzaklaştırmak için yoğunluk farkından yararlanılarak sallantı masası ile eleme yapılmıştır. Bu eleme sonucunda gravite farkından dolayı safsızlığı sağlayan maddeler masa üzerinde kalmıştır. Masa altı kısımda ise analizler için kullanılacak numune kalmıştır.

#### 4.4. Tane Boyutu Analizi

##### 4.4.1. Nanobentonit-1 için Tane Boyut Analizi

Analizler esnasında kullanılan Nanobentonit-1 için tane boyut analizleri üçer defa yapıp ortalaması hesaplanmıştır. Mikron biriminde analiz sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Nanobentonit-1 numunesinin tane boyut dağılımı

<b>ANALİZ NO</b>	<b>D10 (Mikron)</b>	<b>D50 (Mikron)</b>	<b>D80 (Mikron)</b>	<b>D100 (Mikron)</b>
<b>1</b>	1.57	6.41	13.2	27.4
<b>2</b>	1.48	5.82	12.0	27.3
<b>3</b>	1.41	5.36	11.2	24.1
<b>ORTALAMA</b>	1.486	5.863	12.133	26.266

Yapılan tane boyut analizi sonucunda ortalama değerler baz alınmış ve numunenin tamamı 26.266 mikron altında, %80'i 12.133, %50'si 5.863 ve %10 kadarı 1.486 mikron boyutunda ve daha altında olarak ölçülmüştür. Yapılan öğütme işlemi sonrasında %10'luk kısmı oluşturan ve ortalama 1.486 mikron değeri ve daha altında olan taneciklerden ölçüm cihazı ile hesaplanamayan fakat nano boyuta indirgenenler tanecikler ise yapılan elektrokimyasal analizler sonucunda belirlenmiştir.

#### 4.4.2. Nanobentonit-2 için Tane Boyut Analizi

Analizler esnasında öğütme işlemi uygulanmadan önce ısıtma işlemi uygulanmış Na-Bentonit numunesi ve sonrasında öğütülerek elde edilmiş Nanobentonit-2 numuneleri için tane boyut analizleri üçer defa yapıp ortalaması hesaplanmıştır. Mikron biriminde analiz sonuçları Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Isıtma İşlemi Uygulanmış Na-Bentonit numunesinin tane boyut dağılımı

ANALİZ NO	D10 (Mikron)	D50 (Mikron)	D80 (Mikron)	D100 (Mikron)
1	2.82	10.4	20.00	40.10
2	2.50	8.81	16.60	35.30
3	2.30	7.83	14.80	31.10
<b>ORTALAMA</b>	2.540	9.013	17.133	35.500

Yapılan tane boyut analizi sonucunda ortalama değerler baz alınmış ve numunenin tamamı 35.500 mikron altında, %80'i 17.133, %50'si 9.013 ve %10 kadarı 2.540 mikron boyutunda ve daha altında olarak ölçülmüştür.

Analizler esnasında kullanılan Nanobentonit-2 numunesi için tanecik boyut analizleri üçer defa yapıp ortalaması hesaplanmıştır. Mikron biriminde analiz sonuçları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Nanobentonit-2 numunesinin tane boyut dağılımı

ANALİZ NO	D10 (Mikron)	D50 (Mikron)	D80 (Mikron)	D100 (Mikron)
1	1.04	4.17	9.63	31.00
2	0.996	3.87	8.93	27.30
3	0.962	3.67	8.57	27.30
<b>ORTALAMA</b>	0.999	3.903	9.043	28.533

Yapılan tane boyut analizi sonucunda ortalama değerler baz alınmış ve numunenin tamamı 28.533 mikron altında, %80'i 9.043, %50'si 3.903 ve %10 kadarı 0.999 mikron değeri ve daha altında olarak ölçülmüştür. Yapılan ısıtma işlemi ve öğütme işlemi sonrasında %10'luk kısmı oluşturan ve ortalama 0.999 mikron değeri ve daha altında

olan taneciklerden ölçüm cihazı ile hesaplanamayan fakat nano boyuta indirgenenler tanecikler ise yapılan elektrokimyasal analizler sonucunda belirlenmiştir.

#### 4.5. Reolojik ve Kimyasal Analiz

##### 4.5.1. Na-Bentonit için Reolojik ve Kimyasal Analiz

Na-Bentonit numunesinin reolojik ve kimyasal analizlerinin yapılabilmesi için su bazlı Spud tip sondaj çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan sondaj çamuru TSE ISO EN 13500 standartlarına uygun olacak şekilde (22,5 gram bentonit / 350 mL deiyonize su ve en az 16 saat dinlendirme süresi) hazırlanmıştır. Kap içerisinde 700 mL deiyonize suya 45 gram olan numune ilave edilmiş ve 15 dakika boyunca karıştırılarak 16 saat dinlendirilmiştir. Dinlendirme sonrasında pH analizi, sondaj çamurunun fenolftalein alkalinitesi (PM), sondaj çamur filtratının fenolftalein alkalinitesi (PF), sondaj çamur filtratının metil oranj alkalinitesi (MF), klor ve klorür miktarı, kalsiyum miktarı, marsh huni viskozitesi, viskozimetre ölçümleri, tiksotropi analizi ve sıvı kaybı analizleri yapılmıştır ve bulunan değerler Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Na-Bentonit için Reolojik ve Kimyasal Analiz Bulguları

Analiz	Sonuç
Ph	10.07
Sondaj Çamurunun Fenolftalein Alkalinitesi (PM)	4.52
Sondaj Çamur Filtratının Fenolftalein Alkalinitesi (PF)	3.7
Sondaj Çamur Filtratının Metil Oranj Alkalinitesi (MF)	6.22
Klor Miktarı	3.45 gr/L
Klorür Miktarı	3450 mL
Kalsiyum Miktarı	520 mL/L
Marsh Huni Viskozitesi	36 sn
600 rpm Viskozimetre Okuması	31 cp
300 rpm Viskozimetre Okuması	22 cp
200 rpm Viskozimetre Okuması	17 cp
100 rpm Viskozimetre Okuması	15 cp

Çizelge 4.4. Na-Bentonit için Reolojik ve Kimyasal Analiz Bulguları (Devam)

Görünür Viskozite (Av)	15.5 cp
Plastik Viskozite (Pv)	9 cp
Kopma Noktası (Yield Point) (Yp)	13 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Sn Jel Mukavemeti	9 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Dk Jel Mukavemeti	14 lb/100ft <sup>2</sup>
Sıvı Kaybı Miktarı (Filter Press)	16 mL

#### 4.5.2. Nanobentonit-1 için Reolojik ve Kimyasal Analiz

Nanobentonit-1 numunesinin reolojik ve kimyasal analizlerinin yapılabilmesi için su bazlı Spud tip sondaj çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan sondaj çamuru TSE ISO EN 13500 standartlarına uygun olacak şekilde (22,5 gram bentonit / 350 mL deiyonize su ve en az 16 saat dinlendirme süresi) hazırlanmıştır. Kap içerisinde 700 mL deiyonize suya 45 gram olan numune ilave edilmiş ve 15 dakika boyunca karıştırılarak 16 saat dinlendirilmiştir. Dinlendirme sonrasında pH analizi, sondaj çamurunun fenolftalein alkalinitesi (PM), sondaj çamur filtratının fenolftalein alkalinitesi (PF), sondaj çamur filtratının metil oranj alkalinitesi (MF), klor ve klorür miktarı, kalsiyum miktarı, marsh huni viskozitesi, viskozimetre ölçümleri, tiksotropi analizi ve sıvı kaybı analizleri yapılmıştır ve bulunan değerler Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Nanobentonit-1 için Reolojik ve Kimyasal Analiz Bulguları

Analiz	Sonuç
Ph	10.28
Sondaj Çamurunun Fenolftalein Alkalinitesi (PM)	4.21
Sondaj Çamur Filtratının Fenolftalein Alkalinitesi (PF)	3.97
Sondaj Çamur Filtratının Metil Oranj Alkalinitesi (MF)	6.00
Klor Miktarı	3.80 gr/L
Klorür Miktarı	3600 mL
Kalsiyum Miktarı	500 mL/L
Marsh Huni Viskozitesi	41 sn

Çizelge 4.5. Nanobentonit-1 için Reolojik ve Kimyasal Analiz Bulguları (Devam)

600 rpm Viskozimetre Okuması	36 cp
300 rpm Viskozimetre Okuması	27 cp
200 rpm Viskozimetre Okuması	19 cp
100 rpm Viskozimetre Okuması	15 cp
Görünür Viskozite (Av)	18 cp
Plastik Viskozite (Pv)	9 cp
Kopma Noktası (Yield Point) (Yp)	18 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Sn Jel Mukavemeti	10 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Dk Jel Mukavemeti	16 lb/100ft <sup>2</sup>
Sıvı Kaybı Miktarı (Filter Press)	14 mL

#### 4.6. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi

##### 4.6.1. Na-Bentonit Numunesi için XRF Analizi

105 °C sıcaklıkta kurutulmuş olan işlem görmemiş Na-Bentonit numunesinin X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi sonuçları Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. İşlem görmemiş Na-Bentonit numunesinin XRF analiz sonucu

Bileşen	%
SiO <sub>2</sub>	58.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.9
A.Za	8.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.6
CaO	3.8
MgO	3.7
Na <sub>2</sub> O	2.7
K <sub>2</sub> O	1.0
TiO	0.9
MnO	0.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1

Na-Bentontit için yapılan XRF analizi sonucunda %58.8 ile en yüksek oranlı bileşen SiO<sub>2</sub> ve %0.1 ile en düşük oranlı bileşen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> olarak ölçülmüştür.

#### 4.6.2. Nanobentonit-2 Numunesi için XRF Analizi

105 °C sıcaklıkta kurutulmuş olan işlem görmemiş Nanobentonit-2 numunesinin X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Nanobentonit-2 numunesinin XRF analiz sonucu

Bileşen	%
SiO <sub>2</sub>	59.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.0
A.Za	8.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.45
CaO	3.8
MgO	3.7
Na <sub>2</sub> O	2.7
K <sub>2</sub> O	1.0
TiO	0.9
MnO	0.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1

Nanobentonit-2 için yapılan XRF analizi sonucunda %59.3 ile en yüksek oranlı bileşen SiO<sub>2</sub> ve %0.1 ile en düşük oranlı bileşen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> olarak ölçülmüştür.

#### 4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

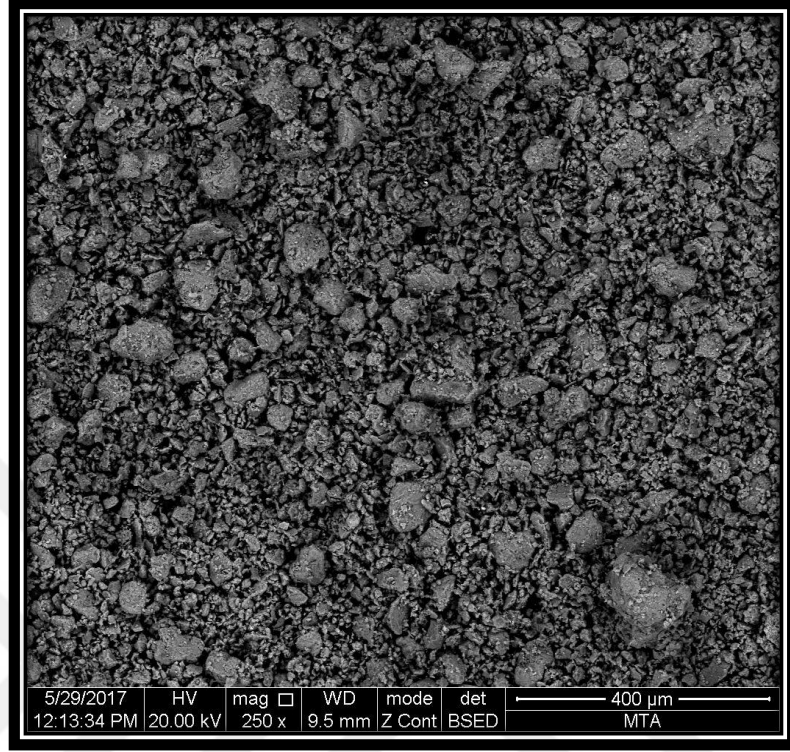
Na-Bentonit ve Nanobentonit-2 numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu altında görüntüleri incelenmiştir. İncelemelerde BSE ve EDS incelemeleri yapıp yorumlanmıştır.

##### 4.7.1. Na-Bentonit için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Na-Bentonit numunesi için BSE-1 ve BSE-2 görüntüleri sırasıyla Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'de verilmiştir.

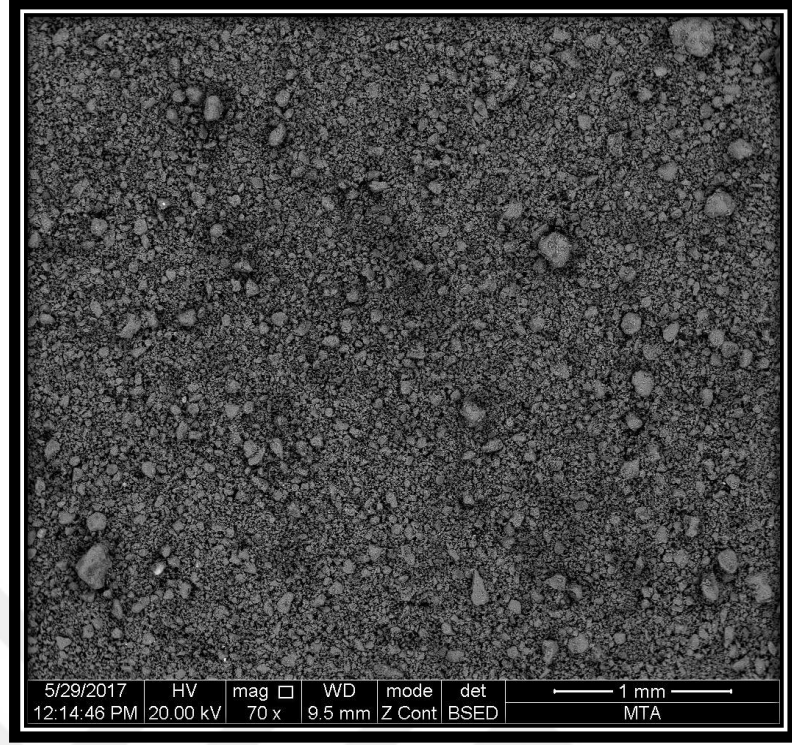
Ayrıca EDS-1, EDS-2, EDS-3 ve EDS-4 olarak adlandırılan kimyasal analizler yapılmış ve SEM görüntüleri ile birlikte spot noktaları da Şekil 4.8., Şekil 4.11., Şekil 4.13. ve Şekil 4.16.'da verilmiştir.

Mikrokimyasal analizlerin EDS grafikleri ise Şekil 4.9., Şekil 4.10., Şekil 4.12., Şekil 4.14., Şekil 4.15. ve Şekil 4.17.'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Na-Bentonit için BSE-1 kodlu SEM görüntüsü (400 µm)

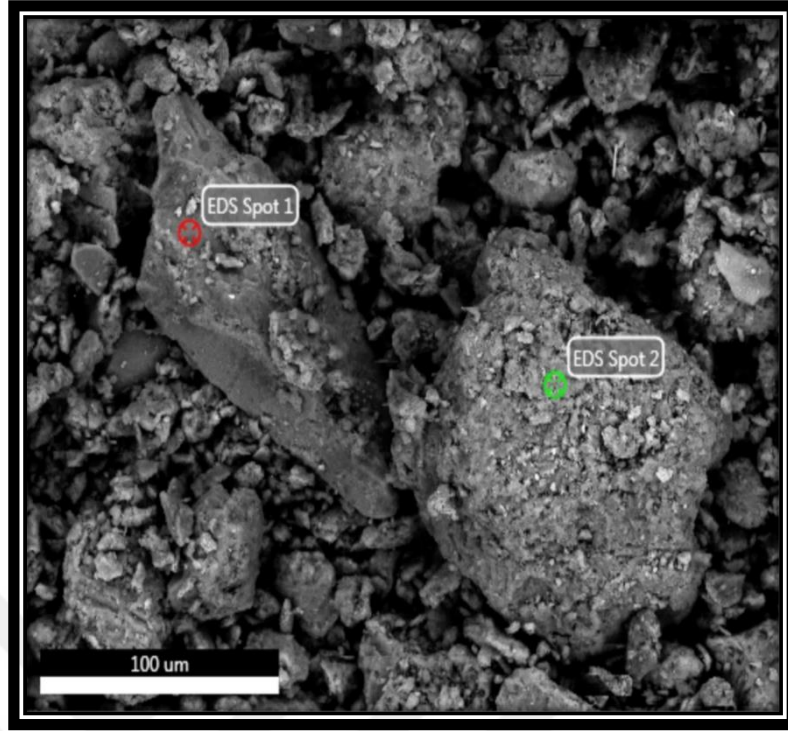
Şekil 4.6.'da Na-Bentonit numunesinde 20.00 KV hızlandırma voltajı ve 250x büyütme oranı ile 400 mikron ölçekli SEM görüntüsü bulunmaktadır. Çekim incelendiğinde montmorillonit içeren kil topakcıkları net bir şekilde görülmektedir. Parlak renkli küçük tanecikler ise kuvars ve demir yansımaları olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca daha koyu renkli kısımlarda organik madde kalıntıları bulunmaktadır.



Şekil 4.7. Na-Bentonit için BSE-2 kodlu SEM görüntüsü (1 mm)

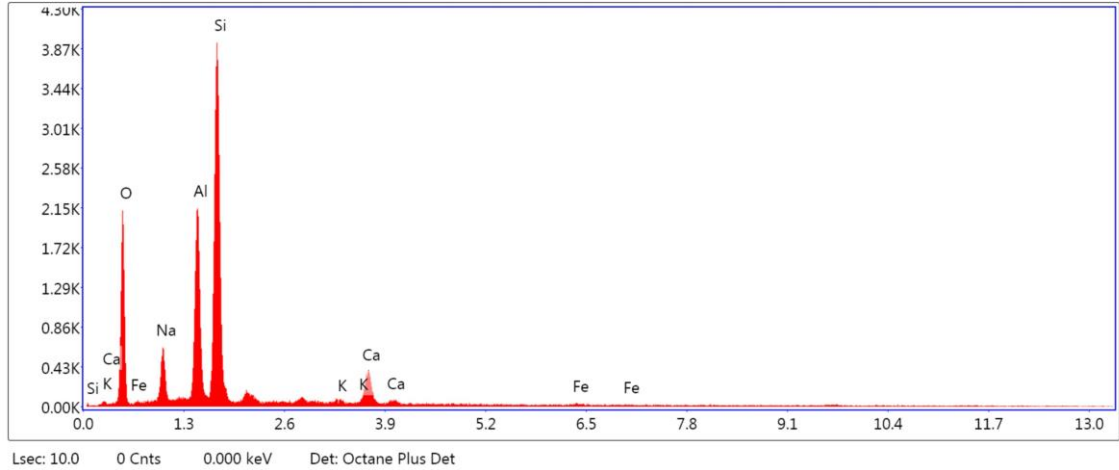
Şekil 4.7.'de Na-Bentonit numunesinde 20.00 KV hızlandırma voltajı ve 70x büyütme oranı ile 1 mm ölçekli SEM görüntüsü bulunmaktadır. Çekim incelendiğinde montmorillonit içeren kil topakcıkları net bir şekilde görülmektedir. Bazı yerlerde ise kuvars tanecikleri parlak yansımalar yapmıştır. Ayrıca daha koyu renkli izli kısımlarda organik madde kalıntıları bulunmaktadır.





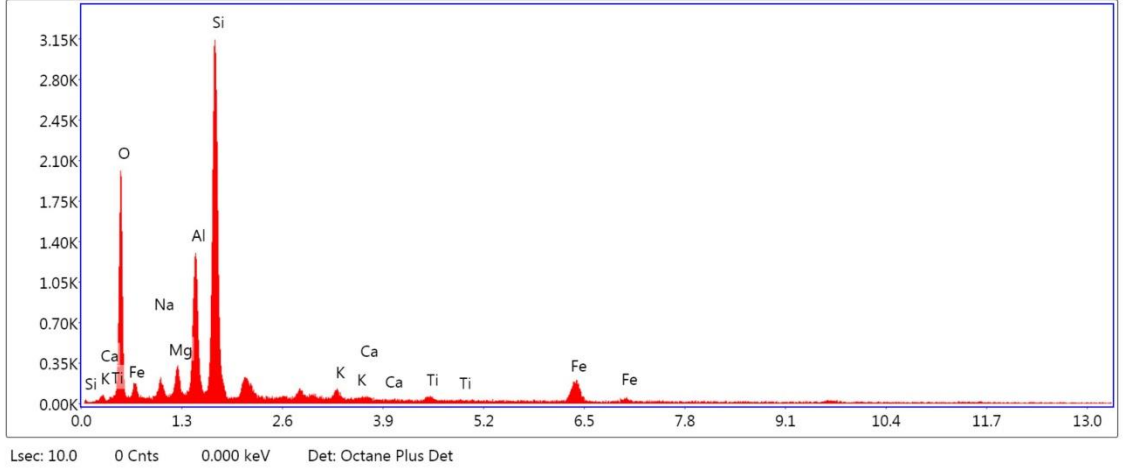
Şekil 4.8. Na-Bentonit için EDS-1 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 ile Spot-2 kodlu EDS noktaları (100 µm)

Şekil 4.8.'de 100 mikron ölçekte çekilen SEM görüntüsü ve Na-Bentonit numunesinde elementel kompozisyonun tanımlanması amacıyla belirlenen EDS-Spot 1 ve EDS-Spot 2 kodlu enerji dağılım spektroskopisi noktaları belirlenmiş ve gösterilmiştir.



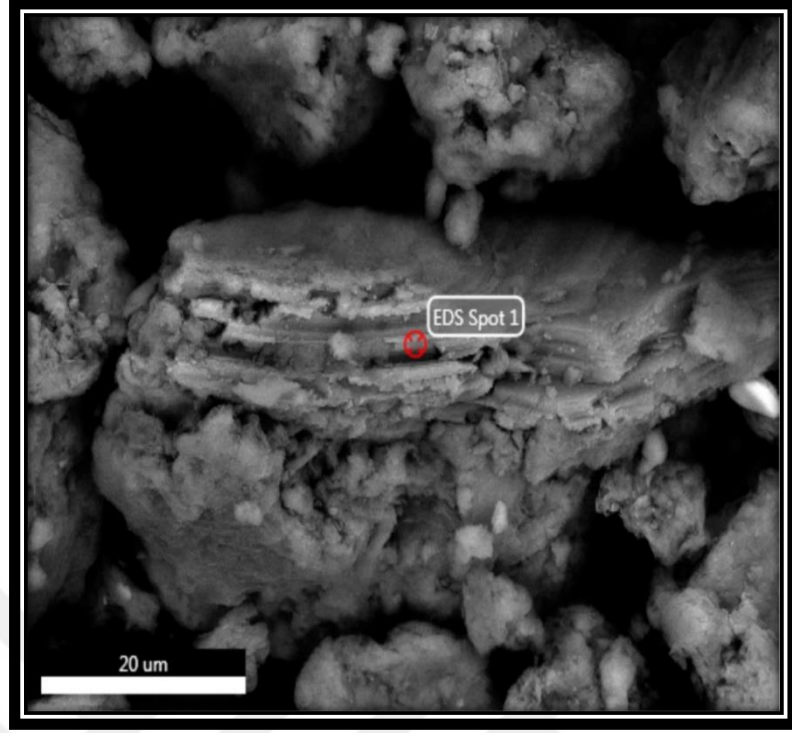
Şekil 4.9. Na-Bentonit için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği

Na-Bentonit numunesi için Şekil 4.9.'da verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 4.2 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 2.35 K değeri ile O ve Al elementleri yer almaktadır. Ca elementi ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı ise migrasyon kaynaklı yeni element kazanması ve tabakalar arasında Ca elementinin yerleşmesi olarak yorumlanmaktadır.



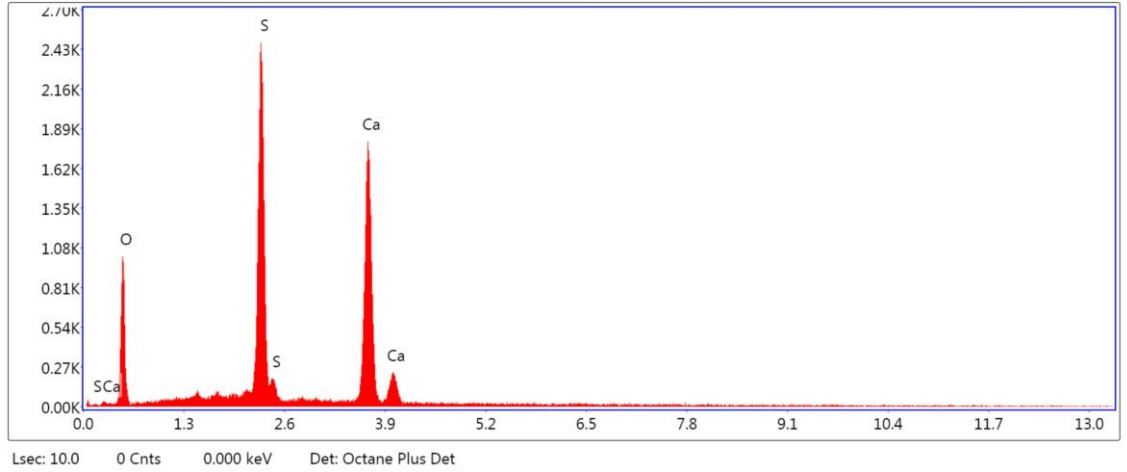
Şekil 4.10. Na-Bentonit için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-2 noktasının EDS grafiği

Na-Bentonit numunesi için Şekil 4.10.'da verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 3.30 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 2.0 K değerinde O elementi ve yaklaşık 1.30 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Fe elementi ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı ise migrasyon kaynaklı yeni element kazanması ve tabakalar arasında Fe elementinin yerleşmesi olarak açıklanmaktadır.



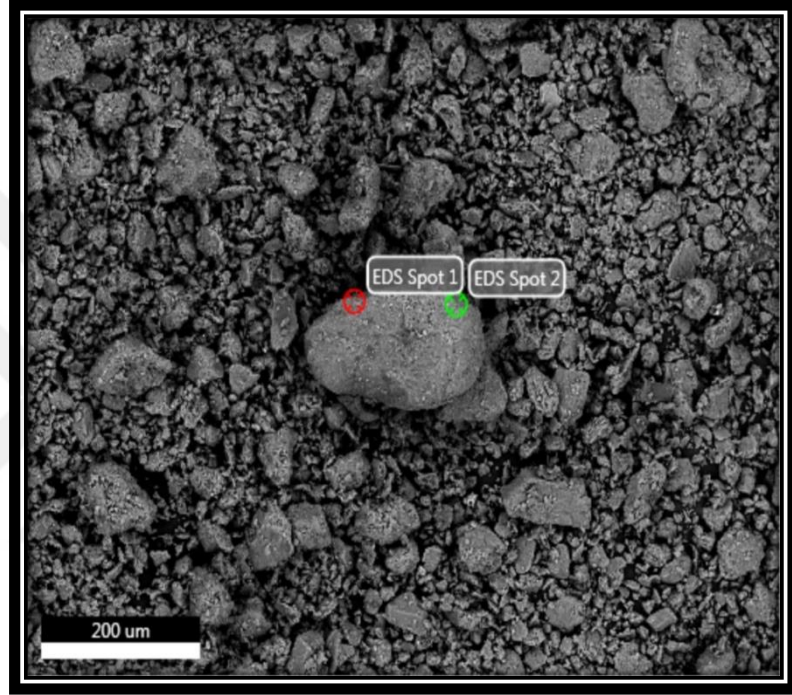
Şekil 4.11. Na-Bentonit için EDS-2 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 kodlu EDS noktası (20 µm)

Şekil 4.11.'de 20 mikron ölçekte çekilen SEM görüntüsü ve Na-Bentonit numunesinde elementel kompozisyonun tanımlanması amacıyla belirlenen EDS-Spot 1 kodlu enerji dağılım spektroskopisi noktası belirlenmiş ve gösterilmiştir.



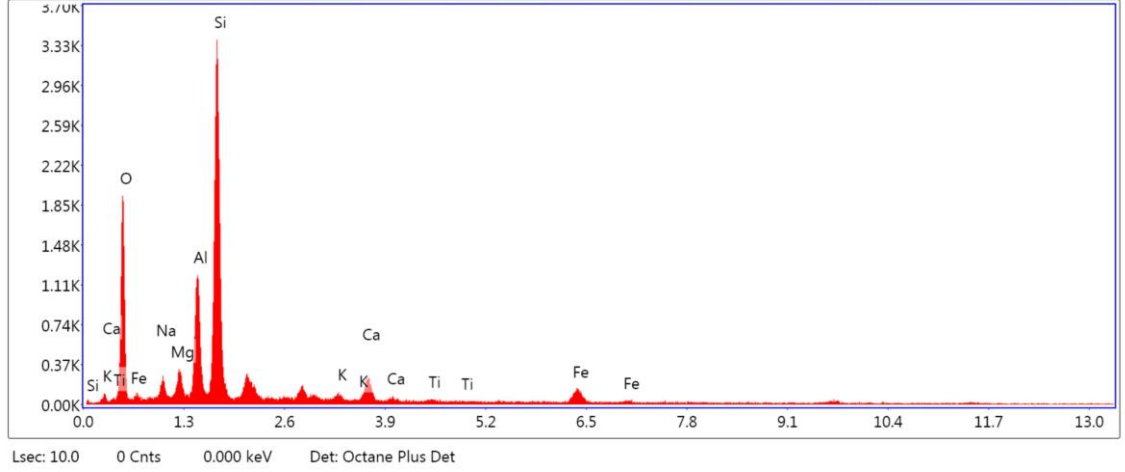
Şekil 4.12. Na-Bentonit için EDS-2 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği

Na-Bentonit numunesi için Şekil 4.12.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 2.50 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 1.85 K değerinde Ca elementi ve yaklaşık 1.0 K değeri ile O elementi yer almaktadır. Ca ve S elementleri ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı ise migrasyon kaynaklı yeni elementler kazanması ve tabakalar arasında Ca ve S elementlerinin yerleşmesi olarak yorumlanmaktadır.



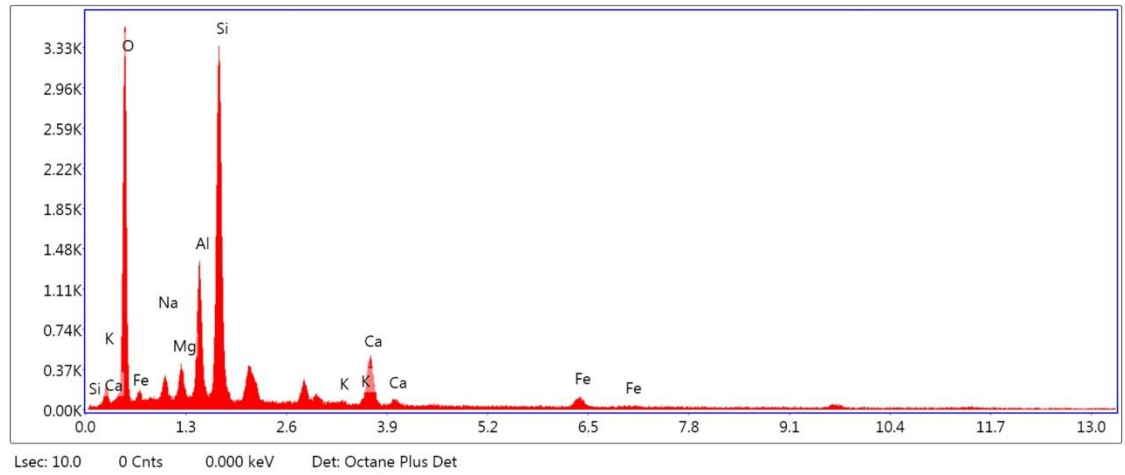
Şekil 4.13. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 ile Spot-2 kodlu EDS noktaları (200 µm)

Şekil 4.13.'de 200 mikron ölçekte çekilen SEM görüntüsü ve Na-Bentonit numunesinde elementel kompozisyonun tanımlanması amacıyla belirlenen EDS-Spot 1 ve EDS-Spot 2 kodlu enerji dağılım spektroskopisi noktaları belirlenmiş ve gösterilmiştir.



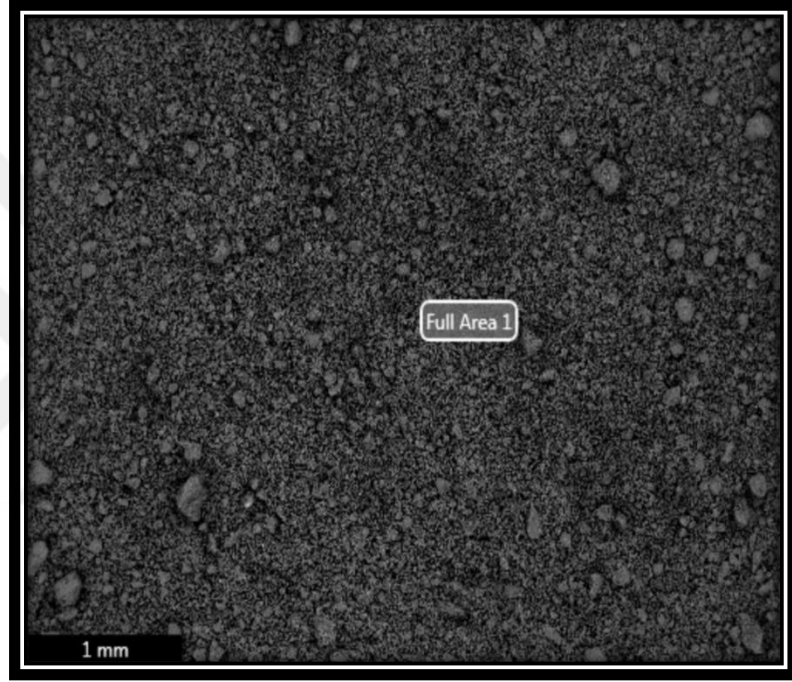
Şekil 4.14. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği

Na-Bentonit numunesi için Şekil 4.14.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 3.45 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 2.0 K değerinde O elementi ve yaklaşık 1.20 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Ca ve Fe elementleri ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı ise migrasyon kaynaklı yeni elementler kazanması ve tabakalar arasında Ca ve Fe elementlerinin yerleşmesi olarak açıklanmaktadır.



Şekil 4.15. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde Spot-2 noktasının EDS grafiği

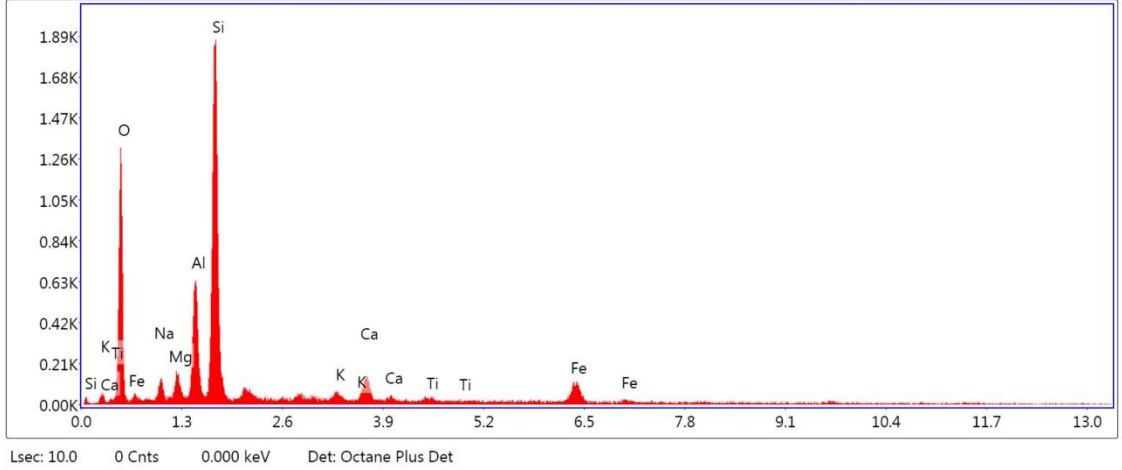
Na-Bentonit numunesi için Şekil 4.15.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 3.50 K değeri ile O elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 3.30 K değerinde Si elementi ve yaklaşık 1.40 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Ca elementi ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı ise migrasyon kaynaklı yeni element kazanması ve tabakalar arasına Ca elementinin yerleşmesi olarak açıklanmaktadır.



Şekil 4.16. Na-Bentonit için EDS-4 kodlu SEM görüntüsü ve EDS alanı (1 mm)

Şekil 4.16.'da 1 mm ölçekte çekilen SEM görüntüsü ve Na-Bentonit numunesinde elementel kompozisyonun tanımlanması amacıyla tam alan enerji dağılım spektroskopisi gösterilmiştir.





Şekil 4.17. Na-Bentonit için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde tam alan EDS grafiği

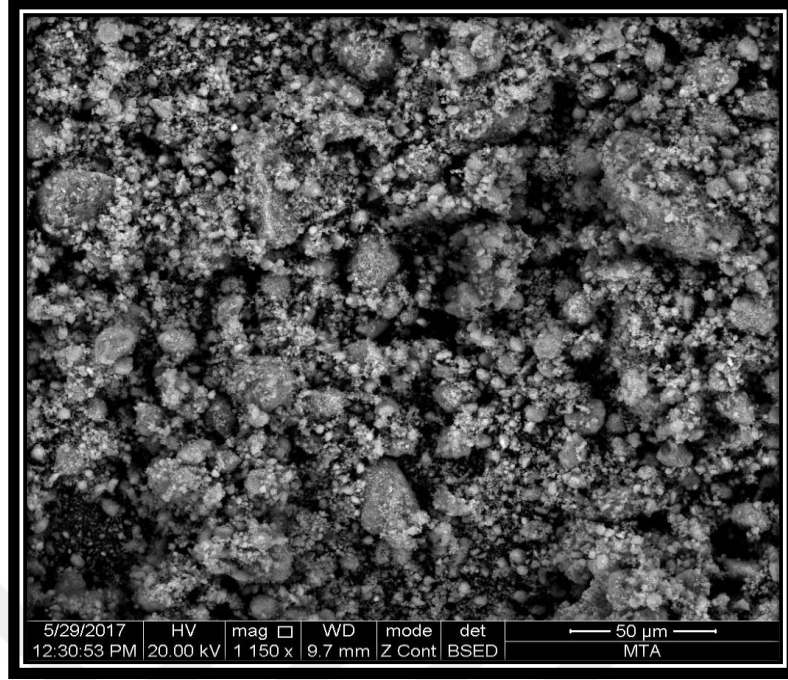
Na-Bentonit numunesi için Şekil 4.17.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 1.90 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 1.30 K değerinde O elementi ve yaklaşık 0.7 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Fe elementi ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı ise migrasyon kaynaklı yeni element kazanması ve tabakalar arasına Fe elementinin yerleşmesi olarak yorumlanmaktadır.

#### 4.7.2. Nanobentonit-2 için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Nanobentonit-2 numunesi için BSE-1, BSE-2, BSE-3 ve BSE-4 görüntüleri sırasıyla Şekil 4.18., Şekil 4.19., Şekil 4.20 ve Şekil 4.21.'de verilmiştir.

EDS-1, EDS-2 ve EDS-3 olarak adlandırılan kimyasal analizler yapılmış ve SEM görüntüleri ile birlikte spot noktaları da Şekil 4.22., Şekil 4.26. ve Şekil 4.28.'de verilmiştir.

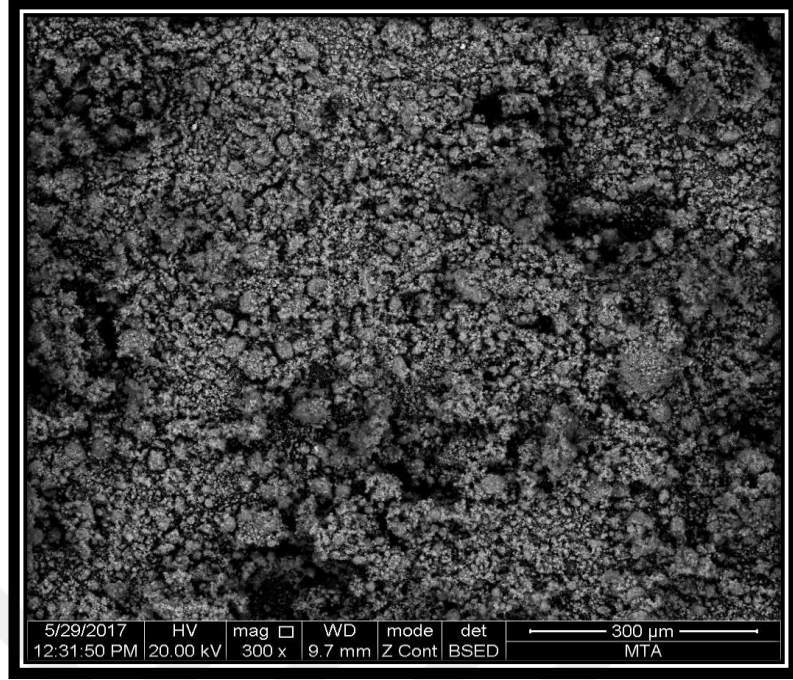
Mikrokimyasal analizlerin EDS grafikleri sırasıyla Şekil 4.23., Şekil 4.24., Şekil 4.25., Şekil 4.27. ve Şekil 4.29.'da verilmiştir.



Şekil 4.18. Nanobentonit-2 için BSE-1 kodlu SEM görüntüsü (50 µm)

Şekil 4.18.'de Nanobentonit-2 numunesinde 20.00 KV hızlandırma voltajı ve 1150x büyütme oranı ile 50 mikron ölçekli SEM görüntüsü bulunmaktadır. Çekim incelendiğinde kuvars ve kalsit tanecikleri net bir şekilde görülmektedir. Koyu renkli kısımlar ise 475 °C sıcaklığında 120 dakika süresince yapılan ısıtma işlemi sonucunda yanan veya bozulan organik madde kalıntılarını ifade etmektedir. Ayrıca ısıtma işlemi sonucunda dehidrasyon meydana geldiği için çoğunlukla montmorillonit minerali içeren kil topakcıklarının hacimlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir.



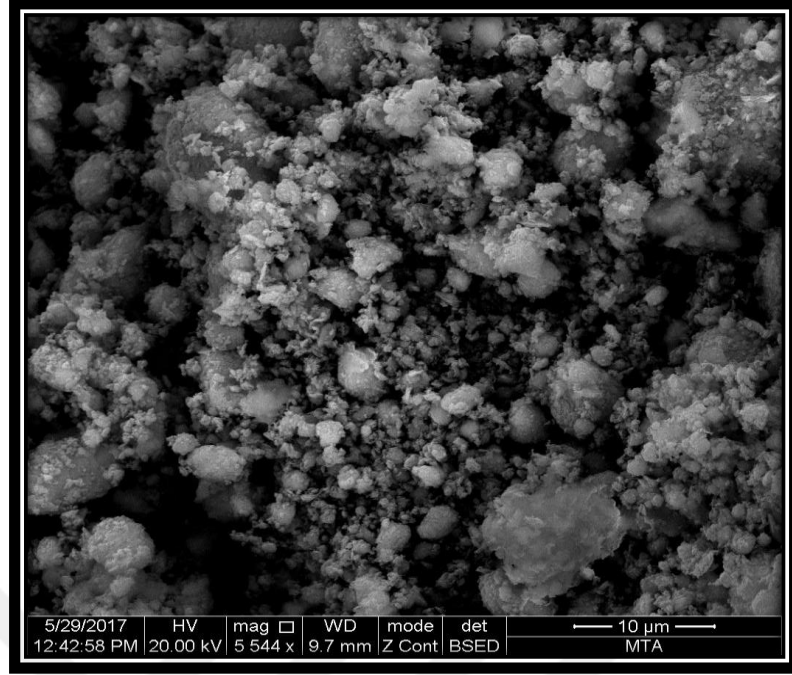


Şekil 4.19. Nanobentonit-2 için BSE-2 kodlu SEM görüntüsü (300 µm)

Şekil 4.19.'da Nanobentonit-2 numunesinde 20.00 KV hızlandırma voltajı ve 300x büyütme oranı ile 300 mikron ölçekli SEM görüntüsü bulunmaktadır. Çekim incelendiğinde inceleme alanının yüzeyini kapsayan ve kil tabakaları yüzeyini adsorbe eden kuvars ve kalsit tanecikleri net bir şekilde görülmektedir.

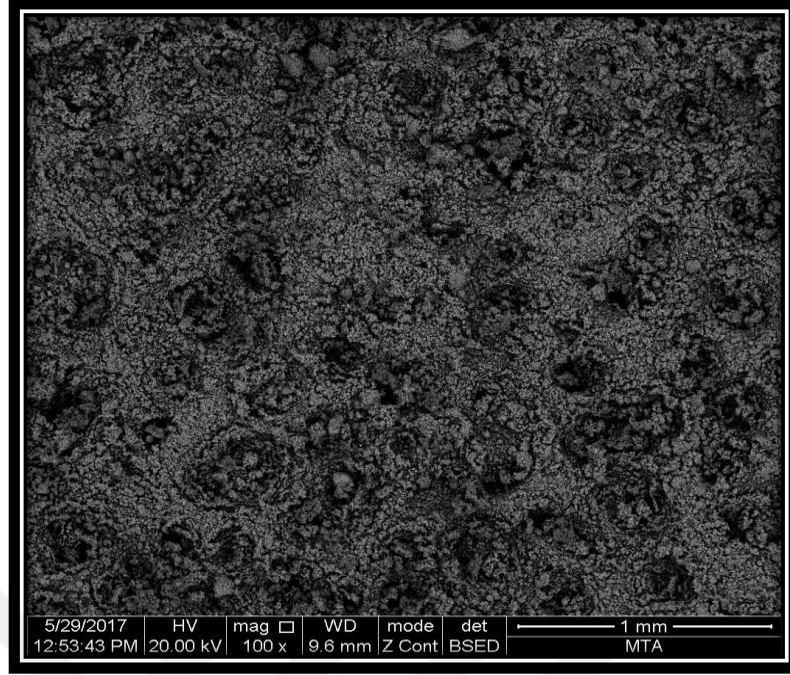
Ayrıca koyu renkli kısımlar ise 475 °C sıcaklığında 120 dakika süresince yapılan ısıtma işlemi sonucunda yanan veya bozulan organik madde kalıntılarını ifade etmektedir.

Ayrıca ısıtma işlemi sonucunda dehidrasyon meydana geldiği için çoğunlukla montmorillonit minerali içeren kil topakçıklarının hacimlerinde azalma meydana geldiği ve kil mineralleri arasında öbikleşmelerin olduğu görülmektedir.



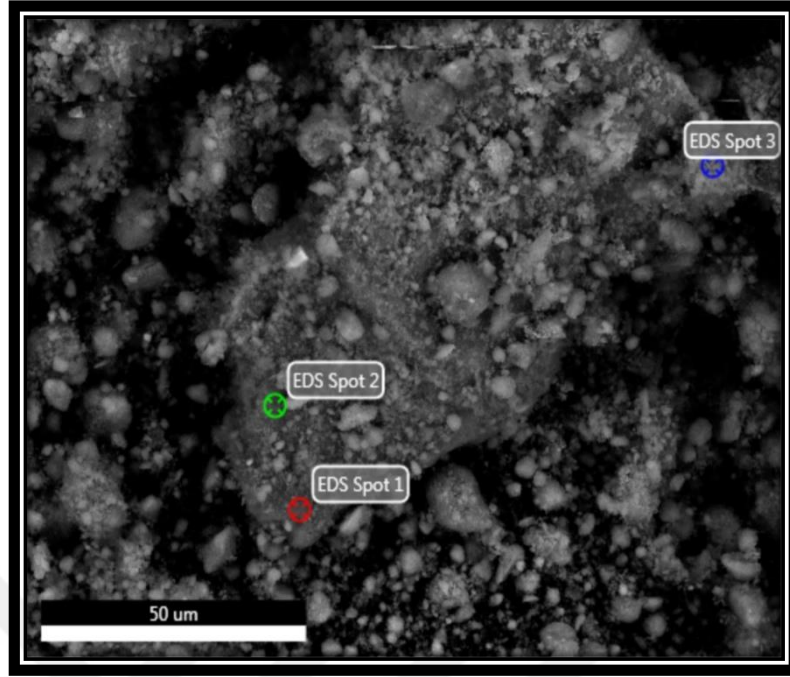
Şekil 4.20. Nanobentonit-2 için BSE-3 kodlu SEM görüntüsü (10 µm)

Şekil 4.20.'de Nanobentonit-2 numunesinde 20.00 KV hızlandırma voltajı ve 5544x büyütme oranı ile 10 mikron ölçekli SEM görüntüsü bulunmaktadır. Çekim incelendiğinde kil mineralleri yüzeyine yapışmış kristobalit ve manyetit yansımaları düşük oranda görülmektedir. Alkali feldispat ise çok düşük oranda görülmektedir. Bazı yerlerde ise kalsit tanecikleri net olarak görülmektedir. 475 °C sıcaklığında 120 dakika süresince yapılan ısıtma işlemi sonucunda yanan veya bozulan organik madde ise kılcal kalıntılar olarak görülmektedir.



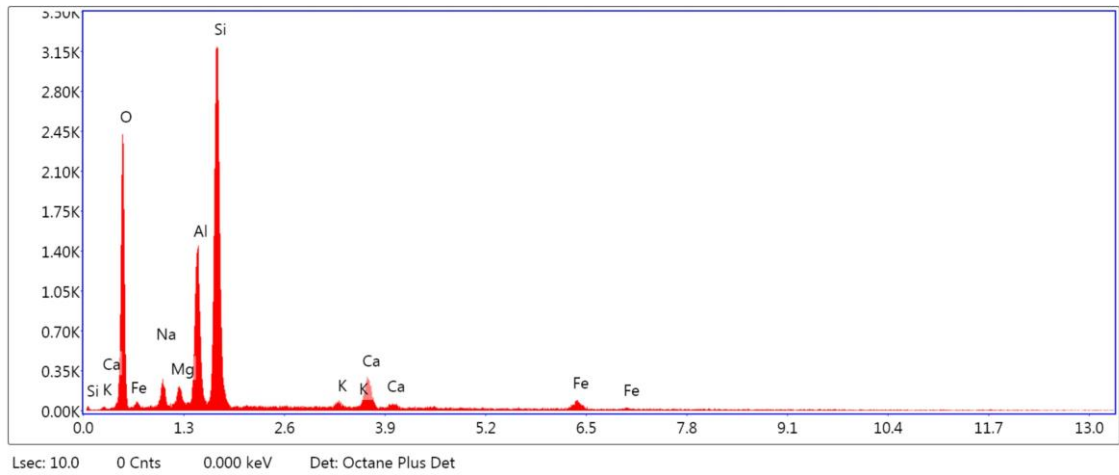
Şekil 4.21. Nanobentonit-2 için BSE-4 kodlu SEM görüntüsü (1 mm)

Şekil 4.21.'de Nanobentonit-2 numunesinde 20.00 KV hızlandırma voltajı ve 100x büyütme oranı ile 1 mm ölçekli SEM görüntüsü bulunmaktadır. Çekim incelendiğinde dehidrasyona uğramış kil topakcıkların yaptığı dairesel çukurlaşmalar ve yüzeylerine yapışan kuvars mineralleri net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca ısıtma işlemi sonucunda bozulan organik materyaller ise görülmektedir. Bazı yerlerde ise kuvars tanecikleri sivri ve parlak şekilde belli olmaktadır.



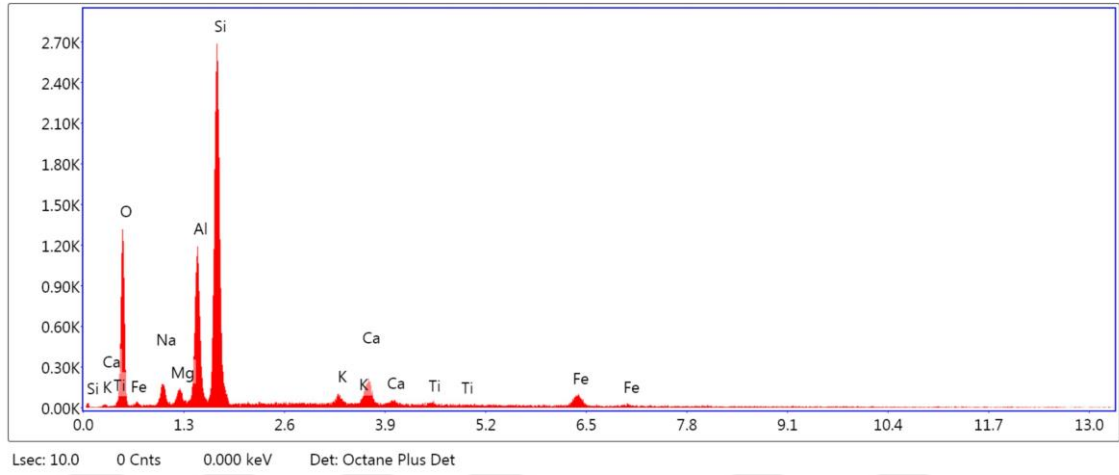
Şekil 4.22. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1, Spot-2 ve Spot-3 kodlu EDS noktaları (50 µm)

Şekil 4.22.'de 50 mikron ölçekte çekilen SEM görüntüsü ve Nanobentonit-2 numunesinde elementel kompozisyonun tanımlanması amacıyla belirlenen EDS-Spot 1, EDS-Spot 2 ve EDS-Spot 3 kodlu enerji dağılım spektroskopisi noktaları belirlenmiş ve gösterilmiştir.



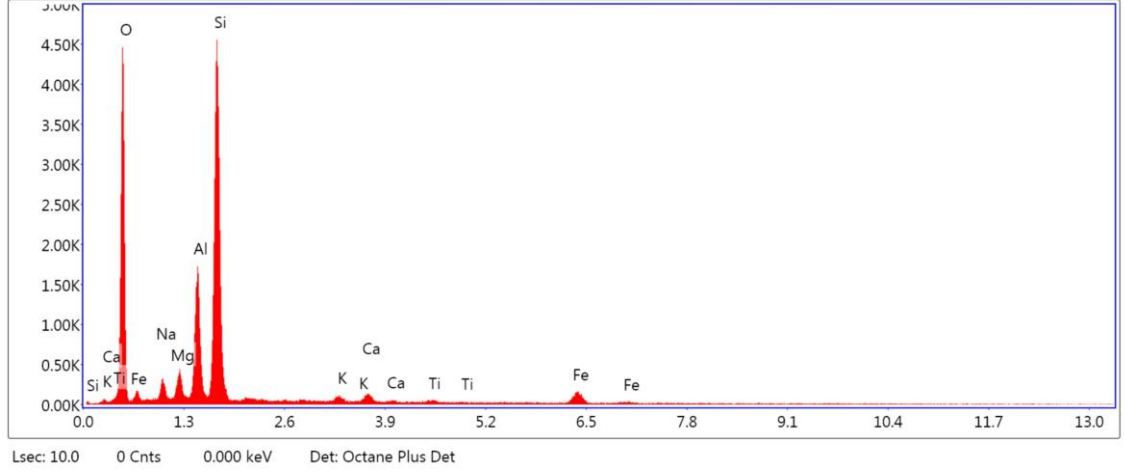
Şekil 4.23. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği

Nanobentonit-2 numunesi için Şekil 4.23.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 3.25 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 2.45 K değerinde O elementi ve yaklaşık 1.50 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Ca elementi ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı ısıtma işlemi sonucunda meydana gelen kalsit tanecikleri olarak yorumlanmaktadır. Diğer bulgular kil yapısının doğal değerleri olarak açıklanmaktadır.



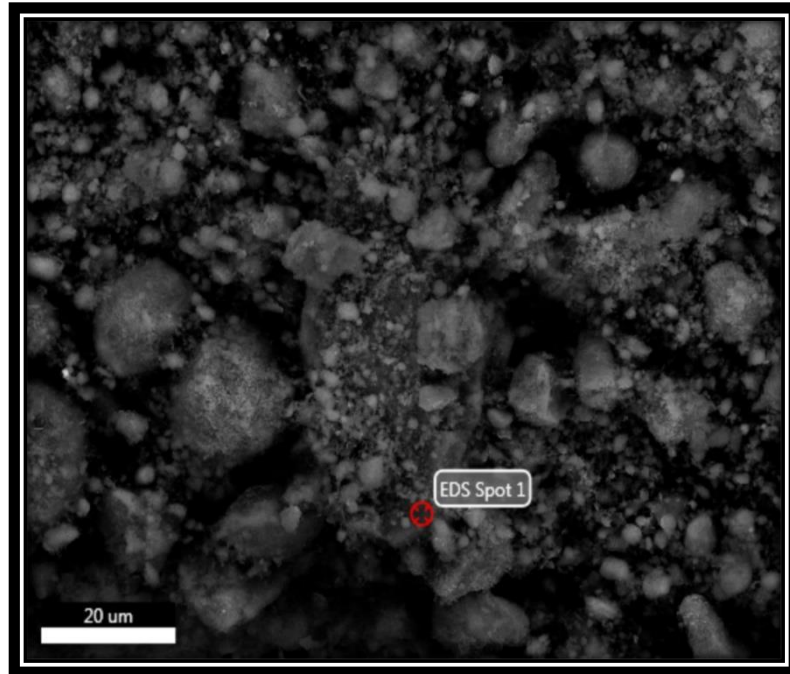
Şekil 4.24. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-2 noktasının EDS grafiği

Nanobentonit-2 numunesi için Şekil 4.24.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 2.85 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 1.30 K değerinde O elementi ve yaklaşık 1.20 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Ca elementi ise normalden yüksek değer göstermiştir. Bu durumun kaynağı EDS-1 kodlu SEM görüntüsünün Spot-1 noktasında da olduğu gibi ısıtma işlemi sonucunda meydana gelen kalsit tanecikleri olarak yorumlanmaktadır. Diğer bulgular kil yapısının doğal değerleri olarak yorumlanmaktadır.



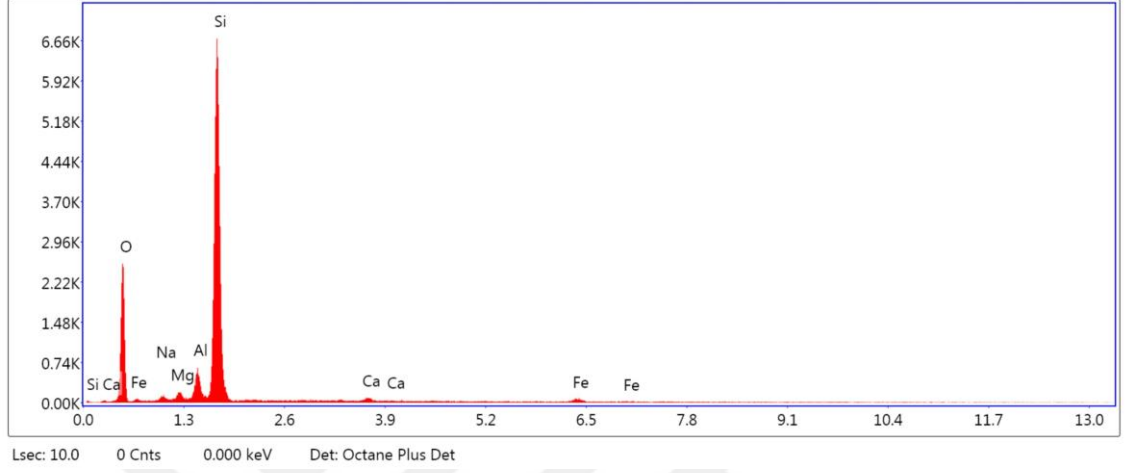
Şekil 4.25. Nanobentonit-2 için EDS-1 kodlu SEM görüntüsünde Spot-3 noktasının EDS grafiği

Nanobentonit-2 numunesi için Şekil 4.25.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 4.60 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 4.50 K değerinde O elementi ve yaklaşık 1.75 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Grafikte yer alan bulgular odaklanma noktasının montmorillonit minerali içeren bi kil yapısı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.26. Nanobentonit-2 için EDS-2 kodlu SEM görüntüsü ve Spot-1 kodlu EDS noktası (20 µm)

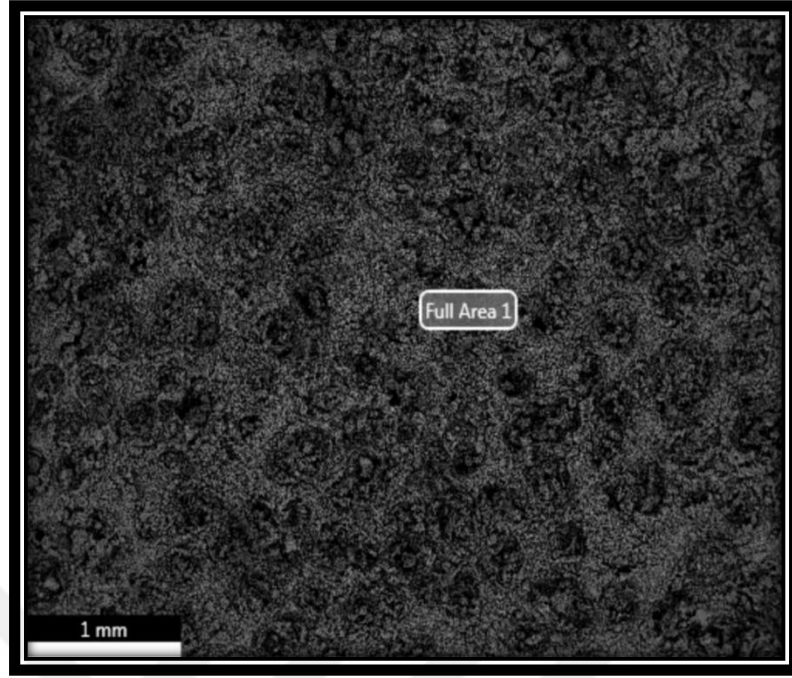
Şekil 4.26.'da 20 mikron ölçekte çekilen SEM görüntüsü ve Nanobentonit-2 numunesinde elementel kompozisyonun tanımlanması amacıyla belirlenen EDS-Spot 1, EDS-Spot 2 ve EDS-Spot 3 kodlu enerji dağılım spektroskopisi noktaları belirlenmiş ve gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Nanobentonit-2 için EDS-2 kodlu SEM görüntüsünde Spot-1 noktasının EDS grafiği

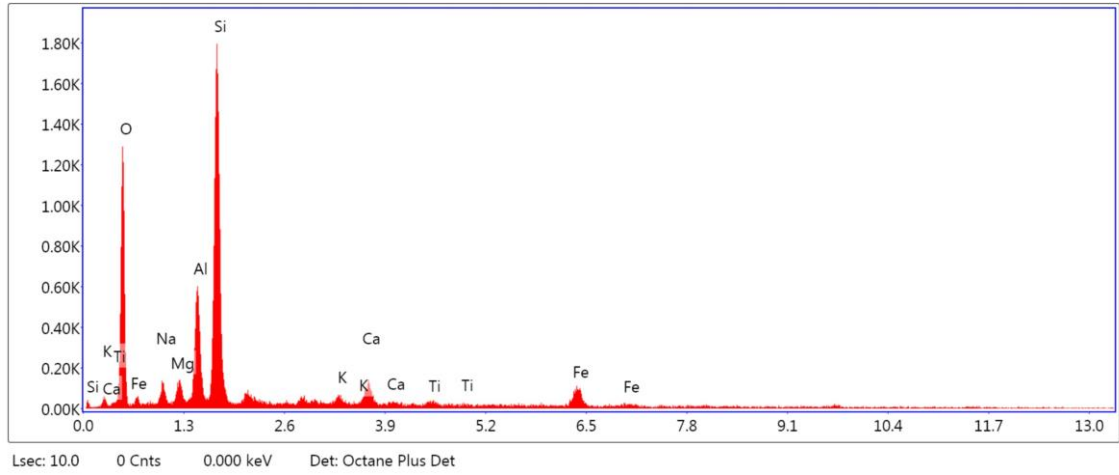
Nanobentonit-2 numunesi için Şekil 4.27.'de verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 6.70 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 2.80 K değerinde O elementi ve yaklaşık 0.70 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Grafik incelendiği zaman EDS bulgularının odaklanma noktasının silis yapıda olduğunu ifade ettiği anlaşılmaktadır.





Şekil 4.28. Nanobentonit-2 için EDS-3 kodlu SEM görüntüsü ve EDS alanı (1 mm)

Şekil 4.28.'de 1 mm ölçekte çekilen SEM görüntüsü ve Nanobentonit-2 numunesinde elemental kompozisyonun tanımlanması amacıyla tam alan enerji dağılım spektroskopisi gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Nanobentonit-2 için EDS-3 kodlu SEM görüntüsünde tam alan EDS grafiği

Nanobentonit-2 numunesi için Şekil 4.29.'da verilen EDS grafiğinde pik noktasında yaklaşık 2.0 K değeri ile Si elementi bulunmaktadır. Devamında yaklaşık 1.35 K değerinde O elementi ve yaklaşık 0.65 K değeri ile Al elementi yer almaktadır. Grafik



incelendiği zaman EDS bulgularının çoğunlukla montmorillonit yapıda bir kil yapısını ve beraberinde silis olduğunu da ifade ettiği anlaşılmaktadır.

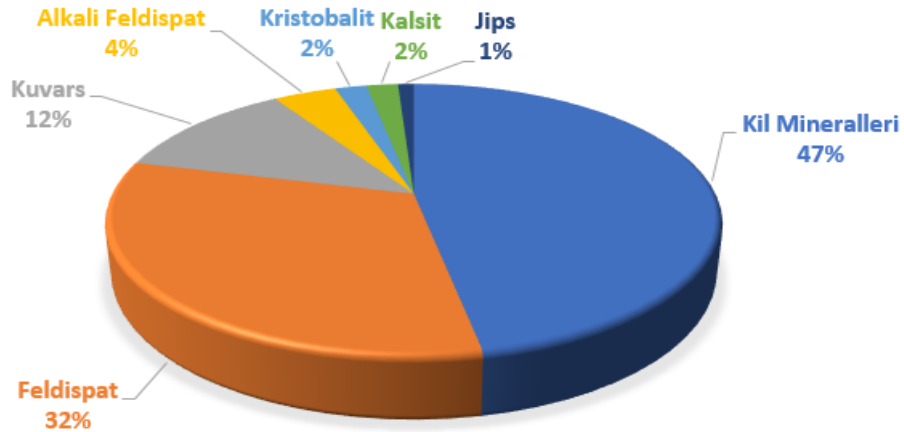
#### 4.8. Rietveld Analizi

##### 4.8.1. Na-Bentonit için Rietveld Analizi

Rietveld analizinde Na-Bentonit numunesi için Cu-X ışın tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD analiz cihazı ile (4-70<sup>0</sup> tüm kayaç, 4-30<sup>0</sup> detay kil) gerçekleştirilen XRD analizi Panalytical X'Pert Highscore Plus programı ve ICSD veri tabanı kullanılarak yapılan kantitatif analiz sonucunda alınan tüm kayaç sonuçlarını % olarak Çizelge 4.8.'de, pay dağılımı olarak ise Şekil 4.30.'da verilmiştir. Ayrıca yapılan analizler petrografik, XRF ve SEM analizleri ile desteklenmiştir.

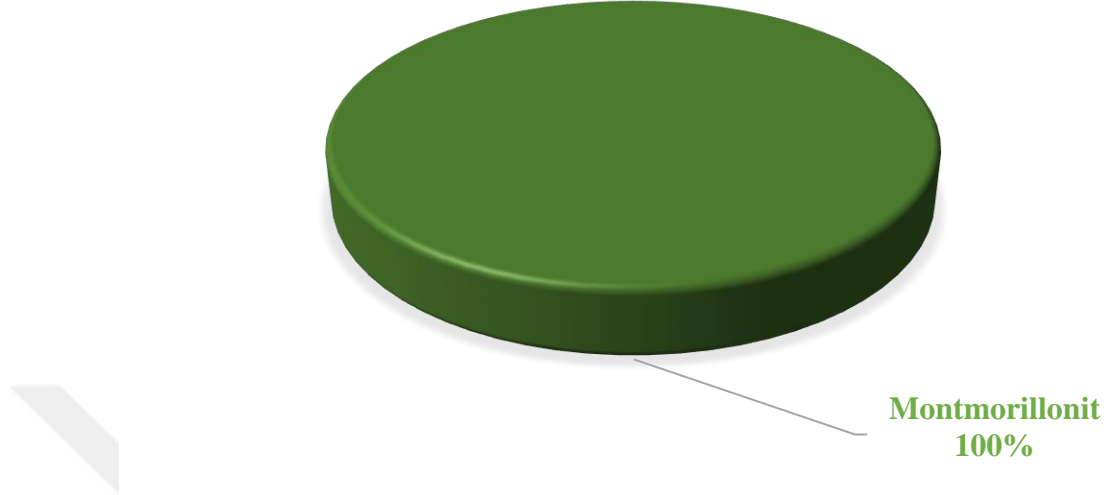
Çizelge 4.8. Na-Bentonit için tüm kayaç kantitatif analizin % dağılımı

Bileşen	%
Kil Mineralleri	47
Feldispat	32
Kuars	12
Alkali Feldispat	4
Kristobalit	2
Kalsit	2
Jips	1



Şekil 4.30. Na-Bentonit için tüm kayaç kantitatif analizin pay dağılımı

Tüm kayaç analizinde %47 paya sahip olan kil mineralleri ise Şekil 4.31.'de belirtildiği gibi tamamıyla Montmorillonit kil mineralinden oluşmaktadır.



Şekil 4.31. Na-Bentonit için Rietveld metodu tüm kayaç analizi kil minerallerinin oranı

#### 4.8.2. Nanobentonit-2 için Rietveld Analizi

Nanobentonit-2 için yapılan Rietveld analizi kapsamında tüm kayaç ( $4^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ) ve detay kil ( $4^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ) XRD analizleri sonucunda elde edilen difraktomlara göre doğal kristal formun kaybolduğu ve buna bağlı olarak standart bazal kırınımının değiştiği tespit edilmiştir. Nanobentonit-2 numunesinin standart bazal kırınım değerlerinde meydana gelen değişim sebebiyle High Score Plus programı ve 150035 adet tanımlı XRD verisine sahip ICSD 2012 veritabanı üzerinden mineral eşleşmesi yapılamamıştır. Bu sebepten dolayı Nanobentonit-2 için tüm kayaç ve detay kil sonuçları kalitatif (nitel) olarak bulunabilmiştir. Kalitatif olarak numunede montmorillonit, feldispat (plajiyoklaz), kuvars, kalsit, alkali feldispat, kristobalit, anhidrit ve manyetit bulgularına ulaşılmıştır. Ayrıca analiz sonucunda ulaşılan bulgular petrografik, XRF ve SEM analizleri ile desteklenmektedir.

## **4.9. Yoğunluk Tayini**

### **4.9.1. Na-Bentonit için Yoğunluk Tayini**

Na-Bentonit numunesi için yapılan yoğunluk tayini testinde numuneden 10 gram hassas tartı ile ölçülüp alınmış ve 50 mL ölçekli mezür içerisinde bulunan 30 mL hacminde 1 gram/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki saf suya ilave edilmiş ve 24 saat sonra mezür ölçөгindeki hacim artışları gözlenmiştir.

Na-Bentonit numunesi incelendiğinde yoğunluğu 2,70 gram/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

### **4.9.2. Nanobentonit-1 için Yoğunluk Tayini**

Nanobentonit-1 numunesi için yapılan yoğunluk tayini testinde numuneden 10 gram hassas tartı ile ölçülüp alınmış ve 50 mL ölçekli mezür içerisinde bulunan 30 mL hacminde 1 gram/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki saf suya ilave edilmiş ve 24 saat sonra mezür ölçөгindeki hacim artışları gözlenmiştir.

Na-Bentonit numunesi incelendiğinde yoğunluğu 2,65 gram/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

### **4.9.3. Nanobentonit-2 için Yoğunluk Tayini**

Nanobentonit-2 numunesi için yapılan yoğunluk tayini testinde numuneden 10 gram hassas tartı ile ölçülüp alınmış ve 50 mL ölçekli mezür içerisinde bulunan 30 mL hacminde 1 gram/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki saf suya ilave edilmiş ve 24 saat sonra mezür ölçөгindeki hacim artışları gözlenmiştir.

Na-Bentonit numunesi incelendiğinde yoğunluğu 2,65 gram/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

## **4.10. Viskozimetre Analizi**

### **4.10.1. Na-Bentonit için Viskozimetre Analizi**

Viskozimetre cihazı ile yapılan ölçümlerde Na-Bentonit numunesi için su bazlı Spud tip sondaj çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan sondaj çamuru TSE ISO EN 13500 standartlarına uygun olacak şekilde (22,5 gram bentonit / 350 mL deiyonize su ve en az

16 saat dinlendirme süresi) hazırlanmıştır. Kap içerisinde 700 mL deiyonize suya 45 gram olan numune ilave edilmiş ve 15 dakika boyunca karıştırılarak 16 saat dinlendirilmiştir.

Hazırlanan sondaj çamuru için viskozimetre cihazı ile 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) , kopma noktası (yield point) (YP) ve tiksotropi ölçümleri yapılmış ve bulgular Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Na-Bentonit ile hazırlanan sondaj çamurunun viskozimetre bulguları

<b>Analiz</b>	<b>Değer</b>
600 rpm Viskozimetre Okuması	31 cp
300 rpm Viskozimetre Okuması	22 cp
200 rpm Viskozimetre Okuması	17 cp
100 rpm Viskozimetre Okuması	15 cp
Görünür Viskozite (Av)	15.5 cp
Plastik Viskozite (Pv)	9 cp
Kopma Noktası (Yield Point) (Yp)	13 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Sn Jel Mukavemeti	9 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Dk Jel Mukavemeti	14 lb/100ft <sup>2</sup>

#### 4.10.2. Nanobentonit-1 için Viskozimetre Analizi

Viskozimetre cihazı ile yapılan ölçümlerde Nanobentonit-1 numunesi için su bazlı Spud tip sondaj çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan sondaj çamuru TSE ISO EN 13500 standartlarına uygun olacak şekilde (22,5 gram bentonit / 350 mL deiyonize su ve en az 16 saat dinlendirme süresi) hazırlanmıştır. Kap içerisinde 700 mL deiyonize suya 45 gram olan numune ilave edilmiş ve 15 dakika boyunca karıştırılarak 16 saat dinlendirilmiştir.

Hazırlanan sondaj çamuru için viskozimetre cihazı ile 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV), kopma noktası (yield point) (YP) ve tiksotropi ölçümleri yapılmış ve bulgular Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Nanobentonit-1 ile hazırlanan sondaj çamurunun viskozimetre bulguları

<b>Analiz</b>	<b>Değer</b>
600 rpm Viskozimetre Okuması	36 cp
300 rpm Viskozimetre Okuması	27 cp
200 rpm Viskozimetre Okuması	19 cp
100 rpm Viskozimetre Okuması	15 cp
Görünür Viskozite (Av)	18 cp
Plastik Viskozite (Pv)	9 cp
Kopma Noktası (Yield Point) (Yp)	18 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Sn Jel Mukavemeti	10 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Dk Jel Mukavemeti	16 lb/100ft <sup>2</sup>

#### 4.10.3. Nanobentonit-2 için Viskozimetre Analizi

Viskozimetre cihazı ile yapılan ölçümlerde Nanobentonit-2 numunesi için su bazlı Spud tip sondaj çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan sondaj çamuru TSE ISO EN 13500 standartlarına uygun olacak şekilde (22,5 gram bentonit / 350 mL deiyonize su ve en az 16 saat dinlendirme süresi) hazırlanmıştır. Kap içerisinde 700 mL deiyonize suya 45 gram olan numune ilave edilmiş ve 15 dakika boyunca karıştırılarak 16 saat dinlendirilmiştir.

Hazırlanan sondaj çamuru için viskozimetre cihazı ile 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV), kopma noktası (yield point) (YP) ve tiksotropi ölçümleri yapılmış ve bulgular Çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Nanobentonit-2 ile hazırlanan sondaj çamurunun viskozimetre bulguları

<b>Analiz</b>	<b>Değer</b>
600 rpm Viskozimetre Okuması	12 cp
300 rpm Viskozimetre Okuması	8.5 cp
200 rpm Viskozimetre Okuması	4 cp
100 rpm Viskozimetre Okuması	3 cp
Görünür Viskozite (Av)	6 cp
Plastik Viskozite (Pv)	3.5 cp
Kopma Noktası (Yield Point) (Yp)	5 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Sn Jel Mukavemeti	4 lb/100ft <sup>2</sup>
10 Dk Jel Mukavemeti	7 lb/100ft <sup>2</sup>

## 5. SONUÇLAR

Yapılan analizler sonucunda Na-Bentonit numunesinin öğütülerek Nanobentonit-1 numunesi oluşturulurken karıştırıcı bilyalı değirmen haznesinin çeperlerinde kil minerallerinin bünyesinde bulundurduğu su moleküllerinden dolayı sıvama yaptığı ve öğütme işleminin yapılmasına rağmen yüksek verim elde edilemediği tespit edilmiştir. Yüksek verimin elde edilebilmesi için aynı prosesin tekrarlanması gerektiği saptanmıştır. Dolayısı ile fabrikasyon aşamasını daha az maliyet ve daha kısa sürede gerçekleştirebilmek için haznede sıvamaya neden olan su moleküllerinin uzaklaştırılması gerekmiştir. Yapılan ısıtma işlemi sonucunda Na-Bentonit numunesinin su molekülleri uzaklaştırılmış, yeniden öğütme işlemine tabi tutulmuş ve Nanobentonit-2 ürünü ortaya çıkmıştır. Bütün numuneler gravite yöntemi ile ayrıştırılarak safsızlığa sebep olan maddeler uzaklaştırılmıştır. Na-Bentonit, Nanobentonit-1 ve Nanobentonit-2 numunelerinin iş akış şemalarına göre analizleri yapılmıştır.

Tane boyut analizine göre karıştırıcı bilyalı değirmen ile mekanik öğütmenin Nanobentonit-1 ürünü oluşturulurken büyük oranda tane boyutunda azalma meydana getirdiği görülmektedir. Na-Bentonit'in ısıtma işlemine tabi tutulması ve yeniden öğütme yapılması sonucu oluşan Nanobentonit-2 ürünün tane boyut dağılımı incelendiğinde Nanobentonit-1 ile nano boyutta büyük değişikliğe sebep olduğu yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir.

XRF ve SEM analizleri incelendiğinde hem ısıtma hem de öğütme işleminden sonra Nanobentonit-2 numunesinde önemli ölçüde kimyasal değişiklikler meydana geldiği tespit edilmiştir. SEM analizleri detaylı incelendiği zaman gravite yöntemi ile ayrıştırma sonucu hala safsızlığa sebep olan organik maddelerin sıcaklık etkisi ile yandığı tespit edilmiştir. Kil mineralleri arasında ısıtma işleminden kaynaklı dehidrasyon meydana geldiği görülmektedir. EDS analizleri incelendiğinde ise bentonit kaynağının ana kayadan uzaklaştığı ve ışın kırınımına göre bu migrasyon esnasında bünyesine yeni mineralleri de kattığı anlaşılmaktadır.

Rietveld analizi bulgularına göre Na-Bentonit ve Nanobentonit-1 numunelerinin ısıtma ve mekanik öğütme sonucunda kil yapısından farklı bir ürün ortaya çıkardığı görülmektedir. Hem XRF hem de Rietveld analizine göre minerolojik boyutta değişimler meydana gelmiştir.

Numuneler yoğunluk tayinine tabi tutulduğunda Na-Bentonit ve Nanobentonit-1 numunelerine ısıtma işlemi uygulanmadığı için yoğunluk farkının değişmediği belirlenmiştir. Nanobentonit-2 numunesi meydana gelirken dehidrasyon gerçekleştiği için yoğunluğunda düşüş beklenmesine rağmen oluşan yeni mineraller yoğunluk farklı meydana getirmemiştir.

Numunelerin viskozite analizleri incelendiğinde üretim proseslerinde temel hammadde kaynağı olarak kullanılan Na-Bentonit numunesinin TSE standartlarını sağladığı ve sondaj çamurlarında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Nanobentonit-1 numunesi incelendiği zaman hem reolojik hem de kimyasal analiz sonuçlarına göre sondaj çamurlarında kullanılabilirliği bakımından daha iyi sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla hem Na-Bentonit'e göre daha iyi sonuçlar verdiği hem de TSE EN ISO 13500 standartlarına uygunluğu sağladığı için Nanobentonit-1 numunesi geliştirilen yeni bir ürün olarak tanımlanabilmektedir.

Nanobentonit-2 numunesinin ise ısıtma işlemi sonucunda kil yapısının minerolojik olarak farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Kil tabakaları arasındaki boşluğun sıcaklığın dehidrasyona sebep olması ile kapandığı ve yapraksı yapının ortadan kalktığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla reolojik analizlerde Na-Bentonit ve Nanobentonit-1 numunelerine göre daha az hidrate olmuş ve reolojik olarak daha düşük sonuçlar vermiştir. Isıtma sıcaklığının 100-150 °C aralığında tutulmasının kil yapısının korunmasına ve nano boyutta bozunma olmadan öğütme işleminin yapılabilmesine katkı sağlayacağı tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akbulut, A., 1996. Bentonit. MTA Eğitim Serisi Yayınları, No:32, Ankara.
- Bakır, S., Akbulut, A., Kapkaç, F., Karahan, D.S., Çetin, C., 2012. Türkiye Bentonit Envanteri. MTA Envanter Serisi No: 204, Ankara.
- Benkar. 2017 tarihinde erişildi. <http://benkar.com.tr>. Ankara.
- Ceylan Madencilik. 2017 tarihinde erişildi. <http://www.ceylanmadencilik.com>, Çankırı.
- Chimeddorj, M., 2007. Farklı Bentonitlerin Nem Alıcı (Desikant) Özelliklerinin Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Churchman, G., Askary, M., Peter, P., Wright, M., Raven, M.D., Self, P., 2002. Geotechnical properties indicating enviromental uses for an unusual Australian bentonite. Applied Clay Science No:20, 199-209, Australia.
- Clarke, G., 1985. Industrial Clays: A Special Review. Industrial Minerals Division of Metal Bulletin Plc., U.S.A.
- Çetinel, T., 2008. Ara ve Ca Bentonitlerin Soda ve MgO ile Aktivasyonu. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- Çinku, K., 1999. Yazır (Trakya) Bentonitinin Boya Sanayinde Kıvamlaştırıcı Olarak Kullanılmak Üzere Hazırlanması Olanaklarının Araştırılması. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Darvishi, Z., Morsali, A., 2010. Synthesis and characterization of Nano-Bentonite by sonochemical method. Elsevier Sciences Publishing Company, Inc., New York.
- Dumlupınar, İ., 2008. Kapıkaya (Eskişehir) Bentonit Oluşumlarının Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.



- Ece, I., Yüce, E., 2002. Bentonit Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri. IMMIB Yayınları 19-27, İstanbul.
- Ertürk, E., 2006. Marmara Bölgesi Bentonit Bilgi Sisteminin Oluşturulması Üzerine Bir Çalışma. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Eruslu, N., 1993. Türkiye bentonitleri ve döküm kumları araştırma projesi, DPT Teknolojik Araştırma Projesi.
- Fann. 2016 tarihinde erişildi. <http://fann.com>. Texas, U.S.A.
- Gogeon, D., Soulard, M., Brendle, J., Chezeau, J., Dred, L., Jeandet, P., Marchal, R., 2003. Analysis of Two Bentonites of Enological Interest Before and After Commercial Activation by Solid Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51.
- Grim, R.E., Güven, N., 1978. Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses Developments in Sedimentology. Elsevier Sciences Publishing Company, Inc., New York.
- Gültekin, A., 2002. Bentonit Üzerine Katyon Adsorpsiyonu ve Desorpsiyonun İncelenmesi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Güven, O., 2010. Farklı Bentonit Tipleri ile Stiren Bütil Akriyat Esaslı Nanokompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y., Barut, A., 1997. Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Ankara.
- Kocakuşak, S., Akçay, K., Köroğlu, H.J., Yüzer, H., Ayok, T., Savaşçı, Ö.T., Tolun, R., 1997. Bentonitlerin Silanlama Yöntemi ile Tikotropilerinin Araştırılması. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.

- Kut, D., Güneşoğlu, C., 2005. Nanoteknoloji ve tekstil sektöründeki uygulamaları. *Tekstil&Teknik Dergisi*, Şubat: 224-230, İstanbul.
- Malayoğlu, U., Akar, A., 1995. Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, p. 125-133. İzmir, Türkiye.
- MTA. 2017 tarihinde erişildi. <http://www.mta.gov.tr>, Ankara.
- Nanometer, In *Wikipedia*, Retrieved 2017. <https://en.wikipedia.org/wiki/Nanometer>.
- Özgüven, F.E., 2011. Bir bentonitik kil içindeki simektit minerallerinin nicel olarak belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Rheox, 1997. *Rheology handbook, Catalogue*.
- Seçkin, 2006. Poliimit-Smektit Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Fizikokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, Sayı:1, p. 7-16.
- Tsai, W.T., 2003. Effect of Particle Size of Activated Clay On The Adsorbtion of Paraquat From Aqueous Solution. *Journal of Colloid and İnterface Science*, 263, 29-34.
- Vatansever, A., 2009. Reşadiye Bentonitinden Organofilik Bentonit Sentezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yıldız, N., 2004. Kütahya Bentonitinin Soda Aktivasyonu. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.

## EKLER

### EK.1. XRF ve Rietveld Analiz Raporları / Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü



Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Müşteri : İskenderun Teknik Üniversitesi  
İskenderun Teknik Üni. Mühendislik Ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi Petrol Ve Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl. Sekreterlik İskenderun /  
HATAY

Başvuran Kişi : Onur Eser Kök  
Başvuru Tarihi : 14/04/2017  
Rapor Tarihi : 26/05/2017  
Sayfa : 1 / 2  
Sayı : 91817988.302/03/ 8873

## ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No : MAT-17001842-MP

### NUMUNE KABUL BİLGİLERİ

Numune Kayıt No : 17-H-002366 - 17-H-002367  
Numune Kayıt Tarihi : 14/04/2017  
Numunenin Tanımı : Diğer  
Numune Sayısı : 2  
Numunenin Mühür Durumu :  Mühürlü  Mühürsüz

### LABORATUAR BİLGİLERİ

Analiz Test Tarihi : 09/05/2017 - 26/05/2017  
Şahit Numune :  Alındı  Alınmadı  
Şahit Numune Saklama Süresi :  
Proje Kodu : 2017-20

### NUMUNE HAZIRLAMA VE ANALİZ/TEST METOTLARI

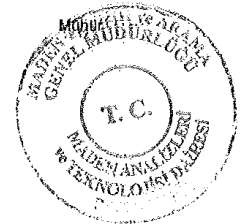
Analiz/Test Kodu	Kod Açıklaması	Numune Sayısı
35-30-MP-32	Kütle örneklerinin standart (2°-70° arası), normal (2°-30° arası), etilen glükol (2°-30° arası), 300°C ısı (2°-30° arası) ve 550°C ısı (2°-30° arası) işlem çözümleri yapılarak, ASTM Standartlarına uygun olarak ayrıntılı mineralojik tanımlamaları ile uygun yazılım ve veri tabanları kullanılarak kanıtatif mineral analiz yapılır. (iv) 35-30-MP-32 analiz koduna ait Rietveld Metoduyla kanıtatif XRD analiz başvurusu için gerekli planlamaların yapılabilmesi sebebi ile başvuru yapılmadan önce Numune Kabul Birimi aracılığı ile Mineraloji-Petrografi Araştırmaları Birimi ile temasa geçilmesi gerekmektedir. Bu metot sadece Kütle Grubu minerallerce zengin numunelerde uygulanmaktadır olup, başvuru öncesi uygulanan metot ve numune içeriği hakkında ilgili Birim ile mülaka görülmelidir.	2

### AÇIKLAMALAR

Analiz/Test sonuçları bu raporun tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.

Onaylayan

Dr. Mustafa M. BAYRAK  
Mineraloji-Petrografi Araştırmaları  
Koordinatörü



Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayımlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/13.05.2013



T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Müşteri : İskenderun Teknik Üniversitesi  
İskenderun Teknik Üni. Mühendislik Ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi Petrol Ve Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl. Sekreterlik İskenderun /  
HATAY

Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Rapor Tarihi : 26/05/2017  
Sayfa: : 2 / 2

## ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No : MAT-17001842-MP

### ANALİZ/TEST SONUÇLARI

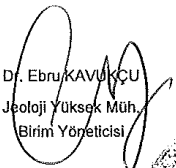
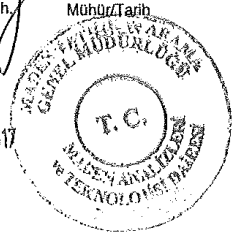
Numune Kayıt No : 17-H-002366  
Numune İşareti : NUMUNE 1

Analiz / Test Adı: X-Işını Kırınımı (XRD) Yöntemi Kullanılarak Kil Grubu Minerallerde Rietveld Metoduyla Kantitatif Mineral Analizi (IV)  
Numunelere ait raporlar .doc formatında ekte sunulmuştur.

Numune Kayıt No : 17-H-002367  
Numune İşareti : NUMUNE 2

Analiz / Test Adı: X-Işını Kırınımı (XRD) Yöntemi Kullanılarak Kil Grubu Minerallerde Rietveld Metoduyla Kantitatif Mineral Analizi (IV)  
Numunelere ait raporlar .doc formatında ekte sunulmuştur.

  
Arif TALAY  
Jeoloji Müh.  
Analiz/Test Sorumlusu

  
Dr. Ebru KAVUKÇU  
Jeoloji Yüksek Müh.  
Birim Yöneticisi  
Mühür/Tarih  
29 Mayıs 2017  


Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/tesli yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/13.05.2013



T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Müşteri : Iskenderun Teknik Üniversitesi  
Iskenderun Teknik Üni.  
Mühendislik Ve Doğa Bilimleri  
Fakültesi Petrol Ve Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl. Sekreterlik  
Iskenderun / HATAY

Başvuran Kişi : Onur Eser Kök  
Başvuru Tarihi : 14/04/2017  
Rapor Tarihi : 26/05/2017  
Sayfa : 1/4

## ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No : MAT-17001842

### NUMUNE KABUL BİLGİLERİ

Numune Kayıt No : 17 – H 2366-2367  
Numune Kayıt Tarihi : 14/04/2017  
Numunenin Tanımı : Diğer  
Numune Sayısı : 2  
Numunenin Mühür Durumu :  Mühürlü  Mühürsüz  
[Numune Alma Tarihi] :

### LABORATUVAR BİLGİLERİ

Analiz/Test Tarihi : 09/05/2017 – 26/05/2017  
Şahit Numune :  Alındı  Alınmadı  
Şahit Numune Saklama Süresi :  
Proje Kodu : 20

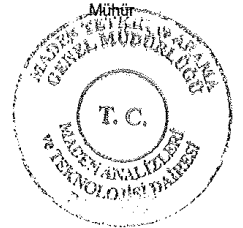
### NUMUNE HAZIRLAMA VE ANALİZ/TEST METOTLARI

Analiz/Test Kodu	Kod Açıklaması	Numune Sayısı
35-30-MP-32	X-ışını Kirinimi (XRD) Yöntemi ile Kil Grubu Minerallerde Rietveld Metoduyla Kantitatif Mineral Analizi	2

### AÇIKLAMALAR

Analiz/Test sonuçları bu raporun tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.

Onaylayan  
Dr. Mustafa ALBAYRAK  
Jeoloji Yüksek Mühendisi  
Koordinatör



Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/24.07.2013



T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Müşteri : Iskenderun Teknik  
Üniversitesi  
Iskenderun Teknik  
Üni. Mühendislik Ve  
Doğa Bilimleri  
Fakültesi Petrol Ve  
Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl.  
Sekreterlik  
Iskenderun / HATAY  
Rapor Tarihi : 26/05/2017  
Sayfa : 2/4

ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No : MAT-17001842

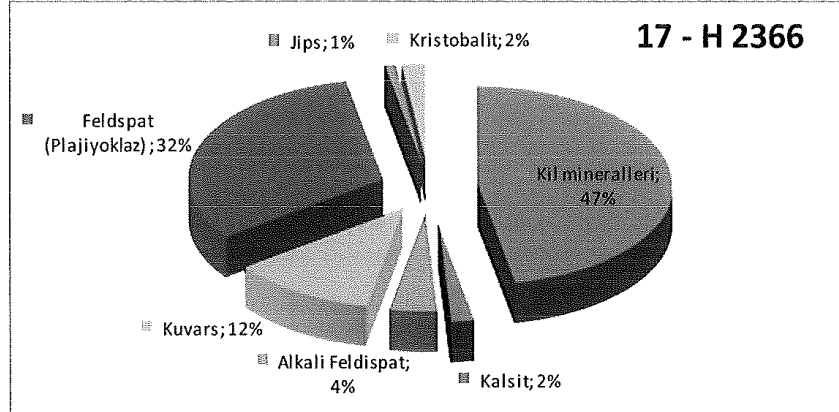
### ANALİZ/TEST SONUÇLARI

Cu-X ışın tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD analiz cihazı ile (4-70° tüm kayaç, 4-30° detay kil) gerçekleştirilen XRD analizi Panalytical X'Pert Highscore Plus programı ve ICSD veri tabanı kullanılarak Rietveld (1969) metodu ile kantitatif analizi yapılmıştır.

17 – H 2366 “NUMUNE 1”

#### Tüm Kayaç:

- Kil Mineralleri : %47
- Feldispat (Plajiyoklaz) : %32
- Kuvars : %12
- Alkali Feldispat: %4
- Kristobalit: %2
- Kalsit : %2
- Jips: %1



Arif TALAY  
Jeoloji Mühendisi  
Analiz/Test Sorumlusu

Dr. Ebru KAVUKCU  
Jeoloji Yüksek Mühendisi  
Bilgi Yöneticisi



Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürlü rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/24.07.2013



T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Müşteri : Iskenderun Teknik  
Üniversitesi  
Iskenderun Teknik  
Üni. Mühendislik Ve  
Doğa Bilimleri  
Fakültesi Petrol Ve  
Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl.  
Sekreterlik  
Iskenderun / HATAY  
Rapor Tarihi : 26/05/2017  
Sayfa : 3/4

ANALİZ/TEST RAPORU

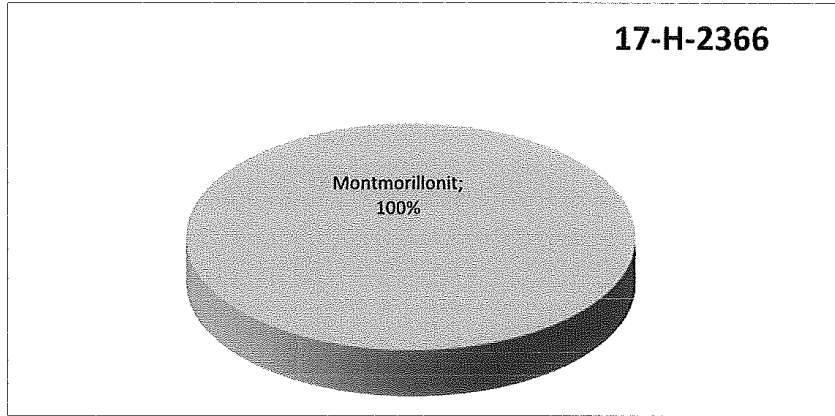
Rapor No : MAT-17001842

### ANALİZ/TEST SONUÇLARI

#### Detay Kil:

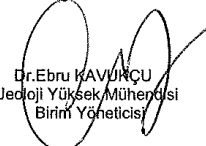
Tüm kayaç analizinde % 47 olarak tespit edilen kil minerallerin oranı;

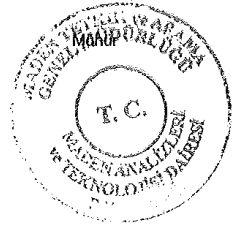
- Montmorillonit : % 100



Not: Yapılan bu XRD analizleri; petrografik, XRF ve SEM analizleri ile desteklenmektedir. Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

  
Arif TALAY  
Jeoloji Mühendisi  
Analiz/Test Sorumlusu

  
Dr.Ebru KAVUNÇÇU  
Jeoloji Yüksek Mühendisi  
Birim Yöneticisi



Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/24.07.2013



T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Müşteri : İskenderun Teknik  
Üniversitesi  
İskenderun Teknik  
Üni. Mühendislik Ve  
Doğa Bilimleri  
Fakültesi Petrol Ve  
Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl.  
Sekreterlik  
İskenderun / HATAY  
Rapor Tarihi : 26/05/2017  
Sayfa : 4/4

ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No : MAT-17001842

### ANALİZ/TEST SONUÇLARI

17 – H 2367 “NUMUNE 2”

#### Tüm Kayaç:

- Montmorillonit
- Feldispat(Plajiyoklaz)
- Kuvars
- Kalsit
- Alkali Feldispat
- Kristobalit
- Anhidrit
- Manyetit


17-H-002367 numaralı numune üzerinde yapılan tüm kayaç (4-70 derece) ve detay kil (4-30 derece) XRD analizleri sonucunda elde edilen difraktogramlar göre örneğin doğal kristal formunu kaybettiği ve buna bağlı olarak standart bazal kırınımlarının değiştiği tespit edilmiştir. Kurumumuzda Rietveld metodu ile kantitatif analiz çalışmaları High Score Plus programı ve 150035 adet tanımlı xrd verisine sahip ICSD 2012 veritabanı üzerinden seçilen mineraller ile yapılmaktadır. 17 H 2367 numaralı örneğin standart bazal kırınım değerlerindeki değişim sebebiyle veritabanı üzerinden mineral eşleşmesi yapılamamaktadır. Yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü adı geçen numuneye ait tüm kayaç ve detay kil sonuçları kalitatif (nitel) olarak verilmiştir. Difraktogramlardaki değişimin görülebilmesi amacıyla ekte numunelere (17-H-2366-2367) ait (4-70) derece ve (4-30) derece difraktogramları verilmiştir.

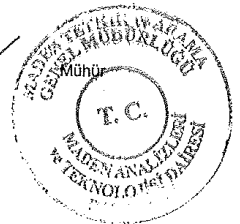
Not: Yapılan bu XRD analizleri; petrografik, XRF ve SEM analizleri ile desteklenmektedir. Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

  
Arif TALAY  
Jeoloji Mühendisi  
Analiz/Test Sorumlusu

Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürlü rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/24.07.2013

  
Dr. Ebru KAVUKÇU  
Jeoloji Yüksek Mühendisi  
Birim Yöneticisi







T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Üniversiteler Mahallesi Durulupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Müşteri : İskenderun Teknik Üniversitesi  
İskenderun Teknik Üni. Mühendislik Ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi Petrol Ve Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl. Sekreterlik İskenderun /  
HATAY

Başvuran Kişi : Onur Eser Kök  
Başvuru Tarihi : 14/04/2017  
Rapor Tarihi : 12/05/2017  
Sayfa : 1 / 2  
Sayı : 91817988.302.03/

## ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No MAT-17001842-AJ

### NUMUNE KABUL BİLGİLERİ

Numune Kayıt No : 17-H-002366 - 17-H-002367  
Numune Kayıt Tarihi : 14/04/2017  
Numunenin Tanımı : Diğer  
Numune Sayısı : 2  
Numunenin Mühür Durumu :  Mühürlü  Mühürsüz

### LABORATUVAR BİLGİLERİ

Analiz Test Tarihi : 08/05/2017 - 11/05/2017  
Şahit Numune :  Alındı  Alınmadı  
Şahit Numune Saklama Süresi :  
Proje Kodu : 2017-20

### NUMUNE HAZIRLAMA VE ANALİZ/TEST METOTLARI

Analiz/Test Kodu	Kod Açıklaması	Numune Sayısı
35-30-AA-31	Silikat, Kuvvars, Manganez, Magnezyum, Demir, Kalçer, Dolomit, Çimento, Boksit Cevherlerinde Majör (Ana) Elementler	2

### AÇIKLAMALAR

Numuneler 105 °C'de kurutulmuştur. Analiz sonuçları Termo ARL marka XRF cihazının UQ programından verilmiştir.

Analiz/Test sonuçları bu raporun tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.

Dr. Gülendam GÜNEM  
Analitik Kimya Birim  
Zemheri

Analiz Lab. Koordinatörü



Test  
TS EN ISO 15019:2005  
AB-0394-T

KY.FR.5.10.2/A1 Rev.No/Tarih: 01/24.07.2013

Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/tesli yapılan numuneye aittir.

Raporda (\*) ile işaretli analiz/tesli Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından TS EN ISO/IEC 17025

standartına göre akredite edilmiştir.

Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) analiz/test raporlarının tanınması konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile Karşılıklı Tanınma Anlaşması'nı imzalamıştır.





T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Müşteri : İskenderun Teknik Üniversitesi  
İskenderun Teknik Üni. Mühendislik Ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi Petrol Ve Doğal Gaz  
Mühendisliği Böl. Sekreterlik İskenderun /  
HATAY

Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı  
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA  
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09  
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Rapor Tarihi : 12/05/2017  
Sayfa : 2 / 2

## ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No

MAT-17001842-AJ

### ANALİZ/TEST SONUÇLARI

Analiz/Test Kodu: 35-30-AA-31

Barkod	Numune İşareti	A, Zn %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O %	MgO %	MnO %	Na <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %
17-H-002366	NUMUNE 1	8.75	12.9	3.8	6.6	1.0	3.7	0.2	2.7	0.1	58.8	0.9
17-H-002367	NUMUNE 2	8.05	13.0	3.8	6.45	1.0	3.7	0.2	2.7	0.1	59.3	0.9

Dr. Derya DÜZENLİ  
Kimya Müh.  
Analiz/Test Sorumlusu

Arzu BABUÇCUOĞLU  
Kimya Müh.  
Birim Yöneticisi

29 Mayıs 2017



Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.  
Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/24.07.2013

## ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1991 yılında Mersin’de doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise eğitimini Mersin’de tamamladı. Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nü 2010 yılında kazandı. Üniversiteden 2014 yılında ‘Onur Öğrencisi’ derecesi ile mezun oldu. 2014-2015 yıllarında İlbe Mineral Petrol Ürünleri San. Ve Tic. Ltd. Şti.’de Sondaj Akışkanları Mühendisi olarak çalıştı ve 2014-2015 yıllarında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Petrol ve Doğal Gaz Anabilim Dalı’nda, 2015-2017 yılları arasında ise İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine devam etti. 2016-2017 yıllarında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Güvenliği Anabilim Dalı’nda tezsiz yüksek lisansını tamamladı. Ocak-2017 tarihinde İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Eylül 2014 – Temmuz 2017 tarihleri arasında Yüksek Lisans öğrenimini sürdürdü ve 2017 yılında Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı’ndan Yüksek Lisans derecesiyle mezun oldu. Halen İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.