

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUCA KİLLERİNİN SONDAJ ÇAMURU
OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Feride ÖZYOL

Ağustos, 2015
İZMİR

BUCA KİLLERİNİN SONDAJ ÇAMURU OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ekonomik Jeoloji Programı

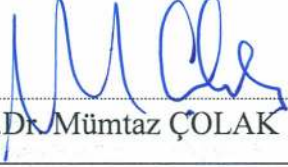
Feride ÖZYOL

Ağustos, 2015

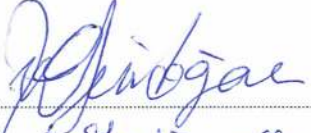
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FERİDE ÖZYOL, tarafından **PROF. DR. MÜMTAZ ÇOLAK** yönetiminde hazırlanan **“BUCA KİLLERİNİN SONDAJ ÇAMURU OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof.Dr. Mümtaz ÇOLAK

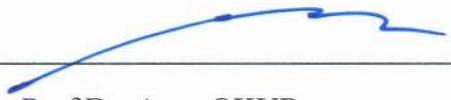
Yönetici


Yard. Doç. Dr. İbrahim GÜNDÜĞAN

Jüri Üyesi


Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ

Jüri Üyesi


Prof.Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı planlayan ve yönlendiren tez yöneticim ve danışman hocam, DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji mühendisliği Bölüm başkanı Prof. Dr. Mümtaz ÇOLAK' a teşekkürü bir borç bilirim.

Analizler için gerekli laboratuvar ortamını sağlayan DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulu Müdürü Prof. Dr. Sacit ÖZER' e teşekkür ederim.

Yüksek lisansımın ders ve tez aşamalarında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Niyazi AKSOY' a içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen hocam Yard. Doç. Dr. Zülfü DEMİRKIRAN' a ve mesai arkadaşım Öğr. Gör. Nurcihan TAŞKIN ŞEN' e sonsuz teşekkürler...

Laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Torbalı Meslek Yüksekokulu öğrencilerinden İlyas DÖNMEZ' e teşekkür ederim.

Deneylerde kullanmış olduğum malzemelerin temin edilmesindeki katkılarından dolayı Wyoming, İlbe ve DDC firmaları yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince bana göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı sevgili eşim Serkan ÖZYOL' a ve canım kızım Eren ÖZYOL' a teşekkür ederim.

Feride ÖZYOL

BUCA KİLLERİNİN SONDAJ ÇAMURU OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Yüksek şişme özelliğine sahip olan bentonit, gıda endüstrisinden, ilaç endüstrisine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde günümüz sanayisinin gereksinimi olan bentonit ihtiyacının sürekli artması, yüksek rezerve sahip ara tip ve kalsiyum bentonitlerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Sodyum bentonitler doğal fiziksel özellikleri ile sondaj çamuru olarak kullanılırken, ara tip ve kalsiyum bentonitlerin bu sektörde kullanımı sınırlı olmaktadır. Bu tip bentonitlerin aktive edilerek fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Buca kalsiyum bentonitinin farklı oranlarda soda ile aktiflenerek su kaybı ve reolojideki değişiklikler incelenmiştir. Bentonit ile soda belirli yüzdelerde karıştırılarak ve farklı sürelerde bekletilerek yirmi bir farklı karışım hazırlanmıştır. Plastik viskozite, akma noktası, çapı 75 mikron'dan daha büyük kalıntının tayini gibi reolojik özelliklerin aktivasyondaki soda oranı ve bekleme süresi ile değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda farklı ticari bentonit örnekleri alınarak sondaj çamuru test yöntemleri ile test edilmiştir. Sonuçlar, TS EN 13500 standardıyla ve diğer ticari bentonit örneklerinin sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan laboratuvar çalışmaları Kimyasal analiz, XRD ve SEM analizleri ile de desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bentonit, sondaj çamuru, soda aktivasyonu, reolojik özellikler.

STUDY OF THE USE OF BUCA CLAYS AS DRILLING MUD

ABSTRACT

The bentonite with high swelling property is used in a wide range of areas from food to medicine industries. The ever-growing increase in the demand of bentonite in various industries in the world and our country has rendered obligatory the use of mixed and calcium bentonites with high reserves. While Na-bentonites are used as drilling fluid for their natural physical properties, lower quality calcium and mixed bentonites have limited use in this industry. The physical properties of such bentonites need to be improved by the application of concentrating and alkali activation.

In this study, calcium bentonite from Buca region was activated with sodium carbonate indifferent proportions, and changes in filtrate behaviours and rheological properties during activation were examined. Bentonite and sodium carbonate were mixed at certain proportions and kept for different time periods so that twenty one different mixtures could be prepared. Changes in the rheological properties such as plastic viscosity, yield point and determination of residues with a diameter longer than 75 micron depending on the amount of sodium carbonate in activation and the elapsed time have been evaluated. In this context, different commercial bentonite samples were taken and evaluated using the procedures and standards of foundry and drilling bentonite testing methods. The results were evaluated based on TS EN 13500 standards and in comparison with the results obtained from other commercial bentonite samples. The laboratory studies were also supported by chemical analysis, XRD and SEM analysis.

Keywords: Bentonite, drilling mud, alkali activation, rheological properties.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Giriş	1
1.2 Çalışma Alanı	1
1.3 Amaç	4
1.4 Çalışma Yöntemi	4
1.5 Araştırma Konusu ile İlgili Çalışmalar	5
1.6 Çalışma Alanının Jeolojisi	7

BÖLÜM İKİ - KİLLERİN YAPISI 9

2.1 Giriş	9
2.1.1 Tetrahedral Yapı	9
2.1.2 Oktahedral Yapı	10
2.2 Kil Minerallerinin Sınıflandırılması	11
2.3 Simektit Grubu Kil Mineralleri	12
2.4 Kil Minerallerinin Özellikleri	13
2.4.1 Killerin Katyon Değiştirme Kapasitesi	13
2.4.2 Şişme Özellikleri	14
2.5 Bentonit	14

BÖLÜM ÜÇ - DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ ÖNEMLİ BENTONİT YATAKLARI REZERV VE ÖZELLİKLERİ..... 16

3.1 Dünya Bentonit Yatakları ve Üretim Miktarları	16
3.1.1 Dünya'daki Önemli Bentonit Yatakları.....	17
3.2 Türkiye Bentonit Yatakları ve Üretim Miktarları	18
3.2.1. Edirne - Enez Bentonit Yatağı.....	20
3.2.2. Kalecik-Ankara Bentonit Yatağı	21
3.2.3 Eskişehir Bentonit Yatağı.....	21
3.2.4 Çankırı Bentonit Yatağı.....	21
3.2.5 Tokat-Reşadiye Bentonit Yatağı.....	22
3.2.6 Ünye-Fatsa Bentonit Yatağı	22
3.2.7 Balıkesir-Bentonit Yatakları.....	23

BÖLÜM DÖRT - BENTONİT SONDAJ ÇAMURU ÖZELLİKLERİ 24

4.1 Kimyasal Analiz	24
4.2 XRD ve SEM Analizleri.....	24
4.3 Soda ile Aktivasyon.....	25
4.3.1 Reolojik Özellikler.....	27
4.3.2 Süzüntü Hacmi Tayini	29
4.3.3 Çapı 75 µm'dan Daha Büyük Kalıntının Tayini	31
4.4 İşlem Görmemiş Bentonit Numuneleri Üzerinde Uygulanan Testler	31
4.5 Çamur Yoğunluğu	33

BÖLÜM BEŞ - DEĞERLENDİRME 34

5.1 Kimyasal Analiz Çalışmaları.....	34
5.2 XRD ve SEM Sonuçlarının Değerlendirilmesi	36
5.3 Soda ile Aktive Edilen Buca Kilinin Sondaj Çamuru Test Sonuçları	40
5.4 Çapı 75 µm'dan Daha Büyük Kalıntının Tayini.....	44
5.5 İşlem Görmemiş Buca Kili ile Referans Numunelerin Karşılaştırılması	45

5.6 Çamur Yoğunluğu	48
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR.....	50
KAYNAKLAR	53
EKLER.....	56
EK-1: Soda ile 10 Gün Boyunca Aktive Edilen Killerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları	56
EK-2: Soda ile 30 Gün Boyunca Aktive Edilen Killerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları	57
EK-3: Soda ile 45 Gün Boyunca Aktive Edilen Killerin Fiziksel Özelliklerini Belirleyen Deney Sonuç Özeti	58
EK-4: İşlem Görmemiş Bentonitlere Ait Örneklerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları.....	59
EK-5: Kimyasal İşlem Görmüş Bentonitlere Ait Örneklerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Örnekleme noktasına ait yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2 Örnekleme alanından bir görüntü	3
Şekil 1.3 Buca killerinin yakından görünüşü	3
Şekil 1.4 Buca- Tınaztepe Hastanesi (17030/47025) S2 su kuyusu sondaj kesiti	8
Şekil 2.1 Tetrahedron birim	9
Şekil 2.2 Tetrahedronların birleşmesi sonucu oluşan tetrahedral yaprak yapısı	10
Şekil 2.3 Oktahedral birim	10
Şekil 2.4 Oktahedral birimlerin paylaşımı ile oluşan yaprak yapısı	11
Şekil 2.5 Bentonitin kristal yapısı	12
Şekil 3.1 Bentonitin Türkiye'deki başlıca kullanım alanları	18
Şekil 3.2 Türkiye kil ve bentonit yatakları haritası	19
Şekil 4.1 Aktivasyon işlemi sonrası deney için hazırlanmış kil numuneleri	26
Şekil 4.2 Reoloji ölçümleri için kullanılan Fann Viskozimetre cihazı	27
Şekil 4.3 Bingham plastik modeli	28
Şekil 4.4 Süzüntü hacmi deney düzeneği	30
Şekil 4.5 Çamur terazisi	33
Şekil 5.1 Analizi yapılan tüm örneklerin Na ₂ O oranı ile Süzüntü Hacmi arasındaki bağıntı	36
Şekil 5.2 Analizi yapılan tüm örneklerin XRD grafiği	38
Şekil 5.3 İşlem görmemiş Buca kili ve aktive edilmiş Buca 45/4 örneklerinin karşılaştırılması	39
Şekil 5.4 Buca kilinin SEM görüntüleri	39
Şekil 5.5 10 gün süreyle soda ile farklı oranlarda aktive edilen Buca kilinin, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranlarında gözlenen değişim	40
Şekil 5.6 30 gün süreyle soda ile farklı oranlarda aktive edilen Buca kilinin, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranlarında gözlenen değişim	41

Şekil 5.7 45 gün süreyle soda ile farklı oranlarda aktive edilen Buca kilinin, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranlarında gözlenen değişim.....	41
Şekil 5.8 Soda ile aktivasyonun farklı bekletme sürelerinde plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranına etkisi	42
Şekil 5.9 Soda ile 10 gün boyunca aktive edilen killerin süzüntü hacmi.....	42
Şekil 5.10 Soda ile 30 gün boyunca aktive edilen killerin süzüntü hacmi grafiği	43
Şekil 5.11 Soda ile 45 gün boyunca aktive edilen killerin süzüntü hacmi grafiği	44
Şekil 5.12 Soda etkisinde 10 gün boyunca bekletilen Buca kili örneklerinin çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı yüzdelerinin DDC, İlbe ve sınır değer ile karşılaştırılması	44
Şekil 5.13 Soda etkisinde 30 gün boyunca bekletilen Buca kili örneklerinin çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı yüzdelerinin DDC, İlbe ve sınır değer ile karşılaştırılması	45
Şekil 5.14 Soda etkisinde 45 gün boyunca bekletilen Buca kili örneklerinin çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı yüzdelerinin DDC, İlbe ve sınır değer ile karşılaştırılması	45
Şekil 5.15 Buca kili ve referans numunelerin süzüntü hacmi değerlerinin karşılaştırılması grafiği.....	47
Şekil 5.16 Buca kiline ait Süzüntü Hacmi deneyi sonucunda oluşan kek kalınlığı ...	48

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Kıl minerallerinin sınıflandırılması	11
Tablo 3.1 Dünya bentonit rezervleri	16
Tablo 3.2 Dünya Bentonit Üretimi	17
Tablo 3.3 Yıllara göre Türkiye bentonit üretim miktarları ve değerleri	20
Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan numunelerin kodlama sistemi.....	26
Tablo 4.2 Bentonitin fiziksel özellikler.....	32
Tablo 4.3 İşlem görmemiş bentonitin fiziksel özellikleri	32
Tablo 5.1 Laboratuarda testleri yapılan numunelerin kimyasal analiz sonuçları.....	35
Tablo 5.2 TS EN 13500'e göre bentonit örneklerinin değerlendirilmesi.....	46
Tablo 5.3 İşlem görmüş olan sondaj bentoniti numunelerinin değerlendirilmesi.....	47

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

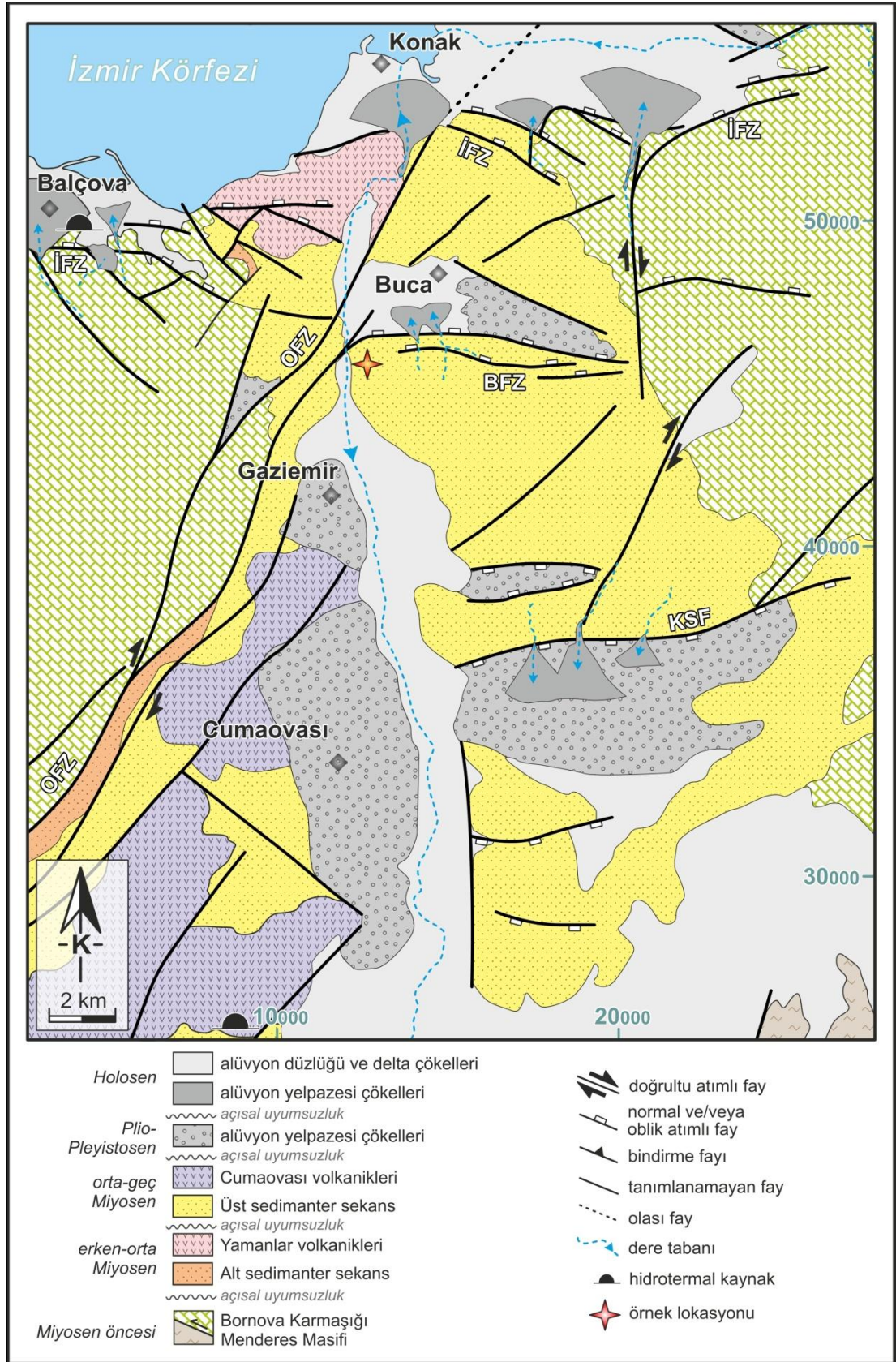
1.1 Giriş

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Ekonomik Jeoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada, öncelikle İzmir ili Buca ilçesindeki çalışma alanından alınan Ca-bentonit örnekleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda, Wyoming işlem görmemiş bentonit ve Çanakkale ili Ayvacık ilçesinde kedi kumu üretimi yapan Emko firmasından alınan ham bentonit örnekleri üzerinde testler yapılmıştır. Bunun yanında DDC ve İlbe firmalarına ait bentonit örneklerine, bentonitin sondaj çamuru olarak kullanılabilirliğini belirleyen deneyler uygulanarak çalışma alanına ait killerin sondaj çamuru olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

1.2 Çalışma Alanı

Örnekleme noktası, Buca ilçesi 6. Sanayi Sitesi yakınında bulunmaktadır. Yerel sondacılar tarafından bölgedeki inşaat çalışmalarına ait hafriyatın alınıp sondaj çamuru olarak kullanıldığı bilinmektedir. Örnekleme noktasının bulunduğu alanda çok sayıda inşaat bulunması sondajcıların bu bölgeden kil alımlarını kolaylaştırmaktadır (Şekil 1.1).

Bu çalışma kapsamında örnekleme noktasından alınan numunelere, Torbalı Meslek Yüksek Okulu Su Laboratuvarında sondaj çamuru olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacı ile testler uygulanmıştır.



Şekil 1.1 Buca kili örnek noktasına ait yer bulduru ve çevresinin jeoloji haritası (Uzel, Sözbilir ve Özkaaymak, 2009, dan değiştirilerek)



Şekil 1.2 Örnekleme alanından bir görüntü



Şekil 1.3 Buca killerinin yakından görünüşü

1.3 Amaç

Dünyada ve ülkemizde oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan bentonit, doğal haliyle ya da kullanım alanına uygun şekilde kimyasal işlemlere maruz bırakılarak kullanılmaktadır. Bu durum kalsiyum nitelikli bentonitlerin ve ara tip bentonitlerin, sodyum bentonitlerin yerine kullanılabilirliğine olanak vermektedir. Ülkemizde bol miktarlarda bulunan bentonitin üretiminin kolay olması, ucuz olması ve kullanım alanının geniş olması, hammadde olarak işletilmesini cazip hale getirmektedir.

Bu çalışmada, hem Buca kilinin soda ile aktive edilerek sondaj çamuru olarak kullanılabilirliğini araştırmak hem de yeni bentonit sahaları açarak ülke ekonomisine katkıda bulunmak amaçlanmaktadır.

1.4 Çalışma Yöntemi

İzmir ili Buca ilçesindeki Ca-bentonitlerinin sondaj çamuru olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasını kapsayan bu tez, literatür taramasıyla başlamıştır. Daha sonra arazi ve ağırlıklı olarak laboratuvar çalışmalarıyla devam eden çalışmalar değerlendirme ve tez yazımı ile sonlandırılmıştır.

Literatür çalışmalarında bentonite uygulanan deneysel işlemler ile ilgili kaynak araştırması yapılmıştır ve deney aşamaları için ilgili standartlar araştırılmıştır. Bentonitin aktive edilmesi ve sondaj çamuru olarak kullanılabilirliği ile ilgili tez ve makale çalışmaları araştırılmıştır. Bentonitin dünya ve Türkiye'deki rezerv ve üretim miktarları hakkında da ilgili kuruluşların arşivlerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmalara ilave olarak kil minerallerinin kimyasal yapıları ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Yapılan arazi çalışmalarında ise, laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere örnekler alınmıştır. Örnek alımı sırasında çalışma alanının genel özelliklerini temsil edecek şekilde alınmasına özen gösterilmiştir. Alınan örnekler kurutulmuş ve öğütme

işleminde geçirilmiştir. Ayrıca farklı bölgelerden referans kil örnekleri getirilmiştir. Bu örneklerin her biri için TS EN ISO 13500 (Petrol Ve Doğal Gaz Sanayi-Sondaj Akışkanları Maddeleri-Özellikler ve Deneyler) standardına uygun olarak sondaj çamuru olarak kullanılabilirliklerini belirleyen testler uygulanmıştır.

Araziden alınan örnekler Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Seramik Laboratuvarında 100 ± 5 °C de, 2 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işlemine tabi tutulan kil örnekleri öğütülerek ve 75 µm elekten geçirilerek ön hazırlık yapılmıştır. Bentonit firmalarından işlenmiş halde gelen örnekler üzerinde deneyler doğrudan uygulanmıştır. TS EN ISO 13500 standardına uygun olarak, süspansiyon reolojisinin tayini, süzüntü hacmi tayini (Sondaj çamurunun formasyona filtre ettiği suyun hacmi) ve çapı 75 µm' dan daha büyük kalıntının tayini deneyleri uygulanmıştır. Buca bölgesinden alınan Ca-bentonit özellikli kil örnekleri üzerinde aktifleştirme işlemi (Ca-bentonitin Na_2CO_3 ile belirli oranlarda karıştırılıp belirli bir sürede bekletilmesi sonucu Na-bentonite dönüştürülmesi işlemi) uygulanmıştır.

Laboratuar çalışmalarının ardından, laboratuvarda elde edilen sonuçlar değerlendirilmek üzere büro çalışmalarına geçilmiştir. Sahadan alınan örneklerle uygulanan deney sonuçlarının referans örneklerin sonuçları ile karşılaştırılması doğrultusunda sondaj çamuru olarak kullanılabilirliği sınanmıştır. Çalışma alanındaki Ca-bentonitin sondaj hammaddesi olarak kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

1.5 Araştırma Konusu ile İlgili Çalışmalar

Dünyada ve ülkemizde özellikle de petrol sondajlarının başlamasıyla birlikte önemli bir talep oluşturmaya başlamıştır. Bu artan talep doğrultusunda bentonitin sondaj çamuru olarak veya diğer sanayilerde kullanımının araştırılması amacı ile birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilecek bilgilerin değerlendirilmesi ülke ekonomisi açısından da büyük önem taşımaktadır.

Yıldız (1997), Kütahya bentonitinin soda ile aktivasyonu konulu doktora tezinde, Kütahya Ca-bentonitinin soda ile aktive edildiğinde elde edilen sodyum nitelikli bentonitin sondaj çamuru olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Aktivasyon yöntemi ile elde edilen bu Na-bentonitin, CaCl_2 ile geri aktivasyonu ile elde edilen Ca-bentonitin ağartma toprağı olarak kullanılabilirliğinin daha ayrıntılı araştırılması konusuna da değinmiştir.

Avcı (2009), soda ve MgO ile aktiflendirilmiş ara tip bentonitlerin sondaj ve döküm bentoniti karakteristiklerinin incelenmesi konulu yüksek lisans tezinde, soda ile aktive edilmiş Ca-bentonitlerin daha sonra yüksek oranda MgO ile aktive edilerek döküm kumu ve sondaj bentoniti olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Çetinel (2008), ara tip ve Ca-bentonitlerin soda ve MgO ile aktivasyonunu araştırdığı yüksek lisans tezinde, üzerinde çalışılan Çankırı bölgesi ara tip bentonitleri ile Silivri bölgesi kalsiyum nitelikli bentonitlerinin yalnızca aktive edilerek sondaj çamurunda kullanılamayacağını, bunun yanında boya endüstrisinde kıvam yapıcı olarak kullanılmasının araştırılabileceğini belirtmiştir.

Silivri Ca-bentonitleri için, %5 soda + %1 MgO ilavesi yapılarak aktive edildiğinde viskozite açısından sondaj bentoniti standartlarına uygun olduğu fakat su kaybı açısından CMC hazırlanacak olan çamura CMC katkısı gerektiğini gözlemlemiştir. Çetinel (2008) ayrıca, Çankırı ara bentonitinin soda+MgO katkısı ile sondaj bentoniti özelliklerine sahip olacağını tespit etmiştir.

Çinku (2008), de yaptığı aktivasyon yöntemleri ile bentonitten su bazlı kıvamlaştırıcı üretiminin araştırılması amaçlı doktora tezinde, işlem görmeksizin sondaj sektöründe kullanılan Reşadiye bentonitinin hidroksiklon ile zenginleştirme işleminden geçirilerek daha temiz ve kaliteli bir ürün olarak kullanılabilirliğine yer vermiştir.

1.6 Çalışma Alanının Jeolojisi

Batı Anadolu'nun genelini temelini oluşturan Menderes Masifine ait metamorfik kayalar üzerine Bornova Karmaşığı kayaları gelmektedir. Bu yapı kırıntılı-karbonat-vulkanik kayalardan yapıları Neojen istif tarafından üstlenmektedir (Şekil 1.1). Erken Miyosen - Üst Pliyosen yaşlı Neojen istif üstte doğru sırasıyla Alt sedimanter sekans, Yamanlar volkanikleri, Üst sedimanter sekans, Cumaovası volkanikleri, alüvyon yelpazesi çökelleri şeklindedir. Tüm bu birimlerin üzerine Holosen yaşlı alüvyon yelpazesi, alüvyon düzlüğü ve delta çökelleri gelmektedir (Uzel, Sözbilir ve Özkaymak, 2009).

Uzel ve diğer. (2009) alt sedimanter sekansı Sabuncubeli formasyonu, üst sedimanter sekansı da Yaka formasyonu olarak tanımlamaktadır. Buca ve çevresinde gözlenen Neojen birimlerinin Yaka formasyonunun devamı olduğunu belirtmektedir. Buca ve Gazimur arasında Neojene ait kil seviyesi yaklaşık 170-190 metre kalınlık sunabilmektedir (Şekil 1.4 Tınaztepe Hastanesi su sondajı stampı).

KURUÇEŞME SONDAJ STAMPI		
DERİNLİK(m)	Litoloji	Açıklama
10		Yamaç molozu
20		İnce katmanlı killi kireçtaşı
30		Bej,kalın katmanlı killi kireçtaşı
40		Bej,5-10 cm katman kalınlığında, çamurtaşı seviyeleri içeren killi kireçtaşı,
50		'
60		Açık yeşil 10-15 cm katman kalınlığında çamurtaşı ara seviyeleri içeren killi kireçtaşı
70		
73		
80		
90		
100		
105		
110		Yeşil,karbonat seviyeleri içeren kiltası
115		
120		
130		Gri,açık gri,gevşek,çakıltaşı ara seviyeleri içeren kiltası (Litolojik seviye boyunca kayanın su muhtevasında belirgin artış gözlemlendi.)
140		
145		
150		
160		
170		
200		

Şekil 1.4 Buca- Tınaztepe Hastanesi (17030/47025) S2 su kuyusu sondaj kesiti (Ölçeksiz)

BÖLÜM İKİ

KİLLERİN YAPISI

2.1 Giriş

Tane boyutu 0,002 mm' den daha küçük taneli malzemeye kil adı verilmektedir. Killer, soluk yeşil, sarımtırak, kahverengimsi gibi renklerde bulunabilirler. Kil mineralleri genellikle alümina ve silikat tabakalarının yan yana gelmesinden oluşan tabakaları arasında yüksek miktarda su tutabilen kristal yapısına sahip minerallerdir. Bu nedenle su emdiğinde plastik özellik göstermektedirler.

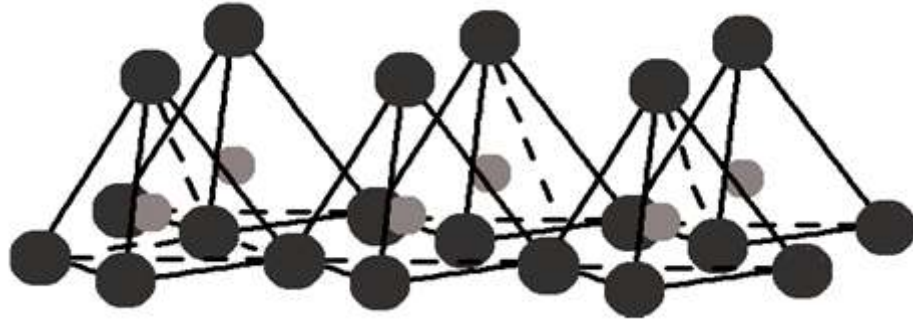
Kil minerallerinin kristal yapısı, silika tetrahedral ve alümina oktahedral olmak üzere farklı iki kafes yapısından oluşmaktadır.

2.1.1 Tetrahedral Yapı

Merkezinde bir silikat atomu kenarlarında ise dört adet oksijen atomu bulunan düzgün dörtyüzlü görünümündedir (Şekil 2.1). Oksijen atomlarının üçü tetraeder yapının bazal düzleminde bir tanesi ise üst köşede olacak şekilde yerleşmişlerdir. Kenarlarda bulunan bu oksijen atomlarının silikat atomuna uzaklıkları eşit mesafededir. Düzgün dört yüzlünün bazal oksijenleri birleşerek altıgen bir yapı oluşturmaktadırlar. Bu yapıların tekrarlayarak yan yana gelmesi sonucu oluşan tetrahedral yapı Şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2.1 Tetrahedron birim



Şekil 2.2 Tetrahedronların birleşmesi sonucu oluşan tetrahedral yaprak yapı

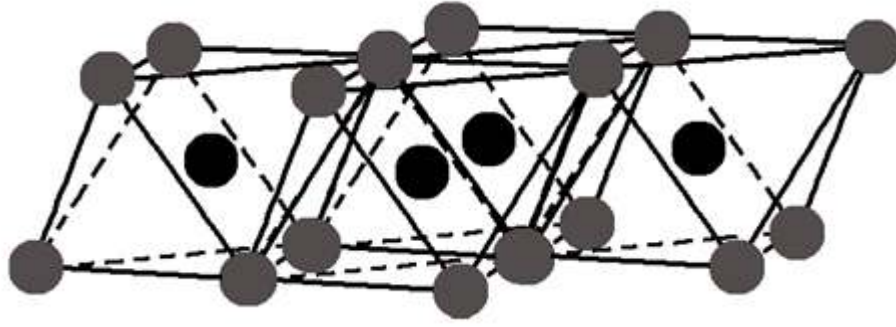
2.1.2 Oktahedral Yapı

Merkezinde alüminyum, demir veya magnezyum atomu, köşelerde ise altı adet oksijen veya hidroksil atomu bulunan düzgün sekiz yüzlü oktahedron şeklindedirler (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Oktahedral birim

Oktahedron birimler birleşerek oktahedral yaprak yapıyı oluştururlar (Şekil 2.4). Kil mineralleri bu iki kafes yapısının oluşturduğu tabakaların üst üste istiflenmeleri sonucunda meydana gelmiştir. Tetrahedral yapının tepesindeki oksijen atomlarıyla oktahedronların hidroksil atomları arasında kurulan iyonik bağ birim tabakaları oluşturmaktadır. Birim tabakaların birbiriyle kurdukları bağ şekillerine göre farklı kristal yapılarına sahip kil mineralleri oluşur. Örneğin bir silika tetraeder yaprak ve bir alüminyum oktaeder yaprağın bağlanması ile oluşan birim tabaka 1:1 tabakalı, 2 tetrahedral ve bir oktahedral yapraktan oluşan birim tabakalar ise 2:1 tabakalı olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.4 Oktahedral birimlerin paylaşımı ile oluşan yaprak yapı

2.2 Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

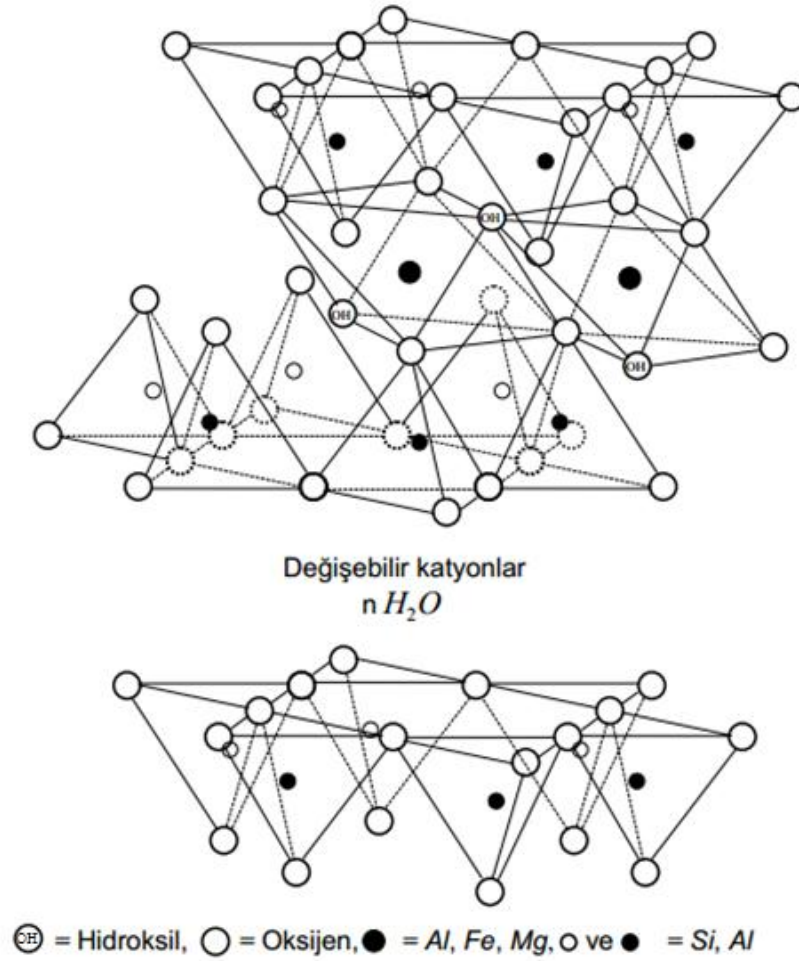
Killer tabaka tipi, birim tabaka elektriksel yükü, kimyasal kompozisyonu, şişme özellikleri esas alınarak Tablo 2.1' de aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.1 Kil minerallerinin sınıflandırılması (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı [TPAO], 2007)

	Tabaka Dizilimi	Grubu	Grup Örnekleri
Tabakalı	1:1	Kaolinit	Kaolinit, Dikit, Nakrit, Haloysit, Düzensiz Kaolinit, Serpantinler
	2:1	Simektit	Montmorillonit, Beydelit, Nontronit, Stevensit, Saponit, Hektorit
		Mika	İllit, Muskovit, Paragonit, Filogopit, Biyotit, Talk
		Vermikülit	Vermikülit
		Klorit	Klorit
		Karışık tabakalı tipler	Düzenli Karışık (2:1) Düzensiz Karışık
Lifli	2:1	Paligorskit-Sepiyolitt (Lifli Killer)	Paligorskit, Sepiyolit

2.3 Simektit Grubu Kil Mineralleri

En önemli üyesi montmorillonit olan simektit grubu killeri 2:1 tabakalı yapıya sahiptirler. Tetrahedral yaprağın tip oksijenleri ile oktahedral yaprağın hidroksilleri arasında kurulan iyonik bağ sayesinde birim tabakalarını oluştururlar. Üç tabakalı kristal yapıya sahip oldukları için su ile temas ettiklerinde şişerler ve kolloidal özellik gösterirler.



Şekil 2.5 Bentonitin kristal yapısı (Küçükçelebi, 2000)

Montmorillonitin oluşumu sırasında gerçekleşen katyon değişimleri elektriksel yük dağılımının bozulmasına ve pozitif yük açığı ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Tabakalar arasında sodyum, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve hidrojen gibi alkali ya da toprak alkali iyonların adsorbe edilmesi ile giderilmektedir. Bu katyon

değiştirme kapasiteleri, bentonitin su ile karıştırıldığında dağılma özelliği göstermesi, hacim olarak şişmesi, yüksek plastisite ve adsorpsiyon yeteneği göstermesini sağlamaktadır.

2.4 Kil Minerallerinin Özellikleri

Sondaj çamurunun kalitesi açısından üstünde durulması gereken başlıca özelliklere şu şekilde değinilebilir.

2.4.1 Killerin Katyon Değiştirme Kapasitesi

Bir kilin bünyesinde bulunan değiştirilebilir katyon bulundurma yeteneği, o kilin katyon değiştirme kapasitesinin göstergesidir. Kil minerallerinin katyon değiştirme kapasitesi, 100 gr. içinde bulunan değişebilme yeteneğine sahip katyonların mili eşdeğer molar kütle sayısı olarak tanımlanmaktadır.

Ana yüzeyleri negatif yükle yüklenmiş olan kil minerallerinin kenar yüzeyleri bulundukları ortamın pH' ına bağlı olarak negatif ya da pozitif yük açığı ortaya çıkabilmektedir. Kenar yüzeylerde ortaya çıkan bu elektriksel yük açığı Ca^{+2} , Mg^{+2} , H^+ , K^+ NH_4^+ ve Na^+ gibi katyonların kil yüzeyine adsorplanması ile bir elektriksel yük dengesi sağlanmaktadır. Kilin kenar yüzeylerinde ve birim tabakalar arasında yer alan bu katyonlar değiştirilebilir konumda tutulur.

Katyon değiştirme kapasitesi her kil için farklı bir değer vermektedir. Katyonun değeriği yer değiştirmelerinde önemlidir. Değerlikleri büyük olan katyonların yer değiştirme kabiliyeti daha yüksektir. Bazı katyonların başka katyonları değiştirme gücü şu sıraya göre belirlenir: $Li^+ < Na^+ < K^+ < Rb^+ < Cs^+ < Mg^{++} < Ca^{++} < Sr^{++} < Ba^{++} < H^+$. Bu sıralamaya göre Ca iyonu Na iyonunun yerine kolaylıkla geçebilir, fakat Na iyonun Ca iyonunun yerini alması daha zordur (TPAO, 2007).

2.4.2 Şişme Özellikleri

Bentonitin ticari anlamda birçok alanda kullanılmasının sebebi bünyesinde su tutmasıdır.

Bütün bentonitler simektit grubu kil minerallerindendir. Simektit grubu kil mineralleri üç tabakalı bir yapı gösterirler ve bu onların karakteristik özelliğidir. Tabakalar arasında su molekülleri ve değişebilen iyonlar yer alır. Mevcut bu tabakalar arasında su ve organik moleküller girerek yapının genişlemesine neden olurlar. Bu özellik killerin şişmesi olarak tanımlanır. Tabakalar arasındaki değişebilen iyonlar değişik kirlenmelerin varlığı kilin değişik karakteristik özelliklerini belirler (Malayoğlu, 1995).

2.5 Bentonit

Bentonit, alüminyum ve magnezyumca zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması ile veya bozulmasıyla oluşmuş çok küçük kristallere sahip kil minerallerinden (başlıca simektit) oluşan ve ağırlıklı olarak kolloidal silis yapıda, yumuşak, gözenekli ve kolayca şekil verilebilir açık bir kaya olarak tanımlanmaktadır.

Smektit grubu kil minerallerinden olan montmorillonitin, halk arasında kullanılan adı bentonittir. Bentonit ismi, ilk olarak ABD Wyoming'de Ford-Benton yakınındaki büyük kil yataklarının keşfedilmesi ile türemiştir.

Bentonitler içeriklerinde bulunan değişebilir özellikteki potasyum, sodyum ve kalsiyum iyonlarına göre; sodyum bentonit, kalsiyum bentonit ya da ara tip bentonit (sodyum ve kalsiyumlu) olarak adlandırılmaktadır. Kalsiyum iyonları sodyum iyonlarından daha güçlü bir bağ oluşturduğundan kalsiyum bentonit sodyum bentonitten daha az şişer. Reeves ve diğer. (2006) göre güçlü bir adsorbe etme yeteneğine sahip olan Na-bentonit, kendi kuru hacminin on katına kadar suyu emme

yeteneğine sahiptir. Su ile bir süspansiyon oluşturduğunda kolloidal özellik göstermesi, hacimce şişme göstermesi, bu tip killerin geniş kullanım alanları bulmasına olanak sağlamıştır.

Dünyada ve Türkiye’de Na-bentonit rezervlerinin Ca-bentonitlere göre daha sınırlı olması ve sanayide bentonite olan ihtiyacın sürekli artması, Ca-bentonitlerin ve ara tip bentonitlerin de kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Düşük şişme kapasitesine sahip olan Ca-bentonitler, kullanım alanlarına uygun olarak Na_2CO_3 (soda), MgO , CMC ve polimer gibi katı maddelerle reaksiyona sokularak aktive edilmektedir.

Ayrıca zenginleştirme işlemleri de bentonitlerin safsızlıklarının uzaklaştırılması ve montmorillonit içeriğinin yükselmesine sebebiyet vermektedir. Bentonitler üzerinde yapılan bazı çalışmalarda sadece zenginleştirme işlemi ile dahi (aktivasyona gerek kalmadan) sondaj çamuru özelliği kazandırılan bentonitler mevcuttur (Çinku, 2010).

Yüksek şişme özelliği, viskozite, jelleşme ve katyon değiştirme yetenekleri, bentonitlerin, sondaj çamuru, döküm kumu, bitkisel yağların ağartılmasında, şarap, bira ve meyve sularının berraklaştırılmasında, demir cevheri peletlemesinde, kağıt sanayinde, boya sanayinde, seramik sanayinde, ilaç sanayinde, kedi kumu, nem alıcı, lastik sanayinde, hayvan yemi üretiminde, nükleer atıkların depolanması, baraj ve çöp depolama alanlarının sızdırmazlığının sağlanması, bazı zararlı bileşenlerin adsorbe edilerek çevre kirliliğinin giderilmesi gibi farklı alanlarda kullanımını sağlamaktadır.

Kil mineralinin bir çeşidi olan simektitce zengin bentonitin genel kimyasal formülü; $(\text{Na,Ca}) (\text{Al,Mg})_6 (\text{Si}_4\text{O}_{10})_3 (\text{OH})_6 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ 'dur.

BÖLÜM ÜÇ

DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ ÖNEMLİ BENTONİT YATAKLARI REZERV VE ÖZELLİKLERİ

3.1 Dünya Bentonit Yatakları ve Üretim Miktarları

Bentonitin dünya üzerinde oldukça geniş bir rezerve sahip olduğu bilinmesine karşın, bentonit rezervleri hakkında sağlıklı veriler elde edilememektedir. Bununla birlikte dünyanın en geniş sodyum bentonit yataklarının Amerika Birleşik Devletleri'nde Wyoming, Montana ve Güney Dakota eyaletlerinde olduğu iyi bilinmektedir. Daha az rezerve sahip olan sodyum bentonit yatakları ise; Arjantin, Kanada, Çin, Yunanistan, Gürcistan, Hindistan, Fas, Güney Afrika ve İspanya'da bulunmaktadır.

Dünyadaki kalsiyum bentonit yatakları ise, Amerika Birleşik Devletlerinin, Alabama, Georgia, Mississippi, Texas, Missouri eyaletlerinde, İngiltere, Almanya, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, Gürcistan, Çekoslovakya, Ukrayna, Japonya, Cezayir, Fas, Güney, Afrika, Çin, Hindistan, Japonya, Cezayir, Fas, Güney Afrika, Çin, Hindistan, Arjantin ve Brezilya'da bulunmaktadır.

Dünya bentonit rezervleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1 Dünya bentonit rezervleri (Devlet Planlama Teşkilatı [DPT], 2001)

ÜLKELER	Rezerv Miktarları (x10 ⁶ ton)
AMERİKA	950
AVRUPA	720
BDT(SSCB)	250
Türkiye	370
Diğer	100
Avustralya	50
Diğer	150
	Toplam:1870

3.1.1 Dünya'daki Önemli Bentonit Yatakları

Wyoming bentonit yatakları, ekonomik olarak işletilebilen en kaliteli sodyum bentonit yataklarıdır. İtalya, Ponza adasındaki bentonit yatakları, Na-bentonit özellikli inşaat sektörüne, döküm amaçlı ve sondaja uygun nitelikte beyaz ve fildişi rengindedirler. İtalya Sardinya adası bentonit yatağı; sondaj, ağartma toprağı ve döküm kumu olarak kullanılan Na-bentonit nitelikli ve beyaz renkli bir bentonittir. Yunanistan Milos adası bentonit yatağı, Ca-bentonit niteliğinde olan yataklardır. Milos bentonitleri aktive edilerek sondaj çamuru, döküm kumu ve peletlemede kullanılmaktadır. İspanya, Almeria bentonitleri, Ca-bentonit özellikte olup, ağartma toprağı, peletleme ve döküm kumu için uygundur. Türkiye, Tokat Reşadiye bentonit yatağı ara tip bentonit niteliğinde olup sondaj çamuru ve döküm kumu olarak kullanımı uygundur. Almanya Bavyera bentonit yatakları ise Ca içeriğı yüksek bu yataklar aktive edilerek döküm kumu, peletleme, sondaj, inşaat ve yağ sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu yatakların son beş yıllık üretim miktarları Tablo 3.2' de verilmektedir.

Tablo 3.2 Dünya Bentonit Üretimi (Ağartma toprağı hariç) (United States Geological Survey [USGS], 2014)

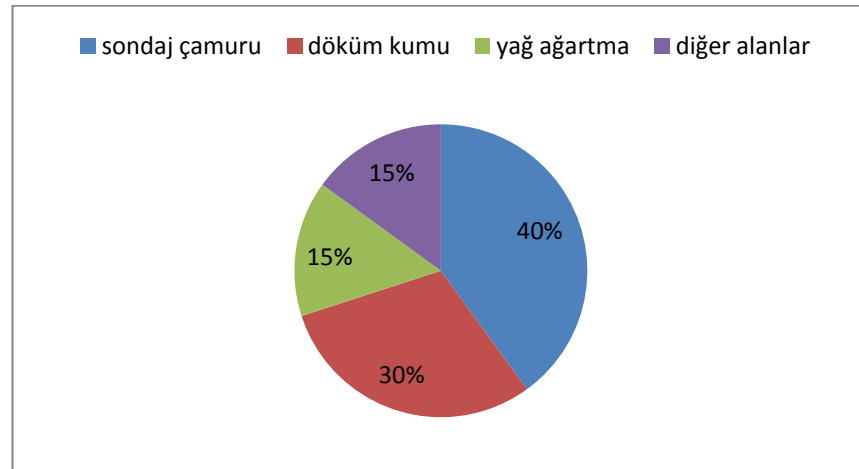
Ülkeler	2010 (x10 ⁶ ton)	2011 (x10 ⁶ ton)	2012 (x10 ⁶ ton)	2013 (x10 ⁶ ton)	2014 (x10 ⁶ ton)
ABD (Satış)	4,630	4,810	4,980	4,350	4,660
Brezilya	265	532	567	513	500
Çekoslovakya	183	160	221	226	230
Almanya	350	350	375	375	350
Yunanistan	850	850	800	1.000	1.000
İtalya	111	110	110	110	100
Meksika	591	54	54	618	1,100
İspanya	155	155	115	115	100
Türkiye	1,200	1,000	400	1,100	1,100
Ukrayna	200	185	210	210	180
Birleşik Krallık	-	-	-	-	-
Özbekistan	-	-	15	25	25
Diğer Ülkeler	2,100	2,100	2,100	3,360	3,300

3.2 Türkiye Bentonit Yatakları ve Üretim Miktarları

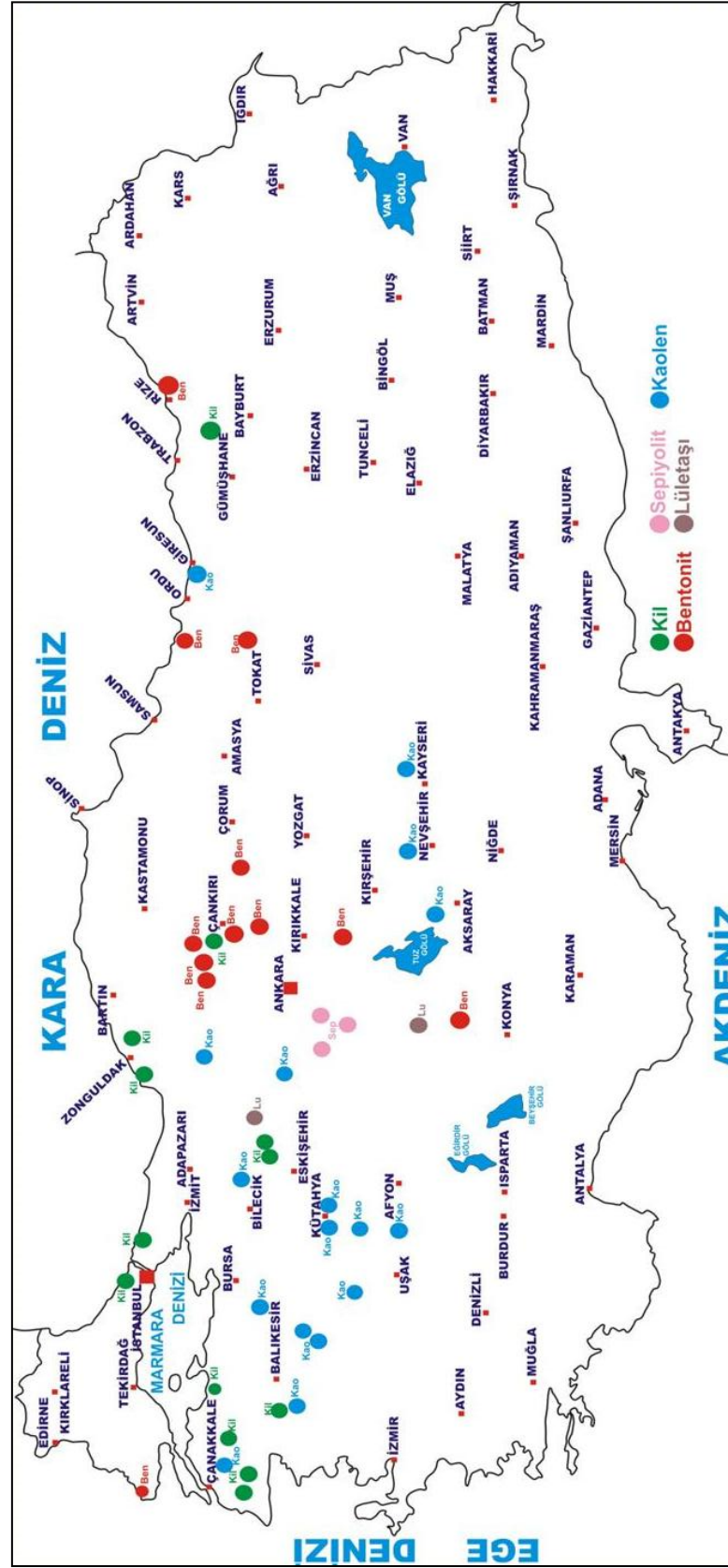
Çok geniş bir tüketim alanına sahip olan bentonitin, ülkemizde bol miktarda bulunması ve üretim maliyetinin düşük olması bu maden üzerindeki çalışmaların artmasına neden olmuştur. Ülkemizde bentonit tüketiminin en fazla olduğu sektörler sondaj, peletleme ve döküm sanayileridir. Bunun yanında temizlik maddeleri üretiminde, kâğıt üretiminde ve yağların ağartılmasında da bentonit kullanılmaktadır. Ülkemizde, bentonitin kullanıldığı sektörler Şekil 3.1' de verilmiştir. Türkiye'de bentonit tüketimi özellikle 1960'lardan sonra artış göstermektedir (DPT,1996).

Türkiye'deki önemli bentonit yatakları Çanakkale, Edirne, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Çankırı, Konya, Çorum, Tokat ve Ordu illerinde bulunmaktadır (Şekil 3.2). Bu yataklardan Ankara'da ve Tokat'ta bulunanlar sondaj sanayi, Çankırı'da ve Çorum'da bulunan rezervler döküm sanayinde, Çanakkale'de bulunan rezervler döküm sanayinde ve kedi kumu olarak, Edirne'de, Ordu'da, Balıkesir'de, Kütahya'da ve Eskişehir'de bulunan bentonit rezervleri ise kâğıt, deterjan ve yağların ağartılmasında kullanılmaktadır. Türkiye'nin toplam potansiyel bentonit rezervi 250.543.000 ton'dur.

Türkiye'de 2012 yılı itibarıyla bentonit ihracatı 337.657.314 kilogramdır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA], 2015a).



Şekil 3.1 Bentonitin Türkiye'deki başlıca kullanım alanları.



Şekil 3.2 Türkiye kil ve bentonit yatakları haritası (MTA, 2015b)

Türkiye, dünya bentonit rezervlerinin yaklaşık olarak % 20 sine sahiptir. Ülkemizde çıkarılan bentonitlerin çoğunluğu ham olarak yurtdışına ihraç edilmektedir. Yurtiçindeki ihtiyacı ise büyük ölçüde karşıladığı tatmin edilmektedir. Tablo 3.3' de Türkiye bentonit ihracat ve ithalat miktarları ve bunların üretim değerleri verilmiştir.

Tablo 3.3 Yıllara göre Türkiye bentonit üretim miktarları ve değerleri (MTA, 2015c)

Yıllar	İhracat (kg)	Değeri (\$)	İthalat (kg)	Değeri (\$)
2010	307.581.738	28.903.045	1.640.550	610.552
2011	318.659.067	34.907.464	1.914.828	787.843
2012	337.657.314	37.695.482	1.952.334	853.352

3.2.1 Edirne - Enez Bentonit Yatağı

Bentonit sahaları Enez ilçesinin yaklaşık 10 km. doğusunda, Enez-Keşan karayolunun 1 kilometre kuzeyinde yer alan Çeribaşı Köyünün kuzeyinde bulunmaktadır. Bu killerin asitle aktive edildikten sonra ağartma toprağı kullanımına uygun olduğu belirtilmektedir. Enez ilçesinde bulunan diğer yatak ise Enez' in yaklaşık 5 km doğusunda Yazır Köyü yakınlarında yer alır. Ağartma toprağı, döküm bentoniti, sondaj bentoniti, kedi kumu ve nem alıcı olarak kullanıma uygundur.

Edirne ilinde 1960-1996 yılları arasında MTA tarafından yapılan araştırmalarda, Enez ilçesinin doğusunda yer alan Yenice, Çavuşköy ve Hisarlı yörelerinde doğal ağartma toprağı niteliğinde olan kalsiyum açısından zengin bentonit yatakları bulunmaktadır. Bunun yanında Edirne'nin Lalapaşa ilçesi de bentonit rezerv potansiyeli olan bir bölgedir. Lalapaşa yatakları başlıca deterjan, kâğıt, ağartma toprağı olarak kullanımı uygundur. Enez İlçesi doğusunda Çavuşköy, Yenice ve Hisarlı yörelerinde aktif olarak işletilen bu yatakların toplam rezervi 50 milyon ton civarındadır (Bakır, Akbulut, Kapkaç, Karahan ve Çetin, 2012).

3.2.2 Kalecik-Ankara Bentonit Yatağı

Ankara'nın Kalecik ilçesine bağlı Hisarcık köyü civarında bulunan bentonit yatakları da sondaj çamuru, döküm ve ağartma toprağı olarak kullanıma uygun niteliktedir. Bu bölgedeki bentonit kullanım alanına göre doğal ya da aktiflenmiş olarak kullanılmaktadır. Kalecik bentonit yatağı görünür ve muhtemel rezerv toplamı 75.000.000 ton olarak belirlenmiştir. Hisarcık köyü yakınlarındaki bentonit yatakları Çambensan A.Ş. tarafından işletilmektedir.

Keskin ilçesine bağlı Beşler köyü yakınlarında bulunan bentonit rezervi ise ağartma toprağı kalitesin uygun olarak mümkün rezerv 240.000 ton olarak bildirilmektedir (Bakır ve diğer., 2012).

3.2.3 Eskişehir Bentonit Yatağı

Eskişehir-Mihalıççık-Çukurören Köyü killerinin Osmanlı İmparatorluğu zamanından günümüze kadar temizlik malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Cumhuriyet döneminde de çamaşır ve insan temizliğinde kullanılmak üzere iç piyasaya verilmiştir. Yöre killerinin filtrasyon kaybı yüksek olması nedeniyle sondaj bentoniti olarak kullanılmamaktadır. Mihalıççık bölgesi açık yeşil-gri renkli bentonitinin ağartma toprağı olarak kullanımı uygun olduğu belirlenmiştir (Bakır ve diğer., 2012).

3.2.4 Çankırı Bentonit Yatağı

Ülkemizin önemli bentonit yatakları arasında bulunmaktadır. Çankırı'nın, Şabanözü, Eldivan, Kurşunlu, Ilgaz ve Çerkeş ilçelerinde yer alan bu yataklar soda ile aktifleştirme yapılarak sondaj çamuru, ağartma toprağı ve genellikle de döküm kumu olarak kullanılmaya uygun niteliktedir. Çankırı ilindeki bentonit yataklarında yaklaşık 2 milyon ton görünür rezerv tespit edilmiştir. Belirtilen yatakların büyük kısmı geçmişte işletilmiştir. Çankırı'da halen işletilmekte olan yataklar da vardır (Bakır ve diğer., 2012).

3.2.5 Tokat-Reşadiye Bentonit Yatağı

Tokat ili ülke üretimi bakımından önemli potansiyellere sahiptir. Yöredeki yataklar, Üst Kretase yaşlı volkanik kayalara bağlı olarak oluşmuş çok iyi kalitede olan Na-bentonit yataklarıdır. Bu bölgede çok sayıda bentonit yatağı bulunmaktadır. Ülkenin Na-bentonit ihtiyacının büyük bir kısmı tokat ili bentonit yatakları tarafından karşılanmaktadır. Bu yatakların bir kısmından uzun yıllardır üretim yapılmaktadır. Türkiye'nin bilinen en eski üretim tesisleri bu yörededir. Tokat-Reşadiye bentonitleri, sondaj çamuru, döküm sanayi, ağartma toprağı ve peletlemeye uygundur.

Niksar ilçesinde de döküm bentoniti ve ağartma toprağı olarak kullanılmaya elverişli büyük bentonit potansiyeli bulunduğu belirtilmiştir. Reşadiye bentonit sahasının jeolojik rezervi 348 milyon ton olarak verilmiştir (Akbulut, 1996).

Reşadiye bentonit ocakları DDC, Karakaya bentonit A.Ş. ve Samaş A.Ş. tarafından işletilmektedir.

3.2.6 Ünye-Fatsa Bentonit Yatağı

Rezervi çok yüksek olmamakla birlikte Türkiye'nin en önemli beyaz bentonit yatakları bu bölgede bulunmaktadır. Ünye Kavaklar ve Tavkutlu bentonit yatağında 743.000 ton mümkün, 2.564.000 ton muhtemel bentonit rezervi bulunduğu belirtilmiştir. Bu bölgedeki bentonitler beyaz-kirli beyaz, yer yer pembe renkli bentonit oluşumlarıdır.

Mesudiye-Çavdar bentonit sahasında 80.000 ton mümkün rezerv, Ünye-Fatsa-Keşköy bentonit sahasında 460.000 ton mümkün rezerv, Ünye-Fatsa-Emineli bentonit sahasında 421.800 ton mümkün rezerv, Ünye-Fatsa-Ahizetli bentonit sahasında 128.000 ton mümkün rezerv varlığı tespit edilmiştir. Bu yörede bulunan sahalar da yeşilimsi beyaz renktedirler. Bu özellikteki bentonitler ağartma toprağı

olarak, deterjan yapımında ve kağıt sanayinde ve seramik hammaddesi olarak kullanılmaktadır (Bakır ve diğer., 2012).

Ünye Hatıplı bentonit yatağında rezerv tespiti yapılmamıştır. Yukarıda adı geçen bentonit yatakları ağartma toprağı ve kedi kumu olarak işletildiğı bilinmektedir.

3.2.7 Balıkesir-Bentonit Yatakları

Karkın ve Çekirdekli bentonit yatakları, viskoziteleri sondaj çamurunda kullanıma uygun olmasına karşın su kaybı değerleri oldukça yüksek olduğundan sondaj bentoniti olarak değerlendirilmemektedirler. Yöre bentonitleri, ağartma toprağı olarak ve beyazlık ölçümlerinden dolayı kâğıt sanayi ve deterjan sanayinde kullanılmaktadır (Bakır ve diğer., 2012).

BÖLÜM DÖRT

BENTONİT SONDAJ ÇAMURU ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde Buca Ca-bentoniti özelliklerini belirlemek için yapılan işlem ve analizler açıklanmıştır. Aynı zamanda Buca kili ile karşılaştırmak amacıyla farklı bölgelerden alınan ham ve işlem görmüş bentonit numunelerinin üzerinde yapılan deneylere de yer verilmiştir.

4.1 Kimyasal Analiz

Buca ve diğer firmalardan alınan kil numunelerinin bileşimini belirlemek amacı ile Dokuz Eylül Üniversitesi Jeokimya laboratuvarında kimyasal analiz çalışması yapılmıştır. Kimyasal analiz testi, kili oluşturan elementlerin yüzde miktarlarını da belirterek tespit edilmesidir. Deney hazırlığında öncelikle yaklaşık 1-1,5 g boraks içerisinde 0,25 g kil numunesi karıştırılır. 1000 °C’ de 1 saat bekletildikten sonra hidroklorik asit içerisinde çözdürülür. Çözme işleminin ardından çözelti, su+çözelti miktarı toplam 250 mL olacak şekilde seyreltilerek ağzı kapalı kap içerisinde dinlenmeye alınmıştır. Daha sonra atomik absorpsiyon spektrometre cihazı ile çözelti içindeki oksitlerin yüzde olarak oranları belirlenir.

Kızdırma kaybı için krozeler 110°C sıcaklıktaki etüvde bekletilir, sabit kütleye gelince tartılır. Kil numunelerinden krozeler içerisine yaklaşık 1 g konularak 1000°C etüvde 1 saat süreyle yakılır. Bu işlem bitince krozeler desikatör içerisinde 15 dakika soğumaya bırakılır ve tartılır. İşlem sonucunda örneklerin havada kuru bazda inorganik ve organik madde miktarları belirlenir.

4.2 XRD ve SEM Analizleri

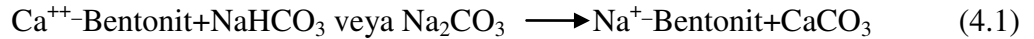
Örneklere ait XRD (X-Ray Difraksiyonu) ve SEM (Scanning Elektron Microscopy) analizleri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma laboratuvarlarında yaptırılmıştır. XRD analizleri için Phillips X’Pert Pro marka X-ışınları kırınım cihazı, SEM analizleri için de Philips XL 30S FEG marka cihazı

kullanılmıştır. Toz haline getirilmiş numuneler üzerinde uygulanan işlemler doğrultusunda kristal kompozisyonu ve tanecik yönelimleri belirlenmektedir.

Ham Buca kili, Çanakkale-Ayvacık kili, Wyoming bentoniti ile işletme tesislerinde kimyasal işlem gören DDC ve İlbe firmalarına ait beş adet örnek üzerinde XRD analizleri yapılmıştır. Ayrıca aktivasyon işlemi sonucunda düşük süzüntü hacmi veren 45/4 kodlu, % 2 soda katkısı olan Buca kili üzerinde de XRD analizi yapılmıştır. SEM analizleri ise işlem görmemiş Buca Ca-bentonit üzerinde yapılmıştır.

4.3 Soda ile Aktivasyon

Kalsiyum bentonit özellikli şişme oranı düşük olan bentonitler, soda ile aktive edilerek şişme oranı yüksek olan sodyum bentonit gibi davranış gösterirler. Aktivasyon işlemi genel olarak kalsiyum bentonit ve ara bentonit olma özelliğine sahip bentonitlerde gerçekleştirilmektedir. Aktivasyon, sahadan alınan numunelerin Na_2CO_3 ile doğrudan tepkimeye sokulması sonucu uygulanmaktadır. İyon değiştirme esasına dayanan metot kullanılarak yapılan alkali aktivasyon işlemi esnasında oluşan aktifleştirme reaksiyonu aşağıdaki (4.1) denklemi ile ifade edilmektedir.



Aktifleştirme reaksiyonu sadece tek yönlü olarak oluşturulduğu için Na-bentonit sonradan Ca-Bentonit formuna dönmez ve oluşan CaCO_3 ise suda çözünmez. Bazı Ca-Bentonitler soda aktivasyonundan birkaç saniye sonra, yüksek tiksotropisi olan bir jel oluşturduğu halde, bazıları da iyon değişiminin çok yavaş olması nedeniyle belirgin bir değişiklik sergilemeyebilir. İyon değişiminin yavaş olduğu durumlarda karışımın ısıtılması, kurutulması, karıştırılması iyon değişimini hızlandırabilir.

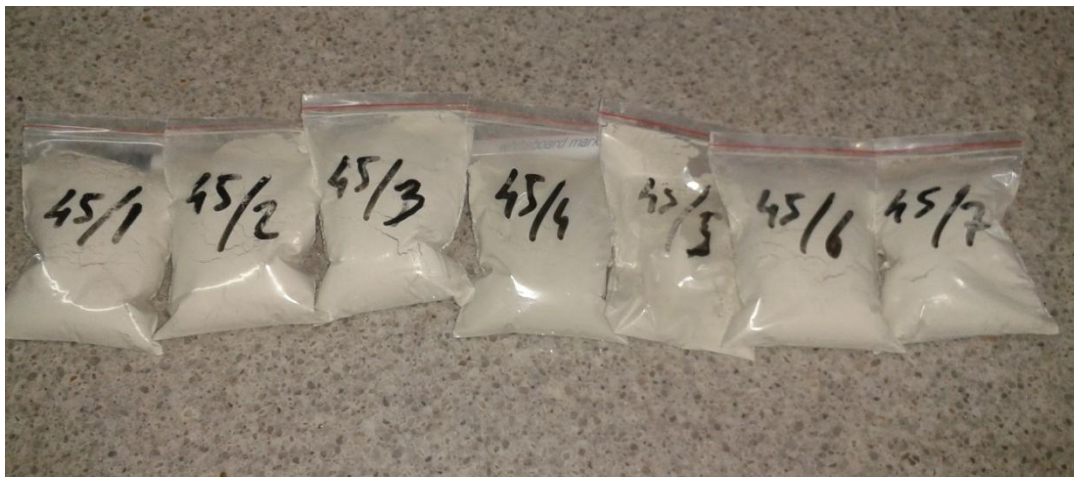
Sahadan alınan bentonit numuneleri belirli yüzdelik oranlarda Na_2CO_3 girilerek önceden belirlenen sürelerde bekletilmesi suretiyle aktifleşmiştir. Buca kili örnekleri $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{g})/100(\text{g})$ daki Na_2CO_3 oranı: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 5; 10 olacak şekilde ham kil

örnekleri ile aktivasyona sokulmuştur. Aktiflenme işlemine maruz bırakılan numuneler 10 gün, 30 gün ve 45 gün bekletilmişlerdir. Numuneler aşağıda yer alan Tablo 4.1' deki gibi kodlanmıştır.

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan numunelerin kodlama sistemi

% oranı	0,5	1	1,5	2	2,5	5	10
Bekleme süresi							
10 gün	10/1	10/2	10/3	10/4	10/5	10/6	10/7
30 gün	30/1	30/2	30/3	30/4	30/5	30/6	30/7
45 gün	45/1	45/2	45/3	45/4	45/5	45/6	45/7

Belirtilen bileşimlere göre hazırlanan aktifleşme numuneleri % 50 oranında saf su ile nemlendirilerek ve karıştırıcıda 30 dakika süre ile karıştırılarak aktivasyon işlemine başlanmıştır. Daha sonra her gün 15 dakika karıştırmak suretiyle, numuneler belirtilen süreler boyunca işleme tabi tutulmuştur. Bekleme sürelerini tamamlayan numuneler 100 ±5 °C' de, 2 saat boyunca kurutulduktan sonra öğütülerek aktivasyon işlemi tamamlanmıştır. Şekil 4.1 de aktivasyon işlemi sonrasında deneye hazırlanmış numuneler görülmektedir.



Şekil 4.1 Aktivasyon işlemi sonrası deney için hazırlanmış kil numuneleri

Daha sonra, aktive edilen ve 75 µm elekten geçirilen bu numuneler üzerinde süspansiyon reolojisi tayini, süzüntü hacmi tayini ve çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntının tayini deneyleri yapılmaktadır.

4.3.1 Reolojik Özellikler

Reolojik özellik tayini TS EN ISO 13500' e uygun olarak yapılmıştır. Bu aşamada Torbalı Meslek Yüksekokulu Çamur Laboratuvarında, Wisd HS-50A marka karıştırıcı kullanılarak bentonit-su süspansiyonu hazırlanmış ve hazırlanan karışımların viskoziteleri Şekil 4.2' de gösterilen Fann Viskozimetresi kullanılarak ölçülmüştür.

Etüvde 100 ±5 °C' de, 2 saat boyunca kurutulan örnekler 75 µm elekten geçirildikten sonra, 350 mL saf su içerisinde 22,5 g bentonit 20 dakika karıştırılarak bir süspansiyon hazırlanır. Hazırlanan süspansiyon 16 saat boyunca kapaklı ve sızdırmaz bir kap içerisinde oda sıcaklığında bekletilerek yaşlandırılır.



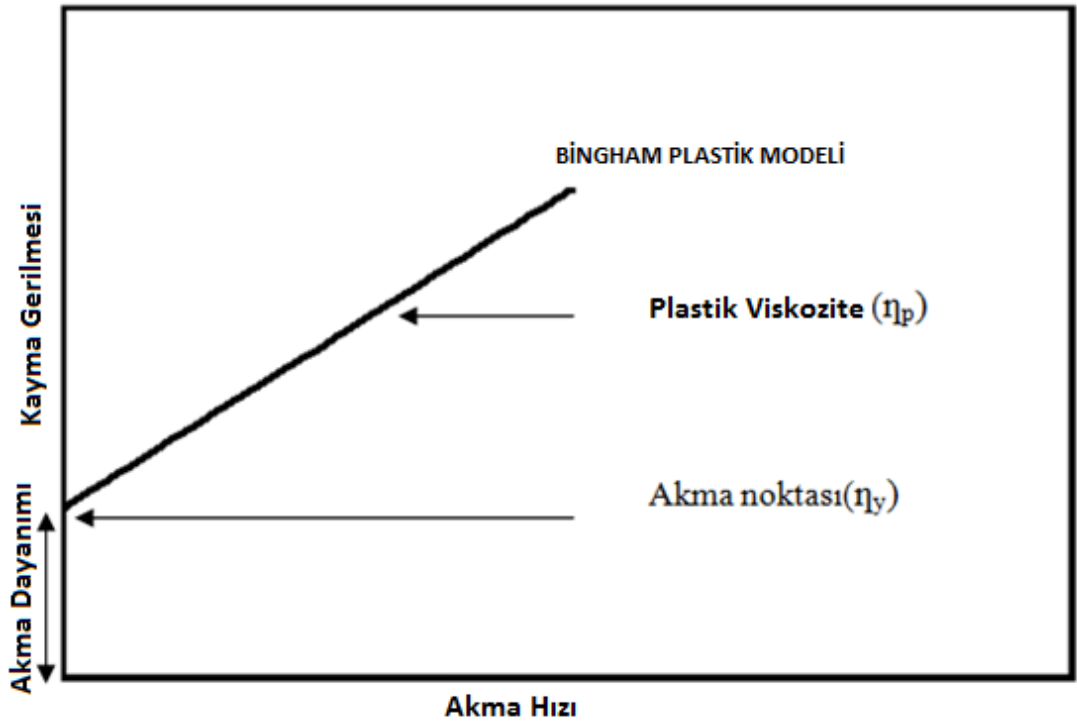
Şekil 4.2 Reoloji ölçümleri için kullanılan Fann Viskozimetre cihazı

Hazırlanan çamur bekleme işleminden sonra tekrar 5 dakika süreyle karıştırılır ve viskozimetre cihazının kabında işaretli kısma kadar doldurulur. Viskozimetrede R_{600}

(Rotor 600 devir/dakika ile dönerken fann viskozimetre cihazında okunan değer) ve R300 (300 devir/dakika ile dönerken okunan değer) okumaları yapılır ve kaydedilir.

Fann viskozimetresi cihazında yapılan 600 devir 300 devir okumaları kullanılarak, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/plastik viskozite değerleri belirlenmektedir.

Sondaj çamuru Bingham plastik modeline (Şekil 4.3) uyan bir akışkandır. Bu modele göre çamur belirli bir kuvvete kadar hareketsizliğini korur ve bu noktadan sonra akmaya başlar. Akmaya başlama değerine akma noktası (η_y - Yield Point) denir, akma sınırından sonraki kesme gerilmesinin kesme hızına oranı, yani doğrunun eğimi Plastik Viskozite (η_p)'dir.



Plastik viskozite (4.2) eşitliğine göre, akma noktası (4.3) eşitliğine göre ve akma noktası/plastik viskozite oranı (4.4) eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Hesaplamalar aşağıdaki eşitlikler kullanılarak yapılmaktadır.

$$\eta_p = R_{600} - R_{300} \quad (4.2)$$

$$\eta_y = R_{300} - \eta_p \quad (4.3)$$

$$b = \frac{\eta_y}{\eta_p} \quad (4.4)$$

Bu eşitliğe göre;

η_p =Plastik Viskozite

η_y =Akma Noktası

b= Akma Noktası/Plastik Viskozite

R_{600} =600 r/min hızdaki viskozimetre gösterge okuması

R_{300} =300 r/min hızdaki viskozimetre gösterge okuması

4.3.2 Süzüntü Hacmi Tayini

TS EN ISO 13500 e uygun olarak yapılan süzüntü hacmi testinde çamur, belirtilen şartlarda hazırlanmış süspansiyon kullanılarak ve süspansiyon önceden karıştırılmak suretiyle, pres filtresi hücrelerine aktarılır. Çamur hücrenin üst seviyesinden yaklaşık 13 mm boşluk kalacak şekilde doldurulur. Daha sonra düzeneğe bağlı olan sızdırmaz kapak kapatılır. Pres filtresi düzenekteki yerine sabitlenir ve tahliye vanası kapatılır. Pres filtresi altına ölçekli bir kap yerleştirilir (Şekil 4.4).

Düzenek kurulduktan sonra azot gazının vanası açılır ve pres filtresi hücrelerine 7 bar, yaklaşık 100 psi basınç gelmesi sağlanır ve kronometre hazırlanır. Bu iki aşama arasında 15 saniyeden daha kısa bir zaman geçmesi gerekmektedir. Düzeneğe gönderilen basınç azot, helyum veya basınçlı hava ile verilmelidir. Vana açılıp kronometre de 7,5 dakika dolduğunda filtreli pres cihazının altındaki ölçekli kap alınır ve yerine başka bir ölçekli kap konur ve 30 dakika süre dolana kadar beklemeye devam edilir. 30 dakikalık süre sonunda ölçekli silindir kap alınır ve biriken süzüntünün hacmi kaydedilir.

Süspansiyonun su kaybı (4.5) eşitliği ile hesaplanır.

$$V = 2 \times V_c \quad (4.5)$$

$V_c = 7,5$ dakika ile 30 dakika arasında toplanan süzöntü hacmi (mL)

$V =$ Süzöntü hacmi (mL)



Şekil 4.4 Süzöntü hacmi deney düzeneği

Sondaj çamurunun matkabin deldiği formasyonları ince ve mümkün olduğunca geçirimsiz bir sıva ile (çamur keki) kapatması kuyunun başarılı tamamlanabilmesi açısından önemlidir. Çamurun içindeki suyun formasyona filtre olması halinde, suyu alan formasyon şişerek, dökülerek veya yıkılarak sondajın sürdürülmesini zorlaştırır ve hatta kuyu kaybına neden olabilir. İyi bir sondaj çamurunun düşük geçirgenliğe sahip olması ve kuyu cidarında çok ince bir sıva yapması istenmektedir. Süzöntü hacmi belirlenirken kullanılan filtreli pres cihazı ölçüldükten sonra kurulduğu sıranın tersi yoldan gidilerek sökülür. Filtre kâğıdı, üzerindeki kek ile birlikte çıkarılır. Kek kalınlığı ölçülür ve kek yüzeyi kontrol edilir. Kek kalınlığının 1-2 mm ve de kek yüzeyinin pürüzsüz olması gerekmektedir. Bozulmuş çamurlarda süzöntü hacmi ve kekin kalınlığı çok yüksektir. Ayrıca kek yüzeyi kırıklı ve pürüzlüdür.

4.3.3 Çapı 75 µm'dan Daha Büyük Kalıntının Tayini

Kalıntı tayini deneyi, ya da alıştığımız adıyla yaş elek analizi sondaj çamuru olarak kullanılacak kilin tane çapını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Yaş elek analizi deneyi TS EN ISO 13500 e uygun olarak yapılmaktadır.

Başlangıçta 0,2 g sodyum hekzametafosfat 350 mL su içerisinde karıştırılırken içerisine 10 g bentonit ilave edilir. Karışım 30 dakika süre ile karıştırıcıda karıştırılır. Hazırlanan çamurun tamamı 75 µm eleğe aktarılır. Elek üstündeki malzemeler üzerine su püskürtülerek yaklaşık 2 dakika süreyle yıkanmaktadır.

Elek üzerindeki kalıntı, ısıya dayanıklı bir kaba alınır ve bir süre kalıntının dibe çökmesi için beklenir. Daha sonra üstteki berrak su süzülür ve 100±5 °C de etüv içerisine yerleştirilir. Kalıntı değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde bekletilir. Kurutma süresi ve kalıntının kütlesi kaydedilir. Çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı (4.6) eşitliği kullanılarak belirlenir.

$$W_1 = 100 \times (M_2/M) \quad (4.6)$$

W_1 = Çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntının kütle kesri

M = Numunenin kütlesi (g)

M_2 = Kalıntının kütlesi (g)

4.4 İşlem Görmemiş Bentonit Numuneleri Üzerinde Uygulanan Testler

Bentonitin sondaj çamuru olarak kullanılabilirliği tayininde, işlem görmemiş ham bentonit için yapılan işlemler bazı farklılık göstermektedir.

Reolojik özelliklerin ölçümü yapıldıktan sonra çamur süspansiyonu içerisine 5mL %10'luk sodyum hekzametafosfat çözeltisi ilave edilerek dağılmış haldeki plastik viskozite tayini için gerekli R_{600} ve R_{300} okumaları yapılır. Plastik viskozite (4.2) eşitliğine göre, akma noktası (4.3) eşitliğine göre ve akma noktası /plastik viskozite

oranı (4.4) eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Dağılmış haldeki plastik viskozite için (4.2) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Reolojik özellikleri belirlenen ve içeriğinde %10'luk sodyum hekzametafosfat çözeltisi ilave edilmiş olan çamura, karıştırıcıda 1 dakika daha karıştırıldıktan sonra yalnızca dağılmış haldeki süzüntü hacmi deneyi uygulanmaktadır. Süzüntü hacmi (4.5) eşitliği ile hesaplanır.

Çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntının tayini deneyi, işlem görmemiş bentonitin kontrolünde uygulanmamaktadır. Bentonitin fiziksel özelliklerinin saptanması için gerekli sınır değerler Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2 Bentonitin fiziksel özellikler (TS EN ISO 13500).

Kontrolü Yapılan Özellik	Sınır Değer
600 r/min' de viskozite okuması	En az 30
Akma noktası /plastik viskozite oranı	En çok 3
Süzüntü hacmi	En çok 15,0 mL
Çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı	En çok %4,0 (m/m)

İşlem görmemiş bentonitin fiziksel özelliklerinin tayini için gerekli olan kriterler de Tablo 4.3' de verilmiştir.

Tablo 4.3 İşlem görmemiş bentonitin fiziksel özellikleri (TS EN ISO 13500)

Kontrolü Yapılan Özellik	Sınır Değer
Akma noktası /plastik viskozite oranı	En çok 1,5
Suda dağılmış halde plastik viskozite	En çok 10 mPa.s
Suda dağılmış halde süzüntü hacmi	En çok 12,5 mL

4.5 Çamur Yoğunluğu

Sondaj amurunun başlıca özelliklerinden biri de sondaj çamurunun yoğunluğudur. Çamur bileşimi genellikle su ve bentonitten oluştuğundan ve içerisindeki su oranı kilden çok daha yüksek olduğundan dolayı yoğunluğu suyun yoğunluğuna yakındır. Sondaj çamurlarında, çamurun yoğunluğu özgül ağırlık olarak tanımlanmakta ve çamur ağırlığı deyimi kullanılmaktadır. Çamur ağırlığının belirlenmesinde genellikle şekil 4.5' de gösterilen çamur terazisi kullanılmaktadır. Çamur yoğunluğu lb/gal, lb/ft³, g/cm³ ve psi/1000 ft olarak ifade edilmektedir.

Çamur terazisi, üzerindeki su terazisi sayesinde arazide kullanıma uyumlu ve sahada elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaksızın çamurun yoğunluğunu ölçen bir alettir.



şekil 4.5 çamur terazisi

BÖLÜM BEŞ

DEĞERLENDİRME

Bu bölümde Buca Ca-Bentoniti ve farklı bölgelerden alınan ham ve işlem görmüş bentonitler üzerinde yapılan deney sonuçları değerlendirilmiştir.

5.1 Kimyasal Analiz Çalışmaları

Yapılan kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde kil içerisindeki Na_2O oranının sırasıyla DDC (Tokat-Reşadiye) ve İlbe (Ankara-Kalecik) örneklerinde % 2-3 oranıyla en yüksek, Buca kilinde ise % 0,26 oranıyla en düşük olduğu görülmektedir. Bu durum Buca kilinin kalsiyum bentonit özellikli olduğunu kanıtlamaktadır. Aktive edilmiş Buca 45/4 örneğinde ise Na_2O oranının % 1,21 çıkmış olması yapılan aktivasyon işleminin olumlu sonuç verdiğinin göstergesidir.

Buca ve Buca 45/4 örneklerinden CaO oranlarına bakıldığında % 11,37 ve % 11,35 değerleriyle diğer sodyum bentonit özellikli killere göre oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Aktivasyon sonrası CaO oranının % 11,37 den % 11,35 düştüğü tespit edilmiştir.

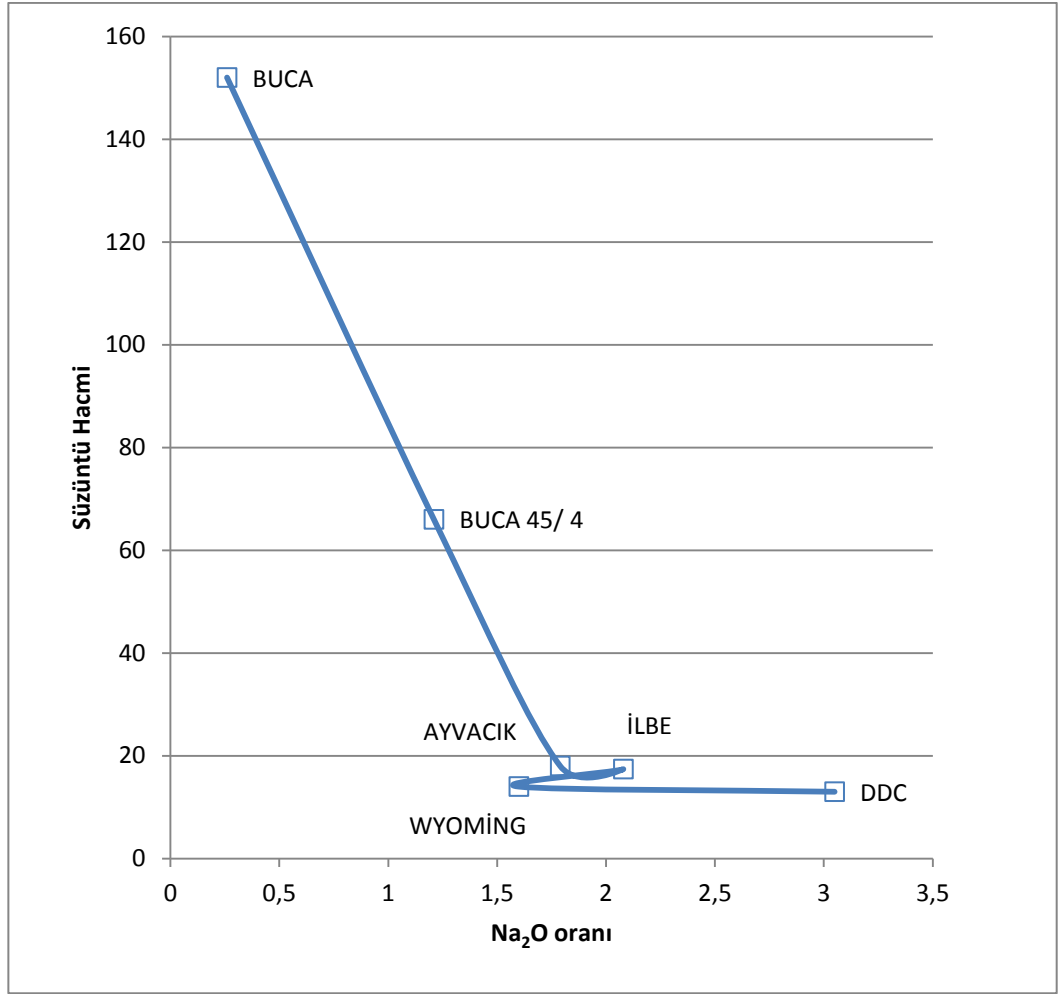
Buca kilindeki MgO oranının yüksek olması Buca kilinin dolomitik özellikli olabileceğini göstermektedir. Buca ve Buca 45/4 örneklerindeki SiO_2 ve Al_2O_3 oranlarının da diğer killere göre oldukça düşük olduğu gözlenmektedir. Bu killere ait diğer oksit oranlarında Na-bentonit özellikli diğer killere göre büyük değişiklikler olmadığı belirlenmiştir.

Laboratuarda analizi yapılan örneklere ait kimyasal analiz sonucu elde edilen yüzdesel oksit oranları Tablo 5.1 'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Laboratuarda testleri yapılan örneklerin kimyasal analiz sonuçları.

Örnek Element	İLBE %	DDC %	AYVACIK %	BUCA %	WYOMİNG %	BUCA 45/4 %
SiO₂	50,74	53,42	58,93	35,53	63,15	35,43
Al₂O₃	10,76	16,94	12,99	7,22	14,22	7,88
Σ Fe₂O₃	2,58	2,33	2,96	1,72	1,96	1,65
MgO	4,82	2,81	5,13	13,34	3,19	13,13
CaO	1,88	2,60	2,71	11,37	0,73	11,35
Na₂O	2,08	3,05	1,79	0,26	1,60	1,21
K₂O	0,81	0,60	1,00	1,75	0,37	1,70
TiO₂	0,70	0,83	0,71	0,45	0,15	0,29
MnO	0,084	0,070	0,188	0,071	0,029	0,066
Kızd.Kayıbı	26,30	17,21	13,24	28,05	13,91	26,93
TOPLAM	100,754	99,860	99,648	99,761	99,309	99,636

Kimyasal analizi yapılan tüm örneklerin Na₂O oranı ile Süzüntü Hacmi arasındaki bağıntı Şekil 5.1' de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında Na₂O oranı en yüksek olan DDC bentonitinin süzüntü hacmi miktarının en düşük olduğu saptanmıştır. Na₂O oranı en düşük olan Buca kilinin ise en yüksek süzüntü hacmi miktarına sahip olduğu görülmektedir. Aktivasyon sonrası Na₂O oranındaki yükselme ve süzüntü hacmi miktarındaki azalma net olarak gözlenmektedir. Sonuç olarak Na₂O oranı ile süzüntü hacminin arasında ters bir orantı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1 Analizi yapılan tüm örneklerin Na₂O oranı ile Süzüntü Hacmi arasındaki bağıntı

5.2 XRD ve SEM Sonuçlarının Değerlendirilmesi

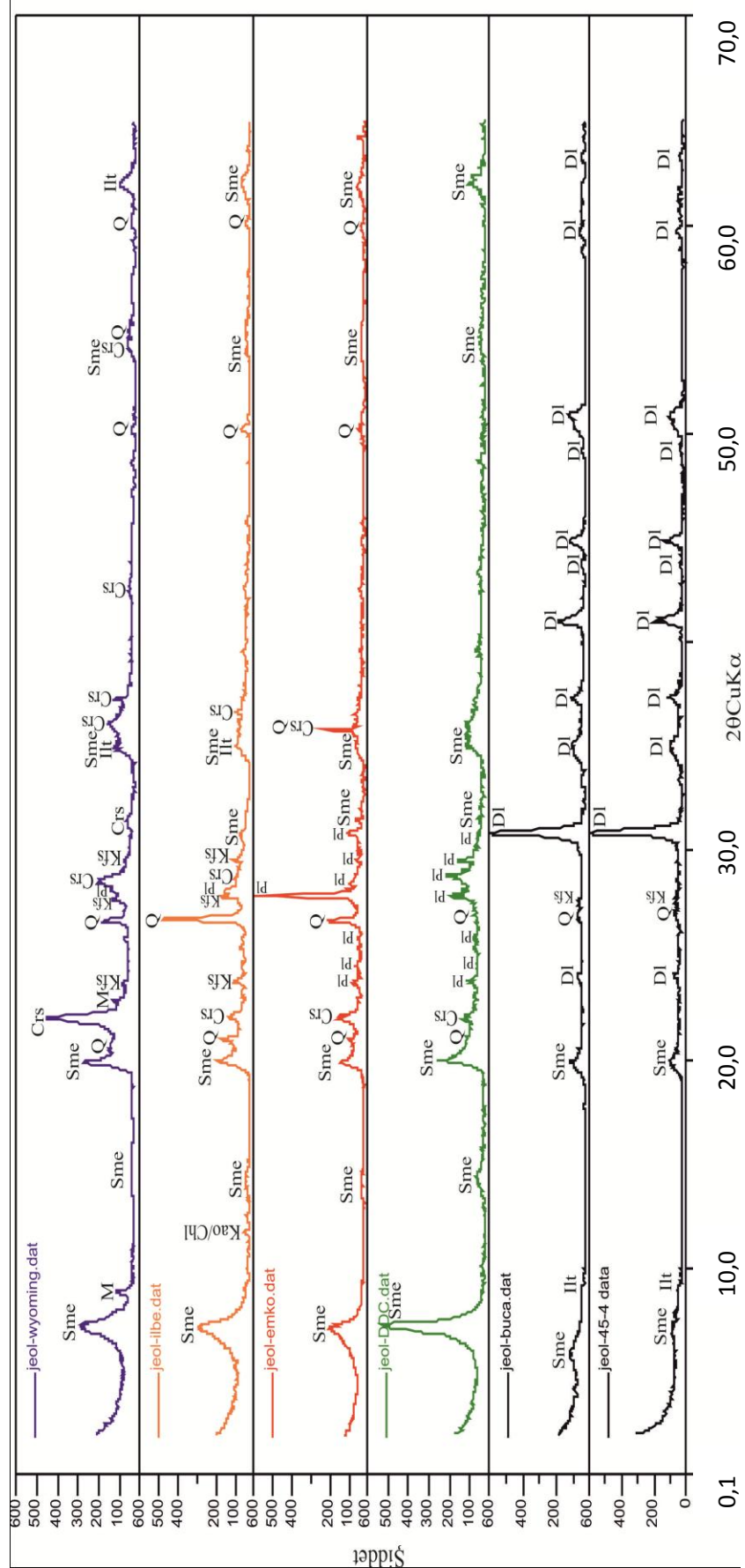
XRD analizi sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde Wyoming örneği içerisinde kristobalit ve simektit oranının, İlbe bentonit örneğinde ise simektit ve kuvars oranlarının yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun yanında her iki örnekte K-feldspar minerali de saptanmıştır. İşlem görmemiş Ayvacık bentoniti ve DDC firmasına ait bentonit örneklerine bakıldığında yüksek oranda simektit, plajiyoklas ve ayrıca kristobalit ve kuvars minerallerini de içerdiği belirlenmiştir (Şekil 5.2).

Buca örneği ve aktive edilmiş Buca 45/4 örneği karşılaştırıldığında ise simektit, dolomit ve kuvars minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir. İşlem görmemiş Buca kili örneğinde 15Å (Ångström) iken % 2' lik soda katkısıyla aktive edilerek 12Å

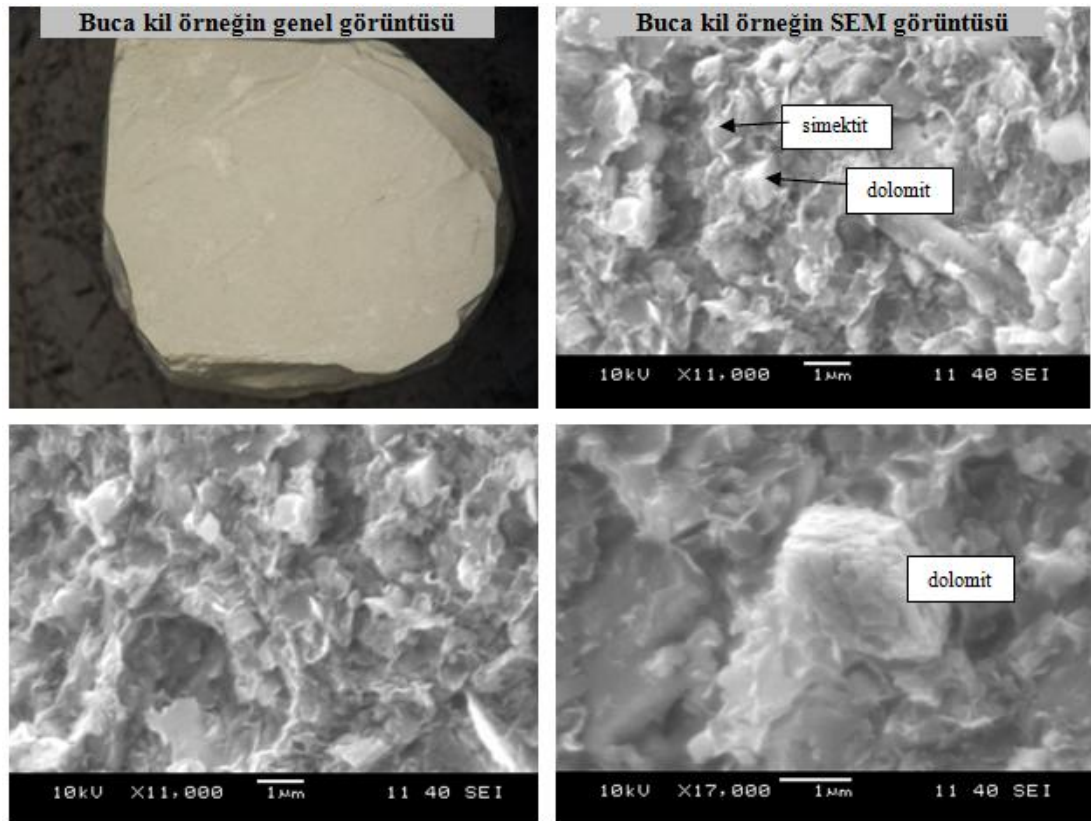
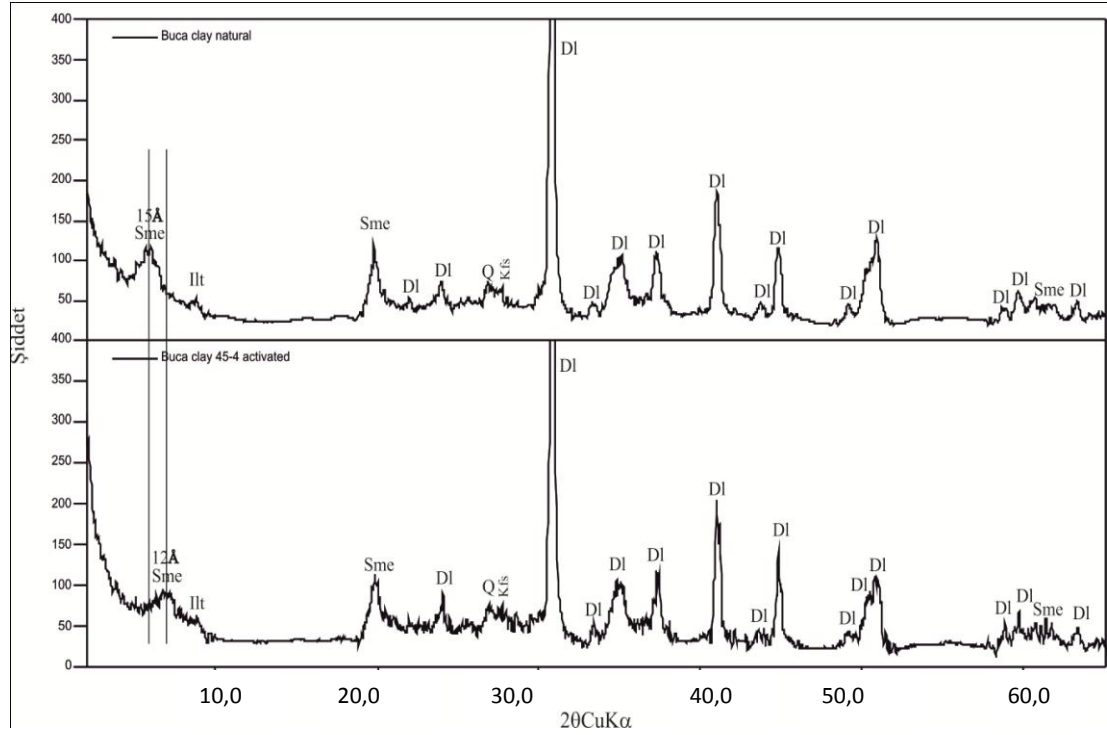
değerine düştüğü gözlenmektedir. Şekil 5.3'de gözlenen bu düşüş Ca-bentonit özellikli Buca örneğinin aktive edilerek Na oranının arttığını göstermektedir. Örneklere ait analizlerde dolomit ve kuvars piklerine bakıldığında aktivasyon işlemi sonrası değişiklik gözlenmemektedir. Bu durum aktivasyon işleminin başarılı olduğunun bir göstergesidir.

Ayrıca Buca ve aktive edilmiş Buca 45/4 örneklerinde izlenen dolomit piklerinin fazlalılığı da dikkat çekmektedir. Kimyasal analizde Buca kili hakkında dolomitik özellikli kil (MgO oranının yüksek olması nedeniyle) olabileceği hakkında yapılan yorumu da desteklemektedir.

Buca kiline ait SEM görüntülerinde dolomit ve simektit mineralleri dikkat çekmektedir (Şekil 5.4). Buca kili içindeki dolomit mineralinin SEM analizi sonuçları da kimyasal analiz sonuçları ile yakın özellik göstermektedir. Buca örneğinde yüksek miktarda Mg ve Ca oranı tespit edilmiştir.



Şekil 5.2 Analizi yapılan tüm örneklerin XRD grafiği (Kısaltmalar: Sme: simektit, M/İlt: mika/illit, Q: Kuvars, Crs: kristobalit, Pl: plajiyoklas, Kao/Chl: kaolinit veya klorit, Dl: dolomit)

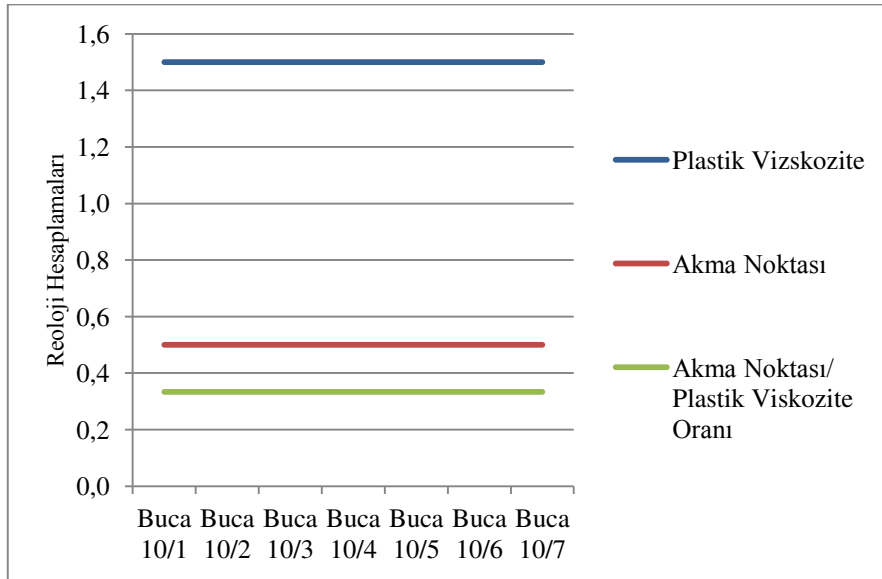


Şekil 5.4 Buca kilinin SEM görüntüleri

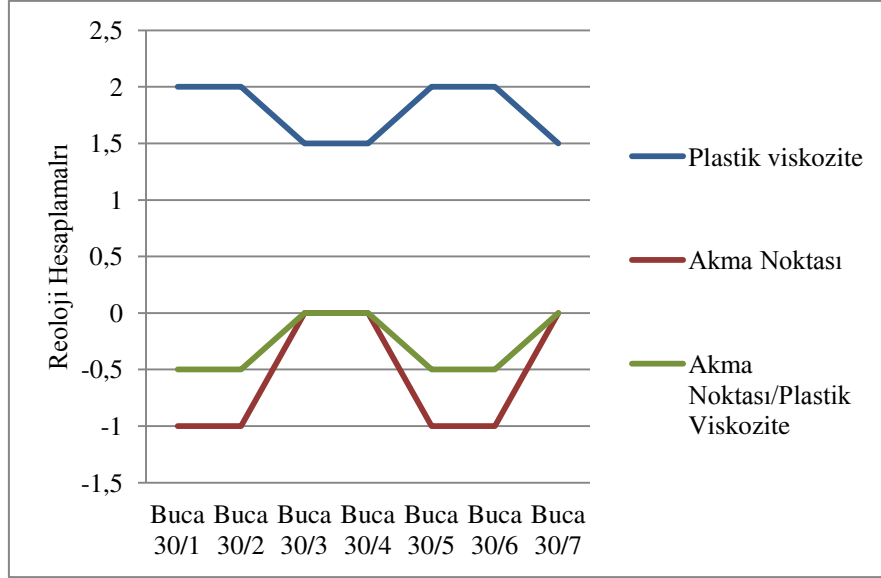
5.3 Soda ile Aktive Edilen Buca Kilinin Sondaj Çamuru Test Sonuçları

Na_2CO_3 oranları ve numunelerin bekletilme süresinin süspansiyon reolojisine ve süspansiyon süzüntü hacmine etkisini belirlemek amacıyla Buca yöresine ait numuneler % 0,5- 10 arasında değişen soda ilavesiyle aktive edilmiştir.

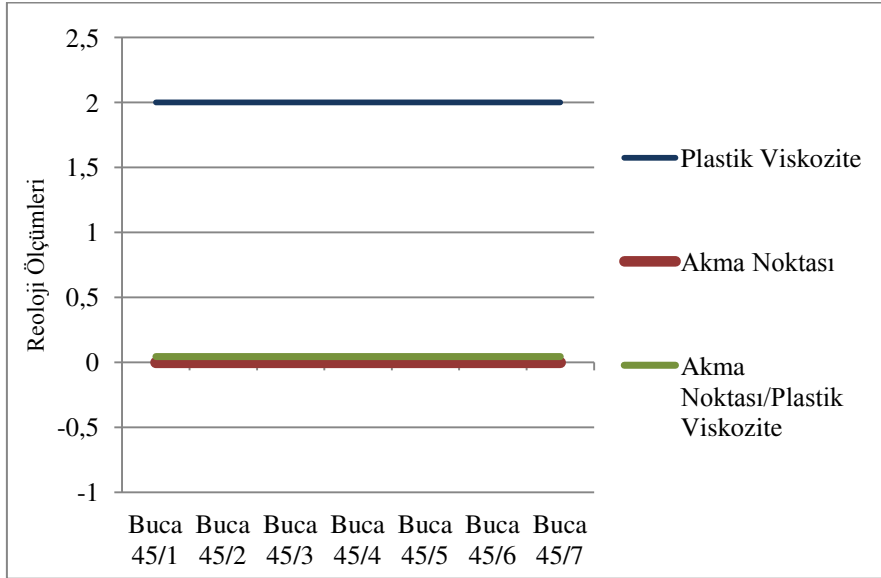
Farklı oranlarda soda katkısı yapılan numunelerin farklı sürelerde bekletilmesi sonucu aktiflenmiş örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda R_{600} ve R_{300} değerleri bulunarak değerlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre aktivasyonun, Şekil 5.5 ve Şekil 5.7 görüldüğü üzere, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/plastik viskozite oranı değerlerine etkisi olmadığı saptanmıştır. Şekil 5.6' de ise aktivasyonun, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/plastik viskozite oranı değerlerine küçük miktarda bir etkisi var gibi görünse de, bu sonuçlar değerlendirildiğinde TS EN 13500' e göre dikkate alınacak bir etkisi olmadığı kanaatine varılmıştır.



Şekil 5.5 10 gün süreyle soda ile farklı oranlarda aktive edilen Buca kilinin, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranlarında gözlenen değişim

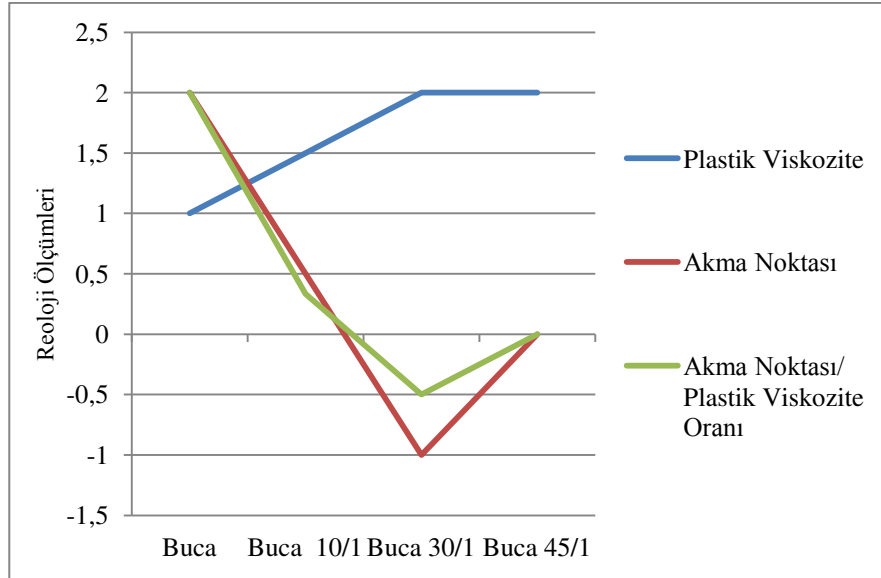


Şekil 5.6 30 gün süreyle soda ile farklı oranlarda aktive edilen Buca kilinin, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranlarında gözlenen değişim



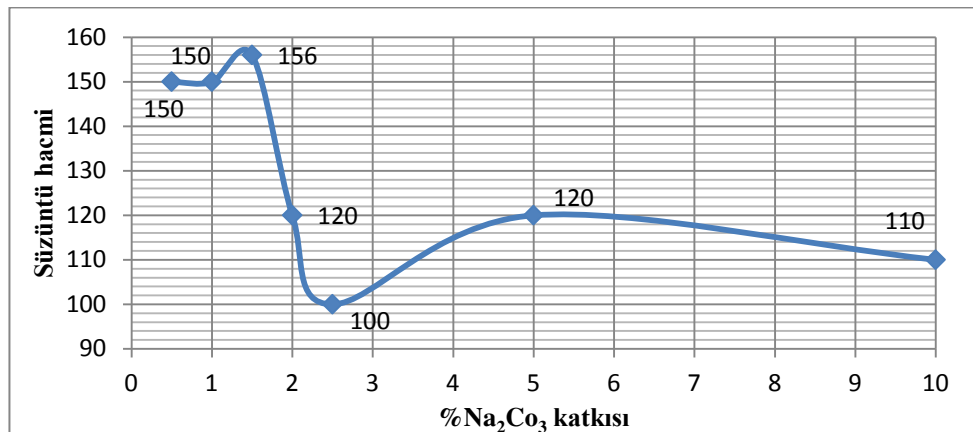
Şekil 5.7 45 gün süreyle soda ile farklı oranlarda aktive edilen Buca kilinin, plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranlarında gözlenen değişim

Aynı oranda katkı eklenerek aktive edilen numuneler farklı sürelerde bekletilerek deneye tabi tutulmuştur. Sonuçta bekleme süresinin plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranı değerine hiçbir etkisi olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Soda ile aktivasyonun farklı bekletme sürelerinde plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/ plastik viskozite oranına etkisi

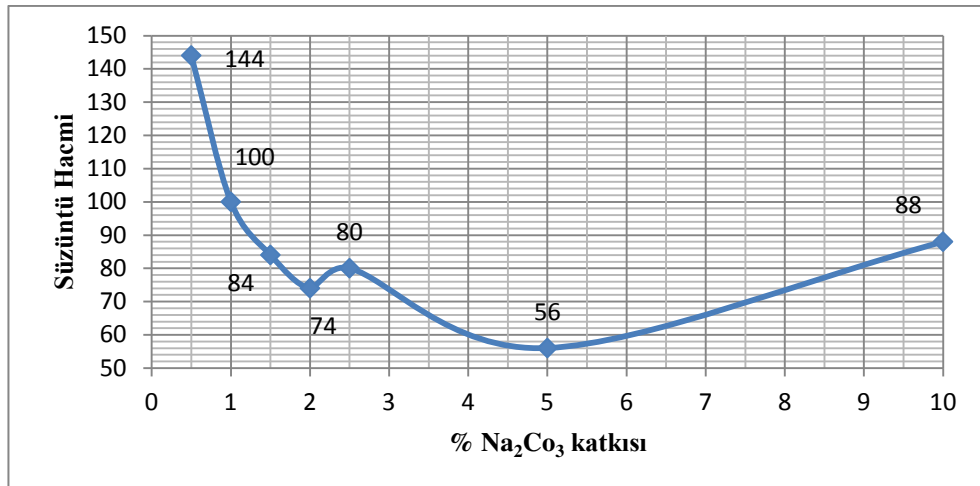
Na_2CO_3 'ün % 0,5-10 arasında değişen oranlarda ve farklı bekleme sürelerine maruz bırakılarak hazırlanan çamurlarda, 10 gün bekletilen numunelerde katkı oranı arttıkça su kaybının azaldığı Şekil 5.9' de gözlenmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre 10/5 kodlu numunenin süzüntü hacmini 100 mL olarak belirlenmiştir. Bu değer diğer numunelere göre en düşük süzüntü hacmi değeridir. 10/6 kodlu numunede su kaybı değerinin yükselme göstererek yeniden 120 mL olarak kaydedilmiştir. %10' luk soda katkısında ise tekrar az bir düşüş göstererek 110 mL değerini vermektedir.



Şekil 5.9 Soda ile 10 gün boyunca aktive edilen killerin süzüntü hacmi

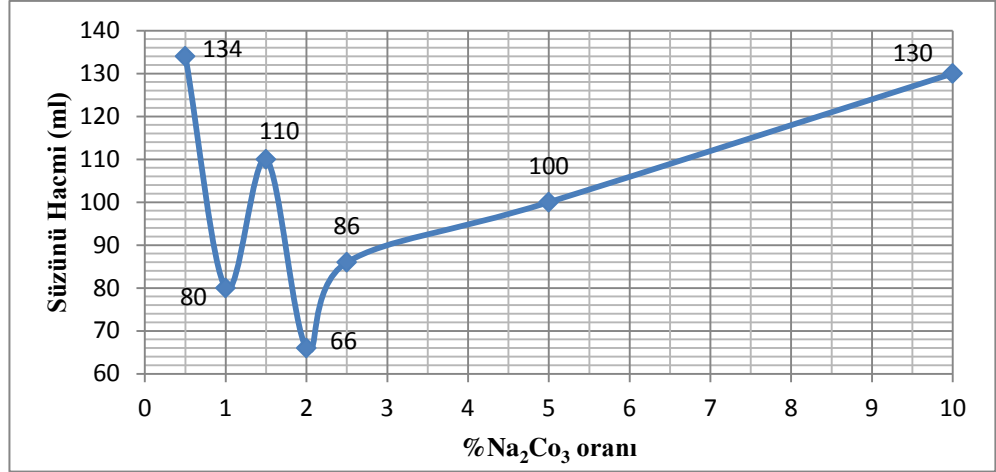
30 gün boyunca Na_2CO_3 etkisinde bekletilen örneklerde kaydedilen su kaybı grafiği Şekil 5.10 de verilmiştir. Grafiğe göre % 2' lik katkı ile hazırlanan çamurdaki su kaybı 75 mL' ye düştükten sonra 30/5 örneğinde tekrar yükselme göstermiştir. 30/6 kodlu % 5 katkıda ise yeniden düşüş göstererek 56 mL olarak ölçülmüştür. Bu katkı oranı ve bekleme süresi, aktive edilen tüm numuneler içerisinde en düşük değeri vermektedir.

45 gün boyunca bekletilen numunelerde ise içeriğinde % 2' lik soda katkısı olan 45/4 numunesinde 66 mL olarak en düşük su kaybını göstermektedir (Şekil 5.11). 45 gün boyunca aktive edilen numunelerde de % 1' lik katkıda süzüntü hacmi 80 mL olarak ölçülmüştür. % 1,5 soda katkısı içeren 45/3 numunesinde bu miktar artarak 110 mL ölçülmüştür. 45/4 numunesinde tekrar düşüş gösterdikten sonra yükselerek devam etmiştir.



Şekil 5.10 Soda ile 30 gün boyunca aktive edilen killerin süzüntü hacmi grafiği

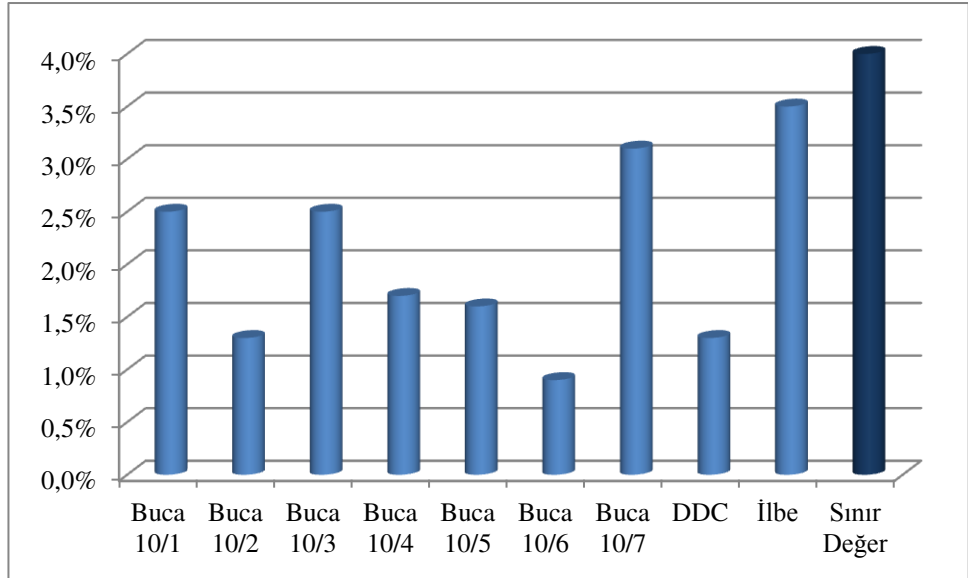
Bu üç farklı sürede yapılan aktivasyon işlemi sonuçları değerlendirildiğinde aktive edilen numunelerde % 1-5 arasındaki katkılarda düşüş gözlenmektedir. % 5' lik katkıdan sonra ise tekrar yükselme gözlenmiştir. Sondaj çamuru olarak kullanılan bentonit için süzüntü hacmi en çok 15 mL olmalıdır. Aktive edilen Buca kili değerleri örneklerinden hiçbiri bu değere yaklaşmadığından dolayı sondaj bentoniti olarak kullanımı uygun görülmemektedir.



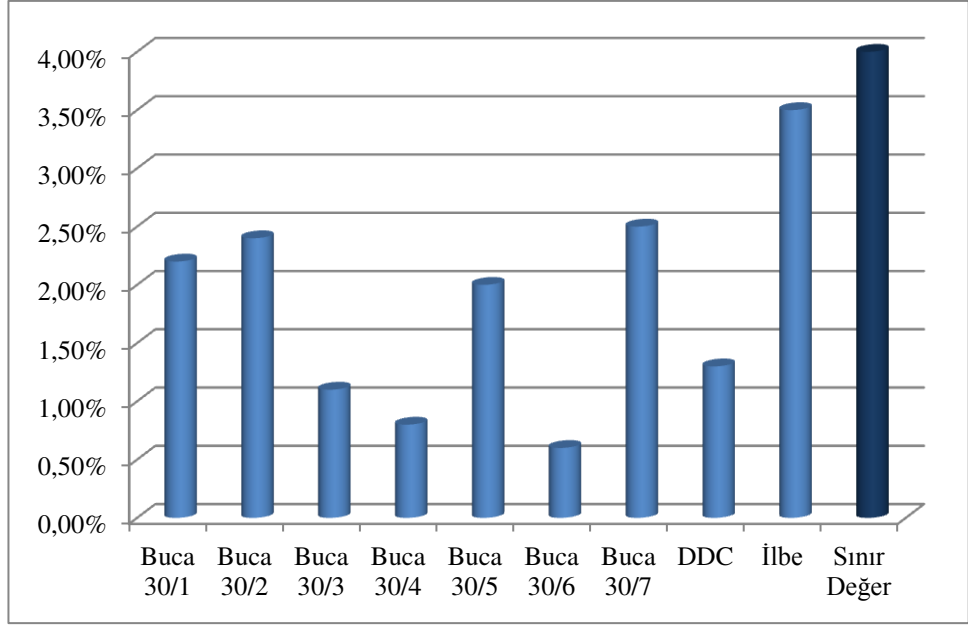
Şekil 5.11 Soda ile 45 gün boyunca aktive edilen killerin süzöntü hacmi grafiği

5.4 Çapı 75 µm'dan Daha Büyük Kalıntının Tayini

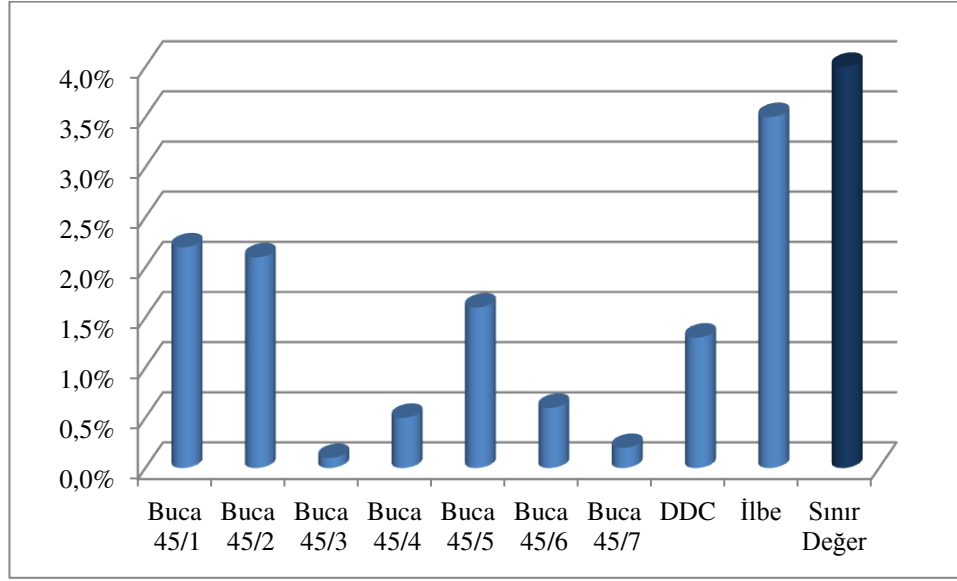
Aktive edilen Buca kil numuneleri için çapı 75 µm'dan daha büyük olan kalıntının yüzdelere baktığımızda, elde edilen sonuçların %4 olan standart değerini sağladığı görülmektedir (Şekil 5.12-5.13-5.14).



Şekil 5.12 Soda etkisinde 10 gün boyunca bekletilen Buca kili örneklerinin çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı yüzdelere DDC, İlbe ve sınır değeri ile karşılaştırılması



Şekil 5.13 Soda etkisinde 30 gün boyunca bekletilen Buca kili örneklerinin çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı yüzdelerinin DDC, İlbe ve sınır değer ile karşılaştırılması



Şekil 5.14 Soda etkisinde 45 gün boyunca bekletilen Buca kili örneklerinin çapı 75 µm'dan daha büyük kalıntı yüzdelerinin DDC, İlbe ve sınır değer ile karşılaştırılması

5.5 İşlem Görmemiş Buca Kili ile Referans Numunelerin Karşılaştırılması

Sahadan alınan haliyle ham olarak denenen Buca bentoniti, piyasada işlem görmüş haliyle ya da ham olarak temin edilen diğer kil numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

Buca kili ile Wyoming, DDC, İlbe ve Emko firmalarından alınan kil örnekleri üzerinde uygulanan reoloji ve süzüntü hacmi test sonuçları Tablo 5.2' de verilmiştir. Karşılaştırılan numuneleri, akma noktası/plastik viskozite oranına göre değerlendirdiğimizde TS EN 13500'e göre en çok 1,5 olması istenmektedir. Wyoming ve Emko numuneleri uygun değerleri sağlamaktadır. Buca numunesi ise 2 değeri vererek sınır değerın üstünde çıkmıştır.

Suda dağılmış halde plastik viskozite açısından değerlendirdiğimizde TS EN 13500'e göre en çok 10 mPa.s değerini vermesi gerekmektedir. Buca kili ve Emko bentoniti bu değeri sağlamaktadır. Wyoming örneği ise 20 mPa.s olarak sınır değerin üstünde bir değer vermektedir.

TSE EN 13500'e göre, işlem görmemiş bentonit için suda dağılmış halde süzüntü hacmi en çok 12,5 mL olmalıdır. Süzüntü hacmi test sonuçlarına göre, işlem görmemiş Buca kilinin suda dağılmış haldeki süzüntü hacmi 152 mL değeri ile en yüksek su kaybı değerini göstermektedir. Numune sınır değerlerin çok üstünde bir miktar verdiğinden dolayı sondaj bentoniti olarak kullanılmaya elverişli değildir. Wyoming örneğinin süzüntü hacmi değeri ise 14 mL olarak saptanmıştır. Emko numunesi 18 mL değerini vermiştir.

Tablo 5.2 TS EN 13500'e göre bentonit örneklerinin değerlendirmesi

Kontrolü Yapılan Özellik	Sınır Değer	Wyoming	Buca	Emko
Akma noktası /plastik viskozite oranı	En çok 1,5	0,7727	2	0,4
Suda dağılmış halde plastik viskozite	En çok 10 mPa.s	20	1	5
Suda dağılmış halde süzüntü hacmi	En çok 12,5 mL	14	152	18

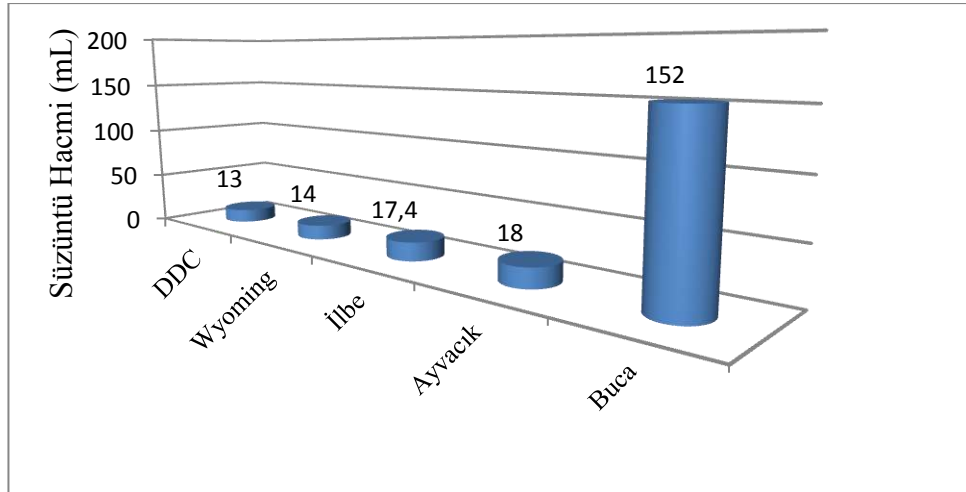
İşlem görmüş bentonit numuneleri üzerinde uygulanan test sonuçları değerlendirmesi Tablo 5.3'de verilmiştir. Sondaj bentoniti olarak kullanılan bu bentonitlerin, 600 r/min' de viskozite okumasının en az 30 olması gerekmektedir. DDC kilinin değeri 30 olarak okunmuştur. İlbe bentoniti 600 r/min' de 24 olarak okunmuştur. Akma noktası/plastik viskozite oranı bakımından iki numune de bu

oranı sağlamaktadır. İşlem görmüş bentonitin süzöntü hacmi ise standarda göre en çok 15 mL olması gerekmektedir. DDC firmasına ait bentonit numunesi 13 mL süzöntü hacmi ile sınır değerin altında bir değer göstermektedir. İlbe firması 17,4 mL olarak kaydedilmiştir.

Şekil 5.15' da tüm örneklerin süzöntü hacmi değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Buca kilinin, piyasada ticari sondaj bentoniti olarak yer alan sondaj killeri ile arasındaki fark grafikte açık bir şekilde okunmaktadır.

Tablo 5.3 İşlem görmüş olan sondaj bentoniti numunelerinin değerlendirilmesi

Kontrolü Yapılan Özellik	Sınır Değer	DDC	İlbe
600 r/min' de viskozite okuması	En az 30	30	24
Akma noktası /plastik viskozite oranı	En çok 3	7	0,7
Süzöntü hacmi	En çok 15,0 mL	13	17,4
Çapı 75 μ m'dan daha büyük kalıntı	En çok %4,0 (m/m)	1,3	3,5

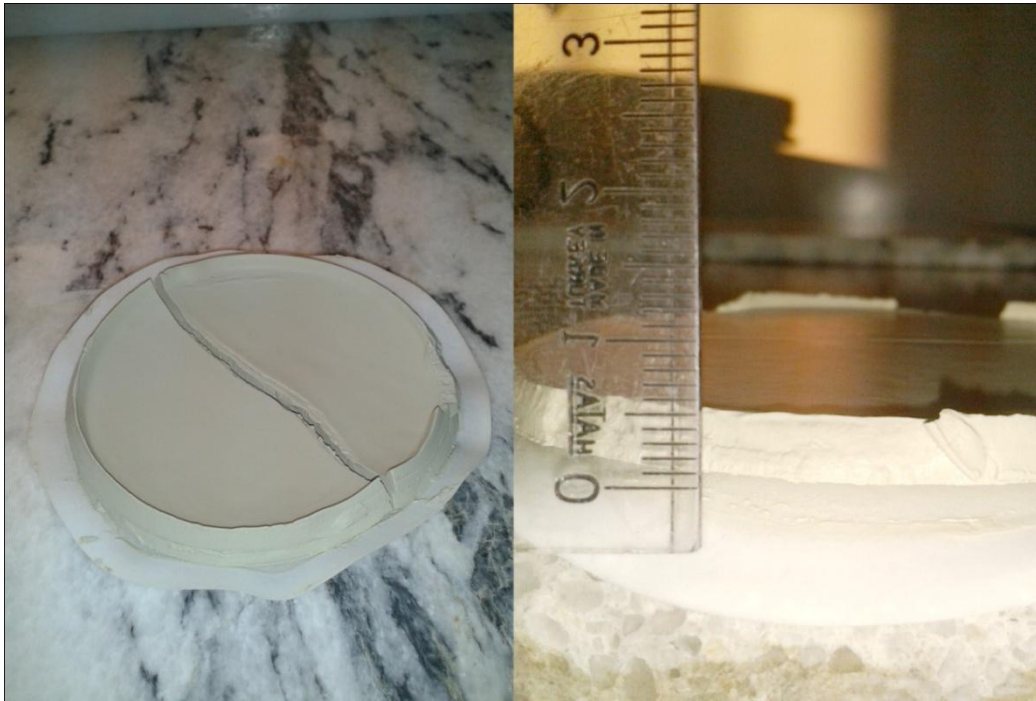


Şekil 5.15 Buca kili ve referans numunelerin süzöntü hacmi değerlerinin karşılaştırılması grafiği

Yapılan bu süzöntü hacmi deneyi sırasında, filtreli pres düzeneğinin eleği üzerinde bir miktar sıva birikmektedir. Bu sıva, sıvı kısmını formasyona veren çamurun katı kısmıdır ve çamur keki olarak adlandırılmaktadır. Bu katı kısım

birikerek ince ve geçirimsiz bir kek oluşturmaktadır. Geçirimsiz olan bu kek sondaj çamurunun formasyona sızmasını önlemektedir. Diğer taraftan ince olan kuyucidarının korunmasını sağlayacağı gibi takımın farklı nedenlerle kuyuda çıkartılması sırasında takım sıkışmalarını da önlemektedir.

Buca kiline ait kek modelinde kek kalınlığı 4-5 mm olarak okunmaktadır (Şekil 5.16). Standarda uygun olan çamurlarda kek kalınlığının 1-2 mm olması gerekmektedir. Buca kilinin kek kalınlığı ise standardın üstünde bir ölçü vermiştir.



Şekil 5.16 Buca kiline ait Süzüntü Hacmi deneyi sonucunda oluşan kek kalınlığı

5.6 Çamur Yoğunluğu

Hazırlanan çamur süspansiyonları, yoğunlukları açısından değerlendirildiğinde kil numunelerinin aktivasyon öncesi ve aktivasyondan sonrasında yoğunluk açısından dikkate alınacak bir fark göstermediği gözlenmektedir. Eşit miktarda bentonit ve saf su kullanılarak hazırlanan sondaj çamuru süspansiyonlarında, farklı lokasyonlardan alınmış olan numunelerde de yoğunluğun belirleyici özellik olmadığı belirlenmiştir. Üzerinde çalışılan numunelerin tamamının yoğunluklarının $1,04-1,05 \text{ gr/cm}^3$ arasında

değişmektedir. Test edilen çamurların yoğunlukları çamur terazisi ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin kontrolü ayrıca piknometre ile de kontrol edilmiştir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Çalışma alanından alınan Buca kili örnekleri üzerinde yapılan testler ve aktivasyon çalışmaları sonucunda, bu kilin sondaj bentoniti olarak kullanılabilirliği sınanmıştır. Ayrıca Buca kili özellikleri Wyoming, Ayvacık, DDC, İlbe killeri üzerinde yapılan deneylerle karşılaştırılmıştır.

Fann viskozimetresi ile yapılan reoloji ölçümlerinde, R_{600} okumalarında alt sınır 30 r/min olması gerekmektedir. Orijinal Buca kili örneğinde R_{600} değeri 4 r/min olarak bulunmuştur. Alt sınır değeri altında olması nedeniyle R_{600} okumaları açısından uygun olmadığı saptanmıştır. Farklı oran ve sürelerde aktive edilen Buca kili örneklerinin değerlerine bakıldığında R_{600} okumaları 3-4 r/min arasında değişmektedir. Aktive edilen kil örnekleri R_{600} okumaları açısından uygun değerleri sağlamamaktadır. Aktivasyonun R_{600} değerlerine bir etkisi olmadığı açıktır. Firmalardan alınan diğer kil örneklerinin R_{600} değerlerine bakıldığında Wyoming, DDC kil örneklerinin sınır değeri sağladığı belirlenmiştir. Ayvacık ve İlbe kil örneklerinin R_{600} değerleri ise sırasıyla 12 r/min ve 24 r/min okunmuştur. Bu kil örnekleri de aktivasyonlu ve orijinal Buca örnekleri gibi sınır koşullarının altında değer vermektedir.

TS EN ISO 13500 standardına göre işlem görmemiş kilde akma noktası/plastik viskozite oranı en çok 1,5 olması gerekmektedir. Orijinal Buca kilinde akma noktası/plastik viskozite oranının 2 olması nedeniyle standartları sağlamamaktadır. İşlem görmemiş Wyoming ve Ayvacık örnekleri üzerinde yapılan deneyler sonrası oranın uygun olduğu belirlenmiştir. İşlem görmüş numunelerde ise standart oranın en çok 3 olması gerekmektedir. Aktive edilen kil örnekleri göz önünde tutulduğunda en yüksek 0,3 değeri elde edilmiş olup, akma noktası/plastik viskozite oranı üzerinde aktivasyonun etkinliği ortaya konulmuştur. İşlem görmüş DDC ve İLBE örneklerinde oran 0-1,4 değerleri arasında bulunmuştur. Bu nedenle standarda uygundur.

Suda dağılmış halde plastik viskozite değeri işlem görmemiş bentonit örnekleri için en az 10 mPa.s olmalıdır. Orijinal Buca ve Ayvacık örnekleri sırasıyla 1 mPa.s ve 5 mPa.s değerleri ile standart suda dağılmış halde plastik viskozite değerinin çok altında kalmaktadır. Örnekler arasında 20 mPa.s suda dağılmış halde plastik viskozite değerine sahip Wyoming ise standardı sağlayan tek örnektir.

Standartta süzüntü hacmi değerleri, işlem görmemiş bentonit örnekleri için en çok 12,5 mL, işlem görmüş bentonit numuneleri için ise en çok 15 mL olarak belirlenmiştir. Bu değerler esas alındığında işlem görmemiş numuneler içerisinde en yüksek süzüntü hacmi değeri 152 mL ile Buca kili örneği görülmektedir. Ancak diğer işlem görmemiş Wyoming (14 mL) ve Ayvacık (18 mL) örnekleri de standart değerin üzerinde süzüntü hacmi değerleri vermektedir. İşlem görmüş DDC örneği dışında kalan tüm numuneler standart değeri sağlamamaktadır. Aktivasyonun örnekler üzerinde etkisi olmasına rağmen standart değerin çok üzerinde değerler vermektedir. Ayrıca soda katkısı % 5'in üstünde olan numunelerde süzüntü hacminin tekrar yükselmeye başladığı saptanmıştır. Aktive edilen örneklerin süzüntü hacmi açısından sondaj çamuru olarak kullanımları uygun değildir.

Çapı 75 μ m'dan daha büyük kalıntının bakiyesine bakıldığında tüm Na_2CO_3 katkıları ve bekleme süreleri için uygun değerler vermiştir. Buca ve diğer karşılaştırma numuneleri de en çok % 4 değeri ile standardı sağlamaktadır.

Aktive edilmiş ve orijinal Buca kil örneklerinin XRD analizi sonuçları değerlendirildiğinde smektit, dolomit, kuvars ve illit minerallerinin varlığı saptanmıştır. Aktivasyon sonrası Ca oranının düşüp, Na oranının yükseldiği gözlenmiştir. Sodyum oranının yüksek olması sondaj çamurlarında şişme potansiyeli açısından elverişli bir ortam sağlamaktadır.

Elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre Buca kilinin içeriğinde bulunan MgO ve CaO yüzdelerinin analiz edilen diğer firmalardan gelen sodyum bentonit örneklerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kimyasal analiz sonuçları, XRD analizi sonuçlarını destekler niteliktedir. Kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında aktivasyon işlemi sonrası kalsiyum özellikli Buca bentonitinin sodyum değerlerinin yükseldiği ve kalsiyum değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Buca kilinin dolomitik özellikli kil olabileceği saptanmıştır. Wyoming örneği $\text{Na}_2\text{O} / \text{CaO}$ oranı yüksek olması nedeniyle kimyasal açıdan sondaj çamuru olmaya en uygun örnektir. En yüksek Na_2O yüzdesine sahip DDC ve İlbe örnekleri aynı zamanda yüksek CaO değerine de sahiptir.

SEM analiz sonuçları değerlendirildiğinde ham Buca kili örneği içeriğinde dolomit ve simektit mineralleri varlığı saptanmıştır.

Buca kilinin ve soda ile aktive edilmesi sonucu elde edilen işlem görmüş Buca kilinin sondaj çamuru olarak kullanımı uygun değildir.

İçeriğindeki yüzde MgO oranı yüksek olan ve dolomitik özellikte olan Buca kilinin asit ile aktive edilerek farklı alanlarda kullanımı araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, A. (1996). Bentonit. *Maden Tetkik ve Arama Eğitim Serisi*, 32, 77-79.
- Akıncı, Ö. (1968). Seramik killeri ve jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 71, 63-72.
- Avcı, S. B. (2009). *Soda ve MgO ile aktiflendirilmiş aratip bentonitlerin sondaj ve döküm bentoniti karakteristiklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bakır, S., Akbulut, A., Kapkaç, F., Karahan, D. S. ve Çetin, C. (2012). Türkiye bentonit envanteri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi*, 204, 25-318.
- Çetinel, T. (2008). *Ara ve Ca bentonitlerin soda ve MgO ile aktivasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Çinku, K., Boylu, F., Duman, F. ve Çelik, M. S. (2010). Bentonitlerin zenginleştirme ve soda ile aktivasyonunda sudaki iyon varlığı ve miktarının ürün özellikleri üzerindeki etkisi. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1, 9-18.
- Çinku, K. (2008). *Aktivasyon yöntemleri ile bentonitten su bazlı kıvamlaştırıcı üretiminin araştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çinku, K. ve Bilge, Y. (2001). Bentonit ve aktivasyon yöntemleri. *10. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 1-10, Konya.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) (2001). *Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu (ÖİK:632 Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Raporu)*. 07 Nisan 2015, <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/131/oik632.pdf>.

- İpeklioğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y ve Barut, A. (1997). Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. *II. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 51-57, İzmir.
- Küçükçelebi, H., Taşer, M. ve Armağan N. (2000). Ilgın-Harami kömür yatağı kilinin kristal yapısı. *Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17, 59-66.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) (2015a). *2012 Yılı Maden Dış Ticareti*. 5 Mart 2015, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden-dis-ticaret-2012>.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) (2015b). *Türkiye Maden Yatakları Haritaları*. 5 Mart 2015, http://www.mta.gov.tr/v2.0/images/turkiye_maden/maden_yataklari/b_h/kil_bentonit.jpg.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) (2015c). *Maden Dış Ticareti*. 5 Mart 2015, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden-dis-ticaret>.
- Malayoğlu, U. ve Akar, A. (1995). Killerin sınıflandırılmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 125-133, İzmir.
- Murray, H. (2002). Industrial clays case study. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, 64, 5-7. 25 Mayıs 2015, <http://pubs.iied.org/pdfs/G00556.pdf>.
- Reeves, G.M., Sims, I. ve Cripps. J. C. (Ed.). (2006). *Clay materials used in construction*. London: Geological Society Engineering Geology Special Publication.

- TS EN 13500. (2010). *Petrol ve doğalgaz sanayi- sondaj çamuru maddeleri- özellikler ve deneyler*, Türk Standartları Enstitüsü, 28-40, Ankara.
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) (2007). *Sondaj akışkanları teknolojisi (Lignosülfonat çamuru) kitabı*, Eğitim Notları, Ankara.
- United States Geological Survey (USGS) (2014) *Mineral commodity summaries*, 7 Mart 2015, from <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>.
- Uzel, B., Sözbilir H. ve Özkaymak, Ç. (2009). Neotectonic evolution of an actively growing superimposed basin in Western Anatolia: The inner bay of İzmir, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 439- 471.
- Williams, F.J., Elsley, B.C ve Weintritt, D. J. (2015). *The variations of Wyoming bentonite beds as a function of the overburden*. 7 Nisan 2015, from <http://www.clays.org/journal/archive/volume%202/2-1-141.pdf>.
- Yıldız, N. (1997). *Kütahya bentonitinin soda ile aktivasyonu*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

EKLER

EK-1: Soda ile 10 Gün Boyunca Aktive Edilen Killerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları

 DENEY SONUÇ ÖZET TABLOSU 													
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Bentonitin Süspansiyon Özellikleri											
		R ₆₀₀	R ₃₀₀	η_p	η_y	b	7.5'	30'	V _c (30'-7.5')	Süzüntü Hacmi (V) (V=2*V _c)	m	m ₂	Çapı 75µ'dan büyük kalıntı tayini (W ₁) W ₁ =100(m ₂ /m)
Buca 10/1	1,05	3,5	2	1,5	0,5	0,33333333	90	165	75	150	10	0,25	2,5
Buca 10/2	1,05	3,5	2	1,5	0,5	0,33333333	85	160	75	150	10	0,13	1,3
Buca 10/3	1,04	3,5	2	1,5	0,5	0,33333333	77	155	78	156	10	0,25	2,5
Buca 10/4	1,05	3,5	2	1,5	0,5	0,33333333	60	120	60	120	10	0,17	1,7
Buca 10/5	1,05	3,5	2	1,5	0,5	0,33333333	55	105	50	100	10	0,16	1,6
Buca 10/6	1,05	3,5	2	1,5	0,5	0,33333333	60	120	60	120	10	0,09	0,9
Buca 10/7	1,04	3,5	2	1,5	0,5	0,33333333	70	125	55	110	10	0,31	3,1

EK-2: Soda ile 30 Gün Boyunca Aktive Edilen Killerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları

 DENEY SONUÇ ÖZET TABLOSU 													
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Bentonitin Süspansiyon Özellikleri											
		R ₆₀₀	R ₃₀₀	η_p	η_y	b	7.5'	30'	V _c (30'-7.5')	Süzüntü Hacmi (V)	m	m ₂	Çapı 75µ'dan büyük kahlntı tayini (W ₁)
				R ₆₀₀ -R ₃₀₀	R ₃₀₀ - η_p	η_y/η_p				(V=2*V _c)			W ₁ =100(m ₂ /m)
Buca 30/1	1,05	3	1	2	-1	-0,5	78	150	72	144	10	0,22	2,2
Buca 30/2	1,05	3	1	2	-1	-0,5	50	100	50	100	10	0,24	2,4
Buca 30/3	1,04	3	1,5	1,5	0	0	48	90	42	84	10	0,11	1,1
Buca 30/4	1,05	3	1,5	1,5	0	0	38	75	37	74	10	0,08	0,8
Buca 30/5	1,04	3	1	2	-1	-0,5	40	80	40	80	10	0,2	2
Buca 30/6	1,04	3	1	2	-1	-0,5	30	58	28	56	10	0,06	0,6
Buca 30/7	1,04	3	1,5	1,5	0	0	46	90	44	88	10	0,25	2,5

EK-3: Soda ile 45 Gün Boyunca Aktive Edilen Killerin Fiziksel Özelliklerini Belirleyen Deney Sonuç Özeti

 DENEY SONUÇ ÖZET TABLOSU 													
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Bentonitin Süspansiyon Özellikleri											
		R ₆₀₀	R ₃₀₀	η_p	η_y	b	7.5'	30'	V _c (30'-7.5')	Süzüntü Hacmi (V)	m	m ₂	Çapı 75µ'dan büyük kalıntı tayini (W ₁)
				R ₆₀₀ -R ₃₀₀	R ₃₀₀ - η_p	η_y/η_p				(V=2*V _c)			W ₁ =100(m ₂ /m)
Buca 45/1	1,05	4	2	2	0	0	60	127	67	134	10	0,22	2,2
Buca 45/2	1,03	4	2	2	0	0	37	77	40	80	10	0,21	2,1
Buca 45/3	1,04	4	2	2	0	0	42	97	55	110	10	0,01	0,1
Buca 45/4	1,04	4	2	2	0	0	30	63	33	66	10	0,05	0,5
Buca 45/5	1,04	4	2	2	0	0	32	75	43	86	10	0,16	1,6
Buca 45/6	1,05	4	2	2	0	0	48	98	50	100	10	0,06	0,6
Buca 45/7	1,04	4	2	2	0	0	60	125	65	130	10	0,02	0,2

EK-4: İşlem Görmemiş Bentonitlere Ait Örneklerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları

 DENEY SONUÇ ÖZET TABLOSU 													
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Bentonitin Süspansiyon Özellikleri											
		R ₆₀₀	R ₃₀₀	η_p	η_y	b	DAĞILMIŞ HALDE PLASTİK VİSKOZİTE TAYİNİ			7.5'	30'	V _c (30'-7.5')	Süzüntü Hacmi (V)
				R ₆₀₀ -R ₃₀₀	R ₃₀₀ - η_p	η_y/η_p	R ₆₀₀	R ₃₀₀	η_p				(V=2*V _c)
WYOMİNG	1,04	61	39	22	17	0,7727273	50	30	20	6	13	7	14
BUCA	1,04	4	3	1	2	2	3	2	1	107	183	76	152
AYVACIK	1,04	12	7	5	2	0,4	10	5	5	5,5	14,5	9	18

EK-5: Kimyasal İşlem Görmüş Bentonitlere Ait Örneklerin Fiziksel Özelliklerinin Deney Sonuçları

 DENEY SONUÇ ÖZET TABLOSU 													
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Bentonitin Süspansiyon Özellikleri											
		R ₆₀₀	R ₃₀₀	η _p	η _y	b	7.5'	30'	V _c (30'·7.5')	Süzüntü Hacmi (V)	m	m ₂	Çapı 75µ'dan büyük kahlntı tayini (W ₁)
				R ₆₀₀ ·R ₃₀₀	R ₃₀₀ ·η _p	η _y /η _p				(V=2·V _c)			W ₁ =100(m ₂ /m)
DDC	1,05	30	16	14	2	0,142857143	4,7	11,2	6,5	13	10	0,13	1,3
İLBE	1,04	24	17	7	10	1,428571429	7	15,7	8,7	17,4	10	0,35	3,5